

Rapport de stage de 2^{ème} année



Minéralisation du sol en azote après divers précédents en système de grandes cultures en agriculture biologique

Conséquences pour l'alimentation en azote, le rendement et la qualité du blé tendre

13 juin - 20 août 2005

Effectué au sein de l'**UMR ARCHE**
Centre de recherche INRA de Toulouse, site d'Auzeville

En partenariat avec le **CREAB Midi-Pyrénées**
(Centre Régional de recherche et d'expérimentation en Agriculture Biologique)

Mélanie Ludot

Maître de stage : **Eric Justes**

Remerciements

Je remercie en premier lieu mon maître de stage, Eric Justes, qui malgré d'incessants déplacements professionnels et un emploi du temps surchargé, a su trouver le temps de répondre à toutes mes questions, en allant souvent bien au-delà du sujet strict du stage. Il m'a appris beaucoup de choses durant ce stage, de la dynamique de l'azote dans le sol à l'élaboration des composantes du rendement, en passant par l'utilisation de LIXIM, et surtout l'art et la manière délicats d'interpréter les composantes du rendement et les résultats des analyses de sol.

Je suis également très reconnaissante à Loïc Prieur, responsable des expérimentations du CREAB, qui a répondu avec gentillesse à mes questions sur l'agriculture biologique en général et l'essai sur lequel j'ai travaillé en particulier, et m'a fourni de nombreux éléments nécessaires à l'interprétation des données recueillies.

Merci enfin aux techniciens de L'INRA, Patrice Rouet, Didier Chesneau, Nathalie Seguin et Patrick Petitbon, qui m'ont expliqué les protocoles et le fonctionnement des machines utilisées pour le traitement des échantillons de sols et de plantes. Leur compagnie au cours des diverses manipulations au champ ou au laboratoire a été très agréable pendant ces deux mois de stage.

Liste des figures

- Figure 1 :** Evolution de la SAU et du nombre d'exploitation en bio ou en conversion en France de 1995 à 2003 (d'après Agence bio)
- Figure 2 :** Mise en place des cultures sur la parcelle à précédent Féverole
- Figure 3 :** Mise en place des cultures sur la parcelle à précédent Soja
- Figure 4 :** Courbe de dilution de l'azote (d'après Justes E.)
- Figure 5 :** INN épi 1cm en fonction du traitement
- Figure 6 :** INN floraison en fonction du traitement
- Figure 7 :** Phases de formation des différentes composantes du rendement du blé (Schéma d'après J.M. Meynard & M. Sébillotte)
- Figure 8 :** Comparaison des CAU de la vinasse et des farines de plumes selon la variété
- Figure 9 :** Comparaison des CAU de la vinasse et des farines de plumes
- Figure 10 :** Comparaison des CAU avec apport de 80 unités d'azote sous forme de plumes pour la variété Renan selon le précédent et la culture intermédiaire
- Figure 11 :** Evolution de la quantité d'azote minéral total dans le sol pour les témoins sans culture de blé
- Figure 12 :** Quantité instantanée d'azote minéralisé dans les différentes parcelles (calculée avec LIXIM)
- Figure 13 :** Lessivage cumulé dans les différentes parcelles (calculée avec LIXIM)
- Figure 14 :** Quantités d'azote minéral dans le sol en Novembre 2004
- Figure 15 :** Drainage cumulé dans les différentes parcelles (calculée avec LIXIM)

Liste des tableaux

- Tableau 1 :** Structuration du projet Fertiagribio (d'après ITAB)
- Tableau 2 :** Résumé des traitements expérimentaux suivis
- Tableau 3 :** Echelle de diagnostic des INN
- Tableau 4 :** Comparaison des états initiaux des parcelles où ont été appliqué le traitement Féverole-Moutarde (quantité d'azote et eau)
- Tableau 5 :** Moyennes sur deux répétitions des principaux paramètres agronomiques étudiés
- Tableau 6 :** Comparaison des états initiaux des parcelles à précédent Féverole (quantité d'azote et eau)

Liste des sigles

CAU : Coefficient Apparent d'Utilisation
CETIOM : Centre Technique Interprofessionnel des Oléagineux Métropolitains
CREAB : Centre de Recherche et d'Expérimentation en Agriculture Biologique
CTE : Contrat Territorial d'Exploitation
CTIFL : Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes
INN : Indice de Nutrition azotée
INRA : Institut National de la Recherche Agronomique
ITAB : Institut Technique de l'Agriculture Biologique
ITCF : Institut Technique des Céréales et des Fourrages (a fusionné en 2002 avec l'AGPM pour donner Arvalis, Institut technique du végétal)
LEGTA : Lycée d'Enseignement Général Technique et Agricole
MS : Masse sèche
SAU : Superficie Agricole Utile

Résumé

En agriculture biologique la nutrition azotée des plantes dépend en très grande partie de la fourniture d'azote minéral par le sol, et ce d'autant plus que les apports d'azote organique sont faibles. Cette fourniture en azote minéral provient donc essentiellement de la minéralisation de l'humus stable du sol et des résidus de récolte ou d'engrais verts restitués au sol.

L'objectif de ce travail est double ; d'une part, il s'agit de mieux comprendre la dynamique de minéralisation dans le sol. Pour cela, des analyses de sols et des simulations avec LIXIM ont été réalisées. D'autre part, nous avons évalué la capacité du blé d'hiver à utiliser l'azote minéral disponible sur des itinéraires techniques différents, en comparant les INN et les composantes du rendement. Deux variétés, deux précédents, trois cultures intermédiaires et deux formes d'engrais organiques azotés ont été testés.

Cet essai a mis en évidence une amélioration significative du rendement et de la teneur en protéines du Blé après la Féverole associée à une culture intermédiaire, à mettre en relation avec un stockage de l'azote par la Féverole et la culture intermédiaire puis une restitution progressive par les résidus. Il a montré l'intérêt d'implanter une culture intermédiaire, à la fois pour améliorer le rendement et la qualité du blé, et pour limiter les fuites de nitrates en hiver.

Abstract

In organic farming, the nitrogen nutrition of the crop depends mainly on the soil mineral nitrogen supply, and this especially as the organic nitrogen contributions are weak. This mineral nitrogen supply thus comes primarily from the mineralisation of the stable humus of the ground and from crop residues or green manures incorporated into the ground.

The objective of this work is twofold; on the one hand, it is a question of better understanding the dynamics of mineralisation in the ground. For that, analyses of soils and simulations with LIXIM were carried out. In addition, we have evaluated the capacity of winter corn to use mineral nitrogen available on different technical routes, by comparing the nitrogen status and the yields. Two varieties, two precedent cultures, three intercrops and two kinds of nitrogenized organic manures were tested.

This test highlighted a significant improvement of the Corn yield after Field bean, to put in relation to a storage of nitrogen by Field bean then a progressive restitution by the residues. It showed the interest of establishing an intercrops culture, in order to both improve the yield and quality of corn, and to limit the nitrate leakages in winter.

SOMMAIRE

Introduction.....	3
1^{ère} partie : Présentation de l'INRA, du CREAB et du projet fertiagribio	3
1. L'INRA, la première structure de recherche française	3
1.1. L'INRA en France : organisation	3
1.2. L'UMR ARCHE d'Auzeville au sein du centre INRA de Toulouse	4
2. Le contexte de l'agriculture biologique	5
2.1. Définition de l'agriculture biologique et réglementation :	5
2.2. L'agriculture biologique en France et dans la région Midi-Pyrénées	6
2.3. La filière blé biologique.....	6
2.4. La recherche en bio	7
3. Présentation du CREAB, Centre Régional de recherche et d'expérimentation en Agriculture Biologique de Midi-Pyrénées.....	7
3.1. Missions du CREAB	7
3.2. Le site expérimental de La Hourre à Auch.....	8
4. Le projet fertiagribio et l'essai mis en place au CREAB.....	8
4.1. Présentation générale du projet Fertiagribio.....	8
4.2. Objectifs de l'expérimentation mise en place au CREAB, et démarche	9
4.3. Ma mission.....	10
2^{ème} partie : Matériel et méthodes.....	11
1. Démarche	11
2. Le dispositif expérimental.....	11
3. Le matériel végétal.....	13
3.1. Les blés	13
3.2. Les précédents.....	13
3.3. Les cultures intermédiaires	14
3.4. Mise en place des cultures :	15
4. Fertilisation	16
5. Prélèvements de sol	16
5.1. Technique de prélèvement.....	16
5.2. Traitement et analyse des échantillons de sol	16
6. Prélèvements végétaux	17
6.1. Techniques de prélèvement des végétaux	17
6.2. Traitement et analyse des échantillons végétaux à la récolte	17
7. Paramètres mesurés et calculés.....	18
7.1. Sur le blé.....	18
7.2. Sur les sols	18
8. Présentation du programme LIXIM	19
9. Analyses statistiques	20
3^{ème} partie : Résultats et discussion	21
1. Appréciation des INN aux stades épi 1cm et floraison (travail réalisé par une autre stagiaire, Audrey Pégourié).....	21
1.1. Calcul et diagnostic de l'INN.....	21
1.2. INN au stade épi 1cm.....	22
1.3. INN au stade floraison.....	23
2. Analyse des composantes du rendement	24
2.1. Effet variété :	26
2.2. Effet précédent :	26

2.3.	Effet Culture intermédiaire :.....	26
2.4.	Analyse du rendement tous facteurs pris en compte	27
3.	Analyse la quantité d'azote absorbée, de la teneur en protéines et de leur relation. .	27
4.	Comparaison de deux formes d'engrais organiques, la farine de plumes hydrolysées et la vinasse.....	28
4.1.	Analyse des CAU (Coefficient Apparent d'Utilisation).....	28
5.	Analyse de l'évolution de l'azote minéral dans le sol	30
5.1.	Etude des reliquats laissés par les différents précédents et de l'évolution de la teneur en azote minéral dans le sol.....	30
5.2.	Etude de la minéralisation apparente	31
5.3.	Etude du lessivage et du drainage	31
Conclusion		33
Bibliographie.....		35
Annexes.....		37

Introduction

J'ai choisi de réaliser ce stage à l'INRA afin d'approcher le monde de la recherche, car c'est dans ce domaine que je souhaitais exercer mon futur métier d'ingénieur agronome. Ce stage a donc été l'occasion de tester, et de confirmer, mon projet professionnel.

L'expérimentation que j'ai suivie est menée en partenariat avec le CREAB, Centre de Recherche et d'Expérimentation en Agriculture Biologique. Elle a été réalisée à la demande des producteurs « Bio » dans le but de produire des références technico-économiques et agronomiques sur la gestion de l'azote applicables dans le système de production biologique. L'objectif était d'analyser la dynamique de fourniture en azote en fonction du système de culture pour le blé meunier biologique dont un enjeu important est l'amélioration de la teneur en protéines. Ce but est devenu prépondérant suite à la forte diminution du prix du blé et à la surproduction française actuelle, qui conduit les coopératives à élever leurs exigences. Deux variétés de blé tendre, deux précédents, trois cultures intermédiaires et deux formes d'engrais organiques azotés ont été testés sur cette expérimentation.

Cet essai a été mis en place en juillet 2004, et j'ai participé à sa phase finale avec la récolte du blé.

1^{ère} partie : Présentation de l'INRA, du CREAB et du projet fertiagriBio

1. L'INRA, la première structure de recherche française

1.1. L'INRA en France : organisation

L'INRA est un établissement public à caractère scientifique et technique. C'est le premier institut de recherche agronomique européen et il se situe parmi les 3 premiers mondiaux dans les domaines de l'agriculture, de l'alimentation et de l'environnement. Son budget en 2004 a été de 597,4 millions d'euros et le budget prévisionnel pour 2005 est de 614,5 M €. La majeure partie des recettes provient de subventions des ministères de tutelle (ministère chargé de la Recherche, ministère chargé de l'Agriculture).

L'INRA a été créé en 1946 dans un objectif de modernisation de l'agriculture française. Dans le contexte de l'après-guerre, la priorité était alors d'assurer l'autosuffisance alimentaire du pays.

Les enjeux ont par la suite évolué avec les mutations de la société et les avancées scientifiques, et les recherches de l'Inra s'inscrivent aujourd'hui dans l'objectif de contribuer à un développement durable, qui prenne en compte à la fois la viabilité économique, l'équité sociale et la préservation de l'environnement.

Dans ce contexte, l'INRA est aujourd'hui doté d'une large gamme de missions :

- Produire et diffuser des connaissances scientifiques
- Concevoir des innovations et des savoir-faire pour la société : proposer des réponses pratiques à des questions agricoles, alimentaires ou environnementales dans le cadre d'un développement durable
- Eclairer, par son expertise, les décisions des acteurs publics et privés

- Développer la culture scientifique et technique et participer au débat science/société
- Former à la recherche et par la recherche : partenariats avec les établissements d'enseignement supérieur, notamment au sein des unités mixtes de recherche (UMR)

D'après son site internet, L'INRA emploie 1 850 chercheurs, 2 270 ingénieurs, 4 440 techniciens et administratifs, 1 600 doctorants et près de 2 700 stagiaires.

Ses activités sont réparties entre 14 départements scientifiques dans le domaine de l'agriculture, de l'alimentation et de l'environnement.

Il compte 21 centres de recherche régionaux, comportant près de 200 sites de recherche et d'expérimentation. Le dispositif de recherche comprend 405 unités, dont 265 unités de recherche, 70 unités expérimentales, 60 unités d'appui à la recherche et 10 unités de service. Les unités mixtes de recherche (UMR) associant l'Inra à d'autres organismes de recherche ou d'enseignement supérieur sont au nombre de 145.

1.2. L'UMR ARCHE d'Auzeville au sein du centre INRA de Toulouse

Mon stage s'est déroulé au sein de l'UMR ARCHE d'Auzeville, une unité mixte de recherche de l'INRA en co-tutelle avec l'ENSAT, appartenant au centre INRA de Toulouse. Le directeur de l'unité est Mr Michel Duru.

Le **Centre INRA de Toulouse** est l'un des 21 Centres régionaux de l'INRA. Il se consacre à trois domaines de recherches :

- Génome et Biotechnologies
- Sécurité sanitaire des aliments
- Territoire et produits

Le centre de Toulouse comprend 21 Unités de recherche dont 11 Unités mixtes et 5 Unités expérimentales.

Les unités du centre sont localisées sur 8 sites :

- Toulouse - Auzeville
- Toulouse - St Martin du Touch
- Toulouse - Ecole vétérinaire
- Toulouse - Université de Toulouse 1
- Toulouse - INSA
- Toulouse - Ecole de chimie
- Carmaux (81)
- La Fage (12)

L'UMR ARCHE appartient au **département scientifique environnement et agronomie** de l'INRA dont la mission est de développer, formaliser, et transférer les bases scientifiques qui permettent à différents acteurs de concilier les fonctions de production végétale en quantité et qualité et les fonctions environnementales.

L'unité ARCHE aborde ces questions au travers de trois axes de recherches :

Le premier concerne la conduite de cultures en vue d'atteindre des objectifs productifs et environnementaux. Il est mis en œuvre pour des systèmes de grande culture soumis à diverses disponibilités en eau d'irrigation et/ou conduits à bas niveaux d'intrants par l'équipe VASCO.

Le deuxième concerne la modélisation spatiale des ressources environnementales et plus particulièrement la gestion qualitative de l'eau par l'équipe MAGE.

Enfin, le troisième axe concerne la construction et l'évaluation de scénarios d'utilisation de ressources au niveau d'exploitations agricoles ou de territoire; mis en oeuvre pour des systèmes herbagers à base de prairies temporaires de longue durée, de prairies permanentes et de parcours par l'équipe ORPHEE.

Les thèmes de recherche de **l'équipe VASCO**, dans laquelle j'ai été intégrée pour ce stage, sont les suivants :

- la conception et l'évaluation des systèmes de culture pour différents cahiers des charges et diverses contraintes de ressource en eau
- l'analyse et modélisation des interactions génotype x eau x azote à l'échelle du peuplement
- l'étude et la modélisation des ressources en azote en système à bas niveau d'intrants

2. Le contexte de l'agriculture biologique

2.1. Définition de l'agriculture biologique et réglementation :

L'agriculture biologique est un mode de production fondé notamment sur la non-utilisation de produits chimiques de synthèse, le recyclage des matières organiques, la rotation des cultures et la lutte biologique. Tous les engrais et produits phytosanitaires de synthèse sont interdits. Seuls sont autorisés les substances figurant sur la liste positive du règlement CE n°2092/91 du 24 juin 1991 modifié et ses annexes qui encadre la production biologique en Europe.

Ce règlement édicte :

- les principes de production, de préparation et d'importation,
- les listes positives de produits utilisables (fertilisation, traitements, transformation...),
- les pratiques par type d'élevage,
- les principes de contrôle, de certification, de sanction et d'étiquetage.

Pour être commercialisé comme issu de l'agriculture biologique, tout produit doit avoir été contrôlé et certifié par un organisme de contrôle agréé par les pouvoirs publics. A ce jour, les cinq organismes de contrôle agréés en France sont Aclave, Agrocet, Ecocert, Qualité France et Ulase.

Le ou les contrôle(s) annuel(s) portent sur l'ensemble du système de production : parcelles agricoles, lieux de stockage, transformation, comptabilité matière, conformité des recettes et produits correspondants, garanties données par les fournisseurs, étiquettes... Des prélèvements pour analyse peuvent être effectués afin de vérifier la non utilisation de produits interdits (pesticides, OGM...).

