

Journée Technique Agronomie

Le programme FertiagriBio : ses apports aux agriculteurs



Paris

Mardi 6 février 2007

PROGRAMME

Accueil et café à partir de 9h00

9h30 Introduction, CIAB

9h45 Présentation générale du programme FertiagriBio
Bernard Nicolardot, INRA Reims et Blaise Leclerc, ITAB

Fertilisation des prairies

10h00 Fertilisation organique et rôle de la prairie en élevage biologique en Normandie et dans les Pays de la Loire — *Sylvie Hacala, Institut de l'Élevage*

10h20 Fertilisation des prairies, quelles spécificités en élevage biologique de moyenne montagne ? -
Nathalie Vassal et Mathieu Capitaine, ENITA de Clermont-Ferrand

10h40 Discussion sur la fertilisation des prairies en agriculture biologique

Phosphore

11h00 Comparaison du statut phosphaté de sols cultivés ou non en agriculture biologique en polyculture sans élevage — *Christian Morel, INRA Bordeaux*

Produits organiques

11h30 Une meilleure connaissance des engrais et amendements organiques utilisés en agriculture biologique — *Christiane Raynal, Ctifl et Bernard Nicolardot, INRA Reims*

12h30 Déjeuner – Buffet bio

Fertilisation des grandes cultures

13h30 Disponibilité en azote provenant de l'effet du précédent légumineuse, de culture intermédiaire et d'engrais organique – Conséquences sur le rendement et la teneur en protéines du blé tendre d'hiver — *Eric Justes, INRA de Toulouse et Loïc Prieur, CREAB*

14h00 Raisonnement de la fertilisation azotée du blé et du colza biologique - Adaptation d'un outil de simulation pour l'aide à la décision — *Muriel Valantin Morison, INRA Grignon et Christophe David, ISARA Lyon*

14h30 Le dispositif de La Motte : tester l'impact d'un système de culture sans élevage sur la fertilité du milieu — *Philippe Viaux et Lorraine Soulié, Arvalis-Institut du végétal*

Discussion générale

15h30 Introduction de la discussion générale avec deux interventions complémentaires au programme FertiagriBio :

6 ans d'essais "grandes cultures bio sans bétail" de la ferme pilote de Mapraz, Suisse, Josy Tamarcaz, AGRIDEA

proposition d'un outil de pilotage en grandes cultures, *Charlotte Glachant et Claude Aubert (Chambre d'Agriculture de Seine-et-Marne)*

Discussion générale, animée par Alain Delebecq (Président de la commission agronomie de l'ITAB), et suite à donner au programme FertiagriBio

16h30 Conclusion *Jean-Marc Meynard, INRA et André Le Dû, Président de l'ITAB*

17h00 Clôture de la journée

SOMMAIRE

Programme	1
Sommaire	3
FertiagriBio, un programme national sur la fertilisation en agriculture biologique <i>(B. Leclerc - ITAB et B. Nicolardot - INRA)</i>	5
Fertilité des parcelles en élevage biologique : certaines parcelles ont besoin de potassium <i>(S. Hacala - Institut de l'Elevage)</i>	7
Fertilisation des prairies : quelles spécificités en élevage biologique de moyenne montagne ? <i>(M. Capitaine, I. Boisdon, N. Vassal - Enita de Clermont)</i>	13
Gare à la baisse de la biodisponibilité du phosphore <i>(C. Morel, B. Le Clech, M. Linères et S. Pellerin - UMR TCEM)</i>	20
Une meilleure connaissance des engrais et amendements organiques utilisés en agriculture biologique <i>(C. Raynal – CTIFL, B. Nicolardot - INRA)</i>	24
Disponibilité en azote provenant de précédent légumineuse, de culture intermédiaire et d'engrais organique - Conséquences sur le rendement et la teneur en protéines du blé tendre d'hiver <i>(L. Prieur - CREAB Midi-Pyrénées, E. Justes - INRA)</i>	30
Raisonnement de la fertilisation azotée du blé et du colza biologiques - Mise au point d'un outil d'aide à la décision <i>(M. Valantin Morison et MH. Jeuffro - INRA et C. David - ISARA Lyon)</i>	38
Le dispositif de la Motte : rotation et fertilité du milieu en agriculture biologique sans élevage - Etat des lieux à mi-rotation - <i>(P. Viaux Arvalis – Institut du Végétal et L. Soulié INA P-G)</i>	49
Ferme Pilote de Mapraz <i>(J. Taramarcas - AGRIDEA)</i>	55
Fertilisation azotée de printemps (fin tallage) sur blé biologique - Proposition d'un outil de pilotage en Ile de France <i>(C. Glachant, C. Aubert - Chambre d'Agriculture 77)</i> ...	56

FERTIAGRIBIO, UN PROGRAMME NATIONAL SUR LA FERTILISATION EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE

Blaise Leclerc¹ et Bernard Nicolardot²

¹ ITAB - 149, rue de Bercy - 75595 Paris cedex 12 – blaise.leclerc@itab.asso.fr

² INRA - Unité d'agronomie de Laon-Reims-Mons - 2 esplanade R. Garros - BP 224 - 51686 Reims cedex 2 - Tél. : 03 26 77 35 83 – Fax : 03 26 77 35 91 – nicolard@reims.inra.fr

Le programme Fertiagribio s'est déroulé sur deux ans, en 2004 et 2005. Ses objectifs étaient d'une part d'acquérir des références dans le domaine de la fertilisation azotée et phosphatée pour plusieurs systèmes de cultures, et d'autre part de réfléchir aux outils de pilotage utilisables en agriculture biologique pour gérer la fertilisation.

La fertilisation a été inscrite dans les thèmes prioritaires de l'appel à projet conjoint ACTA INRA en 2002. Suite à cet appel une dizaine de projets avaient été proposés. Il avait alors été demandé à l'ITAB et à l'INRA de monter un programme commun à partir de ces projets : « Fertiagribio » était né. Bernard Nicolardot, de l'INRA Unité d'agronomie de Laon-Reims-Mons en assurait le suivi scientifique, Blaise Leclerc, responsable de la commission agronomie de l'ITAB, la coordination administrative.

1 CONTEXTE DU PROJET

La gestion de la fertilisation en agriculture biologique est considérée comme l'un des thèmes prioritaires pour assurer la durabilité des modes de production ; cette question concerne en particulier non seulement les préoccupations liées à la production et la qualité des produits mais également la protection de l'environnement. Les questions plus précises posées par les professionnels concernent en particulier :

- l'élaboration et la mise en place d'outils d'évaluation / bilans adaptés à l'agriculture biologique,
- une meilleure connaissance des engrais et amendements organiques et de leur utilisation pour divers systèmes de culture et différentes situations pédoclimatiques (cinétique de minéralisation et flux réels).

Ces questions se posent dans un contexte économique de développement très important de la consommation des produits issus de l'agriculture biologique, nécessitant des conversions de plus en plus nombreuses pour pouvoir satisfaire la demande. Pour la plupart des systèmes de culture, c'est la gestion de la fertilisation, notamment azotée, qui conditionne l'engagement à long terme dans ce mode de production.

Pour répondre à ces questions, les connaissances acquises sur les systèmes conventionnels sont-elles extrapolables aux systèmes en agriculture biologique, ou existe-t-il des connaissances spécifiques liées au fonctionnement de ces systèmes qu'il est nécessaire d'acquérir pour mettre au point des stratégies ou des outils permettant de gérer les éléments fertilisants ? D'un point de vue plus opérationnel, les outils de gestion développés jusqu'à présent en conventionnel sont-ils directement utilisables ou nécessitent-ils une adaptation ou au contraire sont-ils totalement inadaptés et faut-il en concevoir de nouveaux ? Par ailleurs, l'élaboration de ces différents outils doit également être réfléchi par rapport aux utilisateurs potentiels (conseiller, agriculteur...).

2 OBJECTIFS

L'objectif du projet est double : cognitif d'une part, avec l'acquisition de connaissances nécessaires à la prévision des mécanismes et des flux impliqués dans les cycles des éléments fertilisants pour les sols et systèmes en agriculture biologique, finalisé d'autre part, avec la gestion des éléments fertilisants et la proposition d'outils de gestion et/ou d'itinéraires techniques qui allient à la fois les contraintes de production et la qualité de l'environnement.

Ces 2 objectifs complémentaires ont été conduits de façon parallèle : l'acquisition de connaissances alimentera la conception d'outils (paramétrage de modèles...), inversement les travaux plus finalisés pourront renvoyer à des questions de recherches (effet à long terme par exemple). Afin de restreindre le champ d'investigation, ont été considérés prioritairement dans un premier temps l'azote et le phosphore.

Compte tenu du champ d'investigation le projet a été structuré en 3 tâches scientifiques pour lesquels ont été proposés des programmes expérimentaux précis par les partenaires du projet et une tâche de coordination scientifique et administrative (tâche 4).

- Tache 1 : Connaître et prévoir la fertilité du milieu

Cette tâche du projet a eu pour but de (i) connaître les pratiques et règles de décision des agriculteurs, au niveau de l'exploitation, la succession des cultures (rotation) et de la gestion des matières fertilisantes en considérant différents systèmes de culture (grandes cultures avec ou sans élevage, élevage, maraîchage, arboriculture), et (ii) d'entamer une réflexion sur les démarches et la méthodologie à mettre en œuvre pour concevoir une succession de cultures permettant une valorisation optimale des ressources naturelles en azote et en phosphore.

- Tâche 2 : Connaître et prévoir la disponibilité des éléments fertilisants

L'objectif a été de déterminer et prévoir la dynamique et la fourniture des éléments fertilisants (N et P) en provenance des différentes sources : intrants organiques (engrais et amendements organiques) ; matière organique endogène du sol ; retournements de prairie ; cultures de légumineuses ; rotations de cultures (effet des résidus de récolte des précédents).

- Tâche 3 : Gérer les éléments fertilisants et proposer ou améliorer les outils d'aide à la décision

L'objectif a été d'apporter des éléments de réponse pour mieux gérer les rotations d'une part (cultures dérobées, succession des cultures), et d'autre part, l'utilisation des engrais et amendements organiques au sein des rotations. Par ailleurs, il s'est agi également d'améliorer les outils de prévision existants et éventuellement de mettre au point de nouveaux outils adaptés aux différents contextes de l'agriculture biologique. 2 échelles ont été prises en compte : (i) la parcelle avec par exemple l'utilisation du modèle Azodyn (sur blé) qui a été modifié pour prendre en compte les apports organiques, et (ii) l'exploitation avec l'utilisation des approches de type « bilan » des éléments minéraux.

3 LES PARTENAIRES DE FERTIAGRIBIO

Organismes partenaires et associés	Contacts
Institut de l'Élevage	Sylvie Hacala
CTIFL	Christiane Raynal
Arvalis-Institut du Végétal	Philippe Viaux
ITAB	Blaise Leclerc
INRA Bordeaux	Bernard Le Clech ¹ et Christian Morel
INRA Grignon, associé à l'ISARA Lyon	Muriel Valantin Morison et Christophe David
INRA Reims	Bernard Nicolardot
INRA Toulouse, associé au CREAB	Eric Justes et Loïc Prieur
ENITA Clermont-Ferrand	Nathalie Vassal et Mathieu Capitaine

¹ Bernard Le Clech était le porteur du programme Fertiagribio, il est décédé en novembre 2004.

FERTILITE DES PARCELLES EN ELEVAGE BIOLOGIQUE : CERTAINES PARCELLES ONT BESOIN DE POTASSIUM

Sylvie Hacala

9 rue André Brouard - BP 70510
49105 Angers cedex 02
sylvie.hacala@inst-elevage.asso.fr

RÉSUMÉ

Les questions spécifiques à l'**élevage** posées dans le cadre du programme FertiagriBio étaient les suivantes :

Comment évolue la fertilité des sols en élevages bovins biologiques ? Ces derniers exportent P et K à travers les productions de lait et de viande, et fonctionnent sans achat de fertilisants minéraux ni concentrés. Seule la paille parfois est achetée, constituant une entrée de K dans le système de production. Fumiers et animaux eux mêmes restituent au sol cet élément important. Sommes-nous dans des systèmes en équilibre où la productivité s'est adaptée à la disponibilité des éléments, ou en appauvrissement des sols préjudiciables à l'avenir des systèmes biologiques ? C'est cette interrogation qui a conduit l'Institut de l'Élevage à participer à ce projet de recherche en agriculture biologique, avec deux questions sous jacentes :

- Quelles techniques les éleveurs en agrobiologie utilisent-ils pour gérer la fertilité en phosphore et potassium de leurs sols ?
- Quels sont les risques à long terme pour la bio-disponibilité des sols en phosphore et potassium ?

On peut en effet s'interroger sur l'évolution des sols, de leurs stocks en éléments minéraux dans des exploitations visant un maximum d'autonomie. Les systèmes biologiques sont très rarement acheteurs de fertilisants minéraux. Les apports extérieurs sont la plupart du temps nuls ou très limités, et la fumure se raisonne sur la base des disponibilités en effluents d'élevage.

Les sols d'élevage bovin en agriculture biologique semblent généralement bien se porter. Mais attention, si à l'échelle de la parcelle le phosphore ne fait jamais défaut, la potasse peut être déficitaire sur des parcelles éloignées qui ne reçoivent ni fumier ni restitution par les animaux.

MOTS CLÉS : élevage bovin, phosphore, potassium, réseaux d'élevages, réseaux de parcelles.

1 UN TRAVAIL EN TROIS ETAPES

• **NPK : d'abord un bilan comptable à l'échelle de l'exploitation**

En fermes des Réseaux d'élevages (Institut de l'Élevage et Chambre d'agriculture) des bilans apparents des minéraux NPK ont été menés au niveau de l'exploitation. 116 bilans en lait et 51 en allaitant ont montré que les élevages en agrobiologie sont peu consommateurs de concentrés et quasiment pas d'engrais organiques. Les entrées en potassium sont parfois assurées par la paille. Mais le solde est autour de 10 kg de K₂O par ha et par an.

• **Une analyse des flux internes**

Dans 23 élevages des Pays de La Loire et de Normandie, les informations sur les restitutions à la pâture, les épandages des fumiers et des composts ont été complétées sur plusieurs campagnes. Le résultat montre que, sur un petit nombre de parcelles éloignées, il y a un risque d'appauvrissement.

• **P et K : bilans à la parcelle sur trois à cinq campagnes confirmés par l'analyse d'herbe**

A la parcelle, lorsque le bilan est négatif sur trois ou cinq campagnes, il faut corriger les pratiques de répartition. Car si certains sols demeurent des "mines" de phosphore même après des décennies sans apport (les travaux de l'INRA le montrent depuis 20 ans), le potassium, plus mobile, nécessite des apports plus réguliers. Les apports de fumier riche en potassium grâce à la paille sont adaptés. Les bilans à la parcelle et à l'ilot permettent de détecter un éventuel problème. Ils sont confirmés par des analyses de biomasse d'herbe et le calcul des indices de nutrition P K des prairies.

2 LES SOLS DES FERMES D'ELEVAGES BIOLOGIQUES SONT-ILS EN EQUILIBRE POUR LONGTEMPS ?

Les systèmes d'élevages bovins en agriculture biologique exportent le phosphore et le potassium à travers les productions de lait et de viande, et fonctionnent sans achat de fertilisants minéraux ni concentrés. Seule la paille parfois est achetée, constituant une entrée de potassium dans le système de production. Fumier et animaux eux-mêmes restituent au sol cet élément important.

Sommes-nous dans des systèmes en équilibre où la productivité s'est adaptée à la disponibilité des éléments, ou en appauvrissement des sols préjudiciables à l'avenir des systèmes biologiques ?

On peut en effet s'interroger sur l'évolution des sols et de leurs stocks en éléments minéraux dans des exploitations visant un maximum d'autonomie.

Les systèmes biologiques sont très rarement acheteurs de fertilisants minéraux. Les apports extérieurs sont la plupart du temps nuls ou très limités, et la fumure se raisonne sur la base des disponibilités en effluents d'élevage.

Suivent alors deux questions sous-jacentes :

- Quelles techniques les éleveurs en agrobiologie utilisent-ils pour gérer la fertilité en phosphore et potassium de leurs sols ?
- Quels sont les risques à long terme pour la biodisponibilité des sols en phosphore et potassium ?

Pour réaliser cette étude, une enquête a été réalisée dans 23 exploitations des Réseaux d'Élevage de Basse-Normandie et des Pays de la Loire, pour moitié en production de viande bovine et pour l'autre moitié en production laitière.

Les fermes ont été le support d'une enquête sur les pratiques d'exploitation des parcelles, de leur fertilisation et les impressions des éleveurs sur l'évolution du comportement de la productivité ont été enregistrées. Certaines parcelles qui, après enquêtes sur la répartition des fertilisants, étaient non entretenues en matières organiques, ont fait l'objet d'un calcul de bilan à la parcelle sur cinq années. Les parcelles en herbe en 2004 et 2005 ont fait l'objet d'un prélèvement pour analyse foliaire pour un calcul de nutrition P et K.

3 AVEC UN SOLDE DE BILAN A L'HA SAU TRES FAIBLE TOUTE PARCELLE DOIT RECEVOIR FUMIER OU COMPOST UN AN SUR DEUX

Dès 2003, des calculs de bilans apparents des minéraux ont été réalisés avec des échantillons de fermes en agriculture biologique. Le bilan apparent des minéraux est un bilan comptable réalisé avec le grand livre de comptes de l'exploitation. Toutes les entrées (concentrés, fourrages...) et toutes les sorties de l'exploitation (lait, viande, ...) sont converties en N, P, K. Puis le solde de ce bilan est divisé par la SAU de l'exploitation pour connaître le "surplus" ou le déficit d'éléments par ha.

Comme en témoignent les résultats (figure 1), les valeurs sont très faibles que ce soit en élevage viande ou en élevage laitier.

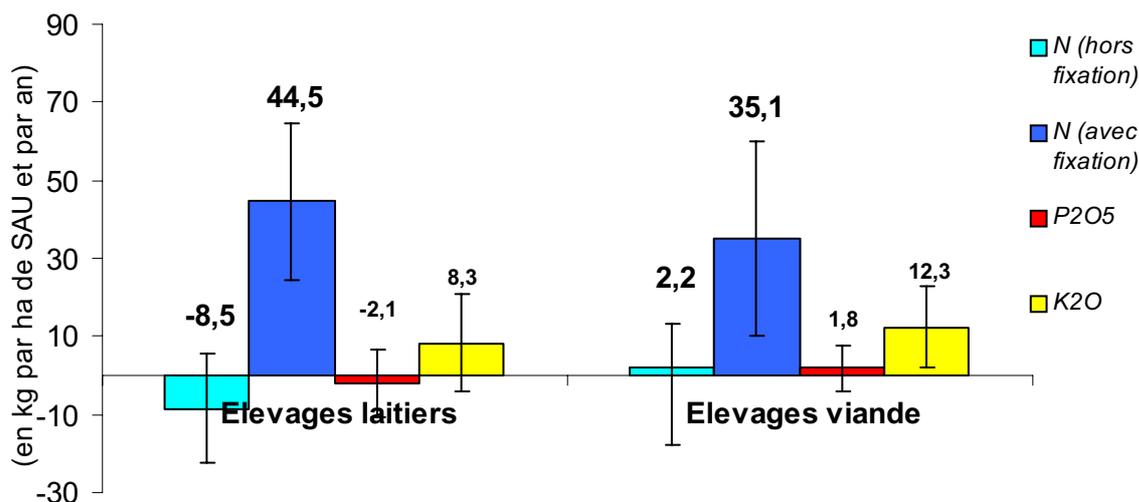


Figure 1 : Bilans apparents des minéraux à l'échelle de l'exploitation sur des élevages agrobiologiques des réseaux d'élevages.

Globalement ces bilans montrent que pour l'azote, le solde est nul ou négatif si la fixation symbiotique des légumineuses n'est pas intégrée et qu'avec la fixation symbiotique des légumineuses le bilan reste à des valeurs modestes au regard de ce qui est observé dans les systèmes conventionnels. Cependant les pourcentages de légumineuses dans les parcelles et donc les niveaux de contribution de ces légumineuses à l'apport en azote des parcelles de prairies sont difficiles à évaluer.

Même constat pour le phosphore et le potassium : les bilans sont en moyenne à des niveaux très faibles pour la potasse et nuls ou négatifs pour le phosphore.

Globalement au niveau de l'exploitation, la situation est équilibrée. Les exportations sont à peu près couvertes par la fixation symbiotique des légumineuses en ce qui concerne l'azote et les achats pour la potasse (paille, aliments) et le phosphore (aliment, complément minéral vitaminique).

Cependant ce constat global, au delà de l'approximation de la méthode, peut masquer des répartitions hétérogènes au niveau des élevages. Certaines parcelles peuvent en effet recevoir beaucoup de restitutions (parcelles faciles d'accès, longtemps pâturées) et d'autres subir des déficits réguliers (parcelles de fauche éloignées sur lesquelles peu de fumier ou de compost sont apportés).

4 CHEZ LES ELEVEURS, GLOBALEMENT DE BONNES PRATIQUES DE REPARTITION DES FUMIERS OU DES COMPOSTS

Il faut d'abord souligner les bonnes pratiques générales observées chez les éleveurs de notre échantillon. Lorsque peu de matière organique à épandre est disponible, mieux vaut bien l'utiliser. Pour la plupart des éleveurs rencontrés, les techniques de fertilisation employées sont bien adaptées aux besoins des parcelles. L'objectif recherché en matière de fertilisation est de ne pas gaspiller les éléments contenus dans les engrais de ferme et les apporter au sol et aux plantes sous la meilleure forme possible. Les éleveurs apportent au bon moment les types de matière organique les plus adaptés (figure 2).

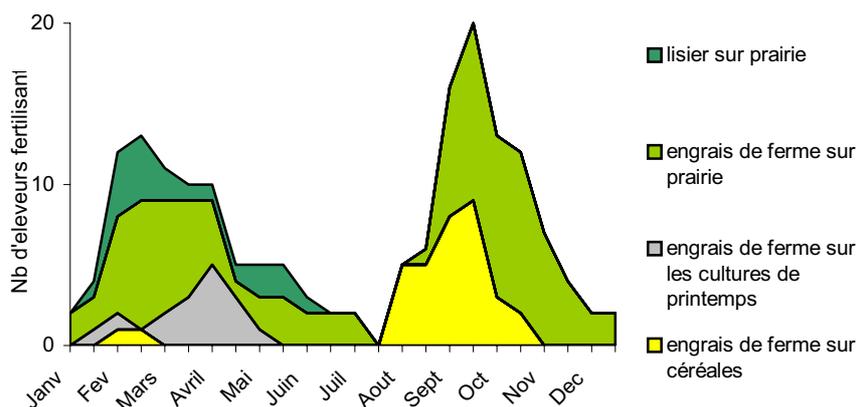
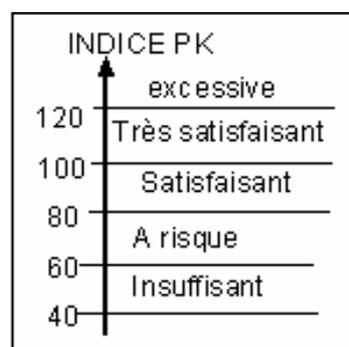


Figure 2 : Les éleveurs apportent au bon moment les types de matière organique les plus adaptés.

5 CE QUE NOUS APPRENNENT LES ANALYSES FOLIAIRES

A partir de la teneur en phosphore et potassium de graminées des prairies, des indices de nutrition sont calculés. Ces indices permettent de connaître le degré de biodisponibilité des sols pour les deux éléments phosphore et potassium. Au delà de 80, l'indice est considéré comme satisfaisant. Les graminées ne subissent alors aucune restriction potentielle.



Le choix des parcelles a été effectué selon les modes de conduite agronomique observés entre 2001 et 2005. Les parcelles recherchées étaient celles présentant un risque d'appauvrissement en minéraux (non restitution des exportations par des engrais de ferme par exemple). Les analyses sont présentées sur les figures 3 et 4.

5.1 Des nutritons satisfaisantes en phosphore

Pour le phosphore, les indices sont très satisfaisants. Seuls deux indices sur la totalité sont inférieurs à 80 % (figure 3). Aussi surprenant que cela puisse être, même sur les parcelles avec un appauvrissement apparent en minéraux, la biodisponibilité reste satisfaisante.

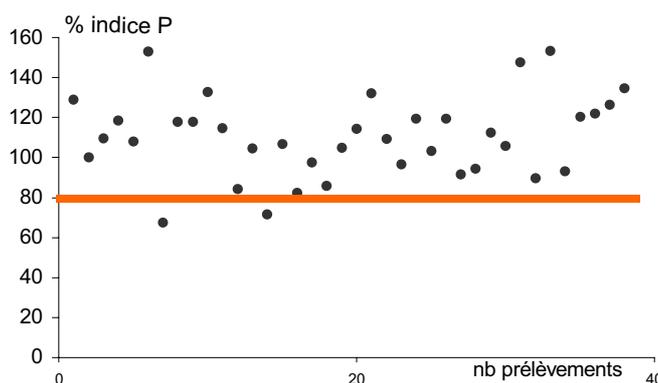


Figure 3 : Indice de nutrition en phosphore pour chaque prélèvement

Le phénomène est encore plus remarquable lorsque ces indices sont croisés avec les résultats des bilans apparents des minéraux des exploitations considérées (figure 4).

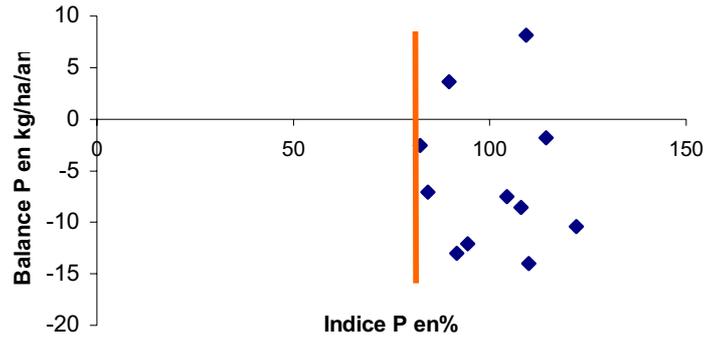


Figure 4 : Indice de nutrition en phosphore des parcelles selon le bilan apparent des exploitations

5.2 Des nutriments satisfaisantes en potassium, sauf dans certains cas

Pour l'ensemble des parcelles, la biodisponibilité en potassium est satisfaisante (figure 5). Cependant, on peut remarquer que les parcelles consacrées aux productions de fourrages qui n'ont pas été fertilisées dans les deux dernières années ont une biodisponibilité en potassium plus faible quoique non catastrophique.

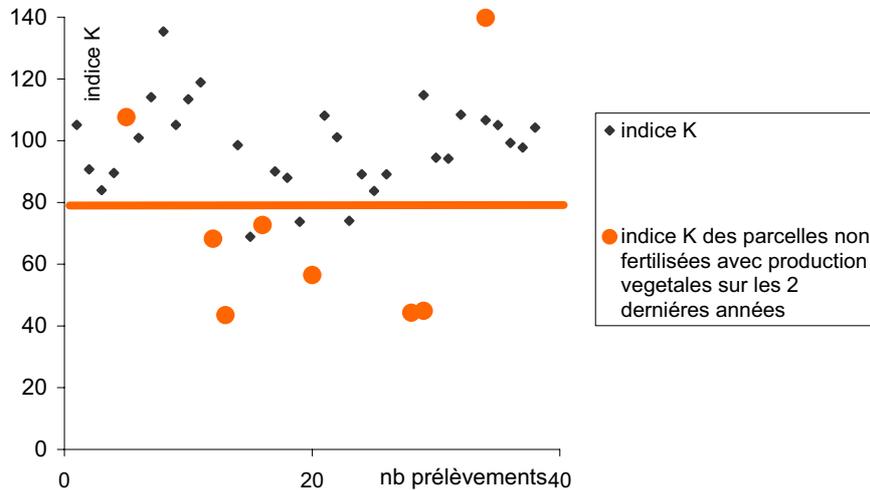


Figure 5 : Indice K des parcelles sans fertilisation depuis plus de deux ans et consacrées aux productions végétales.

La figure 6 confirme la possibilité de risque sur la disponibilité en potassium. Une moitié des exploitations ayant un bilan apparent négatif en potassium, montre des parcelles avec des indices de nutrition insuffisants. Pour le potassium, les "mauvaises conduites" semblent susceptibles de diminuer sa biodisponibilité de façon notable.

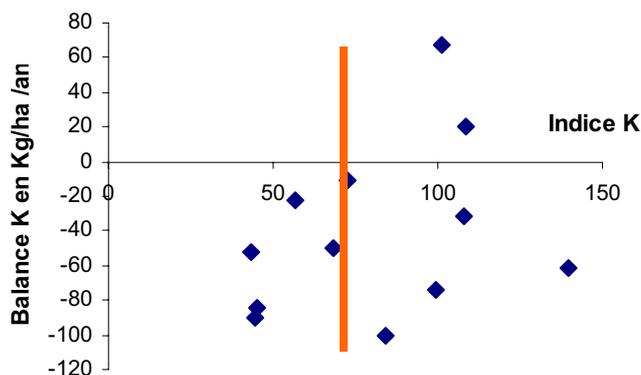


Figure 6 : Indice de nutrition en potassium des parcelles selon le bilan apparent des exploitations.

