

ENITA de Clermont-Ferrand
Mémoire de fin d'études d'ingénieur

Mise en place d'un outil de gestion
de l'azote pour le blé tendre en
système de grandes cultures
biologiques en zone Centre

Lise BILLY
Agronomie, Productions Végétales et
Environnement
Année 2008



ENITA de Clermont-Ferrand
Mémoire de fin d'études d'ingénieur

Mise en place d'un outil de gestion
de l'azote pour le blé tendre en
système de grandes cultures
biologiques en zone Centre

Lise BILLY
Agronomie, Productions Végétales et Environnement
Année 2008

Maître de stage : Charlotte Glachant, Chambre d'Agriculture de
Seine et Marne

Tuteur pédagogique : Nathalie Vassal, ENITA de Clermont-Ferrand



L'ENITA Clermont-Ferrand n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans ce rapport ; ces opinions doivent être considérées comme propres à leur auteur.

Avant-propos

Le présent document constitue mon mémoire de fin d'études d'ingénieur de l'ENITA de Clermont-Ferrand en option « Agronomie, Productions Végétales et Environnement ».

L'organisme financeur principal de ce stage est l'ITAB, Institut Technique en Agriculture Biologique. Cet institut, créé en 1982, a pour mission de coordonner la recherche, l'expérimentation et les transferts de connaissances en Agriculture Biologique au niveau national. L'ITAB a initié plusieurs programmes de recherche pour le développement de la filière biologique dont un programme regroupant les régions Centre et Ile-de-France financé par l'ONIGC (Office National Interprofessionnel des Grandes Cultures).

La Chambre d'Agriculture de Seine-et-Marne a été choisie comme l'organisme encadrant du stage pour ses connaissances techniques sur le sujet.

Abstract

This work placement comes within ONIGC program « Tomorrow, organic arable crops in the Centre zone ». It aims to develop a reliable and easily usable tool for nitrogen management for organic wheat. Important issues occur about the use in spring of organic fertilizers, which are often systematically spread on crops and are more and more expensive. This study allowed a better understanding of their efficiency (according to the type of products, time of application ...). The best situations for agronomic and economic efficiency of a 60 UN/ha dose applied at tillering of these products were then characterized. This analysis highlighted the impacts of soil type, limiting factors and amounts of nitrogen in soil profile at the end of winter on fertilizers efficiency in spring. In most cases, applying organic fertilizers is not profitable.

A better knowledge of the feasible yield without applying fertilizers, and according to the field situation, would help, at first, to choose to fertilize or not. A method allowing calculating a projected yield of organic wheat was developed. Nitrogen soil supplies were estimated in a more reliable way thanks to a new model estimating humus mineralization. Comparison between those nitrogen soil supplies and absorbed nitrogen enabled to evaluate nitrogen recovery by the crop, depending on the level of limiting factors. A coefficient of nitrogen needs of organic wheat was then estimated to calculate a projected yield.

The knowledge of the potential yield of the field, and the estimated efficiency of 60 UN/ha applied at tillering enables a better management of fertilisation practices and thus support profitable and sustainable systems at farm scale.

Key-words: Organic wheat, nitrogenous fertilization, agronomic efficiency, economic efficiency, estimated yield, limiting factors, soil nitrogen, absorption capacity.

Remerciements

Tout d'abord, je remercie très chaleureusement Charlotte Glachant, ma maître de stage, pour son encadrement, sa disponibilité et son soutien. Elle m'a fait partager son expérience et ses compétences de la meilleure façon pour réussir ce stage.

Un grand merci à Claude Aubert, pour sa gentillesse, ses conseils et toutes ses connaissances qui m'ont été très précieuses pour ce stage.

Je tiens aussi à remercier le reste de l'équipe, les « deux Anne », Sylvie et Rémy, ainsi que toute l'équipe du GAB Ile-de-France pour leur accueil et leur gentillesse.

Je remercie sincèrement les membres de mon comité de pilotage. Laurence Fontaine de l'ITAB, Michel Bonnefoy et Jean-Pierre Cohan d'Arvalis pour leur disponibilité et leur aide précieuse tout au long de ce travail. Merci encore à Jean-Pierre Cohan pour le temps qu'il a consacré aux calculs de minéralisation.

Un grand merci à toutes les personnes qui m'ont reçu et qui m'ont remis tous leurs résultats d'essais fertilisation : Vincent moulin du FDGEDA du Cher, Gilles Salitot de la Chambre d'Agriculture de Picardie, Bertrand Chareyron et Patrice Morand de la Chambre d'Agriculture de la Drôme, Michel Garreau et Lizig Kloareg de la Chambre d'Agriculture d'Eure-et-Loire, Loïc Prieur du CREAB Midi-Pyrénées et Jean Arino de la Chambre d'Agriculture du Gers.

Je tiens à remercier Nathalie Vassal, ma tutrice à l'ENITA de Clermont-Ferrand, pour tous ses conseils.

Un immense merci à mes trois compagnons de galère de l'ENITA : Céline, David et Géraud. Ils m'ont épaulé pendant tout ce stage et m'ont fait passer, malgré tout, une très bonne année d'option.