Un certificat est délivré par l'organisme certificateur pour les produits jugés conformes à la réglementation en vigueur au vu des résultats des contrôles.

2.2. L'agriculture biologique en France et dans la région Midi-Pyrénées

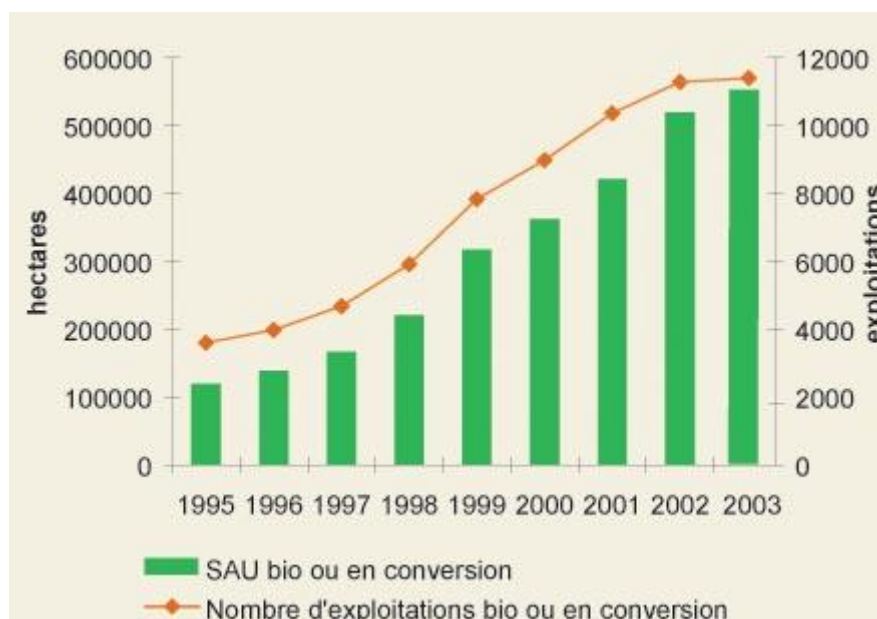


Figure 1 : Evolution de la SAU et du nombre d'exploitation en bio ou en conversion en France de 1995 à 2003
(Figure d'après Agence bio)

En France en 2004, l'agriculture biologique concernait d'après l'Agence bio 534 037 hectares, soit 1,93% de la SAU nationale. Cependant, malgré un intérêt croissant de la part des consommateurs pour les produits bio, on a observé en 2004 une diminution de 3% des surfaces en bio par rapport à 2003 et une stagnation du nombre d'exploitations.

La région Midi-Pyrénées est par la surface la première région française pour l'agriculture biologique, avec 63 713 hectares, soit 2,7% de la SAU régionale. Cela représente 12% de la surface nationale en bio. 1168 exploitations biologiques y sont recensées. La région Midi-Pyrénées est la première région de France pour la production de céréales bio et l'élevage ovin bio.

2.3. La filière blé biologique

La production de blé biologique a subi une hausse importante au cours de ces dernières années, en raison de l'augmentation des aides à la conversion, qui sont passées de 363 euros/ha en 1998 à 1 219 euros/ha sur 5 ans en 2000 dans le cadre des CTE. Ainsi, la production de blé tendre a doublé de 2002 à 2003, passant de 25 000 tonnes à 52 600 tonnes. L'essentiel est destiné à la meunerie, qui en a absorbé 47 000 tonnes en 2003 (C. David, 2004).

Cependant, depuis 2003 ce marché est saturé, ce qui a conduit les meuniers à accroître leurs exigences pour la qualité du blé, notamment en terme de teneur en protéines : les taux exigés sont désormais de 10,5 à 12%, ce qui est élevé pour une conduite biologique.

2.4. La recherche en bio

Des actions de recherche appliquée et d'expérimentation sont conduites par différents organismes (instituts techniques, fermes expérimentales, etc.) en concertation avec l'Institut Technique de l'Agriculture Biologique (ITAB). L'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) a élaboré un programme de recherche spécifique au secteur. Les thèmes de recherche à l'INRA portent notamment sur la fertilisation, l'impact de l'agriculture biologique sur l'environnement, la qualité de la farine biologique, les moyens de diminuer l'usage du cuivre...

Des projets sont menés en coopération par ces différents organismes : un exemple en est le projet FertiagriBio dans lequel s'inscrit mon stage. Par ailleurs, la DGER (Direction générale de l'enseignement et de la recherche) anime une plate-forme de coordination en agriculture biologique.

Enfin, un nouveau projet européen, Core Organic, a été mis en place pour faciliter la coordination et l'information sur les projets de recherches en bio en Europe. Le responsable en est un Danois, Erik Steen Kristensen.

3. Présentation du CREAB, Centre Régional de recherche et d'expérimentation en Agriculture Biologique de Midi-Pyrénées

3.1. Missions du CREAB

Le CREAB Midi-Pyrénées est l'un des trois Centres Régionaux de recherche et d'Expérimentation en Agriculture Biologique en France. C'est une association régie par la loi de 1901, qui a vu le jour en 1989 à l'instigation des agriculteurs biologiques de la région. Ses missions sont l'acquisition et la diffusion de références techniques dans le domaine des grandes cultures conduites selon le mode de production biologique.

Pour ce faire, le CREAB Midi-Pyrénées réalise plusieurs types d'essais :

- **Essais de choix de variétés** sur les cultures de blé tendre, blé dur, orge, féverole, tournesol, maïs.
- **Essais de fertilisation** : réponse du blé tendre à la fertilisation azotée de printemps, test de différents fertilisants organiques du commerce
- **Essai désherbage** : test de différents itinéraires techniques de désherbage sur blé tendre, et lutte mécanique contre les vivaces
- **Essai systèmes de production** : sur 3 systèmes de production biologique (exploitation céréalière en sec ou irriguée, exploitation en polyculture élevage), test de différents itinéraires techniques, validation de rotations, suivi de l'évolution du salissement et de la fertilité des sols, rendements accessibles.
- **Suivi d'une exploitation en reconversion à l'agriculture biologique**
- Etude et suivi de la **qualité technologique et sanitaire du blé tendre panifiable**
- **Test de culture** : mise en place de culture de lentille, pois chiche et sorgho.

Le conseil d'administration se compose de 12 membres représentant l'ensemble de la filière grandes cultures biologiques, et a pour rôle de définir les thèmes expérimentaux en accord avec les demandes de la profession.

Le conseil scientifique, composé de chercheurs, d'ingénieurs et de techniciens des Instituts Techniques et de recherche, des chambres d'agriculture et des organismes

économiques, ainsi que de professeurs de l'enseignement, traduit sous forme d'essais les axes de recherche définis par le conseil d'administration. Il a également pour mission d'aider à la réalisation des expérimentations et de valider les résultats obtenus.

L'équipe technique du CREAB est composée d'un responsable des expérimentations, Loïc Prieur, et d'un technicien spécialisé, Laurent Laffont.

3.2. Le site expérimental de La Hourre à Auch

Le CREAB dispose depuis 1999 pour ses expérimentations d'un domaine de 53 ha, situé à Auch sur le site de La Hourre. Ce domaine s'étend sur un système de coteaux présentant des pentes moyennes à fortes, ainsi qu'une zone de vallée. Les sols font partie de la classe des terreforts argilo-calcaires et se distinguent principalement par leur profondeur : sur les zones de coteaux, les sols sont plus superficiels qu'au bord du ruisseau. L'exploitation est gérée par l'équipe technique du LEGTA de Beaulieu, le CREAB ayant pour mission le suivi des expérimentations.

4. Le projet fertiagribo et l'essai mis en place au CREAB

4.1. Présentation générale du projet Fertiagribo

En agriculture biologique, la gestion de la fertilisation, notamment azotée, conditionne la durabilité du mode de production ; doivent être prises en compte 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 :

- 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).
- l'élaboration et la mise en place d'outils d'évaluation et de bilans adaptés à l'agriculture biologique

C'est à ces questions que tentera de répondre le projet « *Fertiagribo* ».

Le projet réunit les chercheurs et des ingénieurs qui proviennent à la fois d'instituts de recherche ou de structures d'enseignement (INRA, ENITAC, ISARA) et d'instituts techniques (CETIOM, Ctifl, IDE, ITAB, ITCF) (Annexe 2). Ce partenariat rassemble des compétences complémentaires qui permettent d'aborder les différentes questions posées, en faisant appel à différentes techniques : enquêtes, bilans, essais au champ, tests en laboratoire...

Plusieurs parcelles expérimentales et des réseaux de parcelles chez des agriculteurs sont suivis :

- 10 couples (agrobiologique/conventionnel) de parcelles chez des agriculteurs du Sud-Ouest ;
- Ferme de la Hourre (CREAB – LA Auch-Beaulieu) ;
- Auzeville (INRA Toulouse) ;
- Couples de parcelles en prairie en Auvergne ;
- Parcelles de la ferme de la Bergerie, mise en place d'une rotation longue en AB, avec suivi ARVALIS ;

Compte tenu du champ d'investigation, le projet a été structuré en 4 tâches :

Tâche 1	Analyse des pratiques et de leurs conséquences sur la disponibilité en éléments minéraux Réflexion sur les démarches expérimentales et les dispositifs à mettre en oeuvre
Tâche 2	Connaître et prévoir la disponibilité des éléments fertilisants
Tâche 3	Evaluer et améliorer les outils d'aide à la décision pour gérer la fertilisation (modèles et indicateurs)
Tâche 4	Coordination scientifique et administrative

**Tableau 1 : Structuration du projet Fertiagribio
(d'après ITAB)**

Eric Justes, mon maître de stage, est responsable de la tâche 2 : Connaître et prévoir la disponibilité des éléments fertilisants.

Il s'agit de déterminer et prévoir la dynamique et la fourniture des nutriments en provenance des différentes sources :

- les intrants organiques (engrais et amendements organiques) ;
- la matière organique endogène du sol ;
- les retournements de prairie ;
- les résidus de récolte et des précédents cultures de Légumineuses.

Les données sont acquises à l'aide d'expérimentations au champ (effets précédents Légumineuses, précédent prairie, évaluation des compartiments et des flux au niveau du sol...) ou de tests de laboratoire (incubations de sols et de produits organiques, potentiel mycorhizogène...). Elles serviront en particulier à mettre au point des indicateurs (sol et plante) et à paramétrer les modules de fourniture d'éléments fertilisants dans les modèles de prédiction (pour N, par exemple Azodyn-Org, STICS) ou à évaluer la capacité des modèles à prendre en compte la fourniture d'azote ou de phosphore pour la plante à partir de différentes sources (notamment amendements organiques, Légumineuses...).

4.2. Objectifs de l'expérimentation mise en place au CREAB, et démarche

Au sein de ce projet Fertiagribio, j'ai suivi l'essai mis en place en juillet 2004 par le CREAB Midi-Pyrénées (Centre de Recherche et d'Expérimentation en Agriculture Biologique) à la ferme de la Hourre à Auch (32).

En agriculture biologique la nutrition azotée des plantes dépend en très grande partie de la fourniture d'azote minéral par le sol, et ce d'autant plus que les apports d'azote organique sont faibles. Cette fourniture en azote minéral provient donc essentiellement de la minéralisation de l'humus stable du sol et des résidus de récolte ou d'engrais verts restitués au sol. Il convient donc de bien prévoir la dynamique de minéralisation afin de pouvoir raisonner la fertilisation organique de printemps sur la base du reliquat d'azote minéral en sortie hiver et de la prévision de minéralisation du sol d'une part, et limiter les fuites de nitrates en interculture en implantant une culture intermédiaire, d'autre part.

Les objectifs de l'expérimentation mise en place au CREAB sont multiples :

- mesurer in situ la dynamique de minéralisation de l'azote dans le sol après incorporation de divers précédents et engrais verts
- évaluer la capacité du blé d'hiver à utiliser l'azote minéral disponible dans le sol
- estimer la lixiviation des nitrates en système de grandes cultures dans le Sud-Ouest de la France
- évaluer le modèle STICS (*Brisson et al., 1998 ; 2002 ; 2003*) dans le mode d'exploitation biologique sans apport de matière organique

4.3. Ma mission

L'objectif du stage était d'une part de contribuer à mieux prévoir la disponibilité dynamique en azote minéral au cours de l'année, et d'autre part d'analyser les conséquences sur la culture de blé tendre suivante en terme de rendement et de qualité.

Dans ce but, j'ai participé aux prélèvements de blé sur le terrain, et pris en charge le traitement des échantillons. J'ai ensuite traité les données recueillies sous Excel : calculs de composantes du rendement, d'indices, réalisation de graphiques pour visualiser les résultats ou mettre en relation plusieurs paramètres... J'ai bien entendu réalisé une analyse statistique à l'aide du logiciel S-plus afin d'établir la validité des résultats.

J'ai également pris part à l'extraction et au dosage des échantillons de sol en azote minéral (NO_3^- et NH_4^+). Puis, à partir de ces résultats, j'ai créé des fichiers d'entrée du programme de calcul Lixim (*Mary et al., 1999*). Ce programme permet de calculer la minéralisation dynamique du sol en situation de sol sans culture.

Ce travail a été réalisé après différents précédents culturels et cultures intermédiaires afin de pouvoir comparer la fourniture d'azote par le sol et d'en analyser l'impact sur la production de blé et de sa teneur en protéines en agriculture biologique.

2^{ème} partie : Matériel et méthodes

1. Démarche

La démarche suivie pour atteindre les objectifs énoncés plus haut a été la suivante :

Quantification de la dynamique de minéralisation nette dans le sol :

- Mesures mensuelles de l'azote minéral du sol et de l'humidité
- Utilisation de témoins sol nu, pour éviter l'incertitude liée à la difficulté d'estimation des prélèvements par les végétaux (N présent dans les racines...)
- Calcul de la minéralisation nette à l'aide du programme de calcul Lixim (Mary et al., 1999)
- Comparaison des effets de différents résidus de culture
 - Orge, Féverole, Soja comme précédents
 - Moutarde comme piège à nitrate
 - Vesce-Avoine comme engrais vert

Analyse de la disponibilité de l'azote pour la culture de blé

- Blé non fertilisé, ou avec apport de vinasse, ou de plumes hydrolysées
- Etat de nutrition azoté aux stades épi 1cm et floraison, rendement et taux de protéines

Estimation du lessivage de nitrates pendant la période hivernale en utilisant LIXIM sur sol nu

2. Le dispositif expérimental

Dans ce dispositif, 17 traitements différents sont suivis, avec 3 répétitions pour chaque traitement. Les témoins "sol nu" permettent d'évaluer la lixiviation et la fourniture azotée du sol.

Les parcelles précédent Féverole et précédent Soja se situent en bordure de la Hourre, sur terre profonde. Une autre parcelle, avec un précédent Orge d'hiver, est située à mi-pente. Sur cette dernière, il n'y a pas eu de culture de blé, le but était uniquement de mesurer la minéralisation et le lessivage en sol nu après céréale et de comparer avec des précédents légumineuses.

Précédent		Soja						Féverole						Orge				
Culture intermédiaire		/						/		Moutarde		Vesce-Avoine		/				
Variété		/	Cap Horn			Renan			/	Renan		/	Renan		/	/		
Fertilisation		/	/	farine de plumes	vinasses	/	farine de plumes	vinasses	/	/	farine de plumes	/	farine de plumes	/	/	/		
Quantité (kg/ha)		0	0	74	72	0	74	72	0	0	74	0	0	74	0	0	74	/
Surface parcelle	Rep 1		40	40	40	60	60	60		58.5	58.5		58.5	49.4		56.5	58.5	
	Rep 2		40	40	40	60	60	60		57	57		57	49.4		57.0	57.0	
	Rep 3		37.5	37.5	37.5	48	60	60		58.5	58.5		58.5	50.7		58.5	58.5	

Tableau 2 : Résumé des traitements expérimentaux suivis

3. Le matériel végétal

3.1. Les blés

Deux variétés de blé ont été utilisées sur le précédent Soja : Renan et Cap Horn. Les descriptions qui suivent reprennent les caractéristiques inscrites au catalogue français, ainsi que les résultats d'essais menés par l'ITAB pour évaluer les caractéristiques des variétés conventionnelles en agriculture biologique.

Renan est une variété tardive, de hauteur moyenne, à gros grain, au port étalé et à tallage correct. C'est un blé de qualité, limite BAF-BPS (BAF : Blé Améliorant ou de Force ; BPS Blé panifiable Supérieur), apprécié des meuniers bio. Sa teneur en protéines est correcte quelle que soit la fourniture azotée. Par contre c'est une variété à rendement moyen, voire limité. Très « hiver », elle doit être semée tôt pour exprimer son potentiel de rendement. Tolérante à l'ensemble des maladies, cette variété sélectionnée par l'INRA est également cultivée en Autriche et en Allemagne en AB. Renan apporte un très bon compromis qualité/productivité en bio, notamment lorsque des hivers vigoureux lui permettent d'exprimer sa résistance au froid. Cette variété est un peu tardive pour le sud de la France mais néanmoins intéressante.

Cap Horn est une variété semi-précoce, remarquable par son très bon niveau de résistance aux maladies foliaires. Cette variété courte et au port très dressé couvrant peu le sol est à réserver aux sols profonds.