6 DES SOLS GLOBALEMENT BIEN PORTANTS

Avec une quasi absence de fertilisants minéraux, une fumure des sols limitée à l'utilisation des engrais organiques, les sols en agriculture biologique semblent bien se porter. Les bilans des minéraux montrent des excédents faibles en moyenne et souvent nuls ou négatifs dans les exploitations de l'échantillon. Cette observation est particulièrement valable pour l'azote et le phosphore.

Globalement, cette approche générale est plutôt rassurante au plan agronomique et environnemental. Cependant au sein de quelques exploitations, certaines parcelles peuvent montrer des signes d'appauvrissement. Si les indices foliaires montrent que le phosphore ne fait jamais défaut, il n'en est pas de même pour le potassium. Un apport de fumier ou compost un an sur deux par exemple est indispensable si les animaux n'assurent aucune restitution.

FERTILISATION DES PRAIRIES

QUELLES SPECIFICITES EN ELEVAGE BIOLOGIQUE DE MOYENNE MONTAGNE ?

Mathieu Capitaine, Isabelle Boisdon, Nathalie Vassal
ENITA Clermont - Unité DASEAB-Agronomie - Site de Marmilhat
BP 35 - 63670 Lempdes - capitaine@enitac.fr

RÉSUMÉ

La gestion des effluents d'élevage est devenue l'objet de beaucoup d'attention suite aux problèmes récurrents de pollution des eaux par les nitrates. Nous avons analysé les quantités de déjections animales allouées par épandage sur prairie dans des exploitations à partir d'un suivi pluriannuel de deux groupes d'exploitations, l'un en agriculture conventionnelle, l'autre en agriculture biologique. La fertilisation organique des prairies dans des situations où les logiques techniques sont données différentes et dans lesquelles les ressources disponibles ne sont pas les mêmes, ne relève pas de pratiques complètement dissemblables entre agriculteurs conventionnels et biologiques enquêtés. Ce travail illustre, en outre, l'intérêt de développer des études spatialisées et pluriannuelles de la gestion des déjections animales dans les exploitations agricoles.

MOTS CLÉS : bovin laitier, fertilisant organique, déjections animales, pratiques de gestion, apport d'azote

La question de la gestion des effluents d'élevage est devenue l'objet de beaucoup d'attention dans un objectif de maîtrise des risques environnementaux en agriculture (Benoît et al., 1997 ; Katerji et al., 2002). La part active qu'ils peuvent jouer dans les pollutions d'origines agricoles en a fait un secteur sous surveillance. Accompagné d'une réflexion sur l'utilisation des ressources énergétiques (Riedacker et al., 2006), la gestion des effluents d'élevage reste une préoccupation majeure tant pour les structures d'encadrement de la production agricole et des exploitations que pour les exploitants eux-mêmes. Aujourd'hui l'évolution du contexte énergétique et l'augmentation prévisible du coût des engrais de synthèse renouvellent la question de la valorisation agronomique des engrais de ferme (Besnard et al., 2006).

Parmi les effluents d'élevage nous nous sommes intéressés uniquement aux déjections animales.

La gestion des déjections animales dans une exploitation peut être déclinée en quatre composantes (Aubry et al., 2006) : les achats et approvisionnements, la production, le stockage et l'allocation. Nous avons choisi, dans le cadre de ce travail, de nous centrer sur la dernière de ces composantes et d'analyser les pratiques d'allocation des déjections animales dans les exploitations.

Il s'agit d'un travail exploratoire qui sera prolongé pour pouvoir développer une meilleure connaissance des façons de faire dans les exploitations et à terme pouvoir repérer les marges de manœuvre présentes ou des pratiques innovantes qui pourraient être mobilisées en cas d'obligation à venir de changements de pratiques.

Nous avons étudiés deux groupes d'exploitations ayant des systèmes de productions équivalents mais avec, *a priori*, du fait de l'existence de cahiers des charges, des différences dans leurs pratiques. L'introduction du cahier des charges est ancienne. Les exploitations étudiées ne sont donc plus considérées en phase d'adaptation. Le premier groupe rassemble des exploitations ayant des contraintes de production fortes puisqu'elles adhèrent au cahier des charges de l'agriculture biologique. Dans ces exploitations, le recours aux engrais minéraux de synthèse est interdit. Les agriculteurs doivent donc valoriser au mieux les ressources internes à l'exploitation et donc leurs déjections animales comme principale source de fertilisant. Le second groupe rassemble des agriculteurs en mode de production

conventionnel. Ils sont donc moins contraints et peuvent avoir recours aux fertilisants minéraux de synthèse.

7 UNE HYPOTHESE, LA DIFFERENCE DE REGLEMENTATION INDUIT DES DIFFERENCES DE PRATIQUES

L'hypothèse générale est qu'une différence réglementaire liée à l'existence d'un cahier des charges conduit les exploitations à recourir à des gammes de fertilisants différentes et donc à adapter leurs pratiques.

A cette hypothèse sont associées deux questions. La première concerne les conséquences de pratiques différentes sur les quantités moyennes d'azote apportées à l'hectare. Ces différences de pratiques se traduisent-elles par des allocations d'azote différentes ? Deux postulats accompagnent couramment cette question :

- l'apport d'azote sous forme minérale (effluents et engrais de synthèse) est supérieur en agriculture conventionnelle ;
- les quantités d'azote apportées à l'hectare sous forme organique sont plus importantes en agriculture biologique (utilisation de produits compostés favorisée).

La seconde question concerne les modalités d'utilisation de sources de fertilisants équivalentes. La ventilation spatiale et temporelle des apports fertilisants varie-t-elle pour chaque mode d'utilisation des surfaces en prairie selon la conduite ? Par exemple, des engrais de synthèse peuvent être utilisés efficacement pour favoriser une pousse rapide de l'herbe avant ensilage ou favoriser une repousse après ensilage pour assurer la production de regain. Ces effets sont beaucoup plus difficilement productibles avec les déjections animales. Les différences de pratiques peuvent aussi porter sur la part du territoire de l'exploitation concernée par des épandages de déjections. Leur utilisation s'accompagne de nombreuses contraintes tant réglementaires que liées aux produits eux-mêmes (volume et masse à traiter importants, difficulté de manutention et de transport, utilisation de matériel volumineux, contrôle des doses et de l'homogénéité des apports difficile). Les engrais minéraux ne présentent pas ces inconvénients, ils peuvent donc être favorisés pour des parcelles où l'épandage des déjections animales est trop contraignant. En l'absence d'engrais minéraux soit l'exploitant fait avec les contraintes et accepte de consacrer du temps à la fertilisation de ces parcelles soit il fait une impasse.

Pour tester l'hypothèse et les questions associées, nous nous sommes intéressés aux fertilisants organiques et aux quantités d'azote apportés dans les exploitations et aux types de couverts prairiaux qui les reçoivent. Nous avons aussi examiné dans chaque exploitation l'historique de fertilisation de parcelles-échantillon.

8 LE DISPOSITIF, UN SUIVI DE DEUX GROUPES D'EXPLOITATIONS

Le dispositif mis en place repose sur un suivi pluriannuel de deux groupes d'exploitations d'élevage laitier bovin à dominante herbagère, l'un en agriculture biologique, l'autre en agriculture conventionnelle. Chacun de ces deux groupes comporte quatre exploitations. Les couverts herbagers, majoritaires dans ces exploitations, sont constitués de prairies permanentes et temporaires. Des surfaces consacrées à la culture de céréales à paille sont présentes mais sont relativement faibles. Les exploitations suivies sont proches tant du point de vue géographique (proximité des exploitations, conditions pédoclimatiques similaires) que du point de vue des systèmes techniques de production. Elles sont situées dans le Massif central en zone granitique d'altitude (850 m à 1000 m) caractérisée par des sols sablo-limoneux à sablo-argileux acides (pH 5,2 à 6,2) avec une pluviométrie moyenne de 850 mm par an (Boisdon et al., 2005).

Nous avons privilégié comme niveau d'analyse celui de parcelles-échantillon, prototypes des modes d'exploitation des surfaces en prairies pour le premier cycle de pousse de l'herbe (fauche précoce pour ensilage ou foin séché en grange, fauche tardive pour foin traditionnel et pâturage exclusif). Dans chaque exploitation, trois parcelles en herbe ont ainsi été choisies. Ces parcelles ont fait l'objet :

- d'une série d'analyses de productivité et de fertilité (Boisdon et al., 2005)

- d'un enregistrement des pratiques (récolte, entretien, fertilisation).

De plus, pour chacune des exploitations sont enregistrées, chaque année, les informations qui concernent (Charroin et al., 2005) :

- les moyens de production (main d'œuvre, foncier, équipements),
- le fonctionnement global de l'exploitation (cheptels présents, utilisation des surfaces, séquences techniques mises en oeuvre, alimentation des troupeaux),
- les résultats techniques (productions, rendements, indicateurs de performance technique)
- les résultats économiques.

Les exploitations sont suivies depuis l'année 2002.

En termes d'analyses, notre démarche est quantitative et qualitative. D'un point de vue quantitatif nous avons analysé pour chaque parcelle les doses d'azote apportées à l'hectare. La fertilisation minérale issue des engrais de synthèse a été calculée à partir des quantités de produit apportées à l'hectare et par an. Les quantités apportées par la fertilisation dite organique est issue de l'estimation des apports à partir des quantités et de la nature des déjections animales apportées (Bodet *et al.*, 2001).

D'un point de vue qualitatif nous nous sommes attachés à décrire, pour la période de suivi, les nombres et dates des apports pour chaque parcelle et la nature des produits apportés.

9 L'UTILISATION DE FERTILISANTS MINÉRAUX DE SYNTHÈSE FAIT LES DIFFÉRENCES

Les quantités annuelles moyennes d'azote à l'hectare apportées par la fertilisation (organique et minérale) sont significativement supérieures dans le groupe des exploitations conventionnelles (tableau I). Les apports d'azote par les fertilisants organiques sont en moyenne similaires entre les deux conduites. Par conséquent l'écart des quantités moyennes totales apportées par les fertilisants s'explique par l'existence d'apports d'engrais minéraux de synthèse dans le groupe conventionnel.

Tableau I : Quantité moyenne annuelle d'azote (kg/ha) apportée par type de conduite

Type de fertilisation	Toutes conduites	Conduite biologique	Conduite conventionnelle
Toutes fertilisations confondues	70 (6)	39 ^a (7)	103 ^b (8)
Minérale		0	72 (7)
Organique	35 (4)	39 ^b (7)	31 ^a (6)
Nombre de parcelles	65	33	32

L'analyse des postes de fertilisation d'origine organique de chaque parcelle selon l'utilisation au premier cycle de pousse de l'herbe montre que les différences constatées dans ces apports d'azote d'origine organique entre les parcelles destinées à une fauche précoce, à une fauche tardive ou au pâturage ne sont pas significatives (tableau II). Les quantités d'azote apportées par des fertilisants d'origine organique sont quasi équivalentes sur parcelles de fauche précoce et de pâture. Elles sont moindres sur les parcelles de fauche tardive.

Tableau II : Dose moyenne annuelle d'azote (kg/ha) et erreur standard apportée par des fertilisants organiques selon le mode d'utilisation du premier cycle de pousse de l'herbe

	Parcelles de prairie en :			Toutes parcelles confondues
	fauche précoce	fauche tardive	pâturation	
Dose moyenne annuelle	37 ^a (6)	25 ^a (9)	40 ^a (11)	35 (4)
Nombre de parcelles	30	16	19	65

Dans les exploitations conventionnelles, les apports d'azote par les fertilisants organiques sont similaires entre les modes d'utilisation des prairies (autour de 30 kg/ha, différences non significatives ; tableau III). Cette égale répartition des déjections dans les parcelles peut traduire un souci d'entretien de la fertilité sur l'ensemble de l'exploitation. Mais ce choix est réalisé au prix de contraintes importantes liées aux caractéristiques des produits traités. Or, les agriculteurs conventionnels qui disposent d'un accès à des ressources fertilisantes supplémentaires et d'une plus grande praticité pourraient s'extraire de ces contraintes et n'apporter des déjections animales que sur des parcelles spécifiques (proximité, spécificité de production). Cet atout, dans notre échantillon, n'est pas valorisé. A l'inverse, la ventilation pour les agriculteurs en conduite biologique n'est pas homogène (même si les différences sont là encore non significatives statistiquement). Les apports sur les prairies de fauche tardive sont bien inférieurs à ceux sur les prairies de fauche précoce ou de pâturation.

Tableau III : Quantité moyenne annuelle d'azote (kg / ha) et erreur standard apportée par des fertilisants organiques selon le mode d'utilisation du premier cycle de pousse de l'herbe et le type de conduite

fertilisation organique	Conduite biologique	Conduite conventionnelle
totale	39 ^b (7)	31 ^a (6)
nombre de parcelle	33	32
sur fauche précoce	40 ^a (8)	35 ^a (9)
nombre de parcelle	15	15
sur fauche tardive	15 ^a (7)	34 ^a (18)
nombre de parcelle	8	9
sur pâturation	58 ^a (17)	22 ^a (11)
nombre de parcelle	10	9

Pour les engrais minéraux de synthèse, les agriculteurs conventionnels différencient leurs choix d'affectation des apports entre les parcelles de fauche précoce, de fauche tardive ou de pâturation. Ils sont significativement supérieurs dans le cas de la fauche précoce, avec 102 kg/ha d'azote apportés en moyenne alors que fauche tardive et pâturation reçoivent en moyenne, respectivement, 34 et 54 kg/ha d'azote.

10 DES PRATIQUES DE FERTILISATION ORGANIQUE NON REGULIERES

Nous avons ensuite cherché à affiner ces résultats en nous intéressant pour chaque parcelle à l'historique des pratiques de fertilisation sur les trois années.

Les pratiques de fertilisation organique avec les déjections animales sont proches dans le groupe des agriculteurs biologiques et dans le groupe des agriculteurs conventionnels (figure 1). Elles se caractérisent par :

- la possibilité d'utiliser des produits différents sur les mêmes parcelles (fumier, lisier, compost) ;
- une absence de régularité interannuelle : d'une année sur l'autre ce ne sont pas forcément les mêmes parcelles qui reçoivent des déjections animales ;
- une absence de régularité intra annuelle : les apports ne sont pas faits au même moment dans l'année pour une même parcelle.

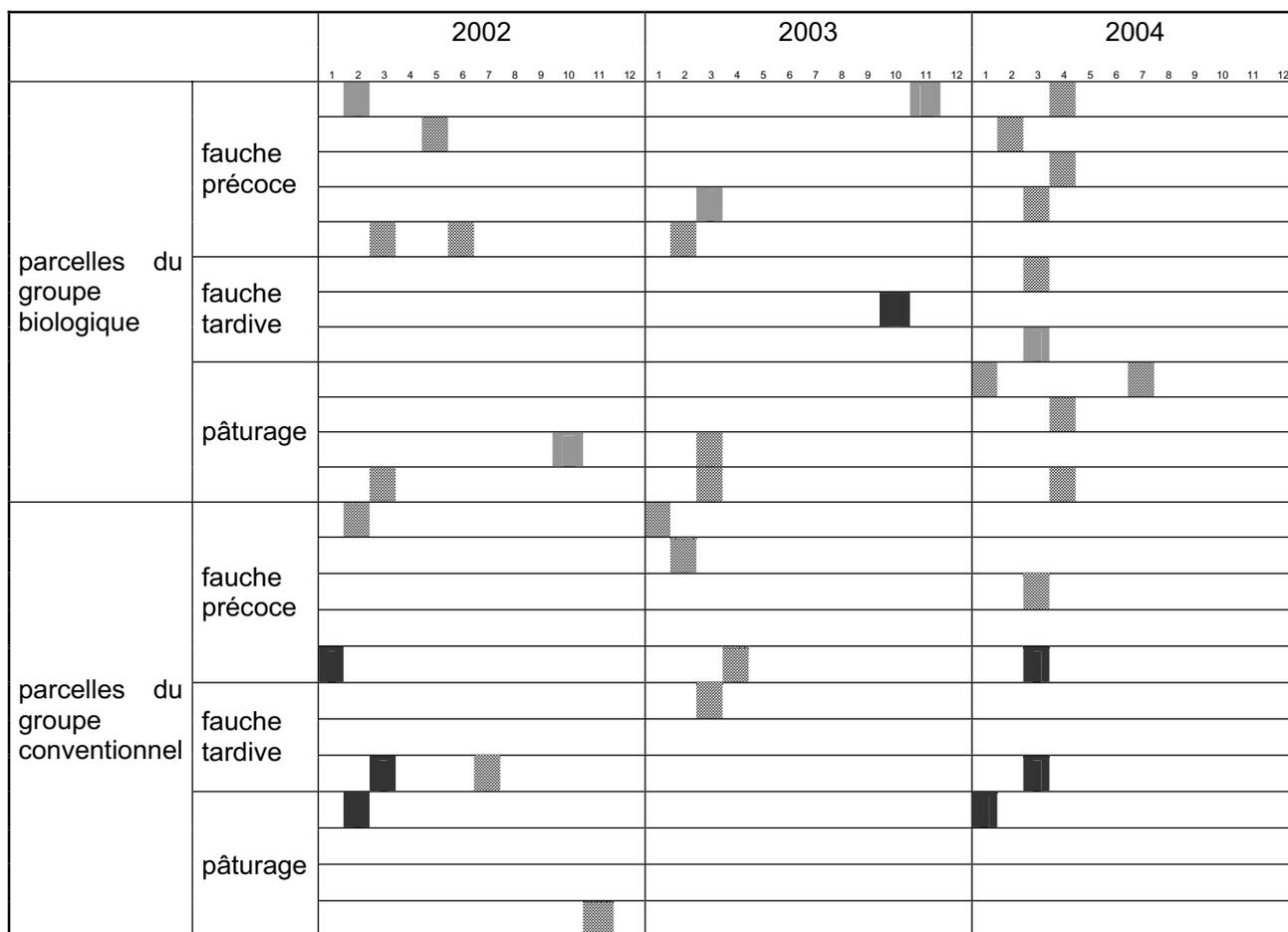


Figure 1 : Historique pour chaque parcelle des apports d'engrais de ferme (en noir sous forme de fumier, en gris sous forme de compost et en hachuré sous forme de lisier)

La seule situation où une régularité se retrouve est l'apport des engrais minéraux de synthèse dans le groupe des agriculteurs conventionnels.

En revanche il existe une différence importante entre les deux groupes d'agriculteurs dans la gestion de leur déjections animales : la transformation du fumier en compost est généralisée chez les agriculteurs biologiques. Elle n'est pas pratiquée par les agriculteurs conventionnels.

L'absence de régularité dans l'affectation de déjections animales à une parcelle est peut-être liée au statut sociologique du fumier. Le fumier est un produit vivant. Qu'il soit considéré comme un sous-produit dont on doit se débarrasser ou comme un co-produit à valoriser, il reste un objet non inerte qu'il faut gérer. Si la qualité chimique des fumiers est mal connue

des agriculteurs quand ils les utilisent, faute d'analyses systématiques, les agriculteurs doivent s'être construits une capacité à analyser leurs produits sur la base de signes pertinents (des indicateurs-terrain) qui déclencheront des règles d'action différentes (Reynaud, 2001). A l'inverse l'engrais minéral, produit non biologique et inerte, peut faire l'objet d'une régularité de traitement.

11 VERS UNE ETUDE SPATIALISEE ET PLURIANNUELLE DE LA GESTION DES DEJECTIONS ANIMALES

L'analyse des quantités d'azote d'origine organique ou minérale apportées dans notre échantillon fait apparaître des différences mais pas nécessairement dans le sens couramment attendu. De plus pour une question essentielle, la fertilisation des prairies, dans des situations où les logiques techniques sont données différentes et dans lesquelles les ressources disponibles ne sont pas les mêmes, on n'arrive pas à discriminer les pratiques d'épandage mises en œuvre par les agriculteurs conventionnels et biologiques.

Ce travail illustre l'intérêt de développer des études spatialisées et pluriannuelles de la gestion des déjections animales dans les exploitations agricoles. En effet, un tel travail permettrait de comprendre pourquoi dans des situations initiales différentes au regard de la fertilisation (accès aux engrais minéraux de synthèse), une partie des pratiques de gestion sont proches. Il permettrait aussi de compléter des travaux déjà réalisés (Caneill *et al.*, 1990 ; Bellon *et al.*, 1994) sur la liaison élevage-culture et la gestion d'un produit dont l'intérêt agronomique est reconnu.

Enfin, parce que l'agriculture est une activité complexe, l'agriculteur pour faciliter ses prises de décisions et la gestion de ses ressources (notamment le travail), organise ses activités en lots (Capitaine, 2005). Chaque activité fait l'objet de la définition d'entités fonctionnelles. Repérer ces entités pour la gestion des déjections animales, comme cela a pu être fait pour les apports d'engrais minéraux en grandes cultures (Soulard, 2002), peut permettre de comprendre les pratiques observées et les mécanismes de transferts de fertilité en jeu dans les exploitations.

CONCLUSIONS

L'analyse des pratiques d'allocation des déjections animales dans les exploitations agricoles est indispensable pour répondre aux enjeux environnementaux et énergétiques des activités agricoles aujourd'hui. Partant de l'hypothèse de l'existence de marges de manœuvre repérables par la comparaison des pratiques en agriculture biologique et en agriculture conventionnelle, nous nous sommes aperçu qu'il est difficile de différencier les pratiques d'allocation sur prairies entre les deux modes de conduite. Si nous restons convaincus de l'existence de ces marges de manœuvre, sources de changements potentiels, c'est par d'autres voies qu'elles devront être explorées. Nous proposons notamment d'affiner la connaissance des pratiques des agriculteurs et la compréhension du fonctionnement technique des exploitations par la mise en œuvre de suivis spatialisés et pluriannuels de la gestion des déjections animales dans les exploitations agricoles.

REMERCIEMENTS

Ce travail a bénéficié de la participation des intervenants du réseau d'élevage Agriculture Biologique Massif central coordonné par l'Institut de l'Élevage : Jean-Louis Lapoute (Chambre d'Agriculture de la Haute-Loire), Jean-Luc Reuillon (Institut de l'Élevage) et Régine Tendille (Chambre d'Agriculture de la Loire).

REFERENCES

- Aubry, C., Paillat, J. M. et Guerrin, F., 2006 - "A conceptual representation of animal waste management at the farm scale : The case of the reunion Island." *Agricultural Systems* 88: 294-315.
- Bellon, S. et Demarquet, F., 1994 - "Gestion des fumiers dans des exploitations de polyculture-élevage ovin dans les Préalpes." *Fourrages* 140: 523-541.
- Benoît, M., Deffontaines, J. P., Gras, F., Bienaimé, E. et Riela-Cosserat, R., 1997 - "Agricultures et qualité de l'eau. Une approche interdisciplinaire de la pollution par les nitrates d'un bassin d'alimentation." *Cahiers agricultures* 6: 97-105.
- Besnard, A., Montarges-Lellahi, A. et Hardy, A., 2006 - "Effets du type de nutrition azotée sur les gaz à effet de serre et le bilan énergétique pour différentes successions fourragères." Journées AFPP, Paris, AFPP.
- Bodet, J.-M., Hacala, S., Aubert, C. et Texier, C., 2001 - *Fertiliser avec les engrais de ferme*, IE, ITAVI, ITCF, ITP: 104.
- Boisdon, I., Alvarez, G., Andanson, L., Cougoul, C., Courtine, P., Lapoute, J.-L., Tendille, R., Reuillon, J.-L., Vaucoret, M. et L'Homme, G., 2005 - "Etude comparative des systèmes fourragers dans des exploitations laitières biologiques et conventionnelles du Massif central." Actes de la 4ème Journée Technique du Pôle Scientifique AB du Massif central, Brioude Bonnefont, Pôle Scientifique AB du Massif central.
- Caneill, J. et Capillon, A., 1990 - "La destination des déjections animales en montagne : un enjeu pour les relations entre activité agricole et préservation de l'environnement." *Fourrages* 123: 313-328.
- Capitaine, M., 2005 - "Organisation des territoires des exploitations agricoles. Impact du recours à des collectifs d'action : la conduite de chantiers de récolte en CUMA." thèse de doctorat en sciences agronomiques. Nancy, Institut National Polytechnique de Lorraine, INRA-SAD. 167.
- Charroin, T., Palazon, R., Madeline, Y., Guillaumin, A. et Tchakerian, E., 2005 - "Le système d'information des Réseaux d'Elevage français sur l'approche globale de l'exploitation. Intérêt et enjeux dans une perspective de prise en compte de la durabilité." Rencontres, Recherches, Ruminants, Paris.
- Katerji, N., Bruckler, L. et Debaeke, P., 2002 - "L'eau, l'agriculture et l'environnement. Analyse introductive à une réflexion sur la contribution de la recherche agronomique." *Courrier de l'environnement de l'INRA* 46: 39-50.
- Reynaud, B., 2001 - ""Suivre des règles" dans les organisations." *revue d'économie industrielle* 97: 53-68.
- Riedacker, A., Mousset, J., Bodineau, L., Racapé, J. et Theobald, O., 2006 - "Energie et effet de serre : quelles évolutions pour l'agriculture ?" journées AFPP, Paris, AFPP.
- Soulard, C. T., 2002 - "Logiques d'ajustement de la fertilisation azotée et organisation spatiale des exploitations agricoles". séminaire "Géographie des pratiques agricoles", Dijon.

GARE A LA BAISSSE DE LA BIODISPONIBILITE DU PHOSPHORE

Christian Morel, Bernard Le Clech², Monique. Linères et Sylvain. Pellerin

Unité Mixte de Recherche INRA-ENITA « Transfert sol-plante et cycle des éléments minéraux dans les écosystèmes cultivés »

Centre de Recherche INRA de Bordeaux - 71, avenue Edouard-Bourlau - BP 81 - 33883 Villenave d'Ornon cedex - morel@bordeaux.inra.fr

RESUME

Dans le cadre du programme Fertiagibio, une section de l'Unité Mixte de Recherche INRA-ENITA a étudié le statut phosphaté de sols cultivés suivant les pratiques de l'agriculture biologique sur des exploitations de polyculture stricte (sans élevage) converties à l'AB. Le constat de cette étude vient confirmer des résultats antérieurs : méfiance, la baisse de la biodisponibilité du phosphore guette les exploitations en polyculture converties à l'agriculture biologique. Le phosphore est après l'azote un élément indispensable au bon fonctionnement des végétaux.

MOTS-CLES : agriculture biologique, phosphore, fertilisation, phytodisponibilité.

L'évaluation de l'état du phosphore a été suivie sur cinq sols cultivés suivant les pratiques de l'agriculture biologique pour des exploitations en polyculture stricte. Ils ont été étudiés et comparés à des sols géographiquement voisins mais cultivés suivant des pratiques conventionnelles. Chaque couple de parcelles a un sol aux propriétés texturales quasi-identiques. Trois couples sont situés dans le sud-ouest de la France et deux dans la région de la Beauce (sol argilo-limoneux). Les cinq couples ont été aussi choisis pour couvrir une gamme aussi large que possible d'antériorité de conversion en agriculture biologique (entre 3 et 32 années).

1 PAS DE DIFFERENCE SUR LE PHOSPHORE TOTAL MAIS SUR LE PHOSPHORE DE LA BIOMASSE MICROBIENNE

La teneur en phosphore total est comprise entre 370 et 840 mg P kg⁻¹ selon les couples de sols, soit une moyenne de 670 mg P kg⁻¹ (environ 2300³ kg P ha⁻¹). **Le phosphore** est très majoritairement (70 %) **sous forme minérale**. Quel que soit le couple de parcelles, le mode de production n'affecte pas significativement les teneurs en phosphore total, minéral et organique. Par contre, le phosphore contenu dans la biomasse microbienne, qui ne représente que 1 à 2 % de la totalité, double dans les sols cultivés suivant les pratiques de l'agriculture biologique. Ce résultat est à relier à une teneur en carbone organique plus élevée dans ces mêmes sols.

²B. Le Clech, décédé en novembre 2004, était le porteur du programme Fertiagribio pour l'UMR TCEM. Il a, entre autres, participé à la coordination d'un ouvrage consacré à l'agriculture biologique (Agriculture biologique, 2003. Synthèse agricole, Lavoisier, Paris)

³ En considérant une épaisseur de sol de 25 cm et une densité apparente de 1,4.