Je remercie aussi tous mes amis « Maîtrise », ainsi que Bibi et Mathieu, qui ont rendu ces deux années éniennes inoubliables. L'expression « ENITA, un jour ; ENITA, toujours » était donc bien vraie.

Enfin, je remercie ma sœur, qui même en pleine rédaction de sa thèse, m'a beaucoup soutenu.

Table des matières

INTRODUCTION.....	1
1 PRESENTATION DE L'ETUDE.....	2
1.1 Le contexte	2
1.1.1 L'évolution de la production biologique en France.....	2
1.1.2 Le contexte économique et agronomique en blé biologique.....	2
1.1.3 Les programmes inter-régionaux financés par l'ONIGC.....	2
1.2 La gestion de l'azote en blé tendre d'hiver biologique.	4
1.2.1 L'azote dans la plante.	4
1.2.2 Les sources d'azote en agriculture biologique.....	5
1.2.3 Les contraintes de la fertilisation azotée du blé biologique en système grandes cultures.	7
1.3 Etat des lieux des pratiques et des outils actuels.....	7
1.3.1 Les pratiques des agriculteurs.....	8
1.3.2 Les outils de gestion de la fertilisation du blé biologique existants.....	8
1.4 Problématique générale.....	10
2 L'EFFICACITE AGRONOMIQUE ET ECONOMIQUE DES APPORTS ORGANIQUES AU PRINTEMPS.	10
2.1 L'analyse des essais.....	10
2.1.1 Présentation des essais collectés.	10
2.1.2 L'efficacité des produits.....	11
2.1.3 Impact des dates d'apport et du fractionnement sur le rendement et les protéines....	12
2.1.4 L'efficacité de la dose 60 unités au tallage.	13
2.2 Caractérisation de la situation des essais.....	13
2.2.1 Caractérisation des sols.....	13
2.2.2 Caractérisation des facteurs limitants.	15
2.2.3 Capacité de valorisation de l'azote.	17
2.3 Analyses des essais selon leur situation.....	17
2.3.1 Relation entre efficacité, capacité de valorisation et RSH.....	17
2.3.2 Détermination de l'efficacité agronomique d'un apport de 60 UN/ha au tallage.....	19
2.4 Détermination de la rentabilité des engrais organiques.....	22
3 ELABORATION D'UNE METHODE DE CALCUL DU RENDEMENT PREVISIONNEL EN BLE BIOLOGIQUE.....	24
3.1 Définition des objectifs.....	24
3.2 Mise en évidence de la nécessité de réévaluer les fournitures du sol.....	25
3.2.1 Calcul de l'azote absorbé.	25
3.2.2 Calcul des fournitures du sol.....	25
3.2.3 Comparaison de l'azote absorbé et des fournitures du sol.....	26
3.3 Nouvelle estimation de la minéralisation	26
3.3.1 Estimation de la minéralisation de l'humus.....	26
3.3.2 Comparaison des différentes méthodes de calcul des fournitures du sol.....	27

3.4	Détermination du pourcentage d'absorption de l'azote	28
3.4.1	Détermination du pourcentage d'absorption grâce au nouveau modèle de minéralisation.....	29
3.4.2	Détermination du pourcentage d'absorption en fonction des facteurs limitants.....	29
3.5	Détermination du coefficient de besoin en azote du blé biologique. (Coefficient b0).	30
4	MISE EN PLACE DE L'OUTIL DE GESTION DE L'AZOTE EN BLE BIOLOGIQUE.	31
4.1	Principes d'utilisation de l'outil.....	31
4.2	Détermination des valeurs de minéralisation à utiliser dans l'outil.....	31
4.2.1	Les limites du modèle de M. Valé.	32
4.2.2	Les valeurs minéralisation utilisées pour le prévisionnel de rendement.....	32
4.3	Prévision de rendement et d'efficacité d'un apport d'engrais organique.	33
5	ESTIMATION DE LA FIABILITE DE L'OUTIL.	34
5.1	Comparaison des rendements à partir d'un coefficient b0 moyen.....	34
5.2	Comparaison des rendements à partir d'un coefficient b0 variable en fonction du RSH.	35
5.3	Discussion.....	36
	CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	38
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	39
	ANNEXES	42