Elle convient pour la moitié sud de la France et pour le Bassin Parisien et la Bretagne. Sa teneur en protéines est correcte et elle présente une bonne valeur boulangère en conventionnel. Son niveau de rendement en agriculture bio est bon, voire très bon en Bretagne ainsi qu'en zone centre où sa résistance au froid peut s'exprimer. Là encore, cette variété présente un bon compromis productivité/qualité.

3.2. Les précédents

Trois précédents ont été testés : le Soja, La Féverole et l'Orge d'hiver. Pour chacune de ces cultures, les résidus de ont été incorporés au sol par déchaumage.

Après le précédent Orge, il n'y a pas eu de culture de blé, le but était uniquement de mesurer la minéralisation et le lessivage en sol nu. En effet, pour ne pas favoriser le développement de maladies, il est préférable de ne pas se faire suivre deux cultures de céréales, à fortiori en conduite biologique.

Sur le précédent Féverole, deux cultures intermédiaires ont été testées, et comparées avec le cas où le sol était laissé nu : la Moutarde, et une association Vesce et Avoine.

La Féverole, en tant que Légumineuse, est connue pour être un excellent précédent pour les céréales, puisqu'elle enrichit le sol de l'azote atmosphérique fixée au niveau de ses nodosités. En agriculture biologique la Féverole, du fait de sa grande taille, a un pouvoir étouffant par rapport aux adventices. Elle présente aussi l'intérêt de bien supporter la herse étrille.

Le Soja, peu sujet aux maladies et aux attaques de ravageurs, s'adapte bien au mode de production biologique. En tant que Légumineuse, il est capable de s'alimenter en azote en l'absence d'apport d'engrais et de fournir de l'azote à la culture suivante. Enfin, si la

maîtrise de son désherbage reste un point délicat, les moyens mécaniques (faux-semis, herse-étrille, binage) permettent un contrôle satisfaisant des adventices.

3.3. Les cultures intermédiaires

Deux cultures intermédiaires ont été testées, après précédent Féverole : une Crucifère, la Moutarde, et une association Légumineuse-Graminée : Vesce et Avoine. Les cultures intermédiaires sont implantées d'une part pour limiter les fuites de nitrates en hiver, et d'autre part, car leur destruction et leur enfouissement apporte de la matière organique pour la culture suivante.

La Moutarde possède une très bonne capacité de fixation des nitrates, elle est couramment utilisée comme piège à nitrate en culture dérobée ou intermédiaire. Elle développe de plus une masse végétative importante, donc sa destruction et son enfouissement enrichissent le sol en matière organique. Enfin son système racinaire pivotant qui s'enfonce jusqu'à 70-80 cm de profondeur permet une bonne décompaction de la structure du sol et son aération.

L'association Graminée Légumineuse, du fait de la compétition qui s'instaure entre les deux espèces, entraîne un enrichissement du sol en azote par la Légumineuse supérieur par rapport au cas où celle-ci est cultivée seule. En effet, lorsque de l'azote est présent dans le sol, la fixation atmosphérique d'azote par la Légumineuse est inhibée. La graminée, plus efficace dans la compétition pour l'azote du sol, raréfie l'azote disponible dans le sol pour la Légumineuse, qui voit ainsi son activité fixatrice de N₂ augmenter.

L'Avoine sert également de tuteur à la Vesce, lui évitant la verse et lui permettant de profiter de davantage d'énergie lumineuse. Enfin un autre intérêt de la Vesce réside dans son fort pouvoir couvrant, particulièrement intéressant en bio pour lutter contre les adventices.

Les cultures intermédiaires ont été détruites mécaniquement début novembre. Ces espèces présentent l'avantage de pouvoir être détruites efficacement de façon mécanique, la destruction chimique étant bien entendue exclue en bio. D'autres espèces, comme le ray-grass italien, la navette ou le radis, présentent après destruction mécanique des repousses importantes et impossibles à détruire dans la culture suivante.

3.4. Mise en place des cultures :

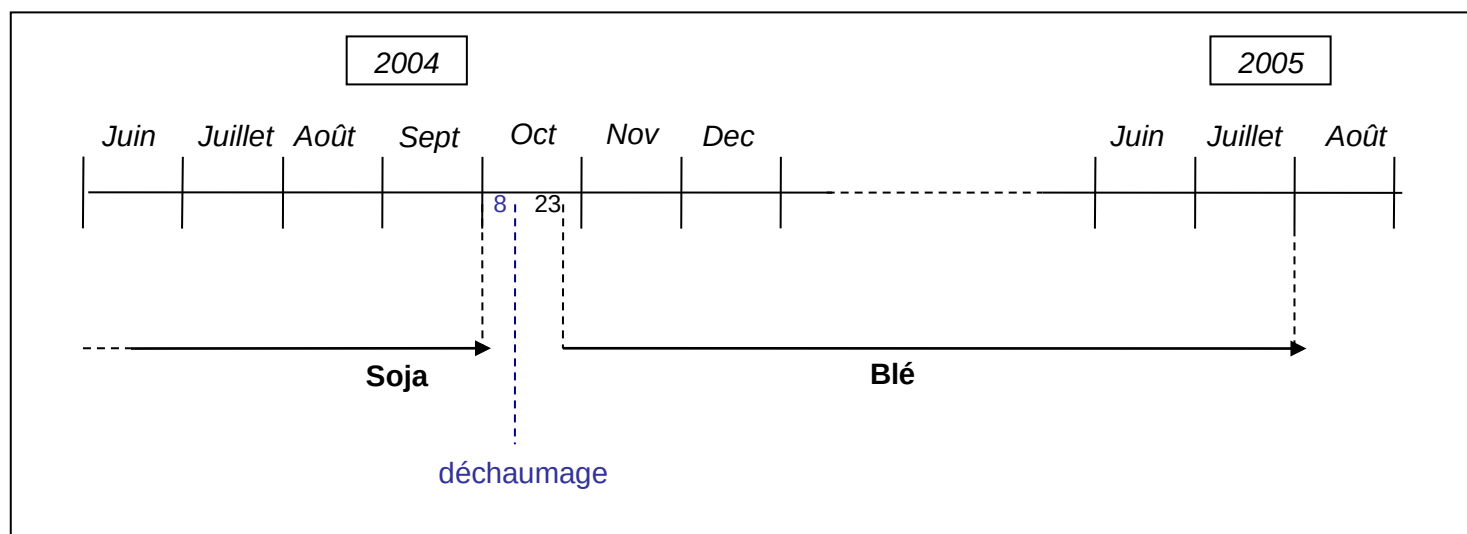


Figure 2 : Mise en place des cultures sur la parcelle à précédent Féverole

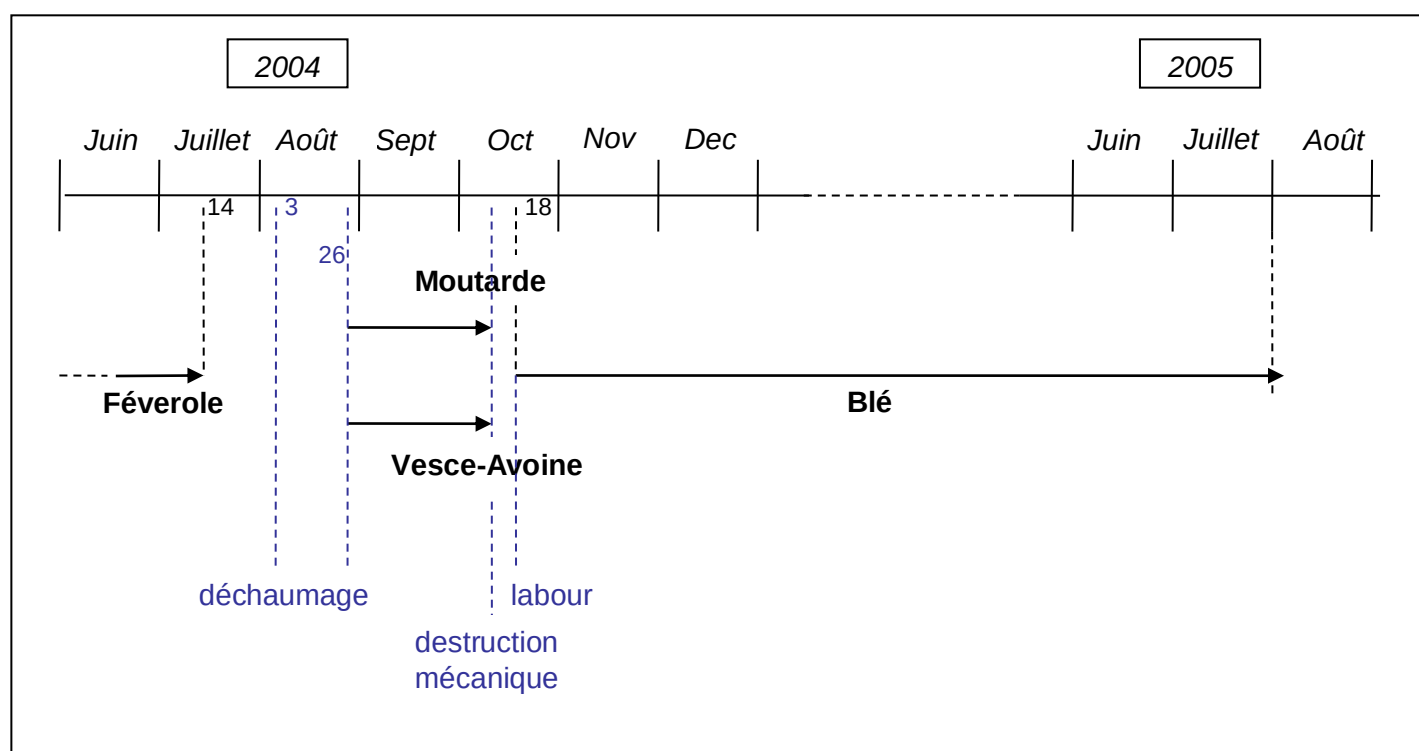


Figure 3 : Mise en place des cultures sur la parcelle à précédent Soja

Le semis de blé a eu lieu après passage de la herse rotative. Le semis a été effectué avec un écartement entre les rangs de 17,5 cm, à une profondeur de 3 cm et une densité de 400 grains/m².

4. Fertilisation

La fertilisation azotée est apportée sous forme organique, la seule qui soit autorisée en bio ; ce sont des farines de plumes ou des vinasses de betterave. L'engrais a été épandu le 5 avril 2005. La dose d'azote apportée a été de 74 kg/ha pour la farine de plumes et 72 kg/ha pour les vinasses.

La farine de plumes hydrolysées se présente sous forme de bouchons dont la dégradation est assez lente, notamment si les précipitations sont faibles.

La vinasse, sous forme liquide, est plus rapidement intégrée au sol.

5. Prélèvements de sol

5.1. Technique de prélèvement

Des prélèvements de sol sont effectués mensuellement depuis juillet 2004.

A une date donnée, 8 prélèvements sont effectués dans chacun des 4 horizons de sol suivants : 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90cm, et 90-120 cm si ce dernier existe et est facilement prélevable.

5.2. Traitement et analyse des échantillons de sol

Chaque échantillon, constitué de 8 carottes de sol, est homogénéisé, puis on prélève une certaine quantité (entre 150 et 180 g) de terre, qui est pesée puis placée à l'étuve à 105°C pendant 48h. Après quoi, la masse sèche est mesurée. Ces mesures nous donneront accès à l'humidité des sols.

Parallèlement, 100g (+/- 0.2g) de terre sont prélevés et placés dans un sachet plastique avec 200 mL d'une solution d'extraction de KCl à 1 mol/L. Cette solution déplace les ions ammoniums et entraîne les nitrites et nitrates solubles. Les sachets sont ensuite agités sur une roue pendant 30 min, puis on les laisse décanter une heure. La fraction en solution est alors filtrée dans des tubes à essai pour réaliser les analyses de teneur en nitrate et ammonium.

Les déterminations de l'ammonium et du nitrate et nitrite sont réalisées par un appareil SKALAR 5100 qui fonctionne en chaîne à flux continu. Les deux méthodes utilisées sont des méthodes colorimétriques.

Le dosage de l'ammonium est réalisé par une technique basée sur la réaction de Berthelot où le Phénol est remplacé par de Salycilate. Ce dernier est moins toxique et moins polluant que le Phénol. L'absorption est mesurée à 600 nm, la couleur produite par la réaction est vert-bleu.

La méthode de dosage du nitrate et du nitrite utilise la réduction des nitrates en nitrites à pH 7,5 dans une colonne Cu-Cd. Les ions nitrites réduits des nitrates ainsi que les ions nitrites initialement présents en solution réagissent ensuite en milieu acide avec de la Sulfanilamide pour former un composé diazo, qui va s'associer avec de la N-1-Naphtylethylenediamine dihydrochloride pour former un complexe azo pourpre. Ce complexe sera dosé à 520 nm.

6. Prélèvements végétaux

6.1. Techniques de prélèvement des végétaux

Deux techniques différentes de prélèvement ont été utilisées selon les stades : la technique "en placettes" pour les prélèvements aux stades épi 1cm et floraison, et la technique des "botillons" à maturité.

- La technique du prélèvement "en placettes" consiste à prélever dans chaque répétition de 4 à 8 placettes de 50cm sur un rang. Elle permet de mesurer une quantité de biomasse par surface de sol.
- Dans le cas d'un prélèvement "en botillons", on prélève de façon aléatoire 100 à 150 tiges en 4 ou 5 prises à la récolte. Cette méthode permet de calculer l'indice de récolte (grain/pailles).

6.2. Traitement et analyse des échantillons végétaux à la récolte

Les échantillons sont ensuite placés pendant 48 h dans une étuve à 80°C, puis pesés. On compte le nombre d'épis par prélèvement, et après battage, on mesure le PMG (poids de mille grains) et la masse de paille. A partir de ces données, on peut calculer l'indice de récolte (poids des grains / poids de paille).

Le rendement a été mesuré par la moissonneuse grâce à un dispositif de pesée embarquée. A l'aide de l'indice de récolte préalablement calculé, et d'après le poids de grain récolté, on a accès à la masse de paille par m² et à la biomasse totale produite. Connaissant le PMG et le nombre de grains par épi grâce aux prélèvements, on peut aussi avoir accès au nombre d'épis par m².

Les pailles et les grains sont ensuite broyés finement pour pouvoir réaliser les analyses d'azote et de phosphore en laboratoire.

La méthode utilisée pour le dosage d'azote est la méthode Dumas ; le dosage est réalisé par un analyseur CHN de marque LECO, modèle 2000.

La méthode Kjeldahl, qui est la méthode de référence pour le dosage de l'azote présente deux types d'inconvénients : elle requiert un temps de mise en œuvre important, et nécessite l'utilisation de produits chimiques à risque (acide sulfurique concentré et catalyseurs à base de mercure ou sélénium). La méthode Dumas, quant à elle, est facilement automatisable, le débit de l'analyse est d'environ 20 échantillons par heure et le résultat est immédiat.

Le principe consiste à calciner une prise d'essai de masse connue (de 100 à 150 mg à 0% d'humidité) dans un four à 950°C. Cette prise d'essai est préalablement enveloppée dans une feuille d'étain qui sert de catalyseur. Les gaz issus de la combustion sont ensuite analysés par un détecteur à conductivité thermique pour l'azote. Les teneurs en azote, exprimées en % de matière sèche, sont représentatives de la teneur en azote total (protéique et nitrique).

7. Paramètres mesurés et calculés

7.1. Sur le blé

➤ Paramètres mesurés :

- Nombre d'épi à maturité
- PMG
- Masse sèche totale (épi 1cm, floraison et maturité)
- Masse sèche de grains (épi 1cm, floraison et maturité)
- Masse de grain à maturité à 15% d'humidité
- % N grains (épi 1cm, floraison et maturité)
- % N pailles (épi 1cm, floraison et maturité)

➤ Paramètres calculés :

- Masse sèche de paille : $MS\ totale - MS\ grain$
- Rendement : $Masse\ de\ grain\ à\ maturité\ à\ 15\% \text{ d'humidité} / Surface\ parcelle$
- IR : $MS\ grains / MS\ pailles$
- N absorbé : $(MS\ grain * \%N\ grains) + (MS\ pailles * \%N\ pailles)$
- INN épi 1cm et floraison (cf 3^{ème} partie, §1)
- CAU des engrais à la récolte :
 $(N\ absorbé\ avec\ apport\ azoté - N\ absorbé\ par\ le\ témoin) / N\ apporté$
- Nombre de grains par épi
- Nombre de grains par m² :
 $Masse\ grain\ récoltée\ à\ 0\% \text{ humidité} / PMG / Surface\ parcelle$
- N absorbé / rendement
- Teneur en protéines : $\% N\ total * 5,7$

7.2. Sur les sols

➤ Paramètres mesurés : pour chaque horizon

- Teneur en nitrates dans la solution d'extraction
- Teneur en ammonium dans la solution d'extraction
- Masse de terre humide
- Masse de terre sèche

➤ Paramètres calculés : pour chaque horizon et total

- Teneur en humidité :
 $(Masse\ humide - Masse\ sèche) / Masse\ sèche$
- Quantité d'azote issu des nitrates dans le sol
- Quantité d'azote issu de l'ammonium dans le sol
- Quantité d'azote minéral total dans le sol

8. Présentation du programme LIXIM

(Mary B, Beaudoin N, Justes E, Machet JM (1999))

Le programme LIXIM simule par ajustement l'évolution de l'humidité du sol et de la quantité de nitrate dans un profil de sol, dans le cas d'un sol nu. Il calcule le drainage et le lessivage sous la dernière couche de sol et l'évaporation en surface. Le pas de temps du modèle est le jour.