2 CYCLE BIOGEOCHIMIQUE DU PHOSPHORE A L'ECHELLE DE LA PARCELLE (FIGURE 1)

Le phosphore apporté au sol subit de multiples transformations et passe entre les différents compartiments minéral, organique et microbien. Seule une petite fraction du phosphore présent dans le sol est susceptible d'être absorbée par les racines et les hyphes des champignons mycorrhizogènes du sol et participer à la nutrition des cultures. Cette fraction, souvent appelée phosphore biodisponible ou assimilable, est d'une importance capitale puisqu'elle conditionne la fertilité des sols. Au terme du cycle physiologique de la plante, la part non exportée retourne au sol. Cette circulation entre le sol, la plante et retour au sol constitue le cycle biogéochimique d'un élément. Dans les écosystèmes naturels, ce cycle est fermé et stationnaire puisque les entrées et les sorties de phosphore sont faibles et équivalentes. Dans les écosystèmes cultivés, l'exportation des récoltes hors de la parcelle modifie profondément ce fonctionnement puisqu'une quantité importante de phosphore biodisponible est également exclue du cycle. Cette sortie contribue à abaisser la fraction biodisponible ce qui peut affecter la fertilité du sol à plus ou moins long terme. Ce réservoir est donc au cœur du fonctionnement du cycle biogéochimique et conditionne tout particulièrement le flux de prélèvement de phosphore par la culture. La biodisponibilité du phosphore dépend potentiellement d'un grand nombre de réactions physico-chimiques et biologiques capables de libérer des ions phosphates dans la solution à partir des compartiments minéral, organique et microbien du sol. Ce sont les mêmes quel que soit le type de sol, son mode d'exploitation (grandes cultures, prairies, forêt), et les pratiques agricoles mises en œuvre dans le cadre de systèmes de productions. Par contre, ces mêmes facteurs peuvent modifier leur nombre et leur intensité de même que leurs interactions. En conséquence, l'importance relative de chacun de ces processus élémentaires dans le fonctionnement du cycle est probablement fonction des contextes et les pratiques agricoles.

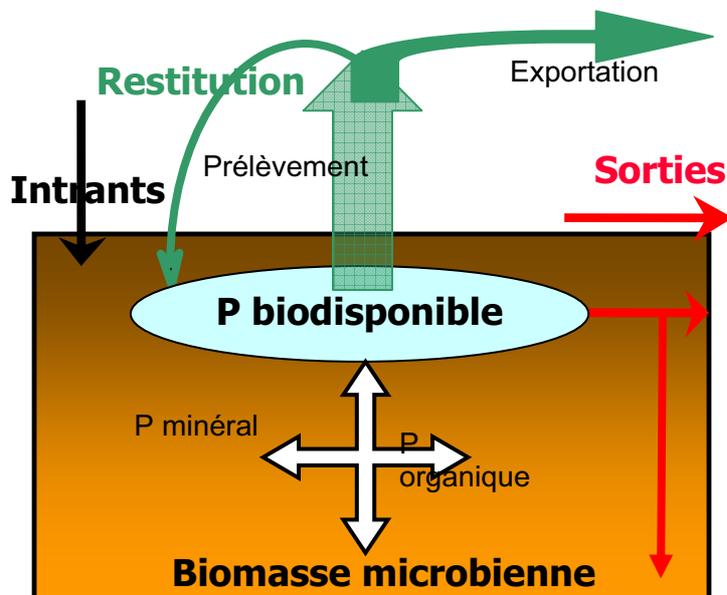


Figure 1 - Schéma du cycle simplifié de phosphore dans un écosystème cultivé présentant les flux possibles entre les différents réservoirs de phosphore. Les flèches en rouge signalent les flux de sorties de P vers l'environnement par érosion, ruissellement, écoulement hypodermique et migration en profondeur.

3 D'IMPORTANTES VARIATIONS DE CONCENTRATIONS EN PHOSPHATES EN SOLUTION SUIVANT LE SOL ET LE MODE DE CULTURE

Comme tous les éléments minéraux, le phosphore est prélevé par les racines et ses auxiliaires à l'état dissous sous forme ionique. Compte tenu des valeurs de pH (4,5 à 8,2) et des constantes acido-basiques de l'acide phosphorique, les deux espèces majoritairement présentes dans la solution, mais dans un rapport qui varie largement avec le pH, sont H_2PO_4^- et HPO_4^{2-} . **La concentration⁴ (Cp) des ions phosphates dans la solution de sol** (Tableau I) **varie largement** de 0,03 à 1,3 mg P l⁻¹ **entre les sols et les modes de culture**. Un calcul simple, concentration multipliée par le volume d'eau du sol à l'implantation d'une culture (de l'ordre de 2 500 m³), montre que 90 % à 99 % du phosphore prélevé par une culture (environ 20 à 30 kg P ha⁻¹) a pour origine la phase solide du sol.

Le passage entre les phases solide et liquide du sol est donc l'étape déterminante qui contrôle la biodisponibilité du phosphore. Compte tenu de la complexité de la géochimie du phosphore (grande variété de réactions possibles avec les minéraux phosphatés, les oxyhydroxydes de fer et d'aluminium, les phases carbonatées et les matières organiques du sol) le transfert d'ions phosphates à l'interface solide-liquide peut être assuré par plusieurs mécanismes que la racine voire certains micro-organismes du sol mettent en œuvre du fait même de leur activité métabolique (respiration, absorption). Ces activités modifient les conditions physico-chimiques du sol dans l'environnement immédiat de la racine. Parmi toutes ces modifications, il en est une qui contribue de façon prépondérante à la nutrition phosphatée dans les sols de grandes cultures cultivés de longue date par des pratiques conventionnelles. Il s'agit de l'abaissement de la concentration de l'élément dans la solution suite à l'absorption par les racines. L'existence même d'un gradient de concentration entre la surface de la racine, la solution et la surface de la phase solide du sol provoque le passage d'ions phosphates par simple diffusion moléculaire depuis les zones de concentrations élevées (phase solide du sol) vers des zones de moindre concentration (solution du sol et surface des racines). La quantité diffusible est fonction de l'espèce chimique et de sa concentration, de l'intensité et de la durée du gradient, du milieu traversé,...

4 DIFFUSION DES IONS PHOSPHATES A L'INTERFACE SOLIDE-SOLUTION DU SOL

Les travaux conduits par l'UMR TCEM ont permis de mettre en équation la dynamique des ions phosphates diffusibles à l'interface solide-solution du sol. Cette modélisation quantitative rend compte à la fois de la cinétique des réactions et des variations de la concentration dans la solution. A titre d'exemple, le tableau I présente la quantité d'ions phosphates diffusibles sur 1 jour (Pr1j) associée à la concentration mesurée (Cp). On y a joint des indicateurs, plus traditionnels mais moins pertinents, d'évaluation de la biodisponibilité du P que sont les extractions chimiques par le bicarbonate de sodium (Olsen) ou l'acide citrique (Dyer).

⁴ Cp est généralement estimée sur une solution filtrée de suspension de sol. Cette valeur est généralement très proche de la valeur mesurée dans une solution de sol *in situ*.

Tableau I - Biodisponibilité du phosphore dans les échantillons de sol de 5 couples de parcelles, les unes cultivées selon des pratiques conventionnelles (Conv) et les autres selon le cahier des charges de l'agriculture biologique (Bio). Pour un couple donné, des valeurs annotées par des lettres différentes sont statistiquement significativement différentes.

N° couple	Mode	Antériorité	Cp	Pr1j	P-Olsen	P-Dyer
(texture)		an	mg P L ⁻¹	mg P kg ⁻¹	mg P kg ⁻¹	mg P kg ⁻¹
4 (S)	Conv		1,3b	31a	55a	205a
4 (S)	Bio,	3	0,9a	35a	59a	189a
1 (ALS)	Conv		0,08b	42b	20b	48a
1 (ALS)	Bio,	16	0,04a	23a	12a	43a
6 (LSA)	Conv		0,50b	26b	29b	228b
6 (LSA)	Bio,	26	0,09a	16a	10a	147a
7 (AL)	Conv		0,44b	74b	49b	155b
7 (AL)	Bio,	32	0,04a	18a	12a	136a
8 (AL)	Conv		0,52b	58b	46b	159b
8 (AL)	Bio,	32	0,03a	20a	8a	122a

5 ALERTE ! BIODISPONIBILITE DU PHOSPHORE SYSTEMATIQUEMENT INFERIEURE EN AB

Tous les indicateurs sont **systématiquement inférieurs dans les parcelles cultivées selon les pratiques de l'agriculture biologique**. Le plus discriminant est la concentration des ions phosphates dans la solution du sol alors que l'extraction Dyer est la moins performante. L'écart entre les deux modes de culture augmente fortement avec l'antériorité de conversion en agriculture biologique. Dans les situations les plus anciennes, le niveau de biodisponibilité est proche de valeurs considérées comme pénalisantes pour le rendement selon des références établies en agriculture conventionnelle. Ces résultats, cohérents avec ceux obtenus par d'autres auteurs, montrent que l'entretien du statut phosphaté doit faire l'objet d'une vigilance particulière en agriculture biologique surtout pour les systèmes de production basés sur la seule polyculture (sans élevage). D'autres travaux indiquent en effet dans ce contexte que le bilan entre l'apport et la sortie de phosphore à l'échelle de la parcelle est régulièrement négatif. La répétition sur plusieurs décennies de bilan négatif est source d'une diminution conséquente de la biodisponibilité du P. Par ailleurs, l'emploi de formes d'engrais phosphatés (phosphates naturels et phospal) particulièrement insolubles peut paradoxalement accentuer ce déclin dans les sols neutres et basiques.

Pour conclure, cette étude, appuyée par nombre d'autres, peut être vue comme un **signal d'alerte d'une baisse de la biodisponibilité du phosphore dans les exploitations en polyculture converties à l'agriculture biologique**. Plus généralement, les pratiques associées à ce type d'agriculture, rotation à bases de légumineuses, d'engrais verts et de plantes à enracinement profond, incorporation dans le sol de matières organiques, soulèvent des **questions scientifiques fondamentales**. Celle, par exemple, de la prise en compte pour le diagnostic et le raisonnement de la fertilisation phosphatée de l'influence des processus biologiques (et donc du rôle du stock de phosphore organique et des micro-organismes du sol) dans l'interception, l'absorption du phosphore et plus généralement dans la circulation du phosphore au sein de l'écosystème. Celle, également de l'acquisition des référentiels adaptés au niveau de production de ces systèmes et à l'épandage de produits organiques spécifiques.

UNE MEILLEURE CONNAISSANCE DES ENGRAIS ET AMENDEMENTS ORGANIQUES UTILISES EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE

Christiane Raynal (CTIFL¹) et Bernard Nicolardot (INRA²)

¹ CTIFL- Centre de Lanxade - 24130 La Force

Tél. : 05 53 58 00 05 – Fax : 05 53 58 17 42 – raynal@ctifl.fr

² INRA - Unité d'agronomie de Laon-Reims-Mons - 2 esplanade R. Garros BP 224 - 51686

Reims cedex 2 - Tél. : 03 26 77 35 83 – Fax : 03 26 77 35 91 – nicolard@reims.inra.fr

RESUME

Quel que soit le système de culture, les agriculteurs biologiques ont besoin de références sur les engrais et amendements organiques qu'ils utilisent. Une étude de ces produits organiques était donc nécessaire dans le cadre du programme FertiagriBio. Elle a permis de compléter les connaissances de leur comportement dans le sol d'une part vis-à-vis de la fourniture en azote minéral, et d'autre part sur leur capacité à enrichir le stock en matière organique du sol. Ces propriétés ont été approchées par des tests d'incubation en conditions contrôlées et une caractérisation biochimique des produits organiques. Ces nouvelles connaissances concernent des produits organiques qui sont de plus en plus utilisés en agriculture biologique, pour lesquels on manquait de références. Ces produits sont souvent nouveaux sur le marché, comme les soies de porcs en provenance d'Espagne, ou les composts issus de plates-formes de co-compostage, de plus en plus nombreuses en France. Les résultats obtenus permettront aux équipes INRA associées au programme de compléter le paramétrage des modèles prédictifs de minéralisation de l'azote (STICS, Azodyn-Org) (INRA Toulouse, INRA Grignon + ISARA Lyon).

MOTS CLES : engrais organiques, amendements organiques, composition chimique, minéralisation, caractérisation biochimique.

1 QUINZE FERTILISANTS ETUDIES

Une enquête par sondage auprès des techniciens conseillers en agriculture biologique, des fabricants, des responsables de plates-formes de compostage, a permis de recenser les produits organiques les plus utilisés en agriculture biologique et de préciser les analyses à réaliser.

Par la suite, la liste des produits organiques retenus pour analyse a été établie selon plusieurs critères :

- niveau de représentation des produits organiques dans la pratique (en tenant compte de l'évolution de la gamme des produits proposés) ;
- défaut de données analytiques précises et complètes concernant les produits organiques en question, état de la situation déduit de la synthèse des résultats disponibles ;
- intérêt technique (références pour raisonner les apports organiques en agriculture biologique) et scientifique (paramétrage des modèles).

Sur ces bases, quinze produits ont été sélectionnés (tableau I) : cinq de type engrais et dix de type amendement.

Les produits retenus ont fait l'objet de travaux analytiques répartis en trois groupes :

- composition chimique : N total, N-NO₃⁻, N-NH₄⁺, C total, C organique, humidité et pourcentage de matière sèche ;

- fractionnement biochimique pour accéder à deux indicateurs de stabilité de la matière organique : ISB⁵ et CBM⁶ ;
- tests d'incubation en conditions contrôlées de laboratoire (température 28°C et humidité à la capacité de rétention en eau – pF 2,8, durée 91 jours). Ils rendent compte de la dynamique et du potentiel de minéralisation du produit.

Le programme d'analyses a été confié au LDAR⁷ à Laon.

Il est à noter que la norme NF U 44-051 "Amendements organiques" révisée prévoit des éléments de marquages supplémentaires par rapport à l'ancienne version, pour une meilleure information de l'utilisateur. Parmi ceux-ci, deviendront obligatoires la classification agronomique du produit basée sur le fractionnement biochimique d'une part, le potentiel de minéralisation du carbone et de l'azote, via les tests d'incubation, d'autre part.

2 DES TENEURS EN AZOTE DU SIMPLE AU QUINTUPLE

La teneur en azote total (g/100 g produit sec) varie de 3,8 à 14,3 % et de 0,8 à 3,4 % pour les engrais organiques et les amendements, respectivement (tableau I).

La proportion d'azote minéral ne dépasse pas 10 % dans le cas des engrais organiques mais peut atteindre des niveaux élevés, de 20 à près de 50 % (en grande partie sous forme ammoniacale) pour certains amendements organiques. A noter la richesse en azote des soies de porc, produit qui remplace de plus en plus souvent les farines de plume.

3 DES TENEURS EN CARBONE QUI NE SIGNIFIENT PAS GRAND CHOSE

La quantité de carbone présente dans les produits, et exprimée en g pour 100 g de produit sec, se situe dans des fourchettes de valeurs voisines pour les engrais et amendements organiques soit, respectivement, 18 à 49 % et 8 à 44 %. Ces pourcentages masquent cependant des différences importantes de constitution biochimique entre les engrais d'une part, les amendements d'autre part, différences qui peuvent être mises en évidence par la caractérisation biochimique de ces produits (voir plus loin figure 3).

Le rapport C/N, présenté comme un indicateur de biodégradabilité et calculé à partir des données ci-dessus, reste inférieur à 10 dans le cas des engrais organiques et peut dépasser 30 pour certains amendements organiques. Les limites de cet indicateur sont clairement mises en évidence avec l'absence de relation systématique entre le rapport C/N et les résultats des tests d'incubation.

⁵ Indice de Stabilité Biochimique

⁶ Caractérisation Biochimique de la Matière organique

⁷ Laboratoire Départemental d'Analyses et de Recherche (Laon, 02)

Tableau I : Teneurs en carbone et azote total et part de l'azote total sous forme minérale

	Nature du produit	C total	N total	N minéral
		(g/100 g produit sec)		(% N total)
Engrais organiques	Concentré de vinasse de betterave (Orgafor)	26,8	4,19	5
	Dérivé de la production de levure (Cedabior)	34,2	4,19	2,8
	Compost avicole et végétal (Orgaliz B+)	32,2	4,44	10,1
	Guano + farine de plume (Guanomag)	17,7	3,78	8,7
	Soies de porc	48,8	14,33	1,8
Amendements organiques	Déchets verts + fientes	13,7	1,23	3,7
	Fumier de cheval	44,0	1,42	21,1
	Déchets verts + fumier de cheval	19,2	1,32	1,3
	Fumier de volailles composté	30,8	3,42	20,8
	Compost de fumier de cheval 4 semaines	39,3	1,65	7,9
	Fumier de cheval frais	42,4	1,35	49,6
	Fumier de cheval composté	34,4	1,92	4,2
	Compost de déchets verts + fientes	35,7	3,29	34,7
	Déchets verts + fumier de bovins	7,6	0,79	6,3
	Fumier + tourteaux compostés (Vegor 70)	39,5	2,84	9,2

4 DES POTENTIELS DE MINERALISATION TRES VARIABLES

Réalisés en conditions contrôlées de température (28°C) et d'humidité (humidité équivalente à la capacité de rétention en eau), les tests d'incubation décrivent le potentiel de minéralisation du carbone et de l'azote. La cinétique de minéralisation est définie à partir de 9 mesures pour le carbone (1, 3, 7, 14, 21, 28, 49, 70 et 91 jours d'incubation) et 7 pour l'azote (0, 7, 14, 28, 49, 70 et 91 jours d'incubation). Le carbone et l'azote minéralisés sont exprimés en pourcentage des quantités de carbone et d'azote organiques présentes dans le produit à l'origine.

L'analyse des courbes de minéralisation du carbone et de l'azote (figures 1a, 1b, 2a et 2b) rend compte de la rapidité du processus de minéralisation pour les produits Orgafor et Cedabior, utilisés en fertirrigation. En trois jours à 28°C, plus de 40 % du carbone organique est minéralisé et au bout de 91 jours, il ne reste plus que 20 à 30 % de carbone sous forme organique. Par ailleurs, 42 et 26 % de l'azote se retrouvent sous forme minérale en sept jours d'incubation à 28°C pour Orgafor et Cedabior, respectivement. Par la suite, les produits évoluent très lentement. Soies de porc et Guanomag se comportent comme le produit Orgafor en ce qui concerne l'azote, tandis que Orgaliz B+ a un comportement comparable à celui de Cedabior.

Figure 1a : Carbone minéralisé (en % C organique du produit) pour les engrais organiques

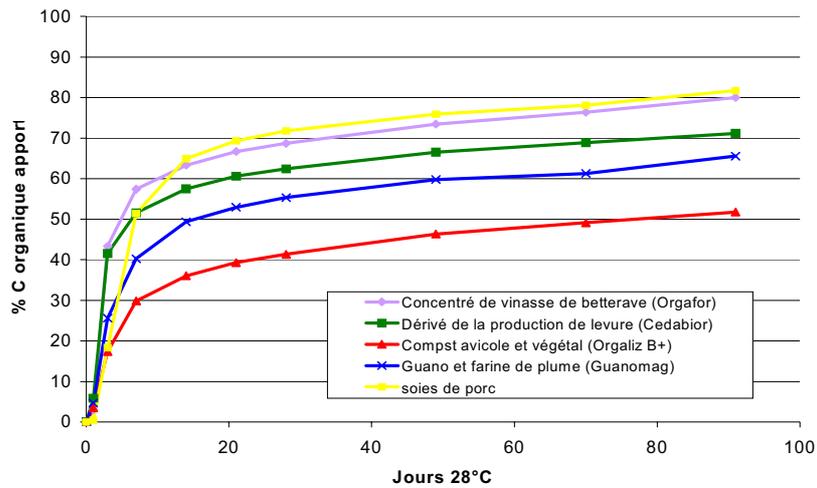


Figure 1b : Carbone minéralisé (en % C organique du produit) pour les amendements organiques

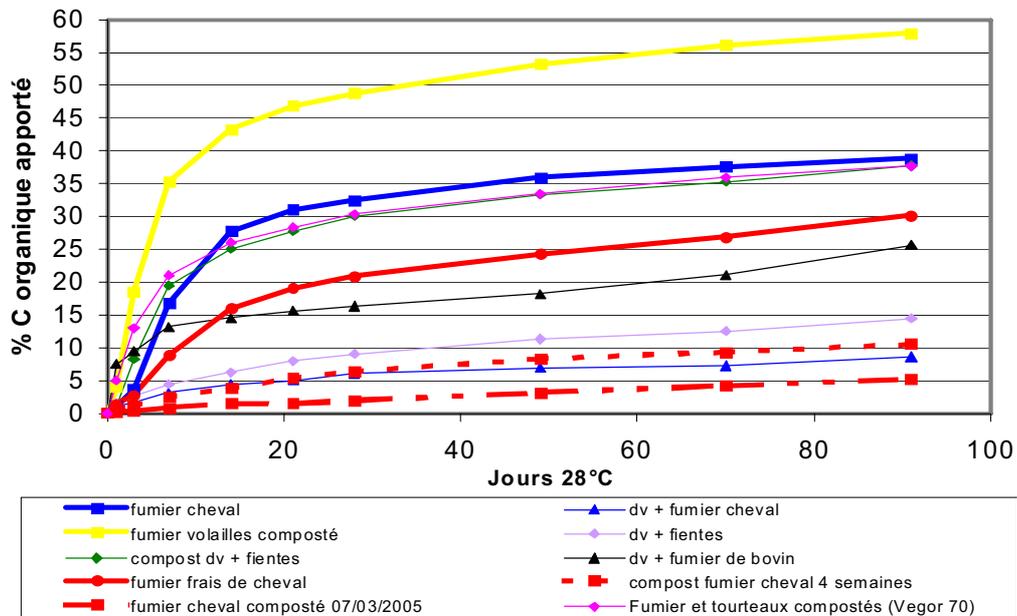


Figure 2a : Azote minéralisé (en % N organique du produit) pour les engrais organiques

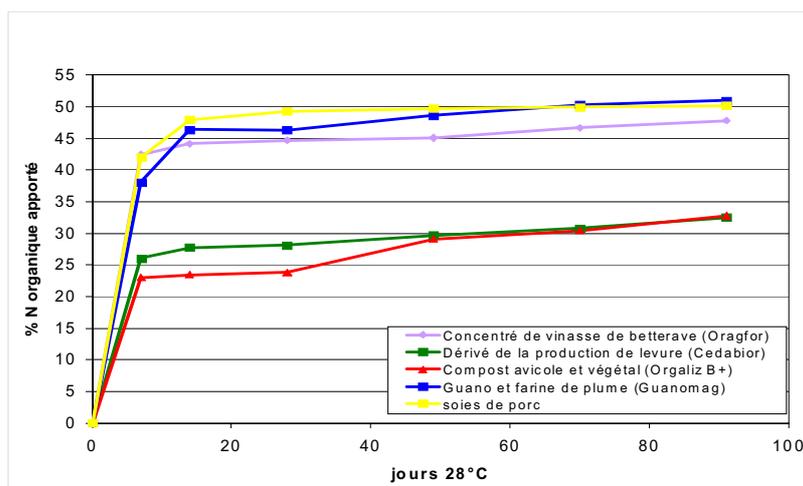
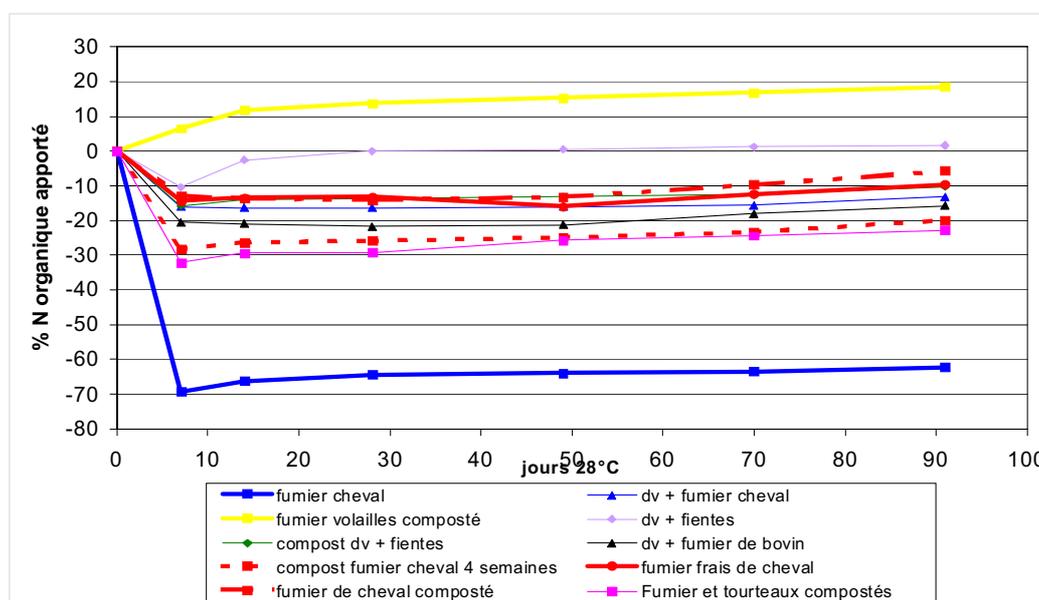


Figure 2b : Azote minéralisé (en % N organique du produit) pour les amendements organiques



Dans la catégorie des amendements organiques, le pourcentage de carbone organique minéralisé après 91 jours d'incubation à 28°C s'échelonne entre 5 et 60 % selon les produits et seul le fumier de volailles composté libère de l'azote (18 % de l'azote organique minéralisé à 91 jours d'incubation). Le mélange déchets verts + fientes induit une organisation de l'azote minéral pendant les 14 premiers jours d'incubation, puis se maintient à l'équilibre avant une très légère minéralisation nette (1,6 % de l'azote organique minéralisé à 91 jours). Tous les autres produits organiques étudiés organisent de l'azote minéral. Le phénomène se manifeste très rapidement, en 7 jours d'incubation, puis se stabilise, voire tend vers une réduction du pourcentage d'azote minéralisé qui atteint 6 à 23 % dans l'ensemble au terme des 91 jours d'incubation. Un produit se distingue des autres par le niveau d'organisation de l'azote minéral ; il s'agit du fumier de cheval dont le pourcentage d'azote organisé atteint 62 % à 91 jours.

Les tests d'incubation présentent un certain nombre d'atouts. Ils permettent :

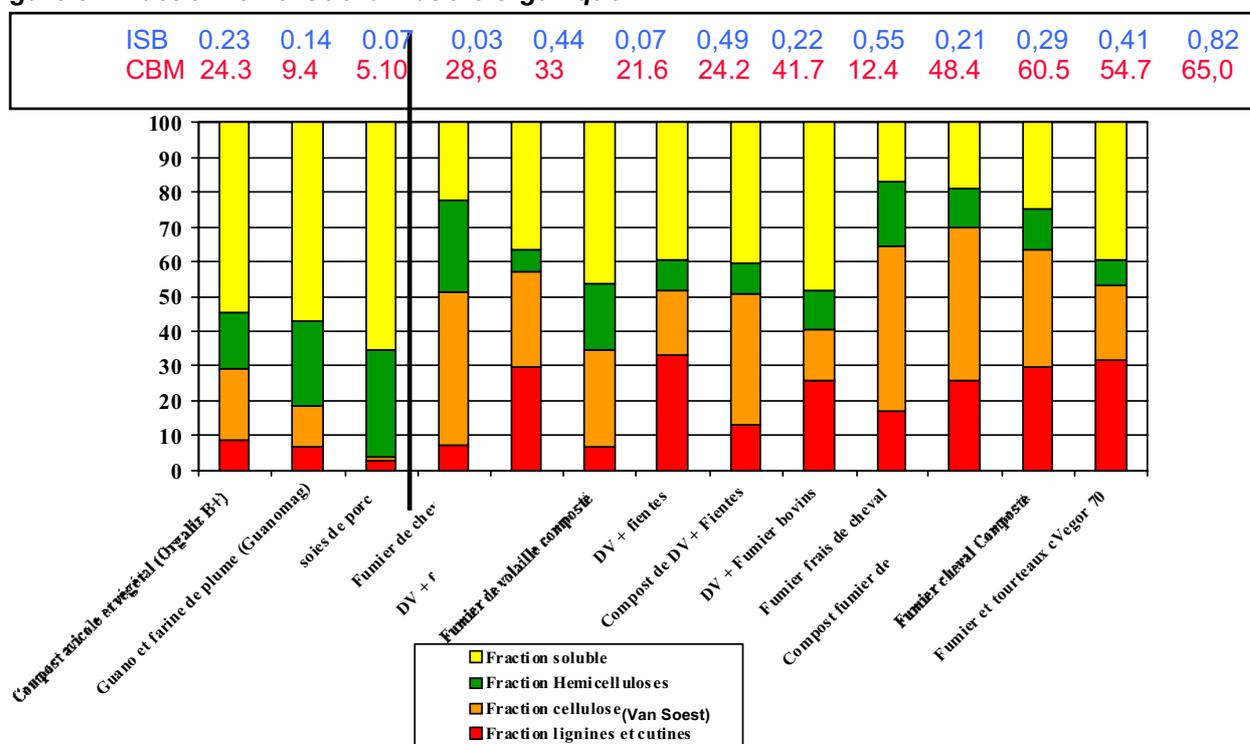
- de comparer les produits, de les classer par rapport à leur niveau de biodégradabilité ;
- d'acquiescer des références sur leur potentiel de fourniture en azote.