Table des Figures

Figure n° 1: Marges brutes moyenne par culture entre 2004 et 2006 réalisées en zone Centre. (Bouttet, 2007).	3
Figure n° 2: Les différentes étapes de l'absorption et de l'assimilation de l'azote par la plante. (Gate, 1995).....	4
Figure n°3 : Le cycle de l'azote. (Nicolardot et al, 1996).....	5
Figure n° 4: Azote minéralisé (en % d'azote organique du produit) pour les engrais organiques. (Raynal et Nicolardot, 2007).....	6
Figure n° 5: Prix (épandage compris) et concentration en azote de quelques engrais organiques. (Salitot, 2007 ; Glachant, 2008).	7
Figure n° 6 : Equations de la méthode du bilan prévisionnel.	8
Figure n° 7: Comparaison deux à deux de l'efficacité des produits exprimée en % du témoin.	11
Figure n° 8: Comparaison des apports tardifs et des apports fractionnés avec des apports au tallage.	12
Figure n° 9 : Comparaison statistique entre les rendements témoins et les rendements avec un apport de 60 UN/ha.	13
Figure n° 10 : Comparaison statistique entre les taux de protéines témoins et les taux de protéines avec un apport de 60 UN/ha.....	13
Figure n° 11: Clé de détermination des sols de Seine-et-Marne (Aubert et al, 2005).	14
Figure n° 12: Classe de potentiel de rendement en fonction du type de sol.	15
Figure n° 14: Méthode permettant d'estimer la capacité de valorisation de l'azote par la plante	17
Figure n° 15: Efficacité de l'apport en fonction du RSH pour tous les essais.....	18
Figure n° 16: L'efficacité de l'apport en fonction du RSH en classe 3 de capacité de valorisation de l'azote.....	18
Figure n° 17: L'efficacité de l'apport en fonction du RSH en classe 2 de capacité de valorisation de l'azote.....	18
Figure n° 18: L'efficacité de l'apport en fonction du RSH en classe 1 de capacité de valorisation de l'azote.....	19
Figure n° 19: L'efficacité de l'apport en fonction du RSH en classe 0 de capacité de valorisation de l'azote.....	19
Figure n° 20: Niveaux d'efficacité d'un apport de 60 UN/ha sur le rendement.	20
Figure n° 21: Nombre de situations présentes dans chaque classe de capacité de valorisation de l'azote et chaque classe de RSH.	20
Figure n° 22: Efficacité d'un apport de 60 UN/ha sur le rendement en fonction de la capacité de la valorisation de l'azote et du RSH.	20
Figure n° 23 : Niveaux d'efficacité d'un apport de 60 UN/ha sur le taux de protéines.....	21
Figure n° 24: Efficacité d'un apport de 60 UN/ha sur le rendement et le taux de protéines en fonction de la capacité de la valorisation de l'azote et du RSH.....	21
Figure n° 25: Marges brutes dégagées en euros par hectare pour un gain de 2,5 q/ha.	22
Figure n° 26: Marges brutes dégagées en euros par hectare pour un gain de 5,5 q/ha.	23
Figure n° 27: Marges brutes dégagées en euros par hectare pour un gain de 8,5 q/ha.	23
Figure n° 28: Equations permettant de calculer le rendement prévisionnel.	24
Figure n° 30 : Plaquette de la Chambre d'Agriculture de Seine-et-Marne présentant une méthode du bilan azoté.	1
Figure n° 29 : Calcul de l'azote absorbé en fonction du taux de protéines et du rendement. (ITAB, 2001).	25
Figure n° 31 : Comparaison de l'azote absorbé et des fournitures du sol calculés avec les chiffres diffusés par la Chambre d'Agriculture de Seine-et-Marne.	25
Figure n° 32: Les variables déterminant la quantité d'azote minéralisé. (Valé et al, 2007).	26

Figure n° 33 : Corrélation entre les fournitures du sol calculées d'après les chiffres de la Chambre d'Agriculture et la quantité de protéines par hectare.	27
Figure n° 34 : Corrélation entre les fournitures du sol calculées avec les chiffres de la méthode du bilan classique et la quantité de protéines par hectare.	28
Figure n° 35 : Corrélation entre les fournitures du sol calculées avec les chiffres du modèle de M.Valé et la quantité de protéines par hectare.	28
Figure n° 36 : Calculs des pourcentages d'absorption.	25
Figure n° 37: Pourcentage d'absorption de l'azote par le blé biologique en fonction des classes de facteurs limitants.	29
Figure n° 38: Pourcentage d'azote absorbé en fonction des classes de facteurs limitants.	29
Figure n° 39: Corrélation entre le coefficient b0 et le rendement.	30
Figure n° 40: Corrélation entre le coefficient b0 et les RSH.	30
Figure n° 41: Coefficient b0 en fonction de la classe de RSH.	30
Figure n° 42 : Schéma du déroulement de l'outil.	31
Figure n° 45 : Plaquette permettant d'établir un prévisionnel de rendement.	28
Figure n° 46 : Niveaux des facteurs limitants ayant un impact sur la disponibilité de l'azote.	33
Figure n° 47 : Plaquette permettant de prévoir l'efficacité d'un apport de 60 UN/ha.	34
Figure n° 48: Corrélation entre le rendement réel et le rendement prévisionnel par la méthode du bilan avec un coefficient b0 moyen.	35
Figure n° 49 : Corrélation entre le rendement réel et le rendement prévisionnel par la méthode du bilan avec un coefficient b0 variable selon le RSH.	35
Figure n° 50: Analyse statistique comparant les deux rendements. (Test de Newman keuls à 5%. P = 0.01, CV= 9%).	35
Figure n° 51: Corrélation entre le rendement réel et le rendement prévisionnel (après calcul du RMSE) par la méthode du bilan avec un coefficient b0 variable selon le RSH.	36

Liste des abréviations

CA 77 : Chambre d'Agriculture de Seine-et-Marne.
CAD : Contrat Agriculture Durable.
CIPAN : Culture Intermédiaire Piège A Nitrates.