Le modèle de transport est un modèle réservoir multicouches ("mixing cells" model).

Le transfert d'eau et de soluté entre couches est décrit selon l'algorithme de I.G. Burns (1976). L'eau et le nitrate se déplaçant de la couche $i-1$ à la couche i sont supposés se mélanger d'une manière homogène dans la couche i . Si la teneur en eau de la couche i excède l'humidité à la capacité au champ (H_{cc}), l'eau excédentaire passe dans la couche $i+1$ immédiatement inférieure. Si la teneur en eau résultante reste inférieure à H_{cc} , le mouvement d'eau et de soluté s'arrête.

Le modèle ne prend donc pas en compte les mouvements de nitrate par diffusion, mais seulement les mouvements convectifs. Ce modèle fonctionne principalement en régime d'infiltration.

Il inclut cependant un calcul simplifié en régime d'évaporation. L'évaporation de l'eau concerne plusieurs couches, dont l'épaisseur totale z (cm) est à définir par l'utilisateur.

Le modèle de minéralisation décrit la minéralisation nette d'azote de façon simple. En fait, il effectue les calculs à partir des stocks de nitrate : le modèle calcule en réalité la vitesse de nitrification (V_n). La vitesse de minéralisation (V_m) est ensuite calculée de la façon suivante :

$$V_m = V_n - \Delta A / \Delta t \quad (3)$$

ΔA étant la variation du stock d'azote ammoniacal de la première couche de sol sur l'intervalle de temps Δt .

L'ensemble des paramètres pris en compte par LIXIM est détaillé en annexe (Annexe 4).

L'utilisation de ce modèle nous a permis d'estimer le drainage et le lessivage des nitrates sur les différentes parcelles selon le traitement appliqué.

9. Analyses statistiques

Pour l'analyse des effets des différents facteurs, j'ai utilisé le logiciel SPLUS. Les analyses réalisées consistent essentiellement en des analyses de variance à un ou deux facteurs, et des comparaisons de moyennes par le test de Tukey avec un intervalle de confiance de 95%.

En raison de contraintes matérielles, le plan d'expérience choisi n'est pas équilibré. Cela rend l'analyse statistique plus délicate, puisque les données ne sont pas équilibrées. Ainsi, il est impossible d'estimer les effets des facteurs sur l'ensemble des données, il a fallu sélectionner des sous-ensembles appropriés et équilibrés pour l'analyse des effets de chacun des facteurs.

Pour la comparaison des traitements tous facteurs pris en compte j'ai réalisé des analyses de variance et utilisé la méthode PPDS (plus petite différence significative).

J'ai d'abord réalisé l'analyse statistique sur l'ensemble des répétitions. Cependant, en raison d'une grande hétérogénéité spatiale, certaines différences entre les traitements étaient gommées. Les répétitions 3 sur précédent Soja et 1 sur précédent Féverole présentent des valeurs nettement plus faibles de toutes les composantes du rendement que pour les deux autres répétitions. En observant les analyses de sol, ces deux répétitions apparaissent nettement défavorisées sur le plan des quantités d'azote initiales. Nous nous sommes donc résolu à écarter une des trois répétitions pour réaliser l'analyse statistique. Ce sont ces résultats qui sont présentés plus loin.

3^{ème} partie : Résultats et discussion

1. Appréciation des INN aux stades épi 1cm et floraison (travail réalisé par une autre stagiaire, Audrey Pégourié)

1.1. Calcul et diagnostic de l'INN

L'Indice de nutrition azotée permet de rendre compte de l'état de nutrition azotée d'un peuplement végétal.

Il se calcule à un instant donné comme le rapport entre la teneur en azote observée (N%) et la teneur critique correspondant à la biomasse du peuplement (Nc%) :

$$INN = N\% / N_c$$

Le calcul de la teneur critique est basé sur la cinétique de dilution de l'azote. L'accumulation de l'azote est proportionnel au rapport surface foliaire/biomasse; or celui-ci décroît au cours de la croissance, ce qui entraîne une dilution de l'azote dans la plante.

Ainsi, l'évolution de la teneur critique pour le blé en fonction de la matière sèche peut être modélisée par l'équation :

$$(1) N_c\% = 5.35 MS^{(-0.44)} \quad (\text{Justes et al., 1994})$$

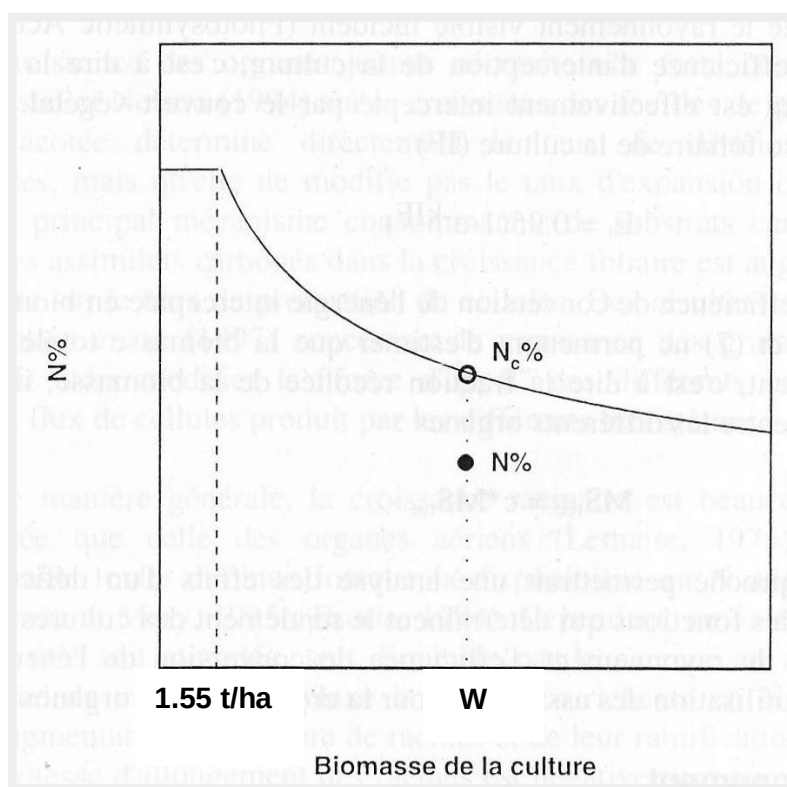


Figure 4 : Courbe de dilution de l'azote
(d'après Justes E.)

Pour des valeurs de matière sèche inférieures à 1,55 tonne/ha (Justes E.), on admet une valeur constante de Nc%, soit 4.4% pour le blé.

La teneur critique, et donc l'INN, ne peuvent être calculés que jusqu'à la floraison. En effet, à partir de la floraison, la croissance végétative s'arrête et l'azote nécessaire à la

croissance des grains est en grande partie issu de la remobilisation de l'azote de l'appareil végétatif ; la cinétique de dilution de l'azote est donc perturbée, et l'équation (1) ne peut plus être utilisée pour déterminer la teneur critique.

INN > 1	l'azote n'est pas considéré comme limitant pour le blé.
0.6 < INN < 0.8	légère déficience azotée, le nombre de grains par m2 est en général affecté.
0,25 < INN < 0.6	large déficit, le développement et la capacité reproductive du blé sont affectés.
INN < 0.25	la viabilité du blé est en jeu

Tableau 3 : Echelle de diagnostic des INN

1.2. INN au stade épi 1cm

Le stade « épi 1cm » correspond à une hauteur du sommet de l'épi par rapport au plateau de tallage de 1cm. Le prélèvement a été effectué par les techniciens du CREAB début avril selon la technique de prélèvement "en placettes".

A ce stade, l'apport d'engrais n'avait pas été fait. Le graphe suivant présente donc les INN uniquement en fonction du précédent, de la culture intermédiaire et de la variété.

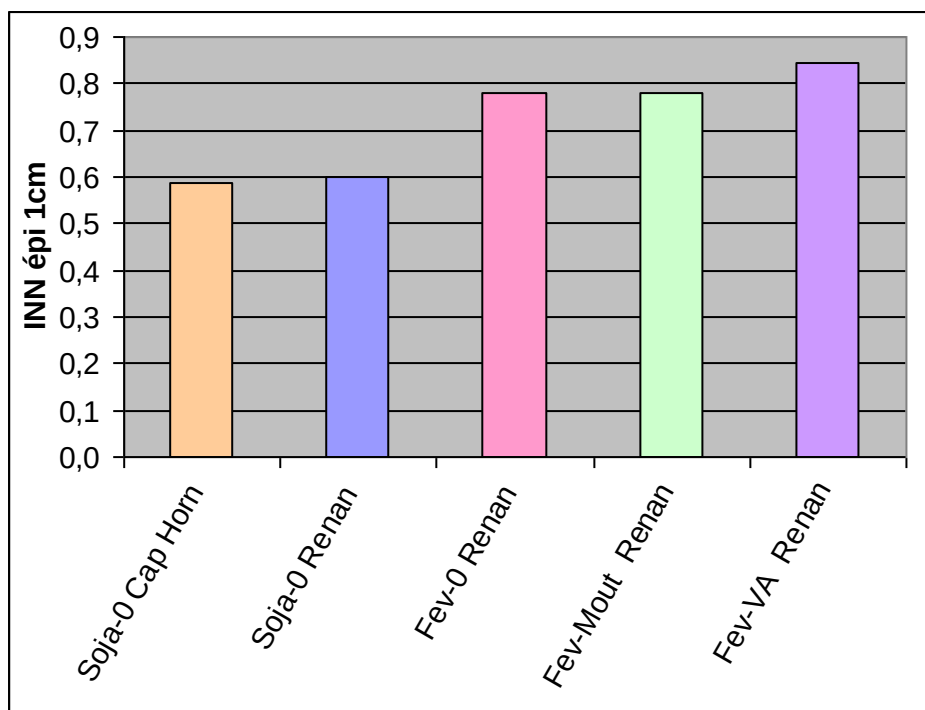


Figure 5 : INN épi 1cm en fonction du traitement

A traitement égal (précédent Soja), les INN sont similaires pour Renan et Cap Horn. Après précédent Soja, les deux variétés sont en large déficit azoté.

L'état de nutrition azotée est amélioré après un précédent Féverole, la déficience n'est plus que légère. L'association d'une culture intercalaire de Vesce-Avoine permet d'atteindre un INN très satisfaisant de 0,85.

1.3. INN au stade floraison

Le stade floraison est atteint lorsque les premières étamines (généralement situées au milieu de l'épi) sont visibles sur 50% des épis de la parcelle. Le prélèvement a eu lieu le 25 mai selon la technique de prélèvement "en placettes".

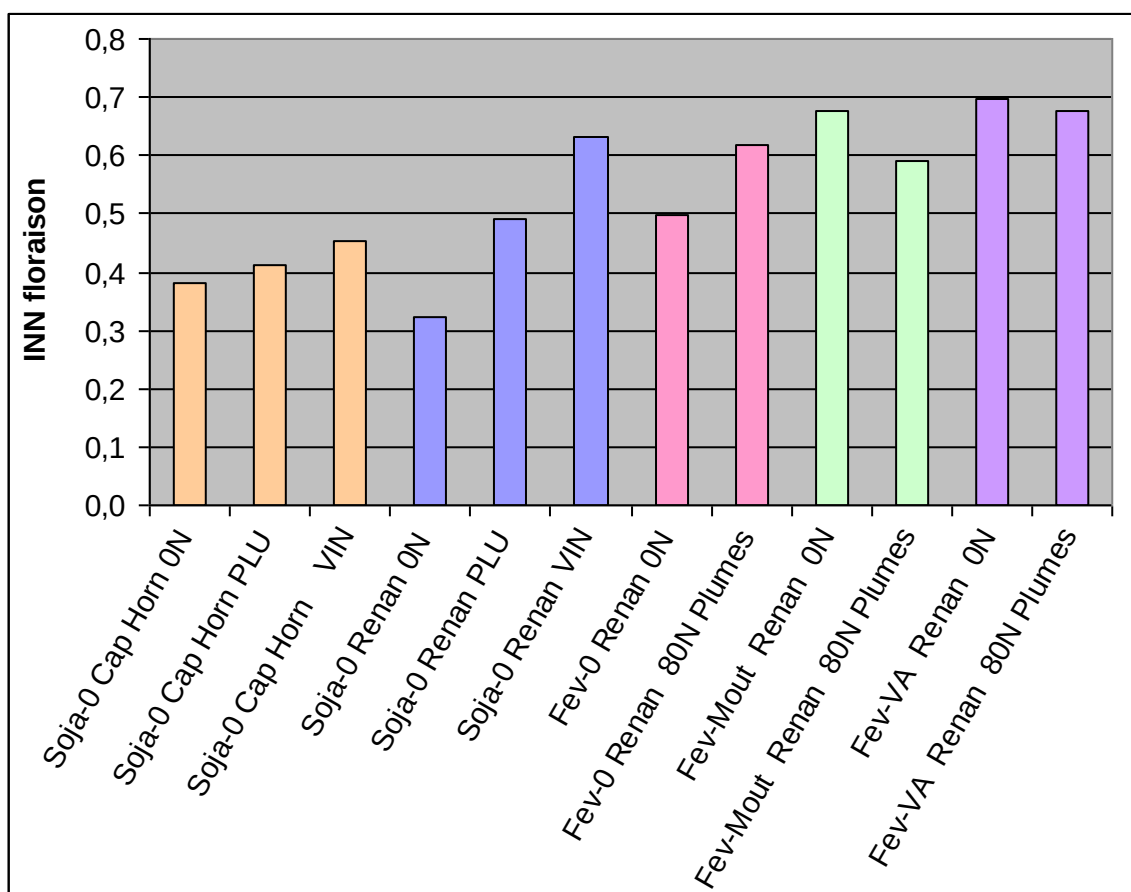


Figure 6 : INN floraison en fonction du traitement

Comme cela est attendu, l'apport d'engrais permet dans la plupart des cas d'améliorer l'état de nutrition azotée du blé à la floraison.

Dans le cas du traitement précédent Féverole avec culture intercalaire de Moutarde, l'INN est inférieur avec apport de 80 unités d'azote, par rapport au cas sans apport. Ce résultat surprenant suggère l'existence d'un ou plusieurs facteurs limitant associés à la parcelle où le traitement Féverole-Moutarde-N80 a été mis en place. Il ne s'agit pas d'adventices, elles sont très bien contrôlées sur le site de Auch, les parcelles sont remarquablement propres pour une conduite en bio depuis 6 ans. En revanche, si on observe les paramètres des sols en novembre, on s'aperçoit que la parcelle où a eu lieu plus tard l'apport d'azote présente des valeurs d'humidité moyenne et d'azote minéral bien inférieures. On a donc une variabilité spatiale de l'azote minéral du sol non négligeable, ce qui permet de comprendre ces résultats étonnants.

Novembre 2004	Quantité d'eau sur 120cm (mm)	N minéral sur 120cm (kg/ha)
Féverole-Moutarde N0	339	78.8
Féverole-Moutarde N80	307	47.9

Tableau 4 : Comparaison des états initiaux des parcelles où ont été appliqué le traitement Féverole-Moutarde (quantité d'azote et eau)

Dans le cas du précédent Féverole associé à une culture intercalaire de Vesce-Avoine, l'apport d'engrais n'apporte pas d'amélioration de l'état de nutrition azoté du blé alors que l'INN reste inférieur à 1 : l'efficacité des plumes n'est pas bonne, comme le montre leur faible CAU.

2. Analyse des composantes du rendement

Les composantes du rendement peuvent être utilisées comme des révélateurs des conditions du milieu déterminantes pendant leur phase de formation. Ainsi, le nombre de grain par épi est d'après Fisher (1985b) surtout sensible aux variations de nutrition pendant les semaines de croissance active de l'épi (3 ou 4 semaines avant l'épiaison) ; le nombre d'épis est quant à lui particulièrement affecté par la nutrition du peuplement au début de la montaison (Meynard 1985a, Gonzalez-Montaner et al. 1989).