5 FRACTIONNEMENT DE LA MATIERE ORGANIQUE POUR PREVOIR L'EVOLUTION AU CHAMP

Les indicateurs de stabilité des matières organiques, ISB (indice de stabilité biochimique – Linères et Djakovitch, 1993) et CBM (caractérisation biochimique de la matière organique – Robin, 1997), reposent sur la détermination de quatre fractions : composés solubles, hémicelluloses, cellulose (méthodes de Weende et de Van Soest, pour ISB et CBM respectivement), et lignines/cutines.

Ils permettent d'évaluer la proportion de matière organique stable du produit et, en ce sens, de prévoir l'aptitude du produit à alimenter le stock de matières organiques stables du sol. La figure 3 présente la composition biochimique des différents produits et les valeurs ISB et CBM correspondantes. Les engrais organiques se caractérisent par l'importance de la fraction soluble et la faible proportion de lignines/cutines. En ce qui concerne les amendements organiques, la stabilité du produit augmente avec le compostage et l'introduction de déchets verts dans les mélanges.

Figure 3 : Fractionnement de la matière organique



Enfin, les données acquises sur les produits organiques utilisés en agriculture biologique dans le cadre du programme FertiagriBio contribueront à redéfinir l'indicateur de stabilité des matières organiques et à la définition de groupes ou classes en terme de potentialité de stockage à long terme du carbone dans les sols et d'effet à court terme et moyen terme concernant l'azote libéré par les produits organiques. Ces informations serviront de base aux éléments de marquage dans la future norme NF U 44-051 "Amendements organiques". Ce travail est effectué dans le cadre d'un projet (Consolidation d'un indicateur permettant d'évaluer les potentialités de stockage de carbone dans les sols et de disponibilité de l'azote via les épandages d'amendements organiques) financé par l'ADEME et est conduit par l'INRA en collaboration avec différents partenaires (laboratoires d'analyse des matières fertilisantes, producteurs d'amendements organiques).

DISPONIBILITE EN AZOTE PROVENANT DE PRECEDENT LEGUMINEUSE, DE CULTURE INTERMEDIAIRE ET D'ENGRAIS ORGANIQUE

CONSEQUENCES SUR LE RENDEMENT ET LA TENEUR EN PROTEINES DU BLE TENDRE D'HIVER

Loïc Prieur¹ et Eric Justes²

¹ CREAB Midi-Pyrénées, Auch, auch.creab@voila.fr

² INRA, UMR INRA-ENSAT AGIR, Toulouse-Auzeville, justes@toulouse.inra.fr

RESUME

Dans le cadre de l'appel à projet de l'ITAB et du CIAB-INRA sur le thème de la fertilisation en agriculture biologique, une dynamique de travail s'est initiée entre le CREAB MP et l'INRA Toulouse sur le thème de la fertilité des sols en exploitation biologique sans élevage.

Afin de mieux comprendre la disponibilité en azote tout au long du cycle cultural d'une culture de blé, deux dispositifs expérimentaux ont été mis en place sur la ferme expérimentale de La Hourre (Auch, Gers-32) permettant de mesurer les disponibilités en azote selon : i) le précédent cultural (féverole d'hiver et soja), ii) la mise en place de cultures intermédiaires (CI) (moutarde et vesce-avoine), iii) le fertilisant organique utilisé. De part la non levée de la culture intermédiaire (colza) semé dans le soja, ce dispositif fut modifié pour étudier un effet variétal (Renan et Caphorn) sur le rendement et la teneur en protéines. De plus une partie du dispositif est resté un an en sol nu (régulièrement travaillé superficiellement pour désherber) afin de calculer la dynamique de minéralisation des précédents avec et sans effet des cultures intermédiaires.

Les résultats présentés dans cet article sont issus de prélèvements réalisés au champ sur sol (de 90 à 120 cm de profondeur) et plantes (précédent, culture intermédiaire et variété de blé). Un modèle de simulation (Stics) fut également utilisé pour évaluer la dynamique de minéralisation et les pertes de nitrates sous 120 cm à partir des mesures réalisées en sol nu.

Les dispositifs mis en place ont permis : a) de quantifier l'azote minéral disponible au semis du blé selon le précédent et la présence de CI, b) de quantifier cette disponibilité en sortie d'hiver, c) de comparer l'effet de deux fertilisants organiques (farines de plume et vinasse de betterave), d) d'étudier la réponse de deux variétés distinctes de blé tendre. Enfin les mesures ont également permis de mieux connaître la dynamique de minéralisation de l'azote au cours d'un cycle cultural, en fonction des couples précédents/CI.

L'ensemble de ces résultats nous a permis de mieux connaître et de hiérarchiser les différents leviers sur lesquels les agriculteurs peuvent agir pour satisfaire au mieux l'alimentation azotée d'un blé tendre panifiable.

MOT CLES : agriculture biologique, disponibilité en azote, précédent cultural, culture intermédiaire, fertilisant organique, blé tendre panifiable.

1 OBJECTIFS DE L'ETUDE

Ce travail s'inscrit dans l'une des quatre tâches du projet FertiAgriBio, à savoir la tâche n°2 qui a pour but de : « connaître et prévoir la disponibilité en éléments minéraux provenant de diverses sources organiques ». Il s'agissait pour nous plus spécifiquement de comparer la disponibilité en azote provenant de différentes sources organiques : minéralisation de la matière organique du sol, effet des résidus de récolte de légumineuse à graine et de cultures intermédiaires, et efficacité d'engrais organique.

2 PRESENTATION DU DISPOSITIF

Les diverses sources organiques évaluées à la ferme de la Hourre (32) sont les suivantes :

- le précédent cultural légumineuse à graine : féverole d'hiver et soja,

- l'implantation de culture intermédiaire (CI), plantes pièges à nitrates (moutarde blanche) ou engrais vert (mélange vesce-avoine de printemps)
- la forme de fertilisant organique : farines de plumes hydrolysées et vinasse de betterave.

Deux parcelles distinctes, mais aux caractéristiques de sol proches (terrefort argilo-calcaire), correspondant aux 2 précédents légumineuse à graine ont été utilisées. Chacune a été découpée en trois répétitions.

- sur la parcelle précédent féverole (pailles enfouies), un dispositif en split-plot a été mis en place. Trois traitements ont été comparés : 1) sans CI semée, 2) semis de moutarde et 3) semis d'un mélange de vesce/avoine. Chacun de ces 3 traitements a ensuite été subdivisé en 3 modalités : a) une zone en sol nu pour suivre la dynamique de minéralisation en absence de tout prélèvement par les cultures (SN), b) une partie avec du blé non fertilisée (N0), et c) une partie avec du blé fertilisé (N80) par des farines de plumes (80 kg N/ha prévu) ; l'apport d'azote a été réalisé au stade épi 1 cm en une seule fois. Sur ce dispositif la variété de blé tendre semée était Renan.
- concernant la parcelle sur précédent soja, nous avons prévu d'étudier l'effet d'un colza semé sous couvert du soja fin août (après le début de sénescence des feuilles). Le colza n'ayant pas levé, le dispositif en split-plot a été en partie modifié pour étudier un effet variétal du blé. Trois traitements ont été comparés : 1) blé sans apport d'engrais organique (N0), 2) blé ayant reçu des vinasses de betterave (VIN) et 3) blé ayant reçu des farines de plumes (PLU). L'apport d'azote (80 kg N/ha prévu) a été réalisé au stade épi 1 cm en une seule fois. Chacun de ces 3 traitements a ensuite été subdivisé en 2 modalités : a) variété Renan, et b) variété Caphorn.

L'itinéraire technique réalisé sur chaque parcelle est présenté dans les tableaux I et II et l'analyse des fertilisants organiques est indiquée dans le tableau III.

L'expérimentation et les prélèvements de sol ont débuté à la récolte du précédent cultural en 2004 et se sont poursuivis jusqu'à la récolte du blé tendre en 2005.

3 DISPONIBILITE EN AZOTE MINERAL : DE LA RECOLTE DU PRECEDENT AU SEMIS DU BLE

Sur le précédent féverole, la biomasse des résidus restituée est de 3,6 t_{MS}/ha ce qui correspond à 47 kg d'azote/ha (1,3% d'N dans les tiges). Sur le précédent soja, la biomasse des résidus est de 1,7 t_{MS}/ha ce qui correspond à 19 kg d'azote/ha (1,1% d'N dans les tiges), sans compter toutes les feuilles tombées au sol préalablement.

Les résultats des quantités en azote minéral dans le sol, pour les deux précédents sont présentés à la figure 1. Pour le précédent féverole, nous observons une augmentation de la quantité d'azote minéral dans le sol au cours du temps liée à la minéralisation de l'humus et des résidus du précédent. Par contre, cette augmentation est nettement plus faible sur les zones avec CI, du fait de leur absorption d'azote. Ces mesures permettent de montrer que les CI peuvent limiter la quantité d'azote dans le sol en entrée hiver et donc diminuer les risques de pertes d'azote nitrique par lessivage hivernal. On peut aussi observer de fortes différences entre précédents : en novembre les reliquats après féverole sans culture intermédiaire atteignent en moyenne 118 kg d'N/ha sur 120 cm de profondeur (correspondant à la profondeur d'enracinement du blé suivant) alors que sur le précédent soja cette valeur est de seulement 60 kg/ha, ce qui s'explique par un cycle cultural différent de celui de la féverole et donc par une absorption du soja durant tout l'été conduisant à une faible quantité d'azote minéral en novembre, juste après sa récolte.

Tableau I : Itinéraire technique du blé précédent féverole

Date	Interventions	Outils	Remarques
14/07/04	Moisson	Moissonneuse	Rendement féverole 20,8 q/ha
03/08/04	Déchaumage	Déchaumeur à ailettes	Enfouissement des tiges
26/08/04	Reprise	Déchaumeur à ailettes	Destruction repousses
27/08/04	Semis CI	Semoir céréales en lignes	Moutarde 12 kg/ha ; vesce-avoine (30 + 40 kg/ha)
08/10/04	Labour	Déchaumeur à ailettes	Enfouissement de la CI
16/11/04	Reprise	Vibroculteur	Affinement du lit de semence
23/11/04	Semis	Herse rotative + semoir	Variété Renan Densité : 400 grains/m ²
07/02/05	Désherbage	Herse étrille	Agressivité moyenne
22/03/05	Désherbage	Herse étrille	Agressivité maximum
07/04/05	Fertilisation	Amazone type DP 12	Plume dose 74 kg d'N/ha
13/04/05	Désherbage	Herse étrille	Agressivité maximum
13/07/05	Récolte	Moissonneuse	

Tableau II : Itinéraire technique du blé précédent soja

Date	Interventions	Outils	Remarques
25/08/04	Semis Colza	Granulateur Delimbe	Absence de levée
08/10/04	Déchaumage	Déchaumeur à ailettes	Enfouissement des tiges de soja
16/11/04	Reprise	Vibroculteur	Affinement du lit de semence
23/11/04	Semis	Herse rotative + semoir	Variétés : Renan et Caphorn Densité : 400 grains/m ²
07/02/05	Désherbage	Herse étrille	Agressivité moyenne
22/03/05	Désherbage	Herse étrille	Agressivité maximum
07/04/05	Fertilisation	Amazone type DP 12	Plume dose 74 kg d'N/ha Vinasse dose 72 kg d'N/ha
13/04/05	Désherbage	Herse étrille	Agressivité maximum
13/07/05	Récolte	Moissonneuse	

Tableau III : Analyse des fertilisants organiques

Analyses	unités	Farine de plumes hydrolysées (PLU)	Vinasse de betterave (VIN)
Conditionnement		Bouchons	Liquide
Humidité à 105°C	(g/100g)	5,2	47,5
Matière sèche à 105°C	(g/100g)	94,8	52,5
Matière organique (calcination)	(g/100g)	91,8	30,6
Carbone organique (calcul)	(g/100g)	45,9	15,3
N total (Dumas)	(g/100g)	13,9	3,3
C/N		3,3	4,6
N ammoniacal (Berthelot)	(g/100g)	0,19	0,4155
N nitrique (Griess)	(g/100g)	<0,002	0,1083
Ratio N minéral / N total	%	1,4%	15,9%
P2O5 total	(g/100g)	0,76	0,28
K2O total	(g/100g)	< 0,424	6,9
Soufre total (SO3)	(g/100g)	4,1	3,3
Quantité de produit épandu	(kg/ha)	530	2180
Azote réellement épandu	(kg/ha)	74	72

4 DEVELOPPEMENT DES CULTURES INTERMEDIAIRES, PRECEDENT FEVEROLE

Le déchaumage du précédent féverole a eu lieu le 3 août, le semis des CI a été réalisé le 25 août (semis en combiné avec semoir céréales en ligne). Le déficit de précipitations a entraîné un retard de levée, qui est intervenue seulement le 17 septembre. Ainsi les CI n'ont eues que deux mois pour se développer. Toutefois les biomasses et quantités d'azote absorbées ont été non négligeables notamment pour la moutarde ([Tableau IV](#)), démontrant

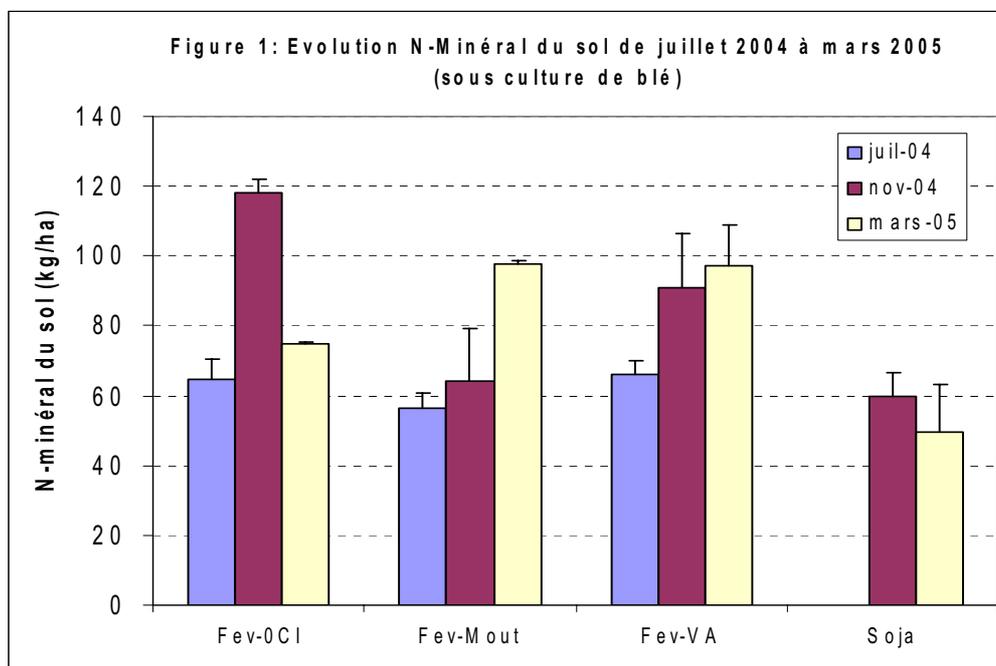
les fortes capacités de croissance de cette crucifère à l'automne. Le développement du mélange vesce-avoine a été plus hétérogène.

Tableau IV : Résultats des cultures intermédiaires précédant féverole

Culture intermédiaire	Moutarde	Vesce-avoine
Date semis	25 août 04	25 août 04
Densité semis	12 kg/ha	30 (vesce) & 40 (avoine) kg/ha
Date de levée	17 septembre	17 septembre
Date de destruction	15 novembre	15 novembre
Biomasse aérienne (kg _{MS} /ha)	Moutarde 1 041 kg Féverole 50 kg Total = 1091 ± 220 kg	Vesce 26 kg Avoine 151 kg Féverole 138 kg Adventices 174 kg Total = 490 ± 158 kg
Teneur en azote (%)	Moutarde = 4,2 % Féverole = 4,4 %	Vesce = 3,6 % Avoine = 4,3 % Féverole = 4,0 % Adventices = 4,5 %
N absorbé (kg/ha) parties aériennes	Total = 45 ± 8 kg/ha	Total = 22 ± 8 kg/ha

5 RESULTATS BLE TENDRE, PRECEDENT FEVEROLE

Au stade épi 1 cm, nous n'avons observé aucune différence entre traitements sur la culture du blé que ce soit pour les biomasses produites ou pour l'indice de nutrition azoté (INN). Par contre, l'incorporation des CI en novembre avant le semis du blé a permis d'avoir des quantités d'azote disponibles supérieures à celles sans CI (figure 1). Ceci s'explique par la minéralisation rapide des résidus de CI et/ou des pertes hivernales moins importantes dues à l'absorption d'azote des CI durant l'automne.



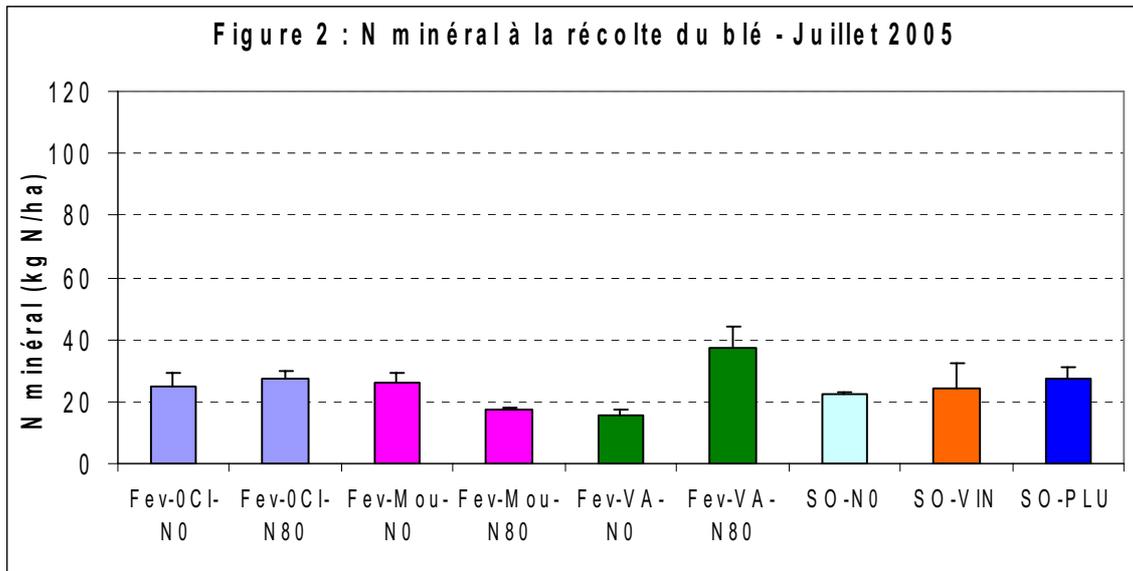
A la floraison l'étude statistique indique un effet favorable significatif des CI par rapport à la zone sans CI (INN CI = 0,66 contre 0,57 sans CI). A ce stade nous avons également observé une différence significative liée à la fertilisation (INN N0 = 0,61 ; INN N80 = 0,65).

Toutefois, à la récolte, ces différences n'ont plus été observées. Le rendement moyen aux normes a été de 41,2 q/ha et l'étude statistique n'indique pas d'effet significatif de la

fertilisation organique après CI (moutarde ou vesce-avoine). De plus, le précédent féverole suivi de vesce-avoine a permis d'obtenir de meilleurs rendements.

Pour les teneurs en protéines, la moyenne générale a été de 12,1%. L'analyse statistique indique un effet significatif de la fertilisation (+0,9%), mais également un effet favorable du couple de précédent féverole suivi de vesce-avoine.

Pour les quantités d'azote minéral retrouvées dans le sol après récolte (figure 2), on n'observe pas de différence significative entre traitements, ce qui indique que le blé a prélevé quasiment tout l'azote minéral qui était à sa disposition, qu'il ait été fertilisé ou non.



6 RESULTATS BLE TENDRE, PRECEDENT SOJA

Au stade épi 1 cm, nous n'avons observé aucune différence entre traitements pour la biomasse et l'INN du blé quelle que soit la variété analysée. De plus le niveau d'INN indiquait une importante déficience en azote.

A la floraison, il n'y a pas de différence entre traitement pour les biomasses produites, mais par contre pour l'INN et les quantités d'azote absorbées nous avons observé :

- Une différence variétale significative : INN Renan = 0,42 et INN Caphorn = 0,48. Cette différence ne s'est pas retrouvée au niveau des quantités d'azote absorbées.
- Une différence significative pour la fertilisation : INN N0 = 0,35 et INN N80 = 0,5. Pour les quantités d'azote absorbées, des différences ont été mises en évidence selon le fertilisant employé (mais sans différence entre variétés), avec N0 = 53 kg/ha ; PLU = 68 kg/ha et VIN = 86 kg/ha.

A la récolte, le rendement moyen était de 39,5 q/ha, sans différence significative entre variétés. Par contre nous avons observé des différences significatives pour la fertilisation et le fertilisant organique : N0 = 31,0 q/ha ; PLU = 40,2 q/ha et VIN = 47,3 q/ha. Il en est de même pour les teneurs en protéines où des différences significatives selon la variété et la dose d'azote ont été observées (mais pas de différence selon la nature du fertilisant).

- Renan (11,0%) a eu une teneur supérieure à Caphorn (10,4%) ;
- La fertilisation organique a permis un gain moyen de 0,5% de protéines.

7 EFFET DU PRECEDENT CULTURAL (FEVEROLE ET SOJA)

Pour étudier l'effet du précédent, n'ont été analysées en commun que les traitements identiques, soit : absence de CI, variété Renan et fertilisation avec des plumes hydrolysées. Les principaux résultats sont présentés dans le tableau V. Le précédent féverole est plus favorable que le précédent soja pour l'ensemble des variables analysées, à savoir : indice de

nutrition azoté, quantité d'azote absorbée, rendement et teneur en protéines. Ceci s'explique principalement par des quantités d'azote minéral du sol nettement plus élevées au semis du blé et en sortie d'hiver pour la féverole que pour le soja.

Tableau V : Effet du précédent sur la nutrition azotée, le rendement et la qualité du blé

Précédent & CI		N-min nov-04	INN Epi 1cm	INN floraison	N absorbé floraison	RDT à 15%	Protéines
	Unités	(kg/ha)	-	-	(kg/ha)	(q/ha)	(%)
Féverole moutarde	N0	78	0,78	0,63	136	38,4	10,3
	N80	48	0,78	0,64	139	38,8	10,8
Féverole vesce-avoine	N0	79	0,84	0,68	152	44,8	12,3
	N80	108	0,85	0,68	150	46,2	12,9
Féverole sans CI	N0	121	0,79	0,51	113	38,7	10,1
	N80	120	0,76	0,64	143	41,0	12,2
Féverole Moyenne sans CI		121	0,78	0,58	128	39,9	11,2
Soja sans CI	N0	63	0,57	0,38	75	31,6	9,3
	N80	67	0,61	0,41	79	39,7	10,3
Soja Moyenne		65	0,59	0,40	77	35,6	9,8

8 EFFET DU FERTILISANT ORGANIQUE

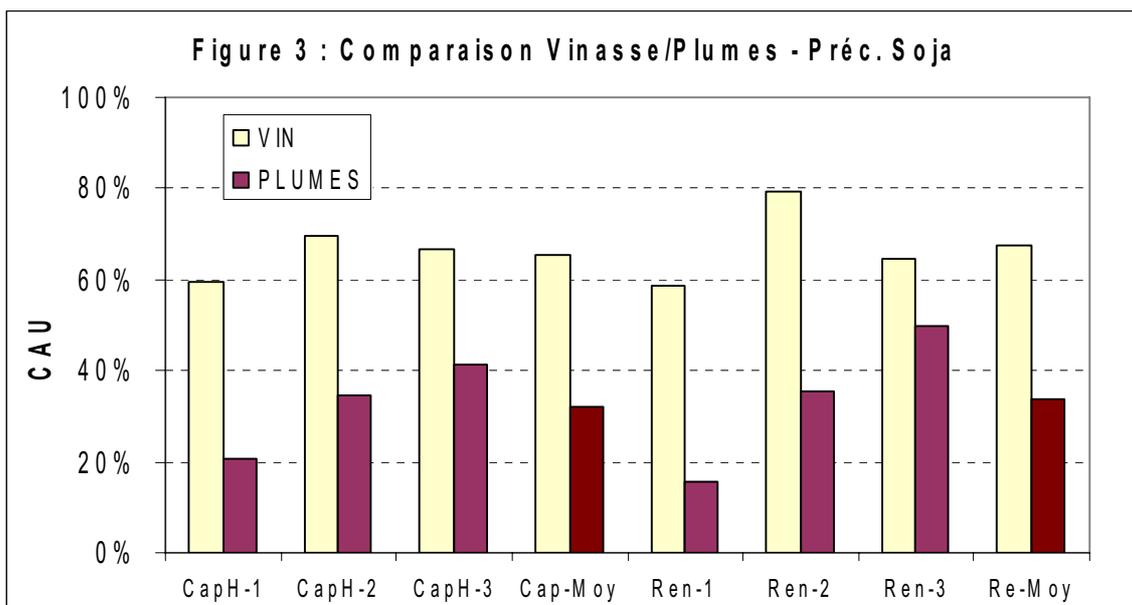
L'efficacité d'un même produit (farine de plumes, PLU) sur une même variété (Renan) s'est avérée très différent selon le précédent. Après féverole (sans CI), l'apport de PLU n'a pas eu de conséquence significative sur le rendement, mais a permis un gain de 1,3% de protéines. Par contre sur le précédent soja, l'apport de PLU a permis un gain significatif et important de 8,1 q/ha, et une augmentation non négligeable de 0,6% de la teneur en protéines.

Si l'on compare les deux fertilisants utilisés sur le précédent soja (VIN et PLU), on observe une différence d'efficacité importante. Pour les deux variétés confondues les résultats moyens des blés fertilisés ont été de : 40,2 q/ha pour PLU contre 47,4 q/ha pour VIN pour une teneur en protéines non significativement différente. Cela indique une meilleure efficacité des vinasses, illustré par un meilleur CAU (Coefficient Apparent d'Utilisation de l'engrais) de 67,5% pour les vinasses contre 33,6% seulement avec les plumes (*figure 3*).

Cette différence peut provenir d'une plus forte proportion initiale d'azote minéral (ammoniacal), 16% dans VIN contre 1,4% pour PLU, induisant une disponibilité plus précoce pour la vinasse. De plus, le conditionnement liquide des vinasses s'est avéré être un avantage par rapport aux bouchons de PLU qui nécessite des précipitations conséquentes pour être délités. Cette différence d'efficacité peut également s'expliquer par une différence au niveau des pertes par volatilisation d'ammoniac (hypothèse à vérifier).

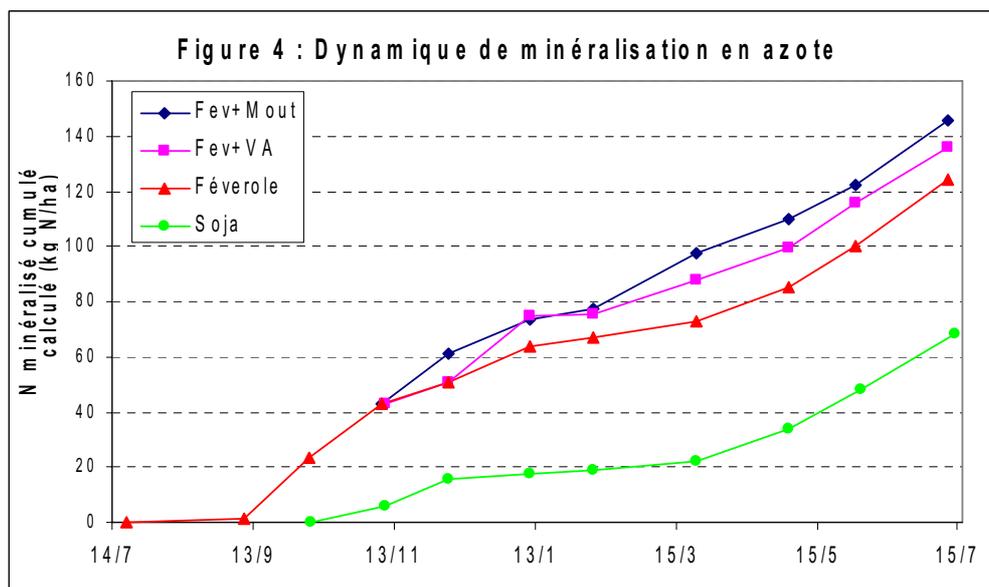
9 EFFET VARIETAL

Les différences observées entre les variétés Renan et Caphorn après soja n'ont concernées que la teneur en protéines, plus élevée de 0,6% pour Renan. Cela peut s'expliquer par une dynamique d'absorption d'azote post-floraison supérieure de Renan et une meilleure remobilisation des protéines vers les graines.