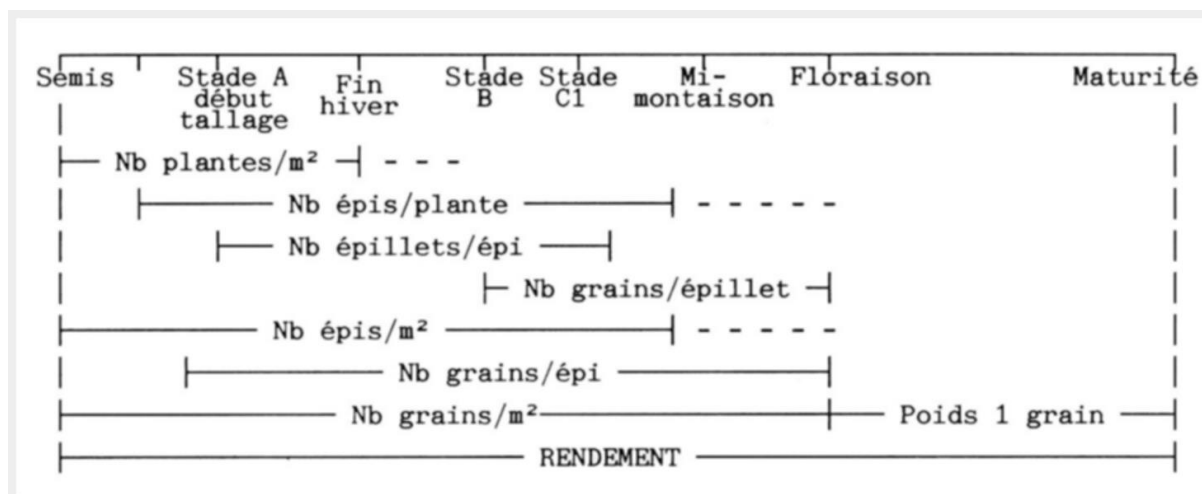


Figure 7 : Phases de formation des différentes composantes du rendement du blé
Schéma d'après JM Meynard et M. Sébillotte

Le tableau suivant présente les moyennes sur deux répétitions de différents paramètres, dont l'analyse est faite dans cette partie (*Analyse des composantes du rendement*) et les deux suivantes (*Analyse la quantité d'azote absorbée, de la teneur en protéines et de leur relation*, et *Comparaison de deux formes d'engrais organiques, la farine de plumes hydrolysées et la vinasse*). Les résultats pour les trois répétitions et l'ensemble des paramètres mesurés ou calculés sont présentés en annexe (Annexes 5 et 6).

	Rendement (qx/ha)	N absorbé (kg/ha)	PMG (g)	Nb grains/m²	Teneur en protéines (%)	CAU
Soja-0 Cap Horn 0N	31,9	64,5	32,8	8278,1	8,9	
Soja-0 Cap Horn 80 N plumes	41,4	80,8	32,3	10875,2	9,0	0,25
Soja-0 Cap Horn 80 N vinasse	48,9	101,6	32,2	12901,8	9,8	0,59
Soja-0 Renan 0N	34,9	72,3	43,2	6870,8	9,4	
Soja-0 Renan 80 N plumes	38,5	87,3	40,8	8009,3	10,6	0,23
Soja-0 Renan 80 N vinasse	49,0	112,0	41,7	9984,7	10,6	0,63
Fev-0 Renan 0N	41,5	94,9	42,1	8382,9	10,7	
Fev-0 Renan 80 N plumes	42,3	108,6	41,3	8705,4	12,0	0,21
Fev-Mout Renan 0N	38,3	84,8	43,5	7478,8	10,1	
Fev-Mout Renan 80 N plumes	38,7	87,8	41,2	7975,2	11,0	0,05
Fev-VA Renan 0N	44,1	115,4	40,2	9336,8	12,2	
Fev-VA Renan 80N plumes	44,8	124,0	39,7	9583,2	13,2	0,13

Tableau 5 : Moyennes sur deux répétitions des principaux paramètres agronomiques étudiés

2.1. Effet variété :

Testé sur précédent soja

Les deux variétés testées ont des caractères agronomiques différents : à traitement égal, Cap Horn a un nombre de grains par m² supérieur à Renan, tandis que Renan présente des grains plus gros. Cela aboutit à des rendements similaires.

2.2. Effet précédent :

Testé sur Renan, sans culture intermédiaire

L'analyse statistique révèle qu'après la Féverole, le nombre de grains par m² et le rendement sont significativement supérieurs.

2.3. Effet Culture intermédiaire :

Testé pour Renan sur précédent féverole

Pour toutes les composantes du rendement testées, l'association d'une culture intermédiaire de Vesce-Avoine apporte un bénéfice significatif par rapport au sol nu.

La culture intermédiaire de Moutarde permet quant à elle d'augmenter le nombre de grains par m² et le rendement par rapport au cas où le sol reste nu. Elle ne semble pas permettre une amélioration du PMG.

Pour le nombre de grains par m² et le rendement, les blés avec culture intermédiaire de Vesce-Avoine présentent des valeurs significativement supérieures à ceux avec culture intermédiaire de Moutarde ou sol nu.

Cependant cette observation est à nuancer puisque le traitement Féverole-Moutarde a été anormalement défavorisé par des quantités d'azote minéral et d'eau initiales en juillet bien inférieures à celles de la parcelle avec Vesce-Avoine, et des quantités d'azote minéral du sol initiales inférieures par rapport à la parcelle sans culture intermédiaire.

	Quantité d'eau sur 120cm (mm)	N minéral sur 120cm (kg/ha)
Féverole-VA	255.5	68.4
Féverole-Moutarde	220.0	56.7
Féverole-sol nu	224.5	67.7

Tableau 6 : Comparaison des états initiaux des parcelles à précédent Féverole (quantité d'azote et eau)

Le traitement avec culture intermédiaire de Vesce-Avoine présente un PMG inférieur aux traitements avec Moutarde ou sans culture intermédiaire. L'augmentation de rendement liée à la culture intermédiaire de Vesce-Avoine est uniquement la conséquence d'une augmentation du nombre de grains par m². Cela s'explique par le fait que le nombre de grains par m² est déterminé par la disponibilité en azote (entre autres facteurs) du semis à la floraison, alors que le poids des grains s'élabore de la floraison à la récolte. Or le surplus d'azote apporté par la culture intermédiaire l'a été au début du cycle du blé. En fin de cycle,

ce surplus avait été absorbé, ce qui explique que le nombre de grains ait été accru et pas le PMG.

2.4. Analyse du rendement tous facteurs pris en compte

Pour la variété Renan après précédent Féverole, une culture intermédiaire de Vesce-Avoine sans apport d'azote apporte un rendement meilleur, bien que de façon non significative, à un sol nu avec apport de 80 unités d'azote sous forme de plumes.

Ce traitement précédent Féverole associé à une culture intermédiaire de Vesce-Avoine sans apport d'azote apporte un rendement cette fois significativement meilleur que dans le cas d'un apport de 80 unités d'azote associé à :

- un précédent Féverole avec culture intermédiaire de Moutarde
- un précédent Soja associé à un sol nu

Après précédent Féverole quelque soit la culture intermédiaire on n'observe pas de différence significative de rendement avec un apport de 80 unités d'azote sous forme de plumes.

3. Analyse la quantité d'azote absorbée, de la teneur en protéines et de leur relation.

La variété Renan a un taux de protéines plus élevé, bien que la quantité d'azote absorbée par les deux variétés ne présente pas de différences significatives à traitement égal.

Le précédent Féverole permet une augmentation de la quantité d'azote absorbée. Cela se traduit par une augmentation du rendement, et une augmentation significative de la teneur en protéines.

Les blés avec culture intermédiaire de Vesce-Avoine ont absorbé significativement plus d'azote et ont des teneurs en protéines supérieures à ceux avec culture intermédiaire de Moutarde ou sol nu.

L'association d'une culture intermédiaire de Moutarde n'a pas apporté ici de différence avec le traitement sol nu. Cependant, on a vu que cela n'était sans doute pas représentatif, puisque la parcelle avec Moutarde a été défavorisée.

Le traitement précédent Féverole associé à une culture intermédiaire de Vesce-Avoine sans apport d'azote a absorbé significativement plus d'azote que dans le cas des traitements suivants avec apport de 80 unités d'azote :

- précédent féverole et culture intermédiaire de Moutarde
- précédent soja et sol nu

La teneur en protéines du blé soumis à ce traitement Féverole et culture intermédiaire de Vesce-Avoine est significativement supérieure par rapport au traitement précédent Soja associé à un sol nu avec apport de farines de plumes ou de vinasses.

L'association précédent Féverole et culture intermédiaire de Vesce-Avoine est donc très intéressante pour le blé tendre biologique ; ces résultats montrent qu'il peut être plus profitable de raisonner la succession culturale que d'apporter un engrais organique.

4. Comparaison de deux formes d'engrais organiques, la farine de plumes hydrolysées et la vinasse

4.1. Analyse des CAU (Coefficient Apparent d'Utilisation)

➤ Effet de la variété sur le CAU :

Si on teste statistiquement sous Splus l'effet variété sur la CAU, on n'observe pas d'effet significatif au seuil de 5%. Les CAU des deux formes d'engrais sont similaires pour les deux variétés Cap Horn et Renan.

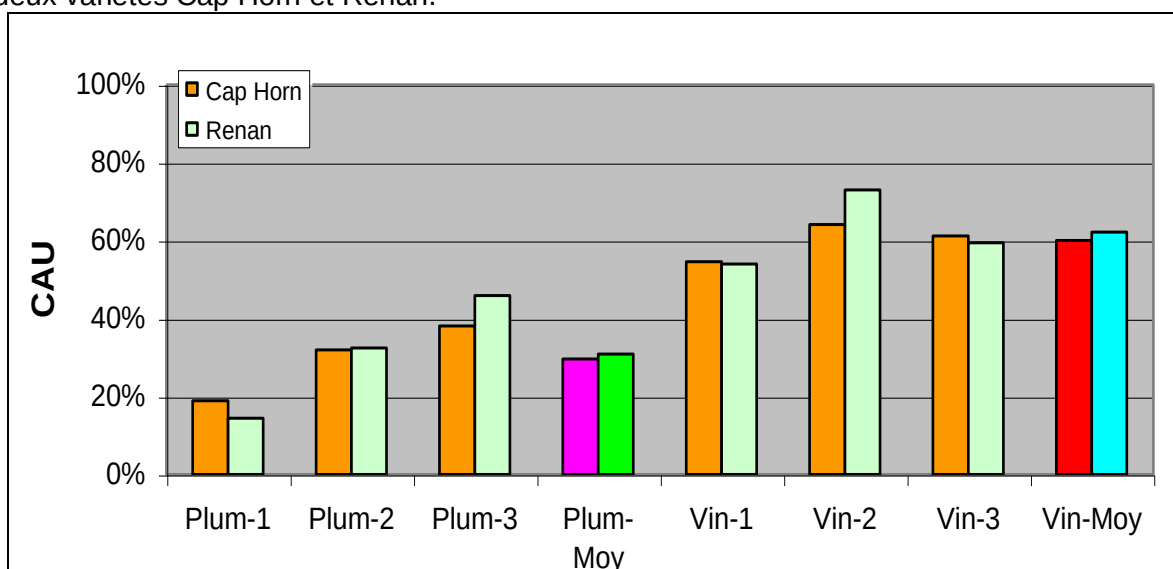


Figure 8 : Comparaison des CAU de la vinasse et des farines de plumes selon la variété

➤ Efficacité comparée des deux types d'engrais :

Quelle que soit la variété (cf graphe 1), le CAU de la vinasse reste supérieur à celle des plumes. L'effet statistique est très significatif. Cela est vraisemblablement dû à la forme sous laquelle se présentent les engrais : la vinasse, liquide, est plus rapidement et facilement incorporée au sol la farine de plumes, qui se présente sous forme de bouchons.

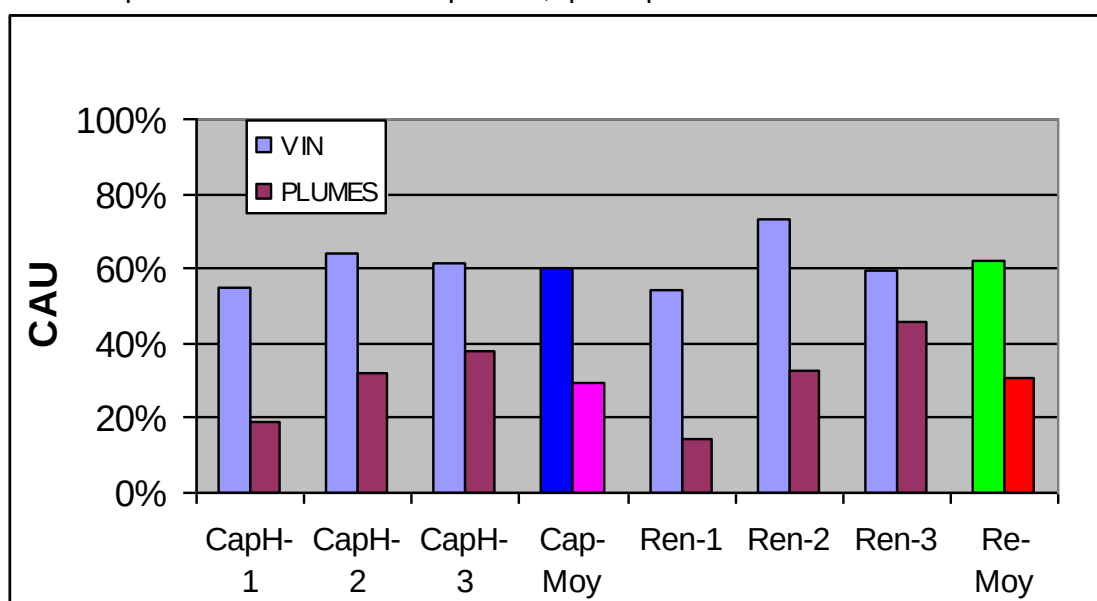


Figure 9 : Comparaison des CAU de la vinasse et des farines de plumes

➤ **Effet du précédent sur la CAU des engrais :**

L'analyse statistique ne révèle pas de différence significative de la CAU selon les précédents. Ceci s'explique par une forte variabilité des CAU des plumes hydrolisées.

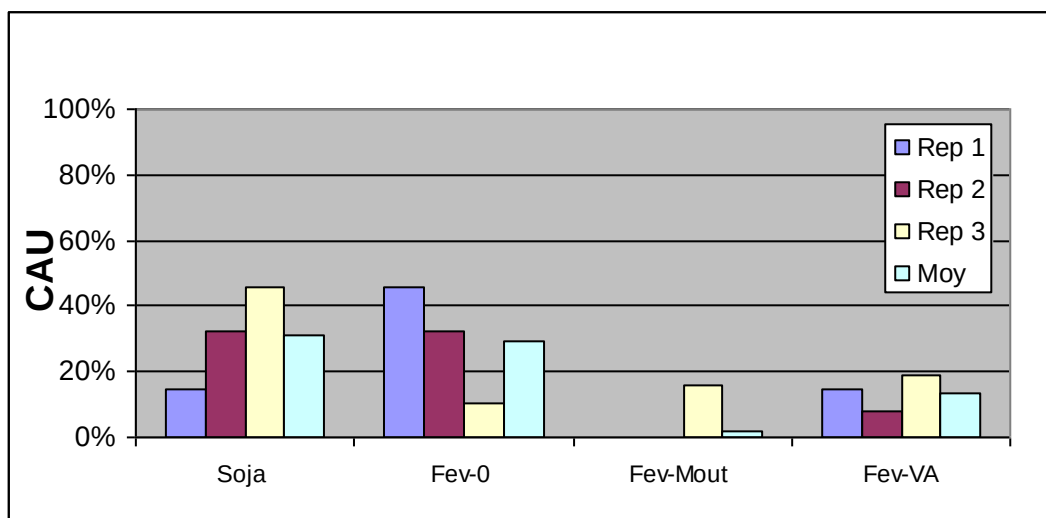


Figure 10 : Comparaison des CAU avec apport de 80 unités d'azote sous forme de plumes pour la variété Renan selon le précédent et la culture intermédiaire

➤ **Effet de la culture intercalaire sur la CAU des engrais :**

Le traitement Féverole-Moutarde présente des résultats pour la CAU surprenant, avec des CAU négatives pour les deux premières répétitions : le blé qui a reçu de l'engrais a absorbé moins d'azote que celui qui n'en a pas reçu. Ce fait peut être observé également sur toutes les composantes du rendement, avec des valeurs plus faibles de ces composantes pour le traitement avec apport d'engrais que pour le traitement sans apport. Cela est également surprenant puisqu'on se trouve dans des conditions où l'azote est limitant, et avec 80 unités, on est très loin de la surfertilisation. On a vu dans un paragraphe précédent que cela devait s'expliquer par l'existence de conditions limitantes plus marquées sur la parcelle où le traitement Féverole-Moutarde a été appliqué.

Il n'y a pas d'effet statistique significatif de la culture intermédiaire sur la CAU. Mais ce résultat est peu fiable pour la raison citée précédemment. On peut quand même noter que la moyenne des CAU est supérieure sans culture intermédiaire ; la part d'azote absorbée en provenance de l'engrais est supérieure lorsqu'il n'y a pas eu de culture intercalaire. Avec une culture intercalaire, le blé avait aussi à sa disposition de l'azote relargué par la moutarde ou la Vesce-Avoine, donc il a absorbé une part plus faible d'azote en provenance de l'engrais.

5. Analyse de l'évolution de l'azote minéral dans le sol

5.1. Etude des reliquats laissés par les différents précédents et de l'évolution de la teneur en azote minéral dans le sol

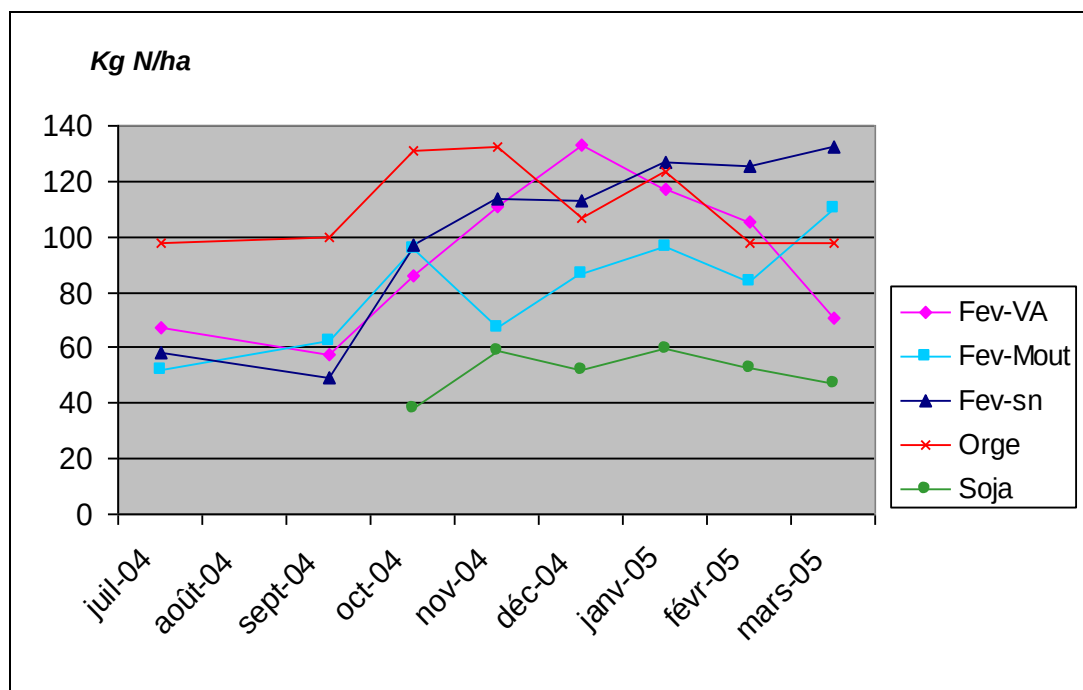


Figure 11 : Evolution de la quantité d'azote minéral total dans le sol pour les témoins sans culture de blé

L'Orge laisse dans le sol plus d'azote que la Féverole, ce qui est à priori surprenant. Deux explications peuvent être envisagées pour ce phénomène : d'une part, l'Orge est une espèce relativement précoce, et qui a donc cessé ses prélèvements tôt, à sa maturité, au printemps. Comme à cette période la température et l'humidité sont importantes, la minéralisation a dû être également forte, d'où des quantités d'azote élevées dans le sol en juillet-août.

D'autre part, en observant plus attentivement les profils de sol pour l'humidité et la teneur en nitrates, on s'aperçoit que l'orge n'a prélevé que dans les deux premiers horizons. Il est probable que l'Orge a présenté un problème sérieux d'enracinement, et n'a donc absorbé que peu d'azote, et uniquement dans les horizons de surface.

On observe nettement sur le graphique la réduction de la quantité d'azote dans le sol sous couvert de Moutarde en raison des prélèvements de la culture. On n'observe pas ce phénomène avec la Vesce-Avoine : la Vesce, en tant que Légumineuse, doit couvrir ses propres besoins ainsi que ceux de l'Avoine par azote atmosphérique du diazote.

5.2. Etude de la minéralisation apparente

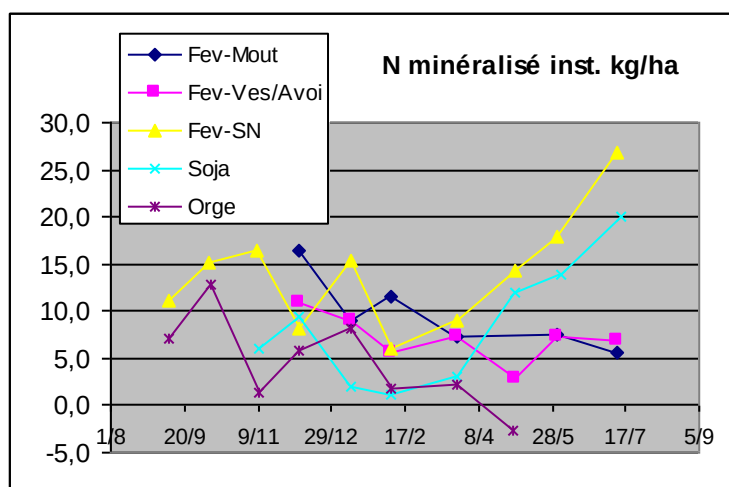


Figure 12 : Quantité instantanée d'azote minéralisé dans les différentes parcelles (calculée avec LIXIM)

Après enfouissement des cultures intermédiaires, la minéralisation reste forte alors même qu'on se trouve en hiver. Cela peut s'expliquer par le fait que la Moutarde et la Vesce-Avoine ont des rapports C/N faibles, de l'ordre de 10, soit des teneurs en azote d'environ 4%. Ainsi leurs résidus apportent aux micro-organismes qui les dégradent davantage d'azote qu'ils n'en ont besoin pour transformer le carbone, donc ces derniers libèrent le surplus d'azote.

5.3. Etude du lessivage et du drainage

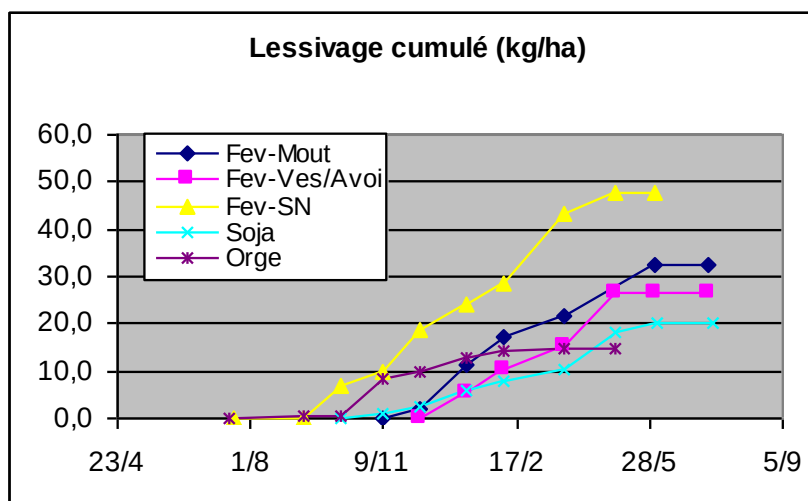


Figure 13 : Lessivage cumulé dans les différentes parcelles (calculée avec LIXIM)

Pendant l'hiver et le printemps, le lessivage est réduit après Féverole lorsqu'on plante une culture intermédiaire de Moutarde ou de Vesce-Avoine. Il y a à cela trois raisons :

D'une part, la culture intermédiaire a absorbé de l'azote (cf graphe suivant). En Novembre, les teneurs en azote dans le sol sont inférieures avec une culture intermédiaire. La Moutarde a absorbé davantage d'azote minéral que la Vesce-Avoine.

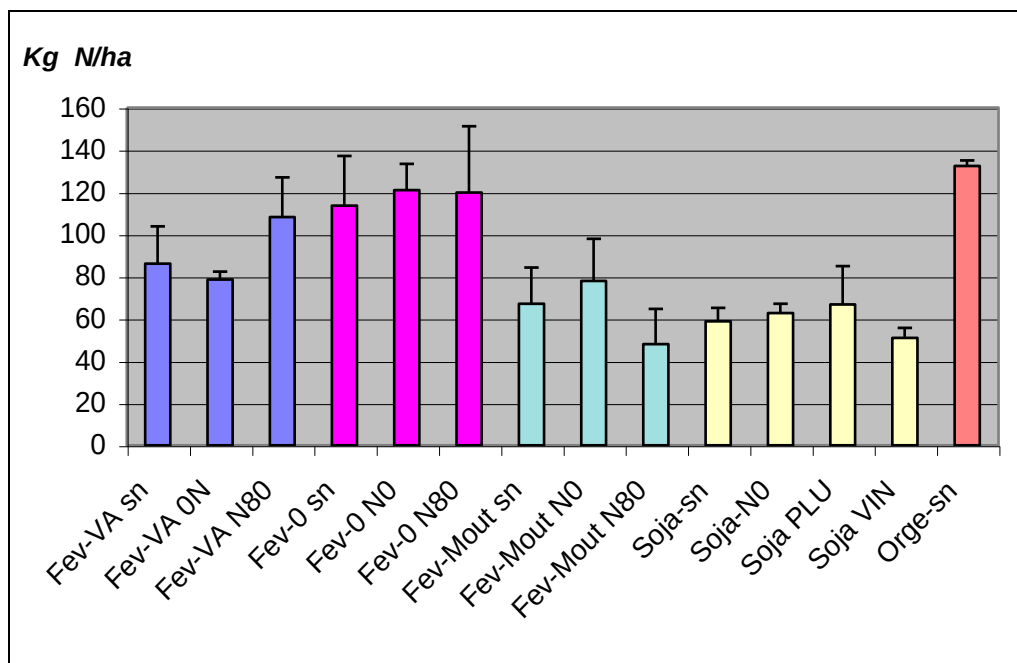


Figure 14 : Quantités d'azote minéral dans le sol en Novembre 2004

D'autre part, lorsque la culture intermédiaire est détruite, une partie des résidus rejoint directement la matière organique du sol où elle est immobilisée, et n'est donc pas minéralisée immédiatement.

Enfin, le drainage est également réduit lorsqu'on plante une culture intermédiaire : l'eau utilisée par la culture intermédiaire assèche légèrement le sol, réduisant ainsi le déplacement de l'eau vers les profondeurs et donc l'entraînement des nitrates.

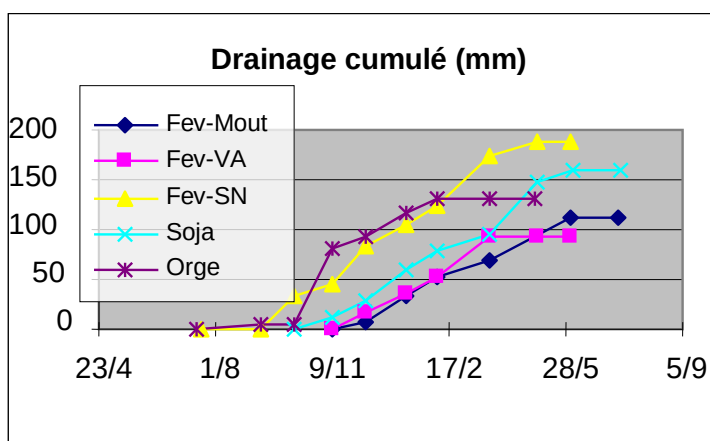


Figure 15 : Drainage cumulé dans les différentes parcelles (calculée avec LIXIM)

On notera qu'avec cette conduite, cette année-là la teneur en nitrates de l'eau drainée n'a jamais excédé la norme de potabilité de l'eau de 50 mg par litre.

Conclusion

La Féverole fournit des reliquats en azote minéral supérieurs par rapport au Soja. Cela se traduit par une quantité d'azote absorbée par la culture supérieure, ce qui induit un rendement supérieur et une augmentation de la teneur en protéines.

Après précédent féverole quelque soit la culture intermédiaire on n'observe pas de différence significative de rendement avec un apport de 80 unités d'azote sous forme de plumes : l'efficacité des engrais est donc très faible.

La culture intermédiaire de Vesce-Avoine présente un intérêt par rapport au sol nu pour tous les paramètres étudiés : l'INN, toutes les composantes du rendement, et le taux de protéines. Ces améliorations sont à mettre en relation avec une quantité d'azote absorbée supérieure, en provenance des résidus enfouis de la culture intermédiaire.

Avec une culture intermédiaire de Moutarde, on note une amélioration du rendement par rapport au cas où le sol est laissé nu. Cependant il est difficile de comparer ici les cultures intermédiaires de Moutarde et de Vesce-Avoine, puisqu'on a vu que la parcelle avec culture intermédiaire de Moutarde était au départ défavorisée en juillet 2004 sur le plan de la quantité d'eau et de nitrates disponibles.

Dans le cas du traitement précédent Féverole associé à une culture intermédiaire de Vesce-Avoine sans apport d'azote, le rendement et le taux de protéines sont fréquemment supérieurs à ceux obtenus pour les traitements où l'on a apporté 80 unités d'azote. Cela est toujours lié à des quantités d'azote absorbées supérieures.

Ce travail montre donc qu'il y a des potentialités d'amélioration de la production et de la teneur en protéines du blé en adaptant le système de culture, d'une part en choisissant le précédent et en cultivant des cultures intermédiaires, et d'autre part en adaptant la forme de l'engrais organique apporté.

Si le fait que les reliquats soient supérieurs après Féverole se traduit par une amélioration du rendement et du taux de protéines, cela occasionne également un lessivage plus intense. L'association d'une culture intermédiaire permet de réduire à la fois le lessivage et le drainage.

Enfin, ces résultats montrent que contrairement à une croyance répandue, même en conduite biologique et sans apport d'engrais, le lessivage existe et peut être relativement important après une Légumineuse, et/ou dans le cas d'un sol laissé nu.

Une des suites qui sera donnée à cet essai, une fois tous les résultats disponibles (en novembre 2005), sera de confronter ces résultats obtenus au champ avec les prédictions calculées par le modèle STICS (*Brisson et al., 1998 ; 2002 ; 2003*).

On pourra également tester la possibilité d'extrapoler les mesures de laboratoire au champ à l'aide du calcul des jours normalisés, en comparant les résultats des incubations de sol réalisées en 2004 et les prélèvements effectués sur les parcelles.

Une expérience similaire visant à tester l'effet des cultures intermédiaires sera reconduite sur le site expérimental du CREAB à AUCH dès l'automne 2005. En tirant partie de l'expérimentation de 2004-2005, des résultats et des difficultés rencontrées, elle permettra de confirmer et d'approfondir les résultats obtenus.

Cette étude m'a permis de confirmer mon intérêt pour l'expérimentation. De plus, travailler à concilier la rentabilité et le respect de l'environnement en agriculture, et en particulier pour l'agriculture biologique, m'intéresse fortement, et c'est dans ce sens que j'envisage d'exercer mon futur métier d'ingénieur agronome.

Au cours de mon stage, j'ai pu appréhender différentes étapes du processus expérimental : le traitement et les analyses d'échantillons (sol et végétal), le traitement des données et la rédaction scientifique. Je me suis également initiée à l'utilisation d'un programme de calcul de la dynamique de l'azote dans le sol, LIXIM (*Mary B, Beaudoin N, Justes E, Machet JM (1999)*).

Enfin, j'ai pu mesurer l'étendue des difficultés que présente l'expérimentation en agronomie : aléas climatiques, problèmes d'homogénéité des parcelles, difficultés d'échantillonnage... J'ai ainsi pris conscience des moyens à mettre en œuvre pour limiter ces sources d'incertitude et les précautions à prendre dans l'interprétation des résultats.

Bibliographie

- **Brisson, N., Mary, B., Ripoche, D., Jeuffroy, M.H., Ruget, F., Nicoullaud, B., Gate, P., Devienne, F., Antonioletti, R., Dürr, C., Richard, G., Beaudoin, N., Recous, S., Tayot, X., Plénet, D., Cellier, P., Machet, J.M., Meynard, J.M. & Delécolle, R.** 1998. *STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. I. Theory and parametrization applied to wheat and corn.* Agronomie, 18, 311-346.
- **Brisson, N., Ruget, F., Gate, P., Lorgeou, J., Nicoullaud, B., Tayot, X., Plénet, D., Jeuffroy, M.H., Bouthier, A., Ripoche, D., Mary, B., Justes, E.** 2002. *STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. II. Model validation for wheat and corn.* Agronomie, 22:69-93
- **CREAB Midi-Pyrénées**, Centre Régional de recherche et d'expérimentation, Spécialisé dans le domaine des Grandes Cultures, brochure de présentation
- **ENITA de Bordeaux**, Agriculture biologique. Lavoisier, Paris 2003
- **Fisher R.A.**, 1985b. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. J. agric. Sci, Cam., 105, 447-461.
- **INRA, Les Colloques, n°83, Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes**, Reims (France), 19-20 novembre 1996, INRA éditions.
- **Justes E., Mary B., Meynard J.M., Machet J.M., Thélér-Huche L., 1994.** Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter wheat crops. *Ann. Bot.*, 74, 397-407.
- **Mary B., Lixim 9, Notice d'utilisation**, Février 2005
- **Mary B., Beaudouin N., Justes E., Machet JM**, 1999. *Calculation of nitrogen mineralization and leaching in fallow soils using a simple dynamic model.* European Journal of Soil Science 50: 549-566.
- **Meynard J.M.**, 1985. *Construction d'itinéraires techniques pour la culture du blé d'hiver.* Thèse INA P-G, Paris, 258 p.
- **Meynard J.M., Sébillote M.**, Les céréales. In : Combe L., Picard D., coordinateurs. *Elaboration du rendement des principales cultures annuelles.* Editions INRA, Paris, 1994, 29-51.
- **Peygourié Audrey**, *Maîtrise de la qualité du pain biologique.* Rapport de stage, 2005.