10 DYNAMIQUE DE MINÉRALISATION EN AZOTE DU SOL AVEC ET SANS CULTURE INTERMÉDIAIRE

Les zones en sol nu (sans prélèvement par les cultures) ont permis de calculer la dynamique de minéralisation en azote du sol sur la base de l'évolution des quantités d'azote minéral dans le profil de sol (figure 4). Sur environ 1 an, la minéralisation est de l'ordre de 120 kg N/ha pour la parcelle après féverole, ce qui est conséquent mais en accord avec le niveau attendu en fonction des caractéristiques physico-chimique du sol. Par contre, la minéralisation de la parcelle après soja est plus faible avec environ 70 kg N/ha en 9 mois, mais la minéralisation estivale n'a pas été évaluée, ce qui devrait représenter environ 40 kg N/ha supplémentaires pour arriver à un niveau proche de la parcelle ayant reçu le précédent féverole. La figure 4 montre également que la vitesse de minéralisation (pente de la courbe) a été supérieure après l'incorporation de vesce-avoine et plus encore de moutarde par rapport au sol sans CI. Par différence entre les traitements avec et sans CI, on peut estimer le surplus de minéralisation à 22 kg N/ha après moutarde et à 12 kg N/ha après vesce-avoine. Ce résultat explique en grande partie pourquoi le rendement et la teneur en protéines du blé sont supérieurs après CI.



CONCLUSION

Ces essais ont permis à la fois d'apporter des références nouvelles sur l'effet des précédents « légumineuse à graine » et des cultures intermédiaires, mais aussi de confirmer des résultats d'expérimentations déjà observés sur l'effet des fertilisants organiques. Ainsi :

- La féverole d'hiver laisse des quantités d'azote minéral dans le sol en entrée d'hiver bien supérieures au soja : 120 kg d'N/ha contre 65 kg d'N/ha dans notre essai. Cette différence s'est traduite par un rendement de blé supérieur de 7,1 q/ha et une teneur en protéines de Renan plus élevée de 0,6% en faveur du précédent féverole, ce qui est considérable. **Le précédent cultural est donc le premier levier, et sans doute le plus important, à prendre en compte (vis-à-vis de l'azote) pour améliorer le rendement et la teneur en protéines des blés en AB.**
- Les cultures intermédiaires ont permis de limiter fortement le reliquat azoté en entrée d'hiver tout en le maximisant en sortie d'hiver due à la minéralisation des résidus enfouis et/ou à une perte plus faible par lixiviation durant l'hiver. **Les CI constituent le second levier pour gérer les ressources en azote. En effet, il est important de ne pas perdre en hiver l'azote minéral provenant des reliquats et de la minéralisation du sol et des résidus du précédent cultural.**
- L'effet du fertilisant s'est avéré être en interaction avec le précédent. Il a permis un gain de teneur en protéines, mais son effet sur le rendement n'a été significatif qu'après soja lorsque les disponibilités en azote du sol se sont faibles. **Par contre, il existe une forte différence d'efficacité entre les farines de plumes hydrolysées et les vinasses de betterave**, ces dernières présentant un CAU supérieur à celui des plumes, d'où un gain de rendement ou de teneur en protéines significatif.
- Les différences entre les variétés Renan et Caphorn proviennent surtout de leur potentialité génétique ; Renan permettant d'atteindre des teneurs en protéines supérieures à celle de Caphorn. Ceci s'expliquerait par une différence de quantité d'azote absorbé à la floraison supérieur pour Caphorn par rapport à celle de Renan, expliquant un meilleur potentiel de rendement. Par contre, à la récolte c'est **Renan qui a finalement absorbé plus d'azote grâce à une meilleure absorption post floraison qui détermine fortement la teneur en protéines des grains.**

En conclusion, **on ne saurait trop insister sur l'importance de la nécessaire gestion intégrée des ressources en azote à l'échelle de la rotation et qui commence d'abord par le choix du précédent cultural au blé, précédent qui n'a pas la même valeur « azote », fut-il de légumineuses à graines.** Les CI et engrais verts constituent également un moyen *a priori* efficace pour augmenter les ressources en azote pour le blé suivant, ne serait-ce que pour limiter les pertes hivernales par lixiviation. Ainsi, cet effet positif ne semble pas plus aléatoire que l'efficacité des plumes hydrolysées ; l'efficacité de cet engrais organique étant rarement supérieure à 35%, comme en atteste les résultats obtenus au CREAB depuis quelques années et dans d'autres essais en France. Enfin, **il est important d'insister sur le fait que les CI ou engrais verts ne doivent pas forcément avoir des durées de cycle trop longues pour avoir une efficacité vis-à-vis des fournitures d'azote.** Ainsi, contrairement à une idée répandue, un cycle court de 2 à 3 mois peut être suffisant pour modifier sensiblement la disponibilité en azote du blé suivant ; **l'important c'est d'incorporer de la biomasse avec une teneur en azote élevée et non des organes trop lignifiés.** Il n'est donc pas utile de les semer trop tôt en été car il faut s'assurer que la levée soit rapide et homogène ; le semis doit donc être réalisé seulement après le 15 août pour bénéficier des premières pluies automnales qui permettront une bonne installation de la culture intermédiaire.

RAISONNEMENT DE LA FERTILISATION AZOTEE DU BLE ET DU COLZA BIOLOGIQUES

MISE AU POINT D'UN OUTIL D'AIDE A LA DECISION

Muriel Valantin Morison¹, Marie-Hélène Jeuffroy¹ et Christophe David²

¹ UMR INRA/Agro ParisTech d'Agronomie – 78850 Thiverval Grignon,
morison@grignon.inra.fr

² ISARA Lyon – 31 place Bellecour – 69288 Lyon – *davidc@isara.fr*

RESUME

Compte tenu du contexte actuel de l'agriculture biologique, et de l'effet marqué de l'azote sur la qualité des grains et la productivité des cultures et enfin de l'existence d'autres facteurs limitants, le raisonnement des apports de fertilisants et d'amendement apparaît stratégique. Le modèle azodyn org sur blé a été amélioré en prenant en compte, la contribution des engrais et amendements organiques (minéralisation et organisation des produits, volatilisation des produits), l'effet de la nutrition hydrique sur la croissance végétale, la minéralisation et l'absorption d'azote. L'intégration des effets du stress hydrique et de la volatilisation des produits organiques permet d'améliorer significativement les prédictions du modèle azodyn org sur blé. Ce modèle a dans un deuxième temps été adapté pour le colza. Dans le même temps des tests expérimentaux d'apports d'amendements ou de fertilisants sur colza ont permis de montrer que les apports d'automne en interaction avec d'autres éléments de l'itinéraires techniques comme la date de semis et le travail du sol, peuvent à la fois lever le facteur limitant mauvaises herbes et participer à l'élaboration du rendement. Néanmoins, les carences azotées printanières sont souvent très marquées même dans les cas d'apports d'automne bien valorisés par la culture. C'est pourquoi le modèle azodyn colza a été utilisé pour tester différentes stratégies de fertilisations de printemps. Les premières simulations montrent un gain de rendement quasi systématique mais de manière parfois aléatoire (sols superficiels) et faible (farine de plume sur sols superficiels). D'autres simulations et d'autres tests expérimentaux doivent être conduits afin de se traduire en préconisations de fertilisation de printemps sur le colza. Azodyn org sur blé a été simplifié (les données d'entrée sont facilement accessibles par l'utilisateur) ; il peut constituer, à terme, un outil utile pour proposer des stratégies de fertilisation azotée permettant d'accroître la teneur en protéines des grains (souvent trop basse en conditions d'agriculture biologique) et d'optimiser la rentabilité économique des engrais apportés. A partir de telles simulations, la construction d'abaques à l'échelle d'un bassin d'approvisionnement est une utilisation qui pourrait être proposée aux acteurs de terrain (agriculteurs, conseillers agricoles, collecteurs, ...) pour (i) juger de l'incidence des conditions de production sur la qualité et la productivité du blé biologique à l'échelle régionale, (ii) définir des stratégies de fertilisation adaptées aux conditions pédoclimatiques et agronomiques (type de systèmes de culture, présence ou risque d'apparition de facteurs limitants) de chaque parcelle et, à terme, (iii) garantir un meilleur contrôle de la qualité et de la productivité des lots récoltés par les collecteurs. Cependant, aussi bien sur colza que sur blé, d'autres facteurs limitants tels que les mauvaises herbes et le tassement du sol ont été identifiés et entrent directement en interaction avec la fertilisation azotée, réduisant parfois l'intérêt économique d'apports de couverture. Il en résulte que l'utilisation d'azodyn en conditions biologiques et le raisonnement de la fertilisation azotée sur ces deux cultures de manière plus générale ne peuvent pas être raisonnés indépendamment de la prévision des pertes de rendement induites par les facteurs limitant autres que l'azote tels que les mauvaises herbes, les ravageurs, les maladies et la compaction du sol.

MOTS-CLES : Azodyn-Org, blé, colza, fertilisation azotée.

1 CONTEXTE ET ENJEUX

Les rendements en céréales biologiques sont souvent limités et très variables. De plus, les teneurs en protéines du blé biologique sont souvent inférieures aux seuils de référence demandés par la meunerie (David et al, 2005). Actuellement, ces résultats techniques présentent des conséquences néfastes dans un contexte où l'offre nationale en céréales biologiques excédentaire conduit à forte baisse des prix.

La nutrition azotée des cultures intervient directement sur la productivité et la qualité des récoltes. Elle est principalement assurée par l'utilisation d'amendements ou d'engrais organiques déterminée par le coût des produits et leur accessibilité. Le blé et le colza se caractérisent par des cinétiques et des capacités d'absorption d'azote différentes induisant des niveaux de restitutions pour les cultures suivantes différents, ce qui en fait des modèles d'étude complémentaires.

Le développement du modèle Azodyn permet de simuler les conséquences de différents régimes de fertilisation azotée sur le rendement et la qualité des grains du blé et du colza (Jeuffroy, Recous, 1999 ; Valantin-Morison et al., 2003). Ce modèle s'appuie sur les travaux du devenir de l'azote dans le sol (équipe d'Agronomie INRA de Laon) et sur les acquis du fonctionnement écophysiological du blé et du colza. Récemment, ce modèle a été adapté à la production de blé biologique (David et al, 2005, 2006), notamment par une prise en compte des apports d'azote sous forme organique et une prise en compte des facteurs limitants sur les pertes de rendement. La nutrition azotée du blé biologique au cours du cycle peut être améliorée grâce à l'utilisation raisonnée d'engrais organiques au printemps. Ainsi le modèle Azodyn-Org permet d'identifier les stratégies de fertilisation organique de printemps économiquement intéressantes en fonction des conditions de production de la parcelle. Toutefois, **il reste à adapter l'outil à une gamme plus large de fertilisants organiques, aussi bien sur blé que sur colza et à élargir sa validation en parcelles agricoles.**

Sur la culture de colza, les travaux expérimentaux menés en agriculture conventionnelle ont montré que (i) les carences azotées automnales de la culture pouvaient être levées grâce à des apports de printemps sans incidence sur le niveau de productivité (Colenne et al., 2002) ; (ii) les capacités d'absorption du colza en automne sont très élevées (200kg/ha) et peuvent induire des effets d'étouffement des adventices (Ferré et al., 2000) (iii) les feuilles tombées en automne et en hiver et les réserves faites dans le pivot peuvent reminéralisées et être remobilisées pour les besoins de la culture au printemps (Dejoux et al., 2000). L'ensemble de ces connaissances a orienté un travail de tests d'itinéraires techniques appliqués en production biologique pour valoriser les amendements ou fertilisants avant le semis et limiter la compétition des mauvaises herbes. En effet, un diagnostic agronomique (Valantin-Morison et al., 2006) a démontré la nuisibilité des mauvaises herbes ainsi que l'importance de la disponibilité de l'azote à l'automne. **Il apparaît donc indispensable de raisonner les apports d'azote en interaction avec d'autres facteurs limitants.**

Dans un deuxième temps, Il apparaît opportun de se **servir des outils de modélisation pour décrire** puis tester de **nouvelles stratégies de fertilisation** : le report vers le printemps de l'azote absorbé à l'automne permettra-t-il de satisfaire les besoins en azote de la culture, compte tenu d'un objectif de rendement plus faible qu'en agriculture conventionnelle ? Faudrait-il envisager un complément de fertilisation de printemps par un engrais organique à minéralisation rapide ?

Mais la performance du modèle à définir des stratégies de fertilisation optimales est subordonnée à sa capacité à prévoir la perte de rendement induite par les différents facteurs limitants présents sur la parcelle en fonction de leur nature et de leur intensité (David et al., 2004). Or ce modèle n'intègre pas actuellement de moyens de caractérisation de l'incidence de la compétition des adventices et de la compaction du sol.

2 OBJECTIFS DES TRAVAUX ENGAGES

2.1 Amélioration de la prédiction du modèle

- Améliorer la prise en compte de la contribution des engrais et amendements organiques (minéralisation et organisation des produits, volatilisation des produits).
- Améliorer la prise en compte de la nutrition hydrique sur la croissance végétale, la minéralisation et l'absorption d'azote.
- Améliorer les fonctions de perte de grains et de sénescence.

2.2 Raisonement de la fertilisation azotée du colza biologique

- Tester expérimentalement sur colza des scénarios d'utilisation de l'azote de différents produits organiques apportés avant le semis, pour valoriser au mieux l'azote apportée et limiter la compétition par les mauvaises herbes.
- Construire avec le modèle Azodyn colza des scénarios de fertilisation d'automne et de printemps.

2.3 Construction d'un outil d'aide à la décision de la fertilisation azotée du blé biologique

- Améliorer la prise en compte des facteurs limitants autres que l'azote pour aider à la décision de la fertilisation azotée de couverture.
- Préciser l'utilisation potentielle du modèle Azodyn-Org en tant qu'outil d'aide au raisonnement de la fertilisation azotée.

3 MATERIELS ET METHODES

3.1 Amélioration de la prédiction du modèle

3.1.1 Description du modèle azodyn

Azodyn pour le colza et pour le blé simule la dynamique de fourniture en N dans le sol, en tenant compte de la minéralisation de l'humus, des résidus du précédent et des feuilles tombées, de l'efficacité d'utilisation de l'engrais apporté et des risques de lessivage tout au long du cycle. Le module plante simule la croissance et l'absorption d'N par la culture puis, en fonction de l'évolution simulée de l'état de nutrition azotée du couvert, les conséquences sur le rendement, la teneur en huile et en protéines des graines et le reliquat d'N dans le sol à la récolte. Les entrées du modèle, choisies pour être simples d'accès, caractérisent le sol de la parcelle et le climat.

Certaines spécificités sur le colza rendent la gestion de la fertilisation délicate : (i) la culture peut absorber des quantités d'azote très élevées à l'automne ; (ii) une part très variable de cet azote absorbé à l'automne est perdu du fait de la chute des feuilles pendant l'hiver, processus lui-même très variable entre années, (iii) l'azote des feuilles tombées est soumis à une minéralisation pendant le printemps suivant et cet azote minéral peut alors être réabsorbé par la culture, mais il existe une forte variabilité de la quantité d'N effectivement réutilisée par la culture, du fait des pertes gazeuses importantes qui peuvent se produire lors de la décomposition des feuilles tombées à la surface du sol, (iv) les conséquences de carences azotées temporaires sur le rendement et la qualité des graines sont très variables, fonction de leur période d'occurrence au cours du cycle cultural, et de leur intensité. Ces spécificités ont été intégrés dans la version pour le colza, ce qui occasionne les différences entre blé et colza suivantes : simulation dès le semis ; compartiments de biomasse mortes et vertes, minéralisation des feuilles tombées. Pour en savoir plus, se référer à Jeuffroy, Recous, 1999 ; Valantin-Morison et al., 2003.

3.1.2 Contribution azotée des amendements et engrais organiques

Caractérisation des produits organiques

La prédiction de la contribution azotée des engrais et des amendements organiques se base sur l'intégration dans le modèle des cinétiques de minéralisation, obtenues en conditions contrôlées, transférées en conditions réelles au travers une fonction de température et d'humidité (David et al, 2004).

Le modèle intègre actuellement les engrais organiques (farine de plumes, guano, soies de porcs, vinasse de betterave), les amendements non compostés (fientes de volailles, fumier de volailles, fumier de bovins, fumier de cheval et déchets verts) et les composts (compost de fumier de bovins, compost de fumier de volailles, compost de déchets verts, compost de déchets verts et de fientes, compost de déchets verts et de fumier de cheval et compost de déchets verts et de fumier de bovins) les plus utilisés en céréaliculture biologique.

3.1.3 Démarche générale

L'amélioration du modèle s'est faite grâce à la comparaison de 32 versions du modèle Azodyn, variant par une ou plusieurs fonctions mathématiques issues soit de la littérature soit d'essais au champ (21 essais en conditions conventionnelles soit 91 traitements, 5 essais utilisant des engrais organiques en situations contrôlées soit 36 traitements et 17 essais en conditions biologiques soit 130 traitements). Les versions du modèle diffèrent par :

- La prédiction de l'effet d'un stress hydrique sur le système sol-plante. Six fonctions ont été comparées pour prédire l'influence du stress hydrique sur la minéralisation de l'azote du sol. Douze fonctions ont été comparées pour prédire l'effet du stress hydrique sur la croissance végétative et l'absorption d'azote de la culture.
- La prédiction de la volatilisation d'ammoniac de l'engrais organique ou minéral appliqué sur la culture, en fonction de la pluie (quantités et dates) et/ou de la vitesse de croissance à la date de l'apport d'engrais (7 fonctions).
- La relation entre la perte d'azote dans les organes végétatifs pendant la période de remplissage des grains et la réduction de la surface foliaire verte des feuilles (3 fonctions).
- La réduction du nombre de grains en fonction de l'évolution de l'indice de nutrition azotée durant la phase végétative ou à la floraison (3 fonctions).

La procédure d'évaluation a été réalisée en 7 étapes comme décrite dans l'article de David et al., 2006. Elle repose sur la recherche de la version de modèle ayant la meilleure qualité prédictive en testant pas à pas l'incidence du stress hydrique sur les témoins non fertilisés, puis la prédiction de la volatilisation et du stress hydrique sur des essais fertilisés, puis enfin l'incidence de la sénescence foliaire sur l'ensemble des traitements fertilisés ou non.

La comparaison des différentes versions du modèle a été basée sur le calcul de l'erreur moyenne de prédiction (Root Mean Square Error of Prediction, RMSEP), en comparant les valeurs observées et prédites (Wallach and Goffinet, 1987) sur des variables intermédiaires étroitement reliées aux fonctions évaluées (accumulation d'azote, nombre de grains, biomasse aérienne), mais aussi sur le rendement et la teneur en protéines des grains. Le biais et la variance moyenne ont également été pris en compte pour le choix définitif du modèle. Le biais indique une erreur systématique (sous- ou sur-estimation) par le modèle. La variance moyenne caractérise la capacité du modèle à rendre compte de la variabilité observée.

3.1.4 Base de données

La base de données comprend des expérimentations en conditions conventionnelle et biologique, sur blé. Les 21 essais en conventionnel étaient localisés dans 19 sites en France implantés entre 1991 et 2002. La base comprend 9 traitements non fertilisés et 82 traitements fertilisés avec des quantités d'azote apporté variant entre 40 et 300 kg N.ha-1. Les dates d'application variaient entre la sortie hiver et l'épiaison. Les 4 essais utilisant des engrais organiques en conditions contrôlées ont été localisés sur deux sites entre 1998 et 2000. Les apports d'engrais organiques oscillaient entre 60 et 180 kg N.ha-1. Les dates d'application variaient entre la sortie hiver et la sortie de la dernière feuille. Dans ces essais,

les maladies, insectes et ravageurs ont été contrôlés. Les essais au champ en conditions biologiques étaient situés dans 15 lieux en France, entre 1994 et 2003. Quatre types d'engrais organiques ont été testés : farine de plumes (66 traitements), guano (11 traitements), vinasses de betterave (26 traitements) et fientes de volailles (6 traitements). La dose appliquée variait entre 0 et 210 kg N.ha⁻¹. La date d'application variait entre la sortie hiver et l'épiaison. Les résultats présentés ci-après (partie 4.1) sont issus des essais menés en conditions contrôlées.

3.2 Raisonement de la fertilisation azotée du colza biologique

Des itinéraires techniques ont été conçus puis testés en parcelles agricoles sur colza biologique afin de (i) repérer les conditions de valorisation de l'azote disponible sur l'exploitation et (ii) limiter la compétition causée par les mauvaises herbes. La conception d'itinéraires techniques s'est appuyée sur des travaux menés en agriculture conventionnelle sur les semis très précoces (Colnenne, 2002 ; Dejoux, 2000 ; Ferré et al., 2000). Les principales hypothèses déduites de ces travaux sont les suivantes :

- un semis très précoce (avant le 15 août) sur un sol riche en azote permet une très bonne valorisation de l'azote disponible et l'installation rapide d'un couvert végétal important limitant la compétition des mauvaises herbes ;
- un semis très précoce permet de piéger l'azote du sol, utilisable par la plante pour satisfaire ses besoins de printemps ;
- un semis précoce permet plus fréquemment qu'un semis à date normale (après le 25 août) d'esquiver les attaques de limaces et d'autres ravageurs d'automne (altises, tenthrèdes...).

C'est sur la base de ces éléments et des résultats du diagnostic qu'ont été construites les stratégies testées chez les agriculteurs. Une première stratégie, dite d'évitement, basée sur des semis précoces (SP avant le 15 août), denses (50-60 plantes / m²), sans faux semis, a pour objectif de fixer rapidement l'azote disponible pour assurer une croissance en biomasse compétitive vis-à-vis des adventices. Une deuxième stratégie plus « curative » basée sur un semis à date normale (SN), avec un écartement de 35 cm et apport de matière organique (amendements de type composts de fumiers de bovins, cheval, ou fientes de volailles ou fertilisants du type vinasse ou fientes de volailles), a pour objectif de lutter contre l'enherbement.

Ces tests ont été réalisés en parcelles agricoles chez 12 exploitants et sur 15 parcelles : 3 dans la Drôme en 2001, 4 en Eure et Loir 2002, 3 dans l'Yonne en 2002, 2 dans le Puy de Dôme entre 2001 et 2002. Chaque agriculteur a testé les 2 itinéraires techniques en bandes de 9 m de large minimum sur 500 m voire plus. L'un d'entre eux a tenté une troisième stratégie avec labour sur semis précoce. Les parcelles de test oscillaient entre 1 et 11 ha. Les rendements ont oscillé entre 2 et 21 q/ha, les semis précoces ayant obtenu les meilleurs résultats uniquement en sols profonds.

Afin de définir des stratégies d'apports de fertilisants de couverture au printemps avec le modèle azodyn colza, quatre scénarios d'apports de fertilisants ont été testés : 1 apport de vinasse à deux moments du cycle ; puis 1 apport de farine de plumes (équivalent 60 U) aux deux mêmes moments du cycle. Ces scénarios ont été testés sur 10 années climatiques différentes en région Ile de France sur deux types de sols : limoneux argileux profonds (120 cm) et argilo-calcaire superficiels (50 cm). L'ensemble de ces scénarios a été testé en comparaison de stratégies d'apports d'amendement automnales (déchets verts et fumier de cheval compostés) seulement.

3.3 Construction d'un outil d'aide à la décision de la fertilisation azotée du blé biologique

L'utilisation in fine du modèle Azodyn-Org pour définir des stratégies de fertilisation azotée du blé biologique nécessite une évaluation de la performance de l'outil dans divers contextes pédoclimatiques. Ainsi, une dizaine d'essais mis en place par l'intermédiaire des techniciens

du CREAB (32), du GAB Ile de France (92, 78) et de la chambre régionale d'agriculture des Pays de la Loire (49, 53) ont complété les essais menés précédemment (cf David et al, 2005b).

Au total, le modèle azodyn-org a été testé sur 17 parcelles de blé biologique comprenant 130 stratégies de fertilisation. Seules les stratégies de fertilisation basées sur un apport de printemps à base de farines de plumes ou de guano ont été valorisées dans ce travail.

4 RESULTATS ET DISCUSSION

4.1 Amélioration de la prédiction du modèle

L'insertion de fonctions simulant l'effet du stress hydrique sur le système sol-plante a nettement amélioré les prédictions sur la teneur en protéines des grains et le rendement des traitements non fertilisés (N0) et fertilisés (N) (étapes 1 à 3, figures 1a et 1b). La meilleure fonction pour prédire le stress hydrique affecte (i) la contribution nette des résidus du précédent et de l'humus à la disponibilité d'N dans le sol, (ii) l'efficacité d'utilisation du rayonnement. La prise en compte de la volatilisation des engrais (étape 4 figures 1a et 1b) n'a pas conduit à une amélioration sensible du modèle sur le rendement et la teneur en protéines des grains. Néanmoins, la version retenue confirme que la volatilisation issue de l'engrais appliqué dépend de l'état hydrique du sol au moment de l'apport et de la vitesse de croissance de la culture au moment de l'apport (Limaux et al., 1999). Dans la plupart des versions testées, la variance moyenne était supérieure au biais, indiquant une difficulté du modèle à rendre compte de la variabilité observée.

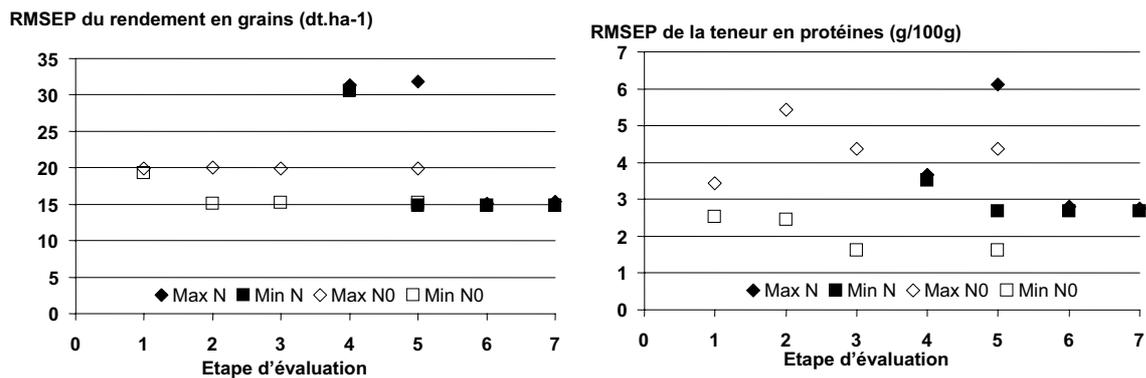


Figure 1: Evolution de la RMSEP du rendement (1a) et de la teneur en protéines des grains (1b) au cours de l'évaluation des différentes versions du modèle : valeurs minimum et maximum obtenues sur les différentes versions testées, à chaque étape, sur les traitements fertilisés (N) et non fertilisés (N0) en conditions contrôlées.

Cette méthode nous permet d'améliorer les prédictions du modèle, principalement grâce à l'insertion d'un module hydrique. Cependant, l'utilisation d'Azodyn en conditions biologiques requiert la prévision des pertes de rendement induites par les facteurs limitants autres que l'azote tels que les mauvaises herbes, les ravageurs, les maladies et la compaction du sol. Les recherches en cours sont centrées sur la mise au point d'indicateurs précoces des pertes de rendement induites par ces facteurs limitants (cf § 4.3.2).

4.2 Raisonnement des apports d'amendements et de fertilisants sur le colza biologique

4.2.1 *Les tests expérimentaux pour valoriser l'azote et lutter contre les mauvaises herbes en colza biologique*

L'azote apporté au moment du semis a été valorisée par la culture dans un certain nombre de cas : si l'on retient les parcelles autour de la bissectrice -30%, on remarque que ce sont 3 parcelles de la Drôme (26) en 2001, 1 parcelle du Puy de Dôme et trois dans l'Eure et Loir en 2002 (figure 2A). Ces parcelles sont caractérisées par de faibles biomasses de mauvaises herbes (entre 1 et 15 % de ratio biomasse de mauvaises herbes). L'utilisation automnale de l'azote par le colza s'est faite d'autant mieux que la date de semis était avancée (figure 2B). Les situations labourées ont été également plus favorables pour l'absorption d'azote, essentiellement en raison de l'effet du labour sur la réduction des repousses du précédent céréale. Les situations où l'azote absorbée par la culture semée plus tôt étaient inférieures à l'azote absorbée par la culture semée plus tard, se caractérisaient par un sol très superficiel (89-2002P) ou une structure du sol défavorable à l'utilisation de l'azote (89-2002Q) ou une forte densité de repousses du précédent céréale. Lorsque l'avancement du semis s'accompagnait d'une bonne disponibilité du sol en azote et d'une bonne absorption de l'azote automnal, cette stratégie s'est révélée efficace pour lutter contre les adventices. Cela s'est traduit par des ratios de mauvaises herbes faibles (résultat non illustré). Ces travaux montrent que la fertilisation azotée ne peut pas être réfléchi indépendamment d'autres éléments de l'itinéraire technique (date de semis et travail du sol) et indépendamment d'autres facteurs limitants, tels que les mauvaises herbes.

En revanche, l'azote utilisé à l'automne, tel que cela a été testé ici, permet d'améliorer le rendement de la culture (figure 3A) mais les carences azotées printanières sont souvent très marquées même dans les cas d'apports d'automne bien valorisé par la culture (Figure 3B). Ces travaux ont permis de construire certaines règles de décision pour l'implantation du colza (tableau I).

Il apparaît donc que les apports d'automne en interaction avec d'autres éléments de l'itinéraire technique, peuvent à la fois lever le facteur limitant mauvaises herbes et participer à l'élaboration du rendement, mais que ce dernier pourrait être encore amélioré avec un apport de couverture au printemps. Ces tests de fertilisation ont alors été réalisés en utilisant la modèle azodyn et en faisant l'hypothèse que les mauvaises herbes ne faisaient pas partie des facteurs limitant de la culture.

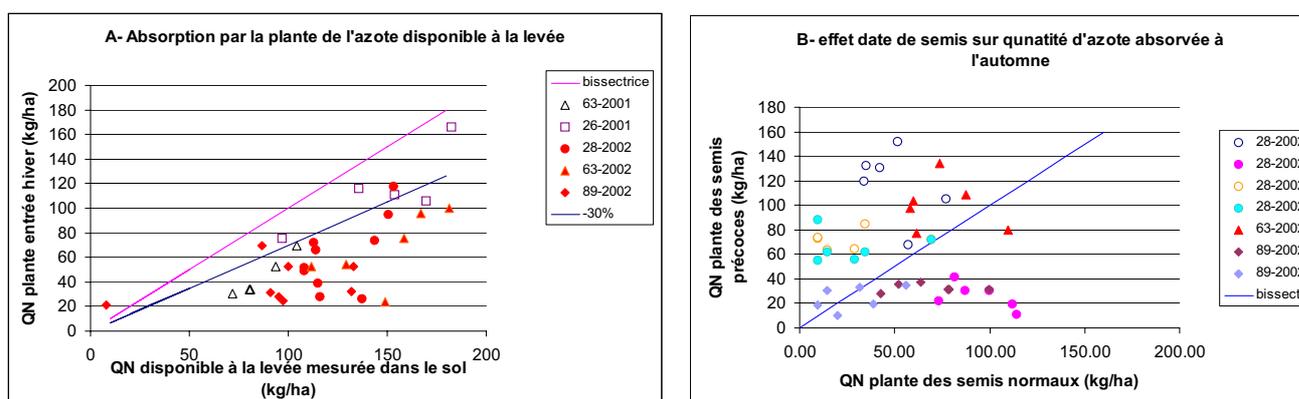


Figure 2 : Capacité d'absorption du colza en automne (A) et effet de la date de semis et du labour sur l'absorption de l'azote par les plantes en entrée hiver (B – les parcelles avec des motifs ouverts ont été labourées ; les parcelles avec des motifs pleins ont été travaillées superficiellement.)

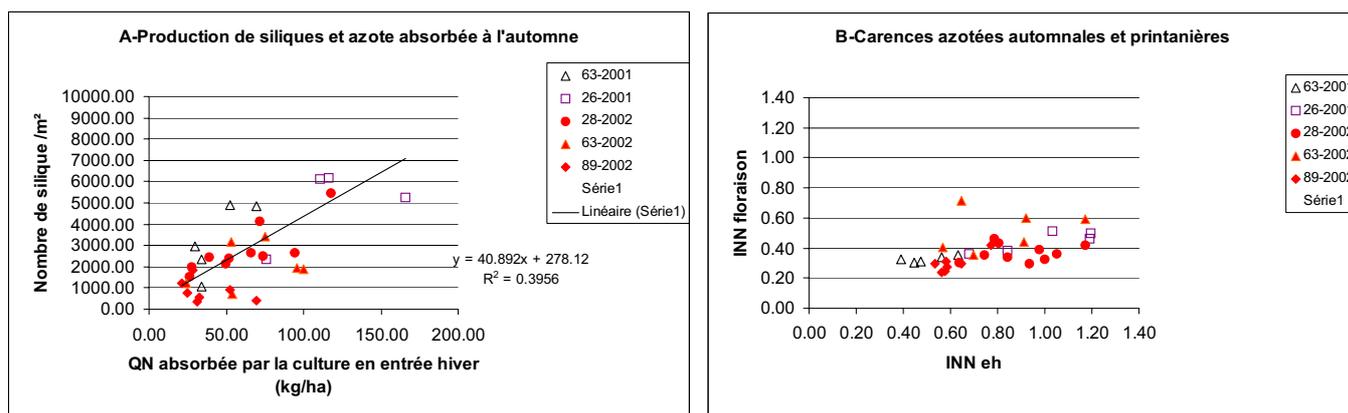


Figure 3 : Azote d'automne et élaboration du rendement (A) ; Carences automnales et printanières (B).

Objectif	Si	Alors	Sinon
Sols profonds			
Maximiser l'absorption d'azote	Matière organique à minéralisation rapide disponible (vinasse, fientes de volailles)	Epandage avant semis sur semis précoce <u>Labouré</u> Epandage sortie hiver sur semis de septembre	Si compost de bovins, moutons etc., Alors épandage avant semis quelle que soit la date (au moins 100 kg disponible en automne)
Réduire l'enherbement	Parcelle sale d'adventices annuelles / bisannuelles	Semis précoce à grand écartement pour biner	Semis précoce à faible écartement pour étouffer
Sols superficiels			
Maximiser l'absorption d'azote	Matière organique à minéralisation rapide disponible	Epandage en deux temps : avant un semis normal <u>labouré</u> puis en reprise de végétation	Si compost de bovins, moutons etc., Alors épandage avant semis à date normale
Réduire l'enherbement	Parcelle sale d'adventices annuelles / bisannuelles	Semis à grand écartement pour biner	Semis à faible écartement pour étouffer

Tableau I : Règles de décisions issues du travail expérimental

4.2.2 L'utilisation d'azodyn colza pour raisonner les apports de fertilisants de printemps, sans facteur limitant mauvaises herbes

Les résultats illustrés dans le tableau II montrent que ces apports de printemps en complément d'apports d'automne augmentent systématiquement les performances de rendement en évitant les carences d'azote de printemps (non illustrés) sur les sols profonds et sur sols superficiels. D'une manière générale les rendements sans ces apports de printemps oscillent autour de 18-19 q/ha alors qu'avec un apport de printemps, ils oscillent autour de 23 q/ha. Mais les gains simulés sont plus faibles et beaucoup plus aléatoires sur les sols superficiels. Le type de fertilisant donne également des résultats très différents. D'autres simulations devraient être réalisées afin de compléter ces résultats.

	sols	gain rendement (q/ha)	écart type	min	max
farine date1	profond	4.0	1.7	2.2	7.1
farine date1	superficiel	3.3	1.9	0.6	6.0
farine date2	profond	4.4	1.6	2.4	7.5
farine date2	superficiel	3.3	1.6	0.9	5.7
vinasse date1	profond	7.9	3.4	3.4	13.3
vinasse date1	superficiel	6.1	3.8	0.8	12.6
vinasse date2	profond	9.9	3.0	5.0	14.1
vinasse date2	superficiel	6.5	3.4	1.1	12.6

Tableau II : Moyennes et écarts types sur 10 années climatiques du gain de rendement obtenu entre des simulations d'un unique apport avant semis de fumier et de déchets verts composté et des simulations de ce même apport complété par des apports de farine de plume ou de vinasse de betteraves à deux dates différentes. Date 1 : 20 février ; date 2 : 20 mars ; Sols profonds : sols limoneux argileux de 120 cm et sols superficiels : sols argilo-calcaires de 50 cm.

4.3 Construction d'un outil d'aide à la décision de la fertilisation azotée du blé biologique

4.3.1 Vers une utilisation prometteuse des modèles de culture ?

Le modèle Azodyn-Org, développé pour simuler les conséquences de la nutrition azotée sur le rendement mais aussi la teneur en protéines des grains, a été testé sur un large réseau d'expérimentations et de parcelles agricoles, menées en agriculture conventionnelle et biologique, au sein de diverses régions françaises Rhône-Alpes, Ile de France, Poitou Charentes, Midi-Pyrénées et Pays de la Loire. Nos résultats permettent de conclure que :

- l'utilisation des modèles de culture permet de valoriser de nombreuses connaissances acquises en agriculture conventionnelle tout en intégrant certaines spécifiques aux conditions de l'agriculture biologique (minéralisation des engrais organiques, incidence des facteurs limitant autres que la nutrition azotée),
- la prédiction du modèle Azodyn en agriculture conventionnelle est satisfaisante quelle que soit la situation rencontrée (pédoclimat, type de cultivar, niveau de nutrition azotée),
- le modèle, dans sa version actuelle, permet (1) de juger de la rentabilité économique des apports d'engrais organique en couverture et (2) de classer les stratégies de fertilisation azotée les unes par rapport aux autres dans le cas où l'incidence des facteurs limitants autres que l'azote (adventices, maladies, compaction du sol, stress hydrique) sur les performances (rendement et teneur en protéines) peut être globalement prédit par l'utilisateur (le modèle accepte une erreur de prévision du potentiel de production de +/- 20%).

En conclusion, ce modèle de culture simplifié (dont les données d'entrée sont facilement accessibles par l'utilisateur) peut constituer, à terme, un outil utile pour proposer des stratégies de fertilisation azotée permettant d'accroître la teneur en protéines des grains (souvent trop basse en conditions d'agriculture biologique) et d'optimiser la rentabilité économique des engrais apportés.

4.3.2 Importance de l'incidence de l'effet des facteurs limitants (autres que l'azote) sur les performances

La qualité de la prédiction de l'outil en agriculture biologique repose sur la capacité de prévoir de façon précoce la limitation du potentiel induit par la combinaison des facteurs limitants. Les travaux menés par Casagrande et al. (2006, 2007) ont pour but de mettre en place des indicateurs précoces de la nuisibilité des facteurs limitants majeurs tels que les adventices, les contraintes climatiques et la compaction du sol. De même, ce travail devrait

nous amener à évaluer le risque de limitation du potentiel qui interviendra directement sur la rentabilité ou non de la fertilisation azotée.

4.3.3 Une finalité possible : La construction d'abaques régionaux pour améliorer le raisonnement de la fertilisation azotée des exploitations céréalières biologiques

La construction d'abaques à l'échelle d'un bassin d'approvisionnement est un outil qui pourrait être proposé aux acteurs de terrain (agriculteurs, conseillers agricoles, collecteurs, ...) pour (i) juger de l'incidence des conditions de production sur la qualité et la productivité du blé biologique à l'échelle régionale, (ii) définir des stratégies de fertilisation adaptées aux conditions pédoclimatiques et agronomiques (type de systèmes de culture, présence ou risque d'apparition de facteurs limitants) de chaque parcelle et, à terme, (iii) garantir un meilleur contrôle de la qualité et de la productivité des lots récoltés par les collecteurs. Un exemple est donné en figure 4.

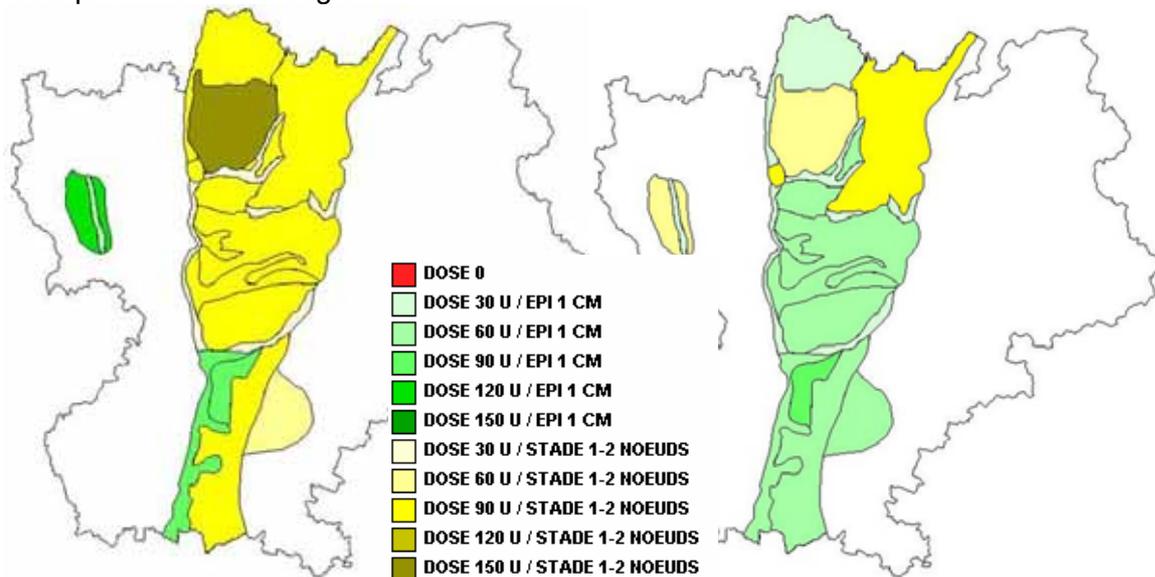


Figure 4. Sélection de la stratégie d'apport d'azote optimale dans le cas d'un blé précédé d'une luzerne ayant reçu un apport d'amendements (à gauche) ou d'un blé sans apport d'amendement (à droite) raisonné à l'échelle de la région Rhône Alpes (David, 2004)

4.3.4 Une remise en cause de certaines pratiques de fertilisation azotée des agriculteurs

La fertilisation organique de printemps est souvent qualifiée par les agriculteurs, de peu efficace et trop coûteuse. Il est vrai que moins de 30 % des stratégies de fertilisation azotée mises en place par les agriculteurs dans ce programme s'avèrent économiquement rentables. La présence de divers facteurs limitants présents en agriculture biologique intervient directement sur la valorisation des engrais organiques. Néanmoins, nos travaux ont permis de mettre en évidence l'intérêt, dans certaines conditions, de la pratique d'apport en couverture pour, d'une part, garantir l'atteinte d'une teneur en protéines du blé biologique seuil pour le secteur de la panification et, d'autre part, assurer une augmentation de la productivité et de la rentabilité de la culture sans préjudice pour l'environnement.

En pratique :

- L'anticipation des apports organiques dès la sortie de l'hiver conduit à une mauvaise valorisation de l'engrais par la culture.
- Les apports d'engrais organiques, rapidement minéralisables (farines de plume, vinasse de betterave, soies de porcs) intervenant dès le début de la montaison semblent, souvent, les plus efficaces pour améliorer le rendement.
- Les pratiques de fertilisation de printemps des céréalières biologiques sont, très souvent, caractérisées par des apports réduits, de l'ordre de 60 à 80 Unités N.ha⁻¹,

expliqués pour partie par le prix élevé de l'engrais organique. Toutefois, certaines stratégies d'apport dont la dose est comprise entre 80 et 120 Unités N.ha⁻¹ peuvent s'avérer rentables dans les conditions où les facteurs limitants majeurs sont contrôlés.

- Les meilleures stratégies de nutrition azotée sont celles qui combinent un enrichissement par la rotation (apports d'amendements réguliers, intégration de légumineuses dans la rotation) à des apports azotés en couverture.
- Le fractionnement des apports, peu pratiqué en agriculture biologique, peut favoriser l'augmentation de la teneur en protéines lors de conditions agronomiques favorables (alimentation hydrique satisfaisante, faible pression maladies,

REFERENCES

- Casagrande M, David C., Valentin-Morison M., Jeuffroy MH., 2006. Incidence of limiting factors on organic winter wheat performance. Joint Organic congress, Odense, DK
- Colenne, C., J.M. Meynard, R. Roche, and R. Reau, 2002. Effects of nitrogen deficiencies on autumnal growth of oilseed rape. *European Journal of Agronomy*, 17, 11-28.
- Dejoux J.F., Ferré F., Meynard J.M., 1999. Effects of sowing date and nitrogen availability on competitiveness of rapeseed against weeds in order to develop new strategies of weed control with reduction of herbicide use, 10th International Rapeseed Congress, Canberra (Australia), 1999/09/26-29, CD-Rom New Horizons for an Old Crop
- Ferré F., Doré T., Dejoux J.F., Meynard J.M. Grandeau G., 2000. Evolution quantitative de la flore adventice dicotylédone au cours du cycle du colza pour différentes dates de semis et niveaux d'azote disponible au semis. In: *Proceedings 2000 11th International Symposium on the Biology of Weeds*, Dijon, France.
- David C., Jeuffroy M.H., Recous S., Dorsainvil F., 2004. Adaptation and assessment of the Azodyn model for managing the nitrogen fertilization of organic winter wheat. *Eur. J. Agr.* 21: 249-266
- David C., Jeuffroy M.H., Henning J., Meynard J.M., 2005a. Yield variation in organic winter wheat: a diagnostic study in the Southeast of France. *Agron. Sustain. Dev.* 25: 213-223
- David C., Jeuffroy M.H., Laurent F., Mangin M., Meynard J.M., 2005b. The assessment of a decision making tool for managing the nitrogen fertilization of organic winter wheat. *Eur. J. Agr.* 23: 225-242
- Jeuffroy M.H., Recous S. (1999) : Azodyn: a simple model simulating the date of nitrogen deficiency for decision support in wheat fertilization. *Eur. J. Agr.* 10:129-144.
- Jeuffroy M.H., Bouchard C., 1999. Intensity and Duration of Nitrogen Deficiency on Wheat Grain Number. *Crop Sci.* 39, 1385-1393.
- Limaux F., Recous S., Meynard J.M., Guckert. A., 1999. Relationship between rate of crop growth at date of fertilizer N application and fate of fertilizer N applied to winter wheat. *Plant & Soil.* 214, 49-59.
- Valantin-Morison M., Meynard J.M., 2006. Yield Variability of Organic Winter Oilseed Rape in France: Diagnosis on a Network of Farmers' Fields. ASD (Soumis)
- Valantin-Morison M., MH Jeuffroy, Saulas L., Champolivier L., 2003. Azodyn-rape : a simple model for decision support in rapeseed nitrogen fertilisation. 11th International rapeseed congress, Copenhague (Denmark), 2003/07/6-10, Towards Enhanced value of cruciferous oilseed crops by optimal production and use of the high quality seed components. *Proceedings GCIRC* ;
- Wallach D., Goffinet B., 1987. Mean Squared Error of Prediction in Models for Studying Ecological and Agronomic Systems. *Biometrics* 43:561-573.

LE DISPOSITIF DE LA MOTTE : ROTATION ET FERTILITE DU MILIEU EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE SANS ELEVAGE ETAT DES LIEUX A MI-ROTATION

Philippe Viaux¹ et Lorraine Soulié²

¹ Arvalis–Institut du Végétal - Station expérimentale - 95 720 BOIGNEVILLE

Tél. : 01 64 99 22 3 - p.viaux@arvalisinstitutduvegetal.fr

² INA P-G - Tél. : 06 78 83 29 98 - lorraine_soulie@yahoo.fr

RESUME

Le dispositif de la Motte est un essai longue durée mis en place par Arvalis Institut du Végétal en 2003. Il a pour objectif d'évaluer l'impact d'une rotation majoritairement céréalière, sans aucun apport organique exogène, sur la fertilité du milieu. Les résultats de récolte en blé sont essentiellement déterminés par le précédent cultural. Un diagnostic agronomique nous a permis de montrer que l'azote et la pression adventice sont les facteurs limitants principaux. Dans la suite de l'expérimentation, nous allons tester l'impact de certaines innovations, telles que l'effet des engrais verts. En effet, cette technique est en parfaite cohérence avec les objectifs de l'essai.

MOTS CLES : rotation, fertilité, système céréalier, azote, facteurs limitants, agriculture biologique.

1 OBJECTIFS DE L'ESSAI

Les commanditaires du projet de la Motte, Arvalis – Institut du Végétal en partenariat avec l'ITAB et le Groupement d'Agriculteurs Biologiques d'Île de France se sont fixés plusieurs objectifs, auquel le dispositif de la Motte doit répondre :

1. Proposer un système de culture adapté aux situations d'agriculture en céréaliculture sans élevage.
2. Tester ce système en conditions réelles.
3. Evaluer ses performances sur différents critères (quantité et qualité de la production, maintien des composantes de la fertilité du milieu, viabilité économique, durabilité du système, etc.).
4. Proposer des adaptations.

Avertissement méthodologique !

→ Il ne s'agit en aucun cas de comparer deux systèmes de cultures. Le système est construit « à dire d'expert » en fonction des objectifs de durabilité. Le dispositif expérimental permet, grâce à un suivi rigoureux, de tester les règles de décision et d'évaluer dans l'absolu la performance du système.

→ L'objectif général de l'essai est d'évaluer l'impact de la rotation sur l'évolution de la fertilité du milieu. La fertilité du milieu ne se réduit pas à la fertilité du sol. L'ensemble des facteurs potentiellement limitants est suivi : structure du sol, taux de matière organique, pression des bio agresseurs. Une analyse économique réalisée sur l'ensemble de la rotation complète le travail.

2 PRESENTATION DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Le dispositif de la Motte occupe un îlot de huit parcelles de l'exploitation, formant un ensemble de 60 ha. Une rotation de huit ans est testée. Chaque terme de la rotation est en place chaque année.

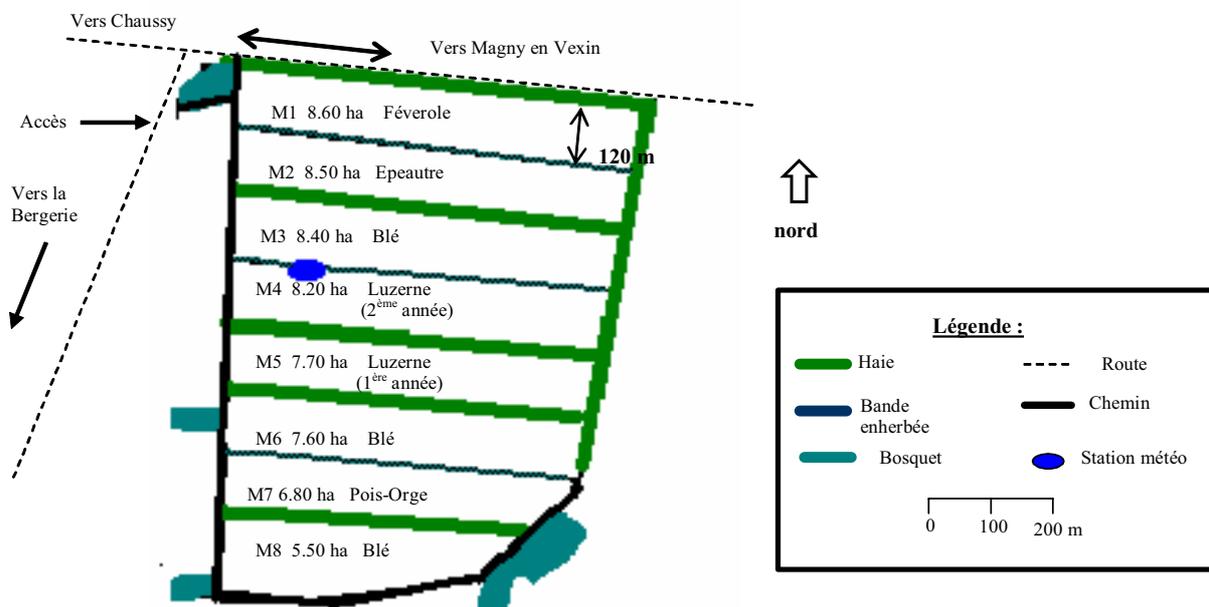


Figure 1 : Les parcelles de la Motte et l'assolement 2005-2006

La grande taille du dispositif a nécessité la caractérisation de l'hétérogénéité du milieu. Le travail réalisé à la mise en place du dispositif a permis de caractériser l'état initial des parcelles à partir de plusieurs indicateurs de fertilité.

La rotation choisie doit permettre d'assurer des précédents favorables au blé (culture de vente). La luzerne en tête de rotation a pour objectif d'apporter de l'azote au système, de régénérer la structure du sol, de favoriser la vie des micro et macro-organismes du sol, de limiter la pression des adventices, etc. L'alternance de cultures de printemps et d'hiver, ainsi que le choix de variétés couvrantes doit permettre de maintenir la pression des adventices à un niveau bas.

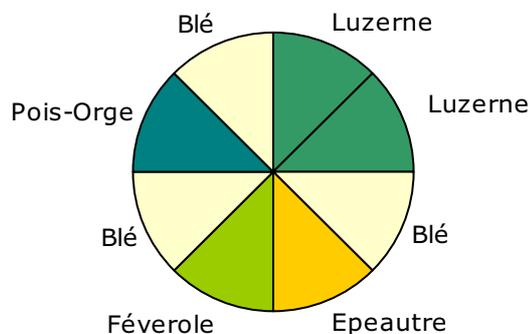


Figure 2 : Rotation sur l'essai de la Motte

L'ensemble de l'exploitation est en labour. Pour le blé, la profondeur de labour a été remontée autour de 17 cm. La réalisation de l'itinéraire technique prévisionnel est dépendant de la charge de travail sur l'exploitation. Ainsi, il n'y a souvent qu'un, voire que deux déchaumages réalisés et le désherbage mécanique n'est pas systématique. De même, le semis de cultures intermédiaires n'est pas toujours possible.

Culture	Variété	Itinéraire technique / Remarques
Luzerne	Diane	→ Semis sous couvert du dernier blé au printemps lors d'un hersage → 2 ou 3 fauches la deuxième année uniquement. La dernière coupe est restituée. → Destruction en fin d'été par plusieurs déchaumages et le labour
Blé de luzerne	Caphorn	→ Variété productive et taux de protéines moyens. La fourniture en azote par la luzerne doit permettre d'atteindre un taux de protéines suffisant pour l'alimentation humaine. → Parcelle souvent propre donc ne nécessitant pas de désherbage
Epeautre	Oberkülmer	→ Semis en général plus tardif (novembre) → Pas de hersage nécessaire car la culture est haute et dépasse les adventices.
Féverole	Divine	→ Culture intermédiaire (phacélie ou seigle-sarazin). → Semis de printemps → Pas de désherbage
Blé de féverole	Renan	→ Variété adaptée aux conditions limitantes. Privilégier la qualité au rendement. → Hersage suivant l'infestation
Pois-orge	Nitouche-Scarlett	→ Culture intermédiaire : trèfle → Semis de printemps → Mélange destiné à l'alimentation animale, mais possibilité de vendre l'orge en brasserie après triage → Pas de désherbage
Blé de pois-orge	Saturnus	→ Variété concurrentielle vis-à-vis des adventices (fin de rotation). Privilégier la qualité au rendement. → Hersage et semis de la luzerne sous couvert

Tableau I : Itinéraire technique prévisionnel de l'essai de la Motte

3 RESULTATS

Nous présentons ici les résultats obtenus pour les cultures de blé et d'épeautre.

Les résultats technico-économiques sont encourageants. Les écarts de rendement en fonction de la position dans la rotation sont extrêmement élevés (32 q/ha). Les rendements obtenus sont bons pour les précédents luzerne. Par contre le mélange pois-orge n'offre pas un précédent favorable au blé. Les taux de protéines sont plutôt faibles. On observe de plus un effet année important. Les bonnes conditions météorologiques de 2006 ont permis d'atteindre 13 % de protéine pour le blé de luzerne et 11 % pour le blé de féverole.

	Rendement (qx/ha) Moyenne 2004-2006	Protéines (%) Moyenne 2004-2006
Blé de luzerne	57.6	11.0
Blé de féverole	39.0	10.0
Blé de pois-orge	25.1	9.7

Tableau II : Résultats de récolte sur les parcelles en blé

Conclusion 1 :

Les marges nettes restent positives à l'échelle de la rotation (400 €/ha). Le manque à gagner la première année de luzerne est compensé par la suite.

Remarque : bien que l'exploitation dispose d'un élevage qui permette de valoriser les cultures fourragères, les calculs sont réalisés avec l'hypothèse que ces productions sont vendues.

Le blé de luzerne ne semble donc pas souffrir de conditions limitantes. L'azote libéré par la luzerne lui permet d'atteindre un bon niveau de rendement et un taux de protéine

correct. Par contre, pour les deux autres blés ainsi que pour l'épeautre, le constat est plus mitigé. Quels sont les facteurs qui conditionnent le résultat de récolte ? Deux facteurs nous ont semblé prépondérant pour expliquer les résultats de récolte.

Premièrement : l'évolution de la pression des adventices vivaces est à surveiller

Nous sommes actuellement à mi rotation (quatrième saison culturale après la mise en place de l'essai). Seulement la moitié des parcelles a donc reçu un couvert de luzerne. Il est donc possible de voir l'effet de la luzerne sur la pression adventice. On observe une pression très importante de chardon sur les parcelles sans antécédent luzerne et pas ou peu de cette espèce dans la parcelle de blé après la luzerne. Cependant, certains ronds sont visibles sur la parcelle d'épeautre, et peuvent se propager rapidement. La luzerne est donc efficace pour lutter contre les chardons, mais deux ans sont peut-être insuffisants.