Sites internet :

- **Agence bio**, <<http://www.agencebio.org/default.asp>>, consulté le 25 juillet 2005
- **INRA**, < <http://w3.inra.fr> >, consulté le 18 Juin 2005
- **INRA Centre de Toulouse**, <<http://www.toulouse.inra.fr/centre/centre/index.html>>, consulté le 18 Juin 2005
- **INRA UMR1248 Agrosystèmes cultivés et herbagers ARCHE INRA-INPT/ENSAT**, <<http://compact.jouy.inra.fr/compact/CONSULTER/INTER/externe/unites/ecrans/1248>>, consulté le 18 Juin 2005,
- **ITAB, Commission agronomie de l'ITAB**, *Présentation du projet "Fertiagribio"*, < http://www.itab.asso.fr/comm_agro.htm#fertiagribio >

Annexes

Annexe 1 : Organigramme de l'INRA

Annexe 2 : Les partenaires du projet Fertiagribio

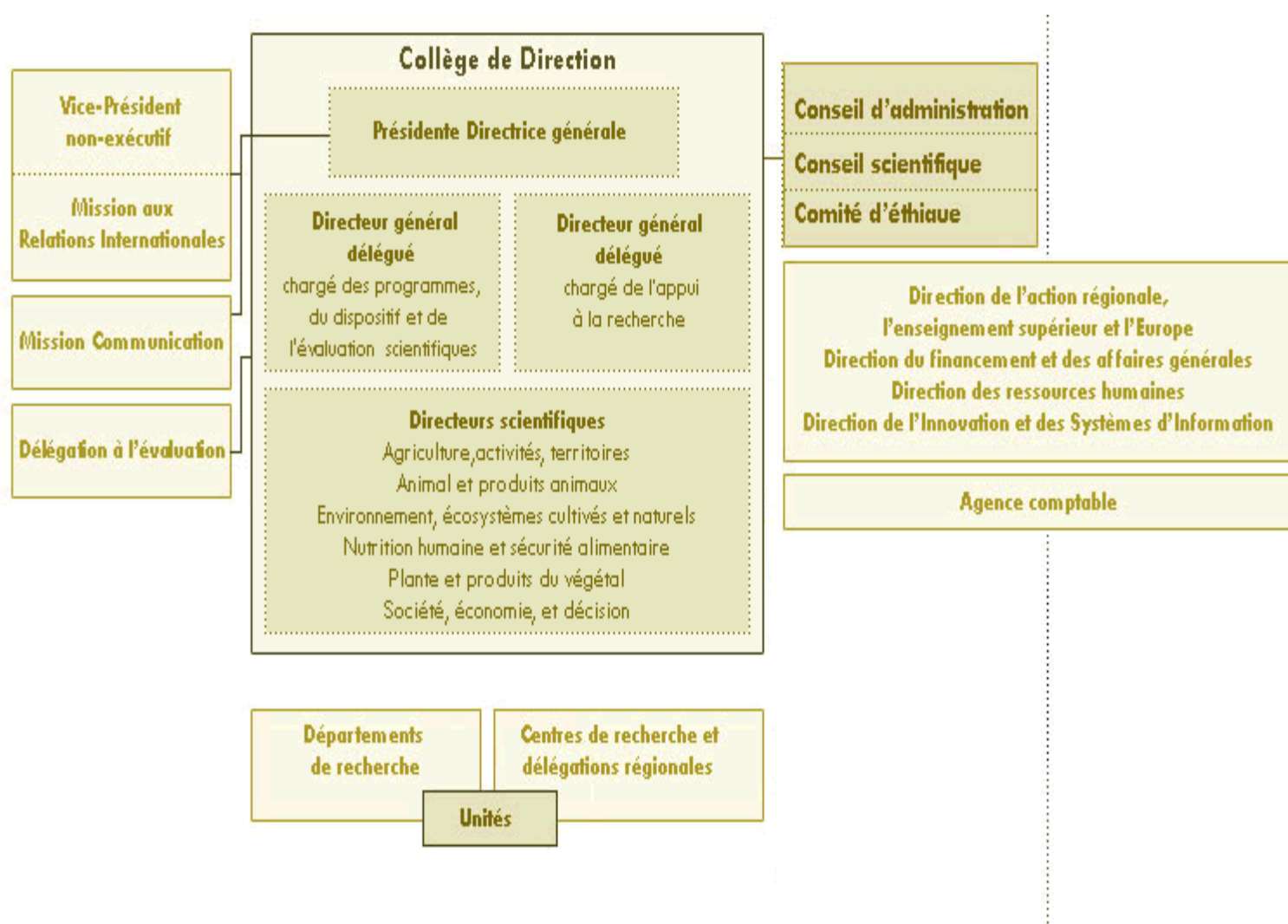
Annexe 3 : La dynamique de l'azote dans les sols cultivés

Annexe 4 : Les paramètres de LIXIM

Annexe 5 : Composantes du rendement (1)

Annexe 6 : Composantes du rendement (2)

Annexe 1 : Organigramme de l'INRA



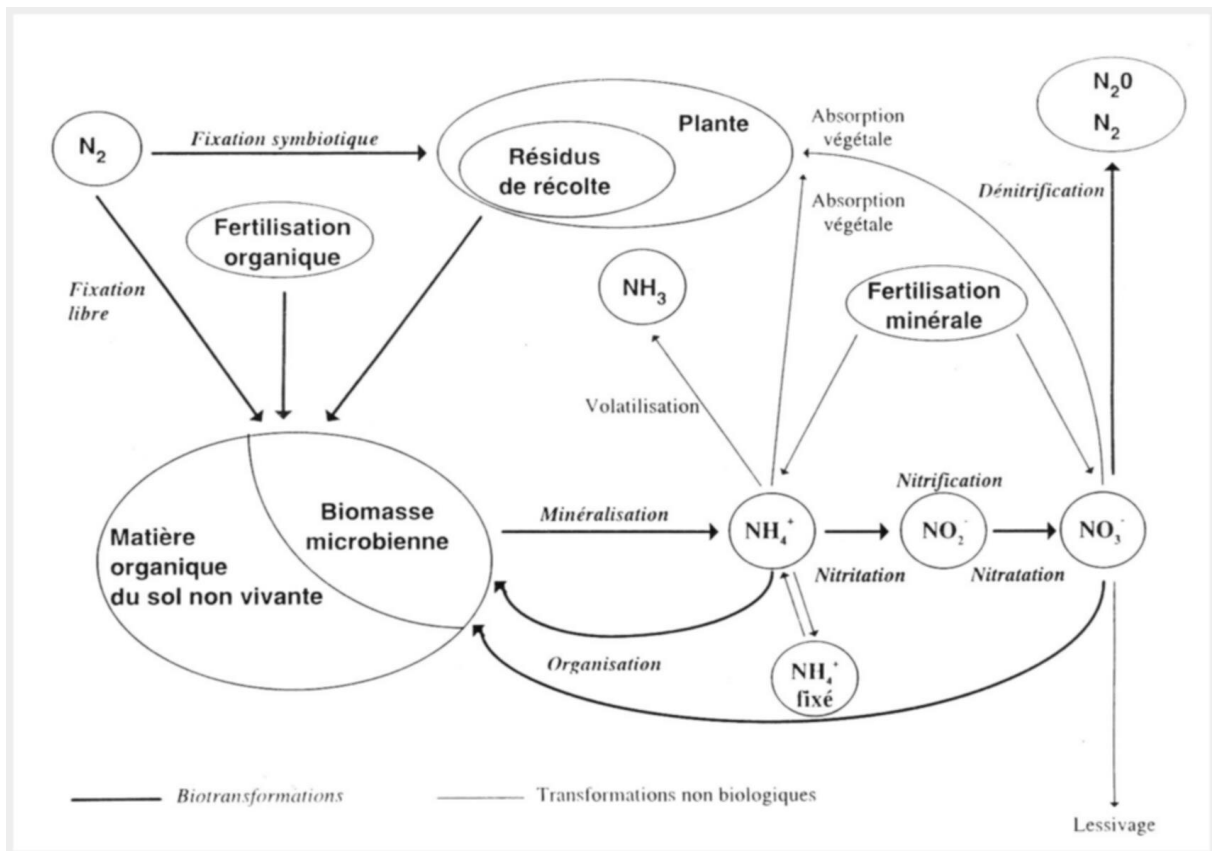
(Shéma d'après INRA)

Annexe 2 : Les partenaires du projet Fertiagribio

Institution	Nom du responsable
INRA Reims	Bernard Nicolardot, Coordinateur scientifique
ITAB	Blaise Leclerc, Coordinateur administratif
INRA Bordeaux	Christian Morel
INRA Grignon	Muriel Valantin-Morison
INRA Toulouse	Eric Justes
ENITA Clermont	Nathalie Vassal-Courtaillac
Ctifl	Christiane Raynal
Institut de l'Elevage	Sylvie Hacala
Arvalis-Institut du végétal	Philippe Viaux

(d'après ITAB)

Annexe 3 : La dynamique de l'azote dans les sols cultivés



(Extrait de « Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes »)

Annexe 4 : Les paramètres de LIXIM

Paramètres des couches de sol :

- La densité apparente (D_a) de chaque couche de sol
- L'humidité à la capacité au champ (H_{cc}) doit être de préférence estimée avec les données de champ : c'est la moyenne des valeurs les plus élevées obtenues en hiver, en exceptant les mesures faites juste après des événements pluvieux très intenses
- L'humidité au point de flétrissement permanent (H_{pf}) doit de préférence être mesurée au laboratoire (presse de Richards) à un potentiel de 16 bars (1.6 MPa).

Paramètres généraux :

- Le nombre d'intervalles de calcul peut être égal à 1 ou 2. Lorsqu'il est égal à 2, le modèle lisse davantage les flux car il essaie de prévoir les stocks d'eau et d'azote sur 2 intervalles de temps d'un coup. On préférera donc cette option en général.
- Le coefficient d'Arrhénius de température est par défaut égal à $0.115 \text{ (}^\circ\text{K}^{-1}\text{)}$. Il correspond à un Q_{10} de 3.17.
- La température de référence sert au calcul des jours normalisés. Elle est par défaut égale à $15 \text{ (}^\circ\text{C)}$.
- Le mode de calcul du profil initial est 0 si l'on prend un profil en escalier et 1 si on lisse le profil initial par une fonction spline. On préférera en général la valeur 1.
- Le facteur de pondération sur l'humidité de la première couche peut varier entre 1 et 3. Une valeur 2 (recommandée) indique que l'on accordera 2 fois plus d'importance à la première couche de sol qu'aux autres, afin de mieux simuler l'humidité dans cette couche et donc de mieux calculer le temps normalisé.
- L'épaisseur de la couche évaporante (Z_e) est d'autant plus grande que le sol présente une forte conductivité hydraulique. On peut retenir une valeur minimale de 30 cm pour un sol de sables grossiers, 60 cm pour des sols peu conducteurs et 90-120 cm pour des sols très conducteurs (avec des remontées capillaires importantes).
- Le coefficient de décroissance de l'évaporation (α) est également à définir par l'utilisateur. Une valeur faible de α (par exemple 1) indique une assez forte contribution des horizons profonds à l'évaporation. Une valeur forte de α (par exemple 4) implique une très faible contribution des horizons profonds à l'évaporation. Une valeur $\alpha = 2$ ou 3 donne en général de bons résultats.
- L'épaisseur de la couche minéralisante (Z_m) : on peut en général considérer qu'elle est égal à la profondeur de labour.
- La concentration moyenne de l'eau de pluie est en général voisine de 2 mg N/l. On peut rechercher des mesures régionales. Si on a des apports d'eau par irrigation, la concentration moyenne peut être modifiée puisque l'eau d'irrigation est en général plus chargée en nitrate. On recalculera alors une concentration moyenne des apports d'eau.

- Le nombre de colonnes du fichier est:
 - 2 si le fichier comporte la teneur en eau et la teneur en N-NO_3 (dans l'ordre)
 - 3 ou 4 si le fichier comporte la teneur en eau, la teneur en N-NO_3 et la teneur en N-NH_4 . L'option 3 tient compte de la nitrification, l'option 4 n'en tient pas compte. L'option 3 est préférable.
 - 5 ou 6 si le fichier comporte la teneur en eau, la teneur en N-NO_3 , la teneur en N-NH_4 , l'écart-type sur la teneur en eau et l'écart-type sur la teneur en N-NO_3 : L'option 5 tient compte des écarts-type dans l'ajustement, l'option 6 n'en tient pas compte. Les options 5 et 6 tiennent compte de la nitrification. L'option 6 est préférable.
- La fraction d'eau mobile est supposée égale à 1.
- L'épaisseur des couches élémentaires ou épaisseur de dispersion peut varier entre 1 et 30 cm. Attention: cette épaisseur doit être un diviseur exact de l'épaisseur des couches mesurées. Exemple: si on a des mesures sur des couches de 25 et 30 cm, cette épaisseur est au maximum de 5 cm.
- L'asymptote pour l'effet température est par défaut égale à 1000 (pour simuler un effet purement exponentiel de la température).

Le modèle comporte trois paramètres optimisables:

1. Le rapport $k = \text{ETR}/\text{ETP}$ qui représente la fraction de l'évapotranspiration potentielle qui est réellement évaporée. Il est supposé compris entre 0.05 et 1.
2. La vitesse de minéralisation réelle (V_m) ou potentielle (V_p)
3. La vitesse de dénitrification (V_d) ou d'absorption (dans le cas où il y a une plante).

Chacun de ces 3 paramètres peut être soit imposé (simulation pure), soit calculé par ajustement non linéaire dans le cas où l'on dispose de mesures réalisées à différentes dates (option ajustement). Dans ce dernier cas, on minimise la somme des carrés des écarts (normés) entre les valeurs observées et simulées des teneurs en eau et des quantités d'azote par horizon.

Le programme LIXIM faisant ses calculs par tranche de 1 cm, le profil azoté initial (mesuré par exemple par tranche de 30 cm) doit être discrétisé. 2 options sont possibles :

- on suppose que la distribution est homogène à l'intérieur de chaque couche
- on modélise la distribution à l'aide d'une fonction spline.

On préférera en général la 2^{ème} option.

(D'après Mary B.)

Annexe 5 : Composantes du rendement (1)

		Surface parcelle (m2)	Masse récolte 15%(g)	Masse récolte 0%(g)	Rendit 15% (qx/ha)	Rappor t grain/ pailles	MS paille (kg/ha)	Masse grain 0%(kg/ ha)	MS totale (kg/ha)	MS*1,25 totale (kg/ha)	PMG (g)	Nb grains lépi	Nb grains/ m2	Nb épis/ m2
Soja-0 Cap Horn ON	Rep 1	40,0	13210	11229	33,0	0,72	3878	2807	6685	8357	33,1	30,7	8490	277
	Rep 2	40,0	12330	10481	30,8	0,73	3566	2620	6186	7732	32,5	27,8	8066	290
	Rep 3	37,5	9530	8101	25,4	0,65	3327	2160	5488	6860	31,5	23,1	6847	297
	moy		11690	9937	29,8	0,70	3590	2529	6120	7649	32,4	27,2	7801	287
	ET		1922	1633	3,9	0,05	276	333	602	752	0,77	3,84	853	10
	CV%		16%	16%	13%	7%	8%	13%	10%	10%	2%	14%	11%	4%
Soja-0 Cap Horn PLU	Rep 1	40,0	16080	13668	40,2	0,78	4386	3417	7803	9754	31,3	36,2	10902	302
	Rep 2	40,0	17000	14450	42,5	0,83	4341	3613	7954	9942	33,3	34,4	10849	316
	Rep 3	37,5	13560	11526	36,2	0,72	4271	3074	7344	9181	30,1	23,3	10209	438
	moy		15547	13215	39,6	0,78	4333	3368	7700	9625	31,6	31,3	10653	341
	ET		1781	1514	3,2	0,06	58	273	317	397	1,61	6,94	385	75
	CV%		11%	11%	8%	7%	1%	8%	4%	4%	5%	22%	4%	22%
Soja-0 Cap Horn VIN	Rep 1	40,0	19080	16218	47,7	0,78	5186	4055	9241	11551	31,9	37,1	12717	343
	Rep 2	40,0	20000	17000	50,0	0,80	5284	4250	9534	11917	32,5	40,2	13087	326
	Rep 3	37,5	15740	13379	42,0	0,79	4508	3568	8076	10095	33,0	32,2	10825	336
	moy		18273	15532	46,6	0,79	4993	3957	8950	11188	32,4	36,5	12210	335
	ET		2242	1905	4,1	0,01	423	351	771	964	0,54	4,02	1213	9
	CV%		12%	12%	9%	1%	8%	9%	9%	9%	2%	11%	10%	3%
Soja-0 Renan ON	Rep 1	60,0	20480	17408	34,1	0,61	4793	2901	7694	9618	42,5	21,3	6822	320
	Rep 2	60,0	21450	18233	35,8	0,65	4642	3039	7681	9601	43,9	20,5	6919	337
	Rep 3	48,0	13830	11756	28,8	0,61	4015	2449	6464	8080	41,4	16,1	5914	368
	moy		18587	15799	32,9	0,62	4483	2796	7280	9100	42,6	19,3	6552	340
	ET		4148	3526	3,6	0,03	413	309	706	883	1,25	2,82	555	24
	CV%		22%	22%	11%	4%	9%	11%	10%	10%	3%	15%	8%	7%
Soja-0 Renan PLU	Rep 1	60,0	22800	19380	38,0	0,68	4774	3230	8004	10005	41,6	25,0	7763	311
	Rep 2	60,0	23350	19848	38,9	0,67	4929	3308	8237	10296	40,1	24,3	8255	340
	Rep 3	60,0	23700	20145	39,5	0,65	5178	3358	8536	10669	41,3	19,6	8121	414
	moy	60,0	23283	19791	38,8	0,67	4960	3298	8259	10323	41,0	23,0	8046	350
	ET	0,0	454	386	0,8	0,01	204	64	266	333	0,82	2,93	254	53
	CV%	0%	2%	2%	2%	2%	4%	2%	3%	3%	2%	13%	3%	15%
Soja-0 Renan VIN	Rep 1	60,0	28880	24548	48,1	0,68	6002	4091	10094	12617	41,6	24,9	9823	395
	Rep 2	60,0	29940	25449	49,9	0,67	6352	4242	10593	13241	41,8	24,1	10146	421
	Rep 3	60,0	24110	20494	40,2	0,69	4973	3416	8388	10485	40,8	23,0	8367	364
	moy		27643	23497	46,1	0,68	5776	3916	9692	12115	41,4	24,0	9446	394
	ET		3106	2640	5,2	0,01	717	440	1156	1445	0,53	0,95	948	28
	CV%		11%	11%	11%	1%	12%	11%	12%	12%	1%	4%	10%	7%
Fev-0 Renan ON	Rep 1	58,5	17400	14790	29,7	0,63	4042	2528	6570	8213	42,1	23,0	6006	261
	Rep 2	57,0	22740	19329	39,9	0,75	4503	3391	7894	9867	41,7	29,9	8126	271
	Rep 3	58,5	25270	21480	43,2	0,73	5033	3672	8705	10881	42,5	27,6	8639	313
	moy		21803	18533	37,6	0,70	4526	3197	7723	9654	42,1	26,9	7591	282
	ET		4018	3415	7,0	0,07	496	596	1077	1347	0,39	3,51	1396	27
	CV%		18%	18%	19%	10%	11%	19%	14%	14%	1%	13%	18%	10%
Fev-0 Renan 80N Plumes	Rep 1	58,5	20380	17323	34,8	0,70	4216	2961	7177	8971	43,4	26,8	6831	255
	Rep 2	57,0	23310	19814	40,9	0,72	4853	3476	8329	10411	40,6	27,2	8564	315
	Rep 3	58,5	25520	21692	43,6	0,76	4891	3708	8599	10749	41,9	29,6	8847	299
	moy		23070	19610	39,8	0,73	4653	3382	8035	10044	42,0	27,9	8080	290
	ET		2578	2192	4,5	0,03	379	382	755	944	1,38	1,53	1092	31
	CV%		11%	11%	11%	4%	8%	11%	9%	9%	3%	5%	14%	11%