Par contre, la luzerne n'a aucun effet sur le chiendent. Son développement n'est pas maîtrisé. Il profite même de la luzerne pour se développer. Il s'agit d'un point inquiétant. Tout engin à disque est donc proscrit sur les parcelles.

Conclusion 2 :

La luzerne présente un intérêt pour lutter contre le chardon, mais est inefficace contre le chiendent. D'autres méthodes de lutte doivent être mises en place.

Concernant les adventices annuelles, l'effet type de sol est prépondérant. Les parcelles les plus limoneuses et sensibles à la battance présentent une densité importante de matricaire. Le gaillard se développe sur certaines zones plus argileuses et superficielles. Il est nécessaire d'attendre une rotation complète pour conclure sur l'évolution de cette flore.

Enfin, on observe de nombreuses repousses de luzerne dans le blé et l'épeautre. La concurrence exercée ne nous semble pas inquiétante, mais l'humidité résiduelle à la récolte peut être pénalisante. Par contre l'apport d'azote supplémentaire lié à ces repousses pourrait être bénéfique dans la suite de la rotation.

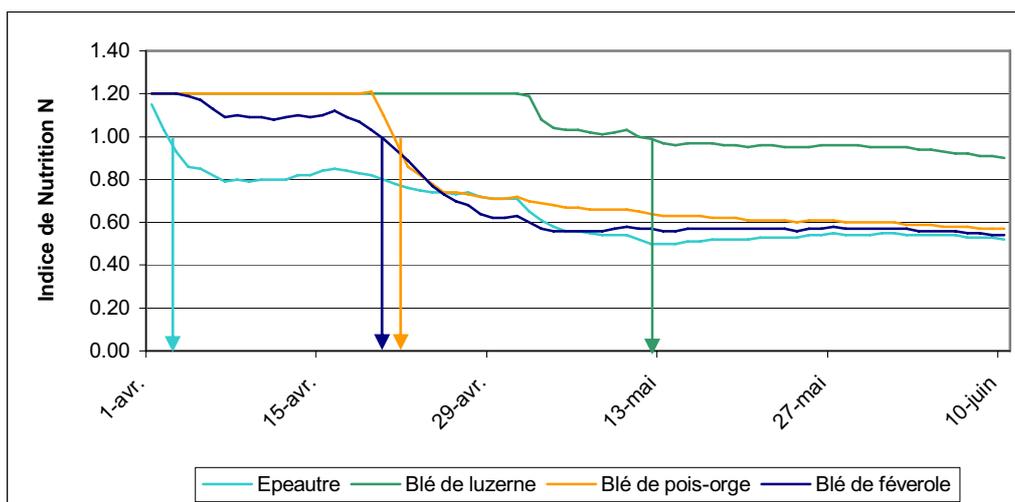
Deuxièmement : l'azote est plus ou moins bien valorisé par le blé

La demande en azote est différente suivant les stades de la plante. Pendant le développement végétatif l'azote est accumulé et permet de former de la biomasse. L'azote sera ensuite remobilisé pour migrer vers les grains. Un stress azoté important pendant la croissance végétative entraîne une baisse de rendement et de qualité de la récolte. Ce n'est donc pas seulement la quantité d'azote totale disponible pour le blé qui compte mais aussi le moment où il est assimilé.

Nous avons utilisé dans cette étude le logiciel Stics©, développé par l'INRA, le Cémagref et les instituts techniques. C'est un modèle de fonctionnement des cultures. Il simule l'effet de modifications du milieu (ex : la nutrition azotée) sur la production d'une parcelle. Il délivre également des sorties environnementales (ex : perte d'azote).

Comment caractériser le stress azoté ?

L'indice de nutrition azotée est un indicateur qui permet de déterminer si le peuplement végétal subit un stress azoté. Il indique la quantité d'azote contenue dans la plante par rapport à la quantité optimale d'azote pour permettre une croissance sans stress. Schématiquement, un indice inférieur à 1 indique un stress azoté. L'indice diminue au fur et à mesure de la croissance de la plante car les besoins augmentent plus vite que la fourniture.



**Graphique 1 : Apparition du stress azoté sur les différentes parcelles
Simulation réalisée avec Stics© (2006)**

Conclusion 3 :

Le précédent luzerne permet de retarder l'apparition du stress azoté de 3 semaines par rapport au précédent féverole ou pois-orge. Un fort stress azoté est en relation directe avec une faible teneur en protéine du blé à la récolte.

Le logiciel utilisé (Stics©) nous permet également d'accéder à la quantité d'azote perdue sous les parcelles. Pour le blé de luzerne, les pluies hivernales peuvent entraîner des pertes car les besoins du blé sont limités en début de cycle. Il apparaît que les pertes en azote sont faibles (moins de 15 kgN/ha, soit le même ordre de grandeur que l'apport d'azote par les eaux de pluie). Cependant, la concentration en nitrate des eaux de drainage excède occasionnellement la limite de 50 mg/l (seuil de potabilité de l'eau). Notons que ces épisodes sont très majoritairement conditionnés par les conditions météorologiques hivernales.

Conclusion 4 :

Les pertes cumulées en azote pendant le cycle cultural sont faibles. L'étude n'a pas permis de montrer si cela était également vrai pendant l'interculture.

4 PROPOSITIONS D'EVOLUTION DE L'ESSAI

Tout en gardant les objectifs initiaux nous pouvons introduire des innovations dans ce dispositif expérimental dans le but, soit de corriger des difficultés identifiées, soit d'augmenter la performance du système.

Proposition 1 : introduire plus systématiquement des engrais verts.

Des simulations nous ont montré que l'introduction d'engrais vert aurait un double intérêt : amélioration de la disponibilité en azote et augmentation des restitutions organiques. Mais l'effet des engrais verts en interculture n'a pas pu être évalué sur le terrain et nous souhaitons que cette pratique se mette en place régulièrement pour en étudier l'impact. Dans un contexte où l'azote est souvent limitant et où le maintien du taux de matière organique est problématique, il semble nécessaire de ne négliger aucun moyen d'apporter des résidus de cultures.

Proposition 2 : apporter des matières organiques exogènes

Ce genre d'apport est envisageable, tout en restant en cohérence avec notre objectif d'agriculture sans élevage et autonome. Les haies implantées il y a quatre ans entre

certaines des parcelles (environ 3,5 km de haies) fourniront des résidus de taille. Ce type d'apport ne permet pas d'améliorer la nutrition des cultures, mais peut avoir un effet bénéfique sur la stabilité structurale des sols. Associer ces apports riches en carbone avec des matières plus riches en azote (vinasses de distillerie par exemple) peut constituer un amendement intéressant.

Proposition 3 : faire évoluer la rotation

Le système peut être amélioré sur plusieurs points pour produire pour l'alimentation humaine. En particulier, le mélange pois-orge peut évoluer vers un mélange à base de lentilles.

Proposition 4 : modifier le travail du sol

Le passage au non labour a été évoqué, mais il n'est pas judicieux d'intégrer cette innovation avant la fin de la première rotation, car la pression des adventices vivaces n'est pas maîtrisée.

REMERCIEMENTS

Avant tout, remercions l'ensemble du personnel de la ferme de la Bergerie qui a fait le choix audacieux de s'investir dans cette expérimentation longue durée. C'est à eux que nous confions le soin de mettre en œuvre les innovations proposées.

Par ailleurs, cet essai fait intervenir un grand nombre de spécialistes (botanistes, malherbologues, pédologues, etc.) dont les conseils nous sont précieux. Enfin, un grand merci à Claude Aubert, de la Chambre d'Agriculture de Seine et Marne pour sa disponibilité et l'ensemble des conseils qu'il nous a prodigué.

Ce travail a été réalisé grâce au CIAB, dans le cadre du programme FertiAgriBio. Il a bénéficié d'un financement ONIGC pour le programme bio Ile de France Centre.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- DAVID C., 2004 – Le blé en agriculture biologique : diagnostic agronomique et raisonnement de la fertilisation azotée de printemps. *Thèse INA P-G*.
- JUSTES E., 2001 – Libération de l'azote après luzerne, un effet sur deux campagnes. *Perspectives agricoles*, n°264
- SEBILLOTTE M., 1989 – Fertilité et systèmes de production. *INRA*
- SOULIE L., 2006 - Le dispositif de la motte : Rotation et fertilité du milieu en agriculture biologique sans élevage : Etude la dynamique de l'azote en conditions limitantes. Proposition et test d'adaptations de la rotation. *Mémoire INA P-G*
- VIAUX P., 1999 – Une troisième voie en Grandes Cultures. *Agridécision*

FERME PILOTE DE MAPRAZ

Josy Taramarcz

AGRIDEA

Jordils 1 - 1006 Lausanne – Suisse

Josy.Taramarcz@agridea.ch - www.agridea.ch

* invité à intervenir en introduction du débat de la journée du 6 février 2007

RÉSUMÉ

Un essai de rotation culturale dans les conditions de l'agriculture biologique sans bétail est mené au Chemin de Mapraz à Thônex (Suisse), depuis l'automne 1999. Le sol est lourd. La rotation dure 6 ans (blé d'automne – tournesol – blé d'automne – féverole d'hiver – blé d'automne – trèfle violet pour la production de semence). Ce diaporama présente les résultats de la 1^{ère} rotation culturale. L'essai comprend deux procédés : le procédé A est sans fumure, le procédé B reçoit du compost de déchets verts.

De 1999 à 2005, la teneur en humus est restée stable et n'a pas été influencée par la fumure. L'activité biologique du sol a montré une tendance à l'amélioration. La réceptivité des sols aux maladies n'a pas été influencée par la fumure.

Les deux seules adventices ayant posé réellement problème sont le chardon des champs et le vulpin des champs. Au bout de 6 ans, les interventions mécaniques n'étaient plus suffisantes pour combattre le chardon. Le temps utilisé pour couper manuellement les chardons a donc augmenté d'année en année. La présence de 4 cultures d'automne dans la rotation s'est avérée excessive pour le contrôle à long terme du vulpin. Le vulpin a nuit au rendement de la féverole. Les autres adventices ont été présents en quantité modeste et leur densité semble être restée stable. La maîtrise des adventices a été possible grâce à l'adaptation permanente des techniques culturales (choix des variétés, des techniques de désherbage, des itinéraires culturaux). Les maladies n'ont posé aucun problème notoire. Les oiseaux ont provoqué des pertes de rendement du tournesol (en raison de la petite taille des parcelles d'essai). De 2001 à 2005, le nombre d'interventions mécaniques est resté stable, ce qui atteste d'une certaine maîtrise du système mis en place à Mapraz.

Les rendements ont été équivalents aux références pour les blés après féverole, les blés après trèfle violet semence et le tournesol, et inférieurs aux références pour le blé après tournesol, la féverole et le trèfle violet semence. Les rendements n'ont pas été influencés par la fumure : ce résultat est explicable de la manière suivante :

- les teneurs en humus sont satisfaisantes ;
- le sol est lourd et réagit très lentement à des déficits en éléments nutritifs ;
- le compost de déchets verts amène très peu d'azote disponible.

De 2000 à 2005, les rendements ont même légèrement augmenté. La rentabilité de la production de trèfle violet semence a été insuffisante.

Les résultats de Mapraz ont été comparés à quelques références (essai DOC, études allemandes sur les systèmes de production bio sans bétail, ...). Selon les références allemandes, il n'est pas encore possible de dire avec certitude quelle est la durabilité de systèmes de production bio avec très peu ou pas de prairies temporaires dans la rotation et sans engrais de ferme.

L'essai se poursuit avec les changements principaux suivants pour 2006 à 2011 :

- abandon de la fumure extérieure ainsi que de la culture du tournesol et du trèfle violet semence ;
- introduction de deux nouvelles rotations culturales de 6 ans, comportant une ou deux années de prairies temporaires à base de luzerne selon le cas. Le fourrage sera récolté et exporté et non pas mulché.

Ferme Pilote de Mapraz

Buts: Tester sur une ferme de grandes cultures **bio sans bétail** proche de la **grandeur nature** les:

- **Problèmes techniques**
 - Mauvaises herbes
 - Azote, Fumure
- **Évolution, solutions techniques**
- **Résultats économiques**
 - Niveaux de rendements
 - Marges
- **Évolution des rendements et marges**



Ferme pilote de Mapraz



Sol, Climat - Mapraz

Lieu : Thônex, Genève

Climat

- 950 mm pluie/an
- Déficit hydrique
100 mm/an

Sol

- Lourd (argilo-limoneux; 45% argile, 40% Silt)
- Alcalin (pH 7.6 à 8.0)
- Riche en MO (4 à 5,5 %)
- Normalement pourvu en éléments fertilisants (Mg un peu faible)



Ferme pilote de Mapraz



Plan de la Ferme Pilote de Mapraz

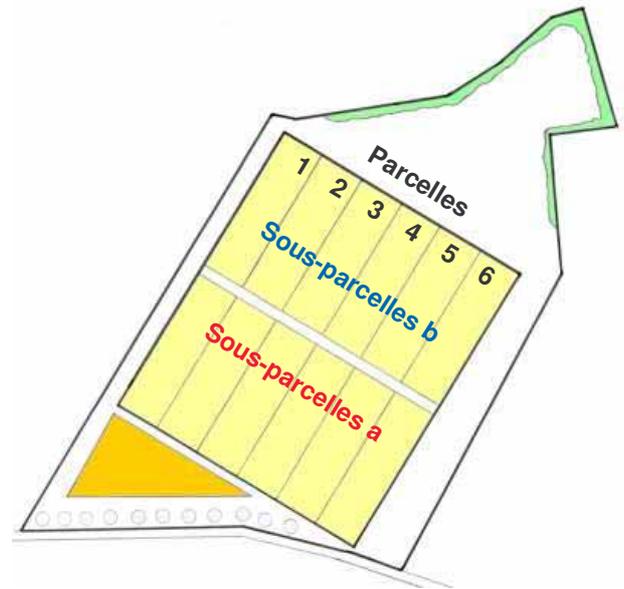
- 5,7 ha au total
- dont 3.30 ha d'essais proprement dits répartis en :
- **6 parcelles de 55 ares** (de 1 à 6) partagées chacune en **2 sous-parcelles de 27.5 ares chacune** (92x30m)

Procédés

a) sans fumure et

b) avec fumure

sous forme compost de déchets verts (bilan P équilibré)



- Solde = prairies extensives, haies, accès



Ferme pilote de Mapraz



Rotation des cultures

Même rotation sur les sous-parcelles a et b

**Principe de la rotation : Alternance
céréales**

sarclées ou légumineuses

Rotation de culture de 6 ans

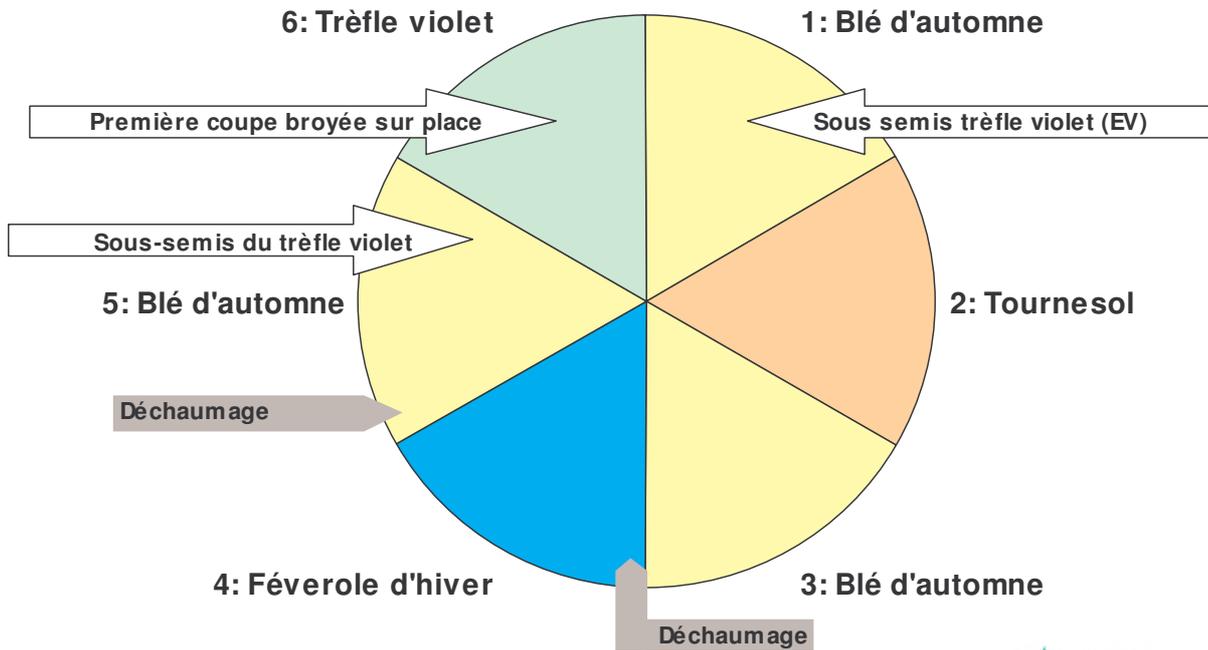
- Blé d'automne
- Tournesol
- Blé d'automne
- Féverole
- Blé d'automne
- Trèfle violet (semence)



Ferme pilote de Mapraz



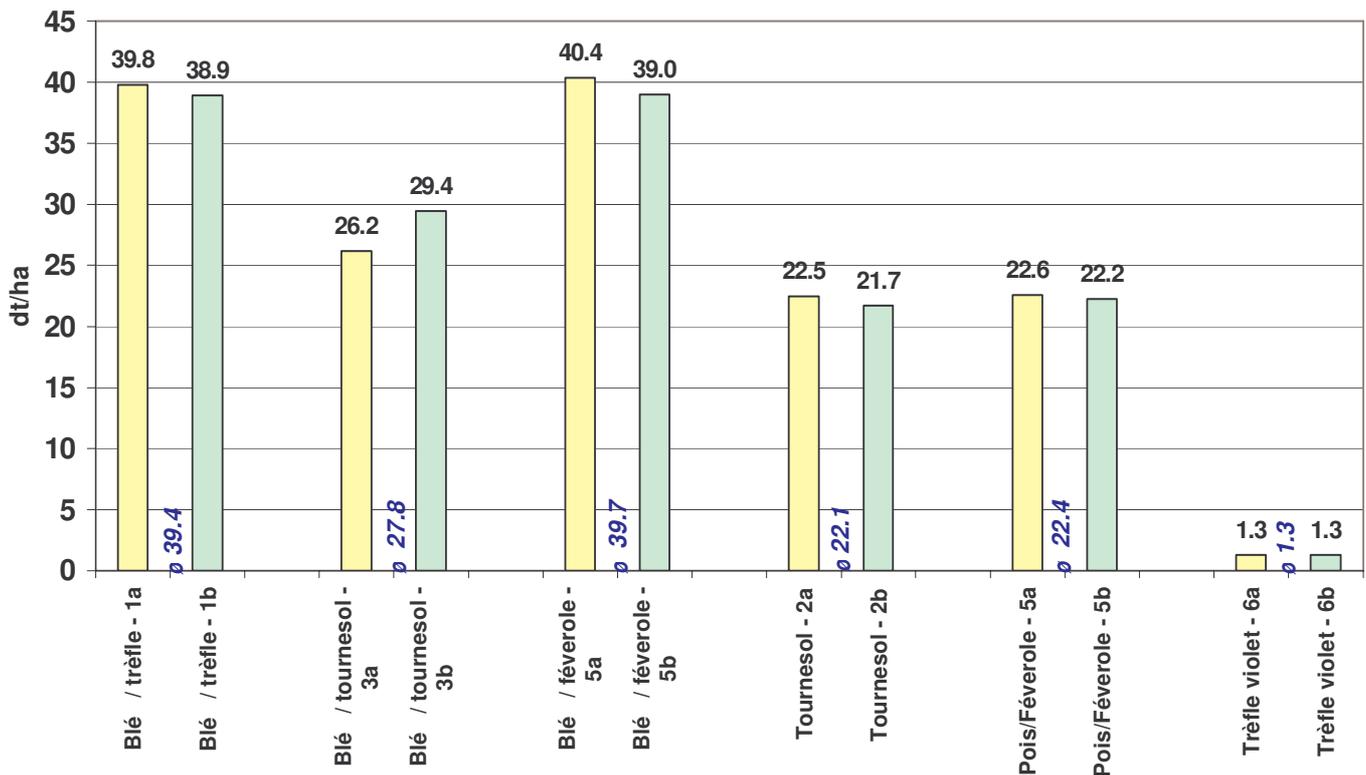
Rotation des cultures



Ferme pilote de Mapraz



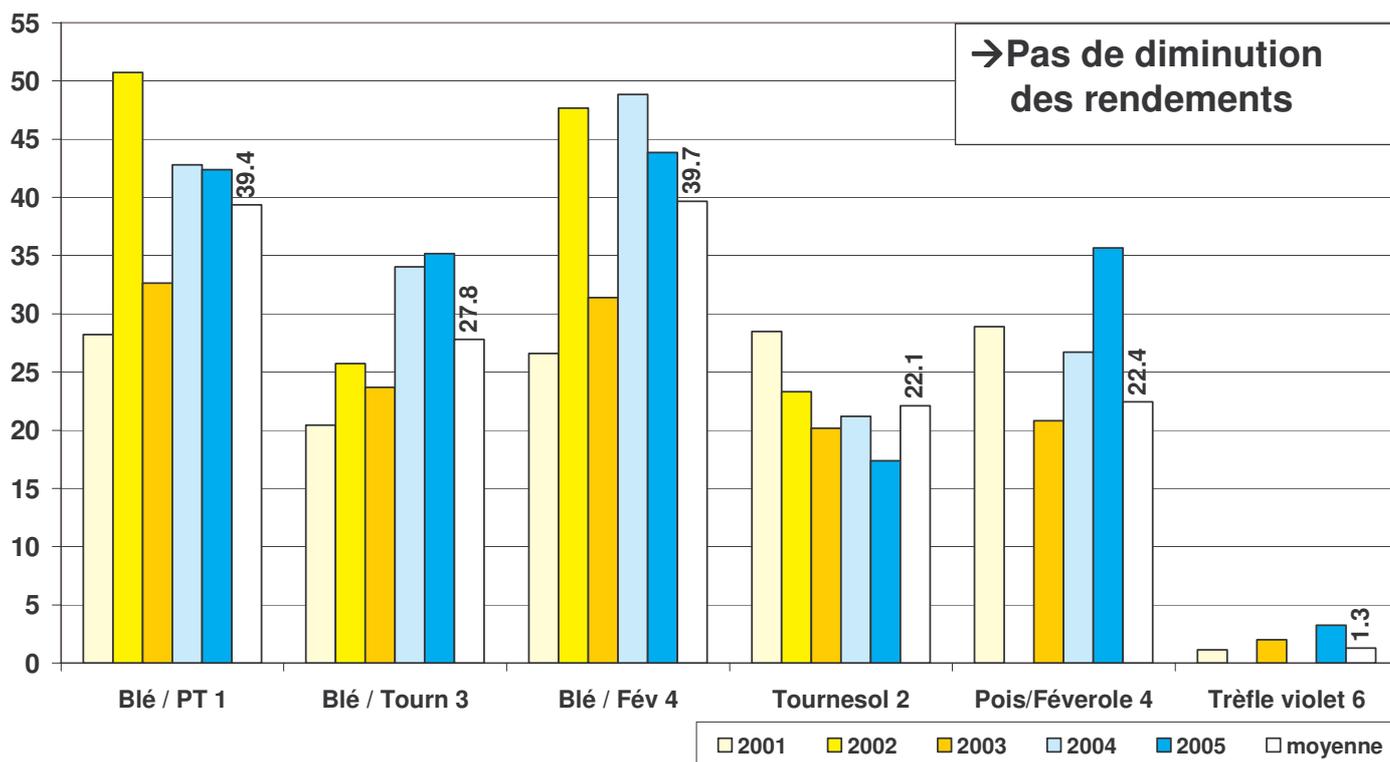
Rendements moyens des procédés a & b 2001-2005



Ferme pilote de Mapraz



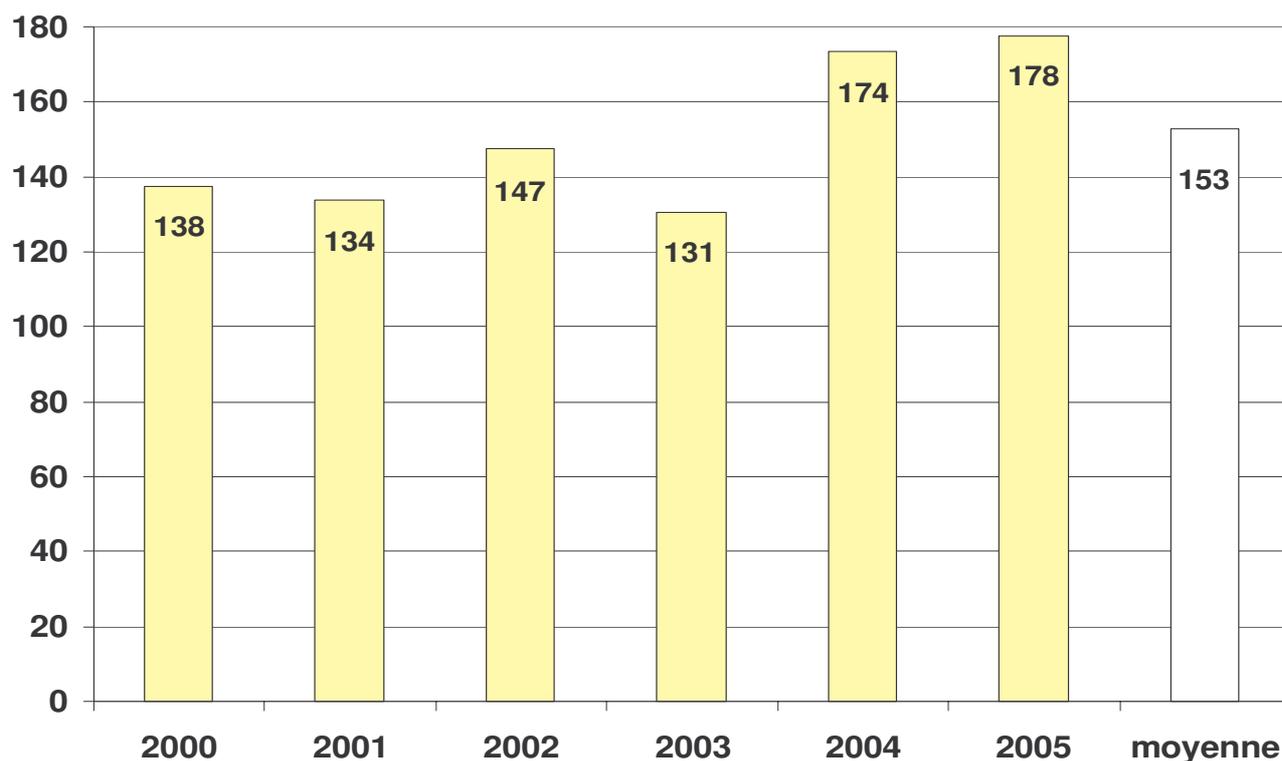
Évolution des rendements moyens 2001-2005



Ferme pilote de Mapraz



Somme des rendements de l'assolement de 2000 à 2005



Ferme pilote de Mapraz



Fumure

Fixer l'azote de l'air



- **Trèfle violet semences**
coupes broyées sur place



- **Engrais vert légumineuse** (trèfle violet)
entre le 1er blé et le tournesol



- **Légumineuse à graines**
en 4ème année

Procédé B: + en moyenne 8 t de compost de déchets verts/ha*an (6 N_{ass}/an)

Retitution de toutes les pailles



Ferme pilote de Mapraz



Équilibre de la fumure

Sous parcelles b	kg par ha en moyenne 2001-2005				
Moyenne / ha	N tot	Ndisp	P2O5	K2O	Mg
Besoins totaux pour les cultures : Moyenne/ha	50	50	26	14	5
Apport de compost pour la campagne : Moyenne/ha	51	5	23	30	20
Couverture des besoins en %	101	10	89	212	405
Sous parcelles a	kg par ha en moyenne 2001-2005				
Moyenne / ha	N tot	Ndisp	P2O5	K2O	Mg
Besoins totaux pour les cultures : Moyenne/ha	50	50	26	14	5
Couverture des besoins en %	0	0	0	0	0



Ferme pilote de Mapraz



Maîtrise des adventices

Techniques:

- Déchaumage
- Labour en général
- Herse étrille (sarclage pour le tournesol)
- **Trèfle violet**
 - 15 à 18 mois en place
- Espèces et variétés couvrantes
- **Rotation de cultures chargée**
 - 5 ans de terres ouvertes sur 6 ans de rotation
 - 4 ans de cultures d'automne sur 6 ans de rotation



Ferme pilote de Mapraz



Mauvaises herbes annuelles

Vulpin des champs

- **Bien présent**
(rotation chargée en cultures d'automne)
- A augmenté les premières années. Actuellement **stabilisé** à un niveau moyen
- Exerce une **concurrence** en début de printemps
- Bien concurrencé par la féverole moins par le blé, mais mieux en 2005 (Pollux)



Gaillet coquelicot, mourons, véroniques

Présents mais faiblement

Folle avoine

Quelques bandes le long des bordures de parcelles



Ferme pilote de Mapraz



Mauvaises herbes pluriannuelles

Chiendent, Liseron

- Faiblement présent et bien maîtrisé (**déchaumage**)

Rumex

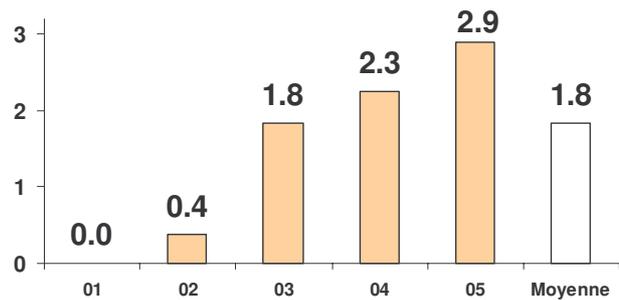
- Quelques plantes chaque année
- Pas d'évolution

Chardon des champs

- Se multiplie par tache en partant des bords des parcelles
- En augmentation
- **Déchaumage**
- **Sarclage et arrachage dans le tournesol**
- **Arrachage manuel**



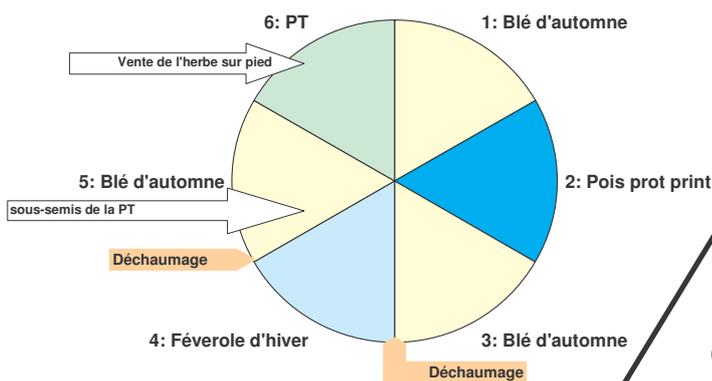
Temps d'arrachage chardons (h/ha)



Ferme pilote de Mapraz

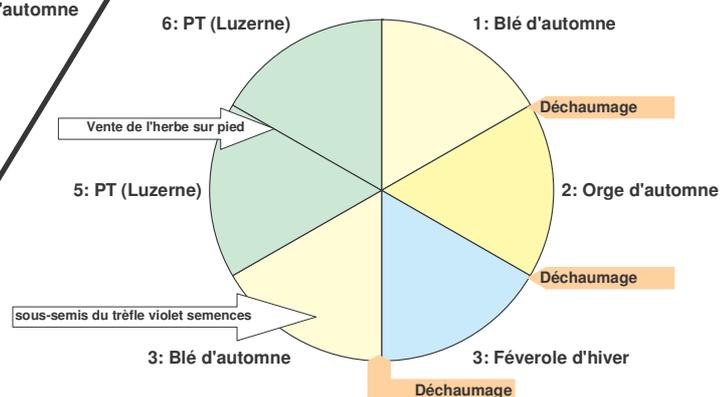


Mapraz 2006 à 2011 : 2 rotations



Rotation B

2 ans de trèfle violet



Rotation A

Remplacement du tournesol par des pois protéagineux



Ferme pilote de Mapraz



FERTILISATION AZOTEE DE PRINTEMPS (FIN TALLAGE) SUR BLE BIOLOGIQUE PROPOSITION D'UN OUTIL DE PILOTAGE EN ILE DE FRANCE

Charlotte Glachant* et Claude Aubert*
Chambre d'Agriculture de Seine et Marne
10 rue des frères Lumière - 77100 Meaux - Tél. : 01 60 24 71 72
glachant.charlotte@wanadoo.fr, cl.aubert@wanadoo.fr

** invités à intervenir en introduction du débat de la journée du 6 février 2007*

RESUME

L'outil de pilotage de la fertilisation azotée sur blé biologique mis en place en Ile de France repose sur les travaux menés depuis 10 dans la région (essais et guide de la gestion de l'azote).

Selon la synthèse des essais, l'efficacité des apports d'engrais organiques en fin de tallage du blé dépend :

- d'une part du comportement du sol vis-à-vis de l'eau pendant l'hiver modifiant la structure donc modulant la capacité du sol à minéraliser : l'efficacité d'un apport est la meilleure en conditions de bonne minéralisation,
- d'autre part des RSH (en lien direct avec le climat, le précédent, l'interculture éventuelle et le travail du sol) : l'efficacité des apports est meilleure avec des RSH bas (s'il n'y pas de facteurs limitants tels un accident de structure ou la concurrence pénalisante des adventices).

L'utilisation de l'outil permet d'évaluer la rentabilité probable de l'apport en fonction de son efficacité, et des prix de vente du blé et d'achat de l'unité d'azote (sachant que tous les produits ont une efficacité équivalente). La dose doit ensuite être raisonnée en fonction des besoins de la plante, des coûts engagés et de l'effet de l'apport sur les adventices.

Par ailleurs cet outil est destiné à hiérarchiser les parcelles de l'exploitation en fonction de la rentabilité respective prévisible de l'apport sur chacune d'elles.

MOTS CLES : fertilisation azotée, minéralisation, situation pédoclimatique, efficacité, rentabilité.

Un travail sur la gestion de l'azote dans les exploitations de grandes cultures biologiques d'Ile de France avait été amorcé en 2001 avec la publication d'un guide général (C.Aubert & al., 2001). Cinq années d'essais supplémentaires ont permis d'affiner les résultats et de proposer un outil de pilotage pour la fertilisation azotée du blé biologique au printemps.

Cet outil part du principe que le choix de fertiliser ou non doit être dicté non seulement par l'efficacité des apports sur le rendement et/ou sur le taux de protéines, mais aussi par leur rentabilité économique. Il comporte trois phases :

- Evaluer l'efficacité probable de l'apport
- Evaluer sa rentabilité
- Déterminer la dose à apporter.

1 EFFICACITE DES APPORTS D'ENGRAIS ORGANIQUES DE PRINTEMPS (STADE FIN TALLAGE) EN FONCTION DE LA SITUATION PEDOCLIMATIQUE

Les essais de fertilisation azotée menés dans la région depuis 10 ans ont permis de rencontrer des situations pédoclimatiques variées, plus ou moins favorables à l'efficacité des apports d'engrais organiques au printemps.

La synthèse de ces travaux a mis en évidence les facteurs qui permettent de prévoir l'efficacité des engrais suivant la situation de la parcelle, de manière imparfaite mais suffisante pour prendre une décision et hiérarchiser les parcelles selon leur capacité à valoriser un apport (Glachant C., 2006).

Le statut azoté de la parcelle est une donnée majeure dans l'efficacité des engrais organiques. Celui-ci dépend principalement du niveau de minéralisation dans le sol et des reliquats laissés par le précédent, et encore présents au printemps.

Cette phase de l'outil de pilotage comporte 4 étapes permettant de :

- 1 – déterminer le niveau de minéralisation attendu dans chacun des sols concernés,
- 2 – déterminer le niveau de reliquats azotés en sortie d'hiver de chaque parcelle - RSH,
- 3 – prévoir l'efficacité des apports à fin tallage de printemps sur le rendement.
- 4 – connaître l'efficacité des apports sur le taux de protéines

1.1 Déterminer le niveau de minéralisation du sol

L'efficacité prévisible des apports dépend donc du niveau de minéralisation de printemps attendu dans chaque sol, en fonction du type d'année climatique.

Le tableau I ci-dessous permet, en fonction du type de sol de la parcelle et de la pluviométrie hivernale observée d'octobre à mars (qui peut généralement être caractérisée dès janvier-février) de déterminer le niveau de minéralisation attendu dans la parcelle au printemps.

La clé permettant de caractériser les types de sol est disponible en annexe.

Tableau I : Niveau de minéralisation de printemps attendu suivant le type de sol

2 = Bon – 1 = Moyen – 0 = Faible

Type de sol	Pluviométrie octobre-mars	Très excédentaire <i>Pas de ressuyage</i>	Très excédentaire <i>avec périodes de ressuyage</i>	Excédentaire	Equilibrée	Déficitaire
	<i>Ex. an récolte</i>	<i>1995</i>	<i>2001</i>	<i>2000 / 2002</i>	<i>1998 / 2003 / 04</i>	<i>1996 / 97 / 2005</i>
Terres humides et très humides		0	0	1	1	1*
Terres profondes et intermédiaires		1	2	2	2	2
Terres séchantes		2	2	2	2	1
Terres très séchantes		2	2	2	1	0

* Les sols peu profonds et superficiels de cette classe (qui sèchent en juin) ont un niveau de minéralisation faible (0).

Attention, en cas de problème de structure du sol :

Si, après vérification rapide à la bêche de la structure du sol, on constate un problème quelconque, le niveau de minéralisation doit être diminué d'un échelon.

Exemple : Type de sol = terre intermédiaire, Pluviométrie octobre-mars = excédentaire.
Le tableau donne une minéralisation de niveau 2. Mais avec un problème de structure du sol, la minéralisation attendue est alors de niveau 1.

1.2 Déterminer le niveau de reliquats azotés en sortie d'hiver (RSH) de chaque parcelle

Afin de prévoir au mieux l'efficacité des apports, il est important de connaître avec le plus de précision possible la quantité d'azote présente dans chaque parcelle concernée en sortie d'hiver.

Pour cela, le mieux est de réaliser des analyses de reliquats azotés (RSH) juste avant la reprise de végétation (généralement fin janvier – début février). Des synthèses locales des résultats sont généralement disponibles, lorsque ces analyses n'ont pu être réalisées.

Le type de précédent permet de prévoir grossièrement le niveau de reliquats. Mais les niveaux de RSH sont très variables d'une année sur l'autre puisqu'ils dépendent principalement des conditions climatiques automnales et hivernales (niveaux de minéralisation à l'automne déterminé par l'humidité et la température, lessivage pendant l'hiver en fonction de la quantité de précipitations) et de la qualité du travail du sol.

1.3 Prévoir l'efficacité des apports sur le rendement

Les essais n'ont jamais montré de différence significative d'efficacité entre les différents produits utilisés (fientes, farines de plume, vinasses, guano). Nous ne faisons donc pas de distinction liée aux produits.

Le tableau II donne, en fonction du niveau de minéralisation attendu et du niveau de reliquats azotés, l'efficacité prévisible sur le rendement des apports à fin tallage.

Tableau II : Prévision d'efficacité sur le rendement d'apports d'engrais organiques à fin tallage
Appréciation de l'efficacité : +++ = Bonne – ++ = Moyenne – + = Faible – 0 = Nulle à dépressive

Niveau de minéralisation	0	1			2			
	Faible	Moyen			Bon			
Reliquat Sortie Hiver (UN/ha)	Indifférent	40	70		40	70	100	
Prévision d'efficacité sur le rendement	0	++	+	0	+++	++	+	0
Gain de rendement pour 60 U N/ha apportées	0 à 3 q/ha	6 à 9 q/ha	3 à 6 q/ha	0 à 3 q/ha	> 9 q/ha	6 à 9 q/ha	3 à 6 q/ha	0 à 3 q/ha

Les bornes RSH sont approximatives, il faut considérer qu'elles se situent **autour de** 40, 70 et 100 UN.

En cas de faible peuplement du blé ou d'enherbement non maîtrisable

Dans ces conditions, l'efficacité des apports sur le rendement est moins bonne.

Il faut suivre les étapes 1 à 3 pour déterminer l'efficacité prévisible sans tenir compte de ces facteurs limitants. L'efficacité réelle prévisible est alors un échelon en dessous (un + en moins).

Exemple : Niveau de minéralisation = 2 – RSH = 80 U N/ha – Parcelle déjà très enherbée, problème de maîtrise des adventices à prévoir.
Prévision d'efficacité sans le problème d'enherbement : +
Prévision d'efficacité réelle : 0.

1.4 Efficacité des apports sur le taux de protéines

La fertilisation de printemps peut avoir un effet sur le taux de protéines, mais il dépend des conditions climatiques de finition, que l'on ne peut évidemment prévoir au moment de l'apport.

Dans le meilleur des cas, au cours des 10 années d'essais, les apports de 60 U N/ha en fin tallage à épi 1 cm ont permis de gagner 0,5 point de protéines, ce qui n'est pas suffisant pour améliorer significativement la rentabilité de l'apport, étant donné la valorisation actuelle du taux de protéines.

2 RENTABILITE DE LA FERTILISATION AZOTEE

La rentabilité de l'apport dépend de :

Son efficacité probable : elle a été déterminée lors de la phase précédente.

Le prix du blé : le choix de la variété est déterminant dans la capacité de la culture à dépasser le seuil de panification, et donc à être valorisé en panifiable ou non.

Le prix d'achat de l'engrais organique : si les différences d'efficacité ne sont pas significatives, les teneurs en azote et les tarifs des différents produits sont très variables. Les prix d'achat sont donc ramenés à l'unité d'azote et dépendent du type de produit utilisé.

Les graphes suivants (figure 1, page suivante) permettent, en fonction de ces trois critères, de déterminer la rentabilité que l'on peut espérer d'un apport de 60 UN/ha.

Lecture des graphes :

Après avoir choisi le graphe correspondant à l'efficacité probable, la couleur dans laquelle se trouve le point de rencontre entre le prix du blé et le prix de l'unité d'azote permet d'évaluer la rentabilité d'un apport de 60 UN/ha.

	> 200 €/ha
	+150 € à + 200 €/ha
	+100 € à +150 €/ha
	+50 € à + 100 €/ha
	0 € à + 50 €/ha
	- 50 € à 0 €/ha
	- 100 € à -50 €/ha
	- 150 € à -100 €/ha
	< - 150 €/ha

Exemple :

Dans le contexte de 2006, les engrais généralement utilisés ont un coût de 1,50 à 2 €/UN. Le blé fourrager se négocie entre 12 et 15 €/q et le blé panifiable entre 19 et 22 €/q.

Pour un apport de 60 UN :

- Efficacité prévisible faible : quel que soit le prix du blé, l'apport conduit à une perte de marge brute allant de - 60 €/ha en blé fourrager à 0 €/ha en blé panifiable.
- Efficacité prévisible moyenne : l'apport conduit à une perte de marge brute si le blé est vendu en fourrager, et est remboursé, voire permet de gagner jusqu'à 75 €/ha en blé panifiable.
- Efficacité prévisible bonne : l'apport est remboursé en blé fourrager et est rentabilisé en blé panifiable (gain de 100 €/ha).

Ces deux premières phases permettent de décider de fertiliser ou non une parcelle et de faire des priorités entre parcelles, en privilégiant les apports sur les parcelles où ils auront, en principe, la meilleure rentabilité.

Sur les parcelles qu'il a été décidé de fertiliser, il faut alors déterminer la dose à apporter.

3 DETERMINER LA DOSE A APPORTER

Le choix de la dose est orienté par plusieurs critères :

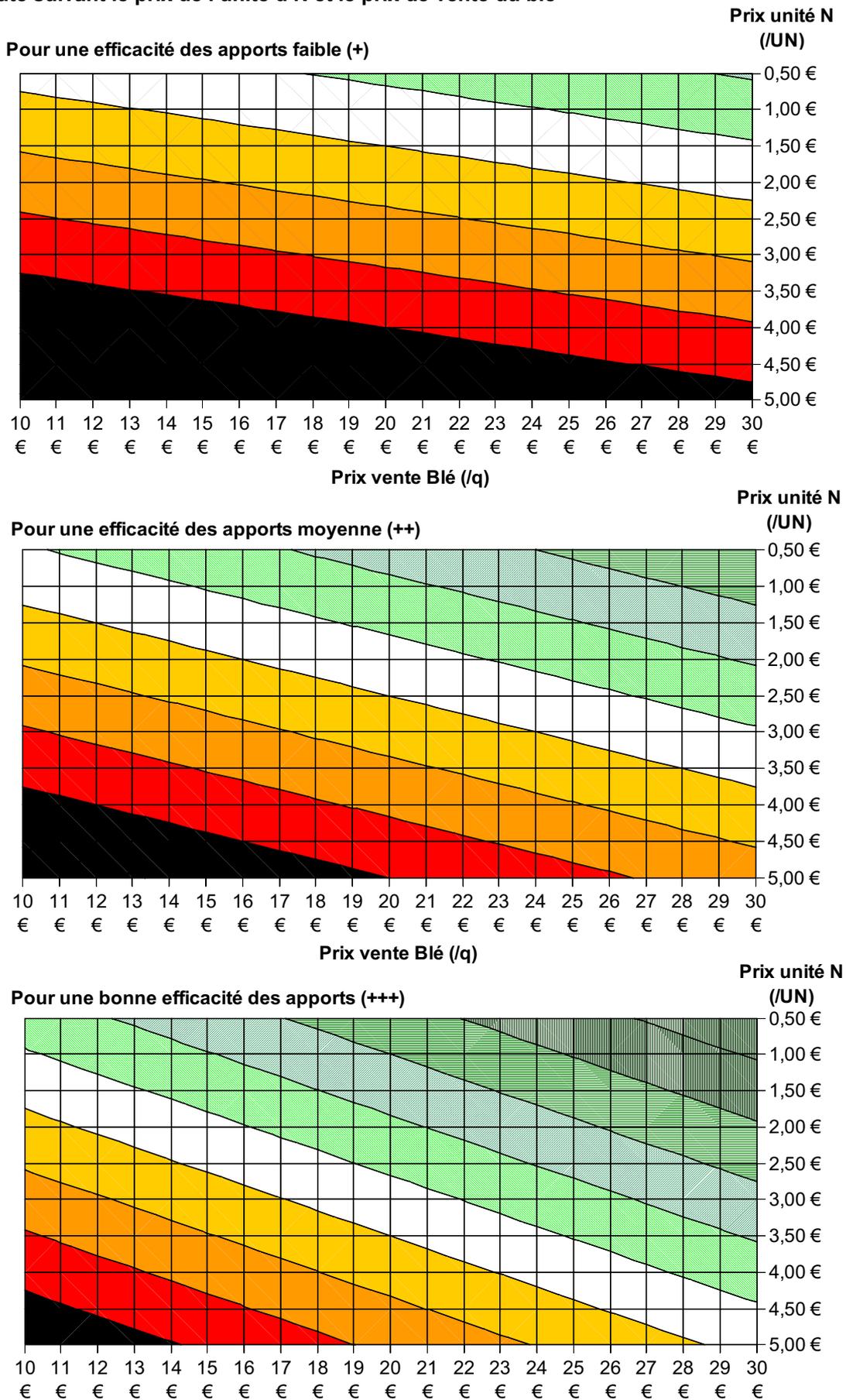
1. Les besoins de la plante : la méthode des bilans permet d'évaluer la dose d'azote maximum à apporter à la plante. En agriculture biologique, on l'adapte en prenant comme valeur moyenne des besoins du blé 2,5 Unités d'azote par quintal exporté, plutôt que 3, utilisée en blé conventionnel.

2. La rentabilité et le coût du produit :

Globalement, lorsque l'on reste dans des doses d'apports entre 30 et 90 UN/ha, et pour le niveau de précision qui nous intéresse, l'efficacité de chaque unité apportée reste quasi-constante. On peut donc considérer que le gain de rendement est proportionnel à la dose apportée. Le gain de rendement et le coût total du produit augmentant proportionnellement à la dose, les graphes de rentabilité présentés en page précédente restent grossièrement valables quelque soit la dose entre 30 et 90 U/ha.

En revanche, il ne faut pas perdre de vue la dépense engagée qui peut être importante en cas de forte dose, voire disproportionnée par rapport au gain obtenu (il vaut mieux engager 1€ pour en gagner 3 que 3 pour n'en gagner qu'1).

Figure 1. : L'effet azote sur les adventices : les risques liés à l'enherbement augmentent fortement au delà de 100 UN/ha ; et même à partir de 50 UN/ha dans les parcelles infestées par des adventices nitrophiles type vulpins, matricaires, gaillets... Gain ou perte de marge brute suivant le prix de l'unité d'N et le prix de vente du blé



4 VALIDATION ET UTILISATION DE L'OUTIL

Les essais menés dans la région ont permis de couvrir l'ensemble des situations climatiques présentées dans l'outil. En revanche, ils n'étaient situés que dans des sols appartenant aux catégories « terres intermédiaires et profondes » et « terres séchantes » qui représentent 60 à 70 % des sols franciliens. Les niveaux de minéralisation des deux autres catégories de sols ont été établis à dire d'expert (par suivi de parcelles).

D'autre part, l'outil s'appuie sur un certain nombre d'approximations (bornes de RSH, efficacité en fonction de la dose apportée...) qui ne posent pas de problème dans son application : un fort degré de précision n'est pas nécessaire alors qu'il s'agit de décider d'apporter ou non, et alors que les produits utilisés ne sont pas toujours caractérisés précisément (teneur en azote) et que les doses appliquées sont parfois approximatives.

L'outil est présenté ici dans son intégralité, qui peut rendre complexe son utilisation. Auprès des agriculteurs, il est adapté chaque année à la situation climatique et aux prix en cours, ce qui simplifie considérablement son utilisation (voir Annexe 2, exemple d'utilisation au printemps 2006). Il est alors directement utilisable par l'agriculteur à partir des RSH ou de références régionales de l'année en cours, et lui permet de hiérarchiser les apports entre ses différentes parcelles.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES, disponibles à la Chambre d'Agriculture de Seine et Marne

- Aubert C. et Glachant C., 2006 – Fertilisation azotée du blé : aide à la décision. Brèv'bio, n°12.
- Aubert C., Bizot E., Glachant C., Proffit L., Lousot P., Richer de Forges T., 2005 – Classification agronomique et comportementale des sols de Seine et Marne. 176 p.
- Aubert C., Piriou S. Cauwell B., Marchand L., 2001 – Guide pour la gestion de l'azote en grandes cultures biologique en IdF. 96 p.
- Glachant C., 2006 – Efficacité des apports d'engrais organiques en grandes cultures biologiques : cas du blé d'hiver - Résultats de 10 années d'essais en Ile de France. Document de travail.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé avec le soutien du Conseil Régional d'Ile de France et avec le partenariat d'animation du GAB Région Ile-de-France - CTR de l'ITAB.

ANNEXE 1 : CLE DE CARACTERISATION DES TYPES DE SOL

Il est important de caractériser son sol par son comportement tel que décrit dans les 3 premières colonnes du tableau ci-dessous.

Caractérisation du type de sol			Correspondance à la classification des sols de Seine et Marne ^(c)
<p>Sols engorgés l'hiver = Mauvaises conditions de reprise les années excédentaires en pluie et normales 6 à 7 années sur 10</p>		<p>TERRES HUMIDES ET TERRES TRES HUMIDES</p>	<p>LB_{Epp}, LA_{Esp}, LA_{Epp}, AL_{sp/c}, AL_{sp/a}, AL_{pp}, AE_{pp}, AE_{sup}, SC_e, AS_{sp}, AS_{sup}, SL_e, L_{Se}</p>
<p>Sols plutôt sains l'hiver = Bonnes conditions de reprise les années déficitaires en pluie et normales 6 à 7 années sur 10</p>	<p>Comportement des cultures quand fin de printemps et début d'été secs</p>	<p>Pas de flétrissement – chute^(a) de rendement non visible (< 10-15%) Les cultures d'été flétrissent, avec une chute^(a) de rendement visible (10-15% à 25-30%)</p>	<p>TERRES PROFONDES</p> <p>LF_{tp}, LB_{tp}, LB_p, LAV, LA_p, LC_p,</p>
		<p>Les cultures de printemps flétrissent, avec une chute^(a) de rendement visible (10-15% à 25-30%)</p>	<p>ET INTERMEDIAIRES</p> <p>LB_{sp^(b)}, LB_{Esp}, LA_{sp} AL^{Ca}_{sp/c}, AL^{Ca}_{sp/a}, SA^(b)</p>
		<p>Les cultures d'hiver flétrissent, avec une chute^(a) de rendement visible (10-15% à 25-30%)</p>	<p>TERRES SECHANTES</p> <p>LF_{sp}, AC_{sp}, AC_{pp}, LC_{sp/c}, LC_{sp/a}, SSI</p>
		<p>Les cultures d'hiver flétrissent, avec une chute^(a) de rendement visible (10-15% à 25-30%)</p>	<p>TERRES TRES SECHANTES</p> <p>LB_{pp}, AL^{Ca}_{pp}, AC_{sup}, LC_{pp}, SC_s, SS_s</p>

^(a) Chute de rendement par rapport à une année régulièrement arrosée ou en cas d'irrigation

^(b) En année déficitaire en eau, ces types de sols se comportent, suivant leur profondeur, comme ceux de la classe « Terres séchantes ».

^(c) Voir « Classification agronomique et comportementale des sols de Seine et Marne », Chambre d'Agriculture de Seine et Marne, 2005.

ANNEXE 2 : EXEMPLE DE CONSEIL A L'ANNEE : CAS DU PRINTEMPS 2006 - EXTRAIT DE BREV' BIO N°12 – 24 JANVIER 2006

4.1 Minéralisation de printemps attendue suivant le type de sol

(Au 24 janvier 2006) On peut d'ores et déjà prévoir que la pluviométrie hivernale sera **déficitaire** (sauf pluies exceptionnelles d'ici la fin du mois de février 2006). *On ne pourra l'affirmer vraiment que début mars 2006.*

Ainsi, les **niveaux de minéralisation de printemps attendus** selon le type de sol (voir annexe 1 pour caractériser les sols) en 2006 (année déficitaire en eau) sont les suivants :

Type de sol	Niveau de minéralisation
Terres humides et très Humides	1 Moyen
Terres profondes et intermédiaires	2 Bon
Terres séchantes	1 Moyen
Terres très séchantes	0 Faible

Attention : si vous rencontrez **un problème de structure du sol** (facilement vérifiable par un petit coup de bêche), le niveau de minéralisation doit être **diminué d'un échelon**.

Exemple : Type de sol = terre intermédiaire, le tableau donne une minéralisation de niveau 2. Mais avec un problème de structure du sol, la minéralisation attendue est alors de niveau 1 (Moyen).

4.2 Prévision d'efficacité et de rentabilité des apports fin tallage

Niveau de minéralisation au printemps	0 Faible		1 4.2.1.1.1.1.1.1.1 Moyen		2 Bon		
	40	70	40	70	40	100	
Reliquat Sortie Hiver (UN/ha)							
Prévision d'efficacité sur le rendement d'un apport fin tallage <i>Gain de rendement pour 60 UN/ha apportées fin tallage</i>	++ 6 à 9 q/ha	+ 3 à 6 q/ha	0 0 à 3 q/ha	0 0 à 3 q/ha	+++ > 9 q/ha	++ 6 à 9 q/ha	+ 3 à 6 q/ha
Rentabilité* - Blé PANIFIABLE Gain / perte de Marge Brute pour 60 UN/ha apportées fin tallage	+ + 30 à + 90 €/ha	0 - 30 à + 30 €/ha	- - 90 à - 27 €/ha	- - 90 à - 27 €/ha	++ > 90 €/ha	+ + 30 à + 90 €/ha	0 - 30 à + 30 €/ha
Rentabilité* - Blé FOURRAGER Gain / perte de Marge Brute pour 60 UN/ha apportées fin tallage	0 - 6 à + 36 €/ha	- - 48 à - 6 €/ha	-- - 90 à - 48 €/ha	-- - 90 à - 48 €/ha	+ > 36 €/ha	0 - 6 à + 36 €/ha	- - 48 à - 6 €/ha

Les bornes RSH sont approximatives, il faut considérer qu'elles se situent **autour de 40, 70 et 100 UN**.

* Rentabilité calculée à partir des éléments suivants :

- coût du produit : 1,5 €/UN soit pour 60 UN/ha = 90 €/ha
- prix du blé panifiable : 21 €/q
- prix du blé fourrager : 14 €/q

Remarque : En cas de **faible peuplement** du blé ou **d'enherbement non maîtrisable**, l'efficacité sur le rendement diminue : suivre la démarche décrite plus haut pour aboutir à la case d'efficacité sans tenir compte de ces facteurs. L'efficacité réelle prévisible est alors celle de la **case immédiatement à droite de celle obtenue** (sauf si l'efficacité est 0, elle reste 0).



Institut Technique de l'Agriculture Biologique

149, rue de Bercy

75595 Paris Cedex 12

Tél. : 01 40 04 50 64 - Fax : 01 40 50 66

Secretariat.itab@itab.asso.fr

www.itab.asso.fr