Fev-Mout Renan ON	Rep 1	58,5	20690	17587	35,4	0,71	4222	3006	7228	9035	44,2	27,4	6799	248
	Rep 2	57,0	21950	18658	38,5	0,71	4610	3273	7883	9854	44,0	27,5	7435	270
	Rep 3	58,5	22240	18904	38,0	0,74	4340	3231	7572	9465	43,0	30,3	7523	248
	moy		21627	18383	37,3	0,72	4391	3170	7561	9452	43,7	28,4	7252	255
	ET		824	700	1,7	0,02	199	144	328	410	0,68	1,66	395	13
	CV%		4%	4%	5%	3%	5%	5%	4%	4%	2%	6%	5%	5%
Fev-Mout Renan 80N Plumes	Rep 1	49,4	17150	14578	34,7	0,75	3918	2951	6869	8586	42,9	29,4	6881	234
	Rep 2	49,4	18560	15776	37,6	0,75	4251	3194	7444	9305	41,6	30,5	7683	252
	Rep 3	50,7	20170	17145	39,8	0,79	4287	3382	7668	9585	40,9	32,7	8267	253
	moy		18627	15833	37,4	0,76	4152	3175	7327	9159	41,8	30,9	7610	247
	ET		1511	1284	2,5	0,02	203	216	412	515	1,01	1,70	696	11
	CV%		8%	8%	7%	3%	5%	7%	6%	6%	2%	5%	9%	4%
Fev-VA Renan ON	Rep 1	56,5	23690	20137	41,9	0,70	5085	3564	8649	10811	41,9	29,1	8504	292
	Rep 2	57,0	24700	20995	43,3	0,72	5133	3683	8816	11020	39,7	34,8	9273	267
	Rep 3	58,5	26290	22347	44,9	0,72	5293	3820	9113	11391	40,6	30,4	9401	309
	moy		24893	21159	43,4	0,71	5170	3689	8859	11074	40,8	31,4	9059	288
	ET		1311	1114	1,5	0,01	109	128	235	294	1,10	2,97	485	21
	CV%		5%	5%	3%	2%	2%	3%	3%	3%	3%	9%	5%	7%
Fev-VA Renan 80N Plumes	Rep 1	58,5	26220	22287	44,8	0,72	5315	3810	9125	11406	39,9	30,3	9548	315
	Rep 2	57,0	25310	21514	44,4	0,79	4778	3774	8553	10691	39,3	30,7	9613	313
	Rep 3	58,5	26410	22449	45,1	0,78	4945	3837	8782	10977	40,2	32,4	9553	295
	moy		25980	22083	44,8	0,76	5013	3807	8820	11025	39,8	31,1	9571	308
	ET		588	500	0,4	0,04	275	32	288	360	0,47	1,09	36	11
	CV%		2%	2%	1%	5%	5%	1%	3%	3%	1%	4%	0%	4%

Annexe 6 : Composantes du rendement (2)

		%N grain	%N pailles	Nabs grain (kg/ha)	Nabs pailles (kg/ha)	Nabs (kg/ha)	Nabs *1,15 (kg/ha)	INN florai-son	N appor té (kg)	CAU récolte (%)	INN épi 1cm	Nabs /rdt (kg/q)	Nabs florai--son (kg/ha)	N% florai--son	Nabs *1,15 florai--son (kg/ha)	Nabs post-floraison (kg N/ha)	Teneur en protéines (% à 0%Hté)
Soja-0 Cap Horn ON	Rep 1	1,62	0,59	45,5	23,0	68,5	78,8	0,37	0	/	0,65	2,4	52,20	0,92	60,03	18,8	9,2
	Rep 2	1,49	0,60	38,9	21,5	60,4	69,5	0,43	0	/	0,56	2,3	65,34	1,01	75,14	-5,7	8,5
	Rep 3	1,39	0,54	30,1	18,1	48,2	55,4	0,34	0	/	0,56	2,2	45,69	0,88	52,55	2,8	7,9
	moy	1,50	0,58	38,2	20,9	59,0	67,9	0,38	0	/	0,6	2,3	54,41	0,94	62,57	5,3	8,5
	ET	0,12	0,03	7,8	2,5	10,2	11,8	0,05	/	/	0,05	0,10	10,01	0,07	11,51	12,4	0,66
	CV%	8%	5%	20%	12%	17%	17%	12%	/	/	9%	5%	18%	7%	18%	233%	8%
Soja-0 Cap Horn PLU	Rep 1	1,62	0,58	55,5	25,3	80,7	92,8	0,42	74	18,95	0,65	2,3	55,96	1,10	64,35	28,5	9,3
	Rep 2	1,54	0,59	55,6	25,4	81,0	93,1	0,41	74	31,93	0,65	2,2	65,43	0,93	75,24	17,9	8,8
	Rep 3	1,54	0,59	47,4	25,3	72,7	83,6	0,41	74	38,10	0,56	2,3	49,84	1,15	57,32	26,3	8,8
	moy	1,57	0,58	52,8	25,3	78,1	89,8	0,41	74	29,7%	0,6	2,3	57,1	1,06	65,64	24,2	8,9
	ET	0,05	0,01	4,7	0,1	4,7	5,4	0,01	/	9,8%	0,05	0,07	7,86	0,12	9,03	5,6	0,27
	CV%	3%	1%	9%	0%	6%	6%	1%	/	33%	8%	3%	14%	11%	14%	23%	3%
Soja-0 Cap Horn VIN	Rep 1	1,74	0,62	70,5	32,2	102,7	118,1	0,44	72	54,60	0,58	2,5	76,48	0,93	87,95	30,2	9,9
	Rep 2	1,69	0,55	71,8	28,8	100,6	115,7	0,47	72	64,16	0,54	2,3	78,46	1,03	90,23	25,4	9,6
	Rep 3	1,60	0,65	57,2	29,3	86,5	99,5	0,45	72	61,21	0,54	2,4	69,03	1,05	79,38	20,1	9,1
	moy	1,68	0,61	66,5	30,1	96,6	111,1	0,45	72	60%	0,6	2,4	74,7	1,00	85,86	25,2	9,6
	ET	0,07	0,05	8,1	1,8	8,8	10,1	0,02	/	4,9%	0,02	0,08	4,97	0,06	5,72	5,0	0,39
	CV%	4%	9%	12%	6%	9%	9%	3%	/	8%	4%	3%	7%	6%	7%	20%	4%
Soja-0 Renan ON	Rep 1	1,70	0,53	49,3	25,5	74,9	86,1	0,37	0	/	0,62	2,5	55,54	0,88	63,87	22,2	9,7
	Rep 2	1,61	0,45	48,8	20,9	69,7	80,1	0,33	0	/	0,56	2,2	59,06	0,68	67,92	12,2	9,1
	Rep 3	1,61	0,41	39,5	16,5	56,0	64,3	0,27	0	/	0,54	2,2	37,79	0,68	43,46	20,9	9,2
	moy	1,64	0,46	45,8	21,0	66,8	76,9	0,32	0	/	0,6	2,3	50,8	0,75	58,42	18,4	9,3
	ET	0,05	0,06	5,5	4,5	9,8	11,2	0,05	/	/	0,04	0,16	11,40	0,11	13,11	5,5	0,30
	CV%	3%	13%	12%	22%	15%	15%	16%	/	/	7%	7%	22%	15%	22%	30%	3%
Soja-0 Renan PLU	Rep 1	1,78	0,56	57,6	26,5	84,1	96,7	0,49	74	14,38	0,62	2,5	64,34	1,29	74,00	22,7	10,2
	Rep 2	1,94	0,54	64,2	26,4	90,6	104,2	0,57	74	32,50	0,57	2,7	88,62	1,32	101,92	2,2	11,1
	Rep 3	1,71	0,55	57,2	28,3	85,5	98,3	0,41	74	45,94	0,64	2,5	70,43	0,88	81,00	17,3	9,7
	moy	1,81	0,55	59,7	27,0	86,7	99,7	0,49	74	31%	0,6	2,6	74,5	1,16	85,64	14,1	10,3
	ET	0,12	0,01	3,9	1,1	3,4	3,9	0,08	/	15,8%	0,04	0,10	12,63	0,25	14,53	10,6	0,68
	CV%	7%	2%	7%	4%	4%	4%	16%	/	51%	6%	4%	17%	21%	17%	75%	7%
Soja-0 Renan VIN	Rep 1	1,78	0,60	72,9	35,8	108,7	125,0	0,70	72	54,01	0,65	2,6	109,92	1,61	126,41	-1,4	10,2
	Rep 2	1,93	0,53	81,7	33,7	115,4	132,7	0,59	72	72,98	0,59	2,7	102,41	1,25	117,77	14,9	11,0
	Rep 3	1,82	0,62	62,1	31,0	93,2	107,1	0,61	72	59,42	0,60	2,7	105,45	1,30	121,26	-14,1	10,4
	moy	1,84	0,58	72,2	33,5	105,7	121,6	0,63	72	62%	0,6	2,6	105,9	1,39	121,82	-0,2	10,5
	ET	0,07	0,05	9,8	2,4	11,4	13,1	0,06	/	9,8%	0,03	0,04	3,78	0,19	4,34	14,5	0,43
	CV%	4%	8%	14%	7%	11%	11%	9%	/	16%	5%	1%	4%	14%	4%	-6487%	4%
Fev-0 Renan ON	Rep 1	1,54	0,55	39,0	22,3	61,3	70,5	0,40	0	/	0,74	2,4	65,29	0,89	75,09	-4,5	8,8
	Rep 2	1,77	0,63	60,1	28,2	88,3	101,6	0,52	0	/	0,79	2,5	100,27	1,02	115,31	-13,7	10,1
	Rep 3	1,98	0,57	72,8	28,6	101,4	116,7	0,57	0	/	0,85	2,7	100,49	1,19	115,56	1,1	11,3
	moy	1,77	0,58	57,3	26,4	83,7	96,3	0,50	0	/	0,8	2,5	88,7	1,03	101,99	-5,7	10,1
	ET	0,22	0,04	17,1	3,5	20,4	23,5	0,09	/	/	0,06	0,16	20,26	0,15	23,30	7,5	1,25
	CV%	12%	7%	30%	13%	24%	24%	18%	/	/	7%	6%	23%	15%	23%	-131%	12%
Fev-0 Renan 80N PLU	Rep 1	2,19	0,62	64,7	26,0	90,7	104,4	0,52	74	45,68	0,67	3,0	88,01	1,13	101,22	3,1	12,5
	Rep 2	2,17	0,69	75,4	33,7	109,1	125,4	0,59	74	32,25	0,81	3,1	99,50	1,28	114,43	11,0	12,4
	Rep 3	2,06	0,65	76,2	31,9	108,2	124,4	0,74	74	10,45	0,81	2,9	132,01	1,54	151,82	-27,4	11,7
	moy	2,14	0,65	72,1	30,5	102,7	118,1	0,62	74	29,46	0,8	3,0	106,5	1,31	122,49	-4,4	12,2
	ET	0,07	0,04	6,4	4,0	10,3	11,9	0,11	/	17,8%	0,08	0,11	22,82	0,21	26,24	20,3	0,40
	CV%	3%	6%	9%	13%	10%	10%	18%	/	60%	11%	4%	21%	16%	21%	-459%	3%
Fev-Mout Renan ON	Rep 1	1,87	0,58	56,2	24,4	80,5	92,6	0,68	0	/	0,74	2,6	152,07	1,18	174,88	-82,3	10,6
	Rep 2	1,87	0,60	61,3	27,6	88,8	102,2	0,63	0	/	0,79	2,7	114,57	1,29	131,76	-29,6	10,7
	Rep 3	1,68	0,61	54,3	26,5	80,8	92,9	0,72	0	/	0,80	2,4	121,34	1,56	139,54	-46,7	9,6
	moy	1,81	0,60	57,2	26,1	83,4	95,9	0,68	0	/	0,8	2,6	129,3	1,34	148,73	-52,8	10,3
	ET	0,11	0,02	3,6	1,6	4,7	5,4	0,05	/	/	0,03	0,11	19,98	0,20	22,98	26,9	0,63
	CV%	6%	3%	6%	6%	6%	6%	7%	/	/	4%	4%	15%	15%	15%	-51%	6%

Fev-Mout Renan 80N PLU	Rep 1	1,84	0,60	54,3	23,4	77,6	89,3	0,56	74	-4,46	0,66	2,6	85,17	1,32	97,94	-8,6	10,5
	Rep 2	1,94	0,53	62,0	22,5	84,5	97,2	0,66	74	-6,73	0,86	2,6	123,39	1,32	141,90	-44,7	11,1
	Rep 3	1,93	0,61	65,2	25,9	91,1	104,8	0,55	74	16,11	0,82	2,6	97,67	1,15	112,32	-7,5	11,0
	moy	1,90	0,58	60,5	23,9	84,4	97,1	0,59	74	1,64	0,8	2,6	102,1	1,26	117,39	-20,3	10,8
	ET	0,05	0,04	5,6	1,8	6,7	7,8	0,06	/	12,6%	0,11	0,03	19,49	0,10	22,41	21,2	0,31
Fev-VA Renan ON	CV%	3%	7%	9%	7%	8%	8%	10%	/	767%	14%	1%	19%	8%	19%	-104%	3%
	Rep 1	2,17	0,64	77,3	32,6	109,9	126,4	0,65	0	/	0,83	3,0	115,12	1,36	132,39	-6,0	12,4
	Rep 2	2,33	0,68	85,8	35,0	120,8	138,9	0,63	0	/	0,87	3,2	96,23	1,48	110,66	28,2	13,3
	Rep 3	1,97	0,66	75,1	34,9	110,0	126,5	0,81	0	/	0,82	2,8	146,19	1,67	168,12	-41,6	11,2
	moy	2,15	0,66	79,4	34,2	113,6	130,6	0,70	0	/	0,8	3,0	119,2	1,50	137,06	-6,4	12,3
Fev-VA Renan 80N PLU	ET	0,18	0,02	5,7	1,3	6,2	7,2	0,10	/	/	0,03	0,20	25,23	0,16	29,01	34,9	1,04
	CV%	8%	3%	7%	4%	5%	5%	14%	/	/	3%	6%	21%	10%	21%	-542%	8%
	Rep 1	2,17	0,69	82,6	36,6	119,2	137,1	0,53	74	14,41	0,85	3,1	90,86	1,14	104,49	32,6	12,4
	Rep 2	2,35	0,78	88,8	37,0	125,8	144,7	0,73	74	7,85%	0,86	3,3	116,96	1,65	134,50	10,2	13,4
	Rep 3	2,29	0,69	87,8	34,3	122,1	140,4	0,77	74	18,76	0,84	3,1	151,07	1,48	173,73	-33,4	13,0
	moy	2,27	0,72	86,4	36,0	122,4	140,7	0,68	74	13,67	0,9	3,1	119,6	1,42	137,57	3,2	12,9
	ET	0,09	0,05	3,3	1,5	3,3	3,8	0,13	/	5,5%	0,01	0,10	30,20	0,26	34,73	33,5	0,53
	CV%	4%	7%	4%	4%	3%	3%	19%	/	40%	1%	3%	25%	18%	25%	1063%	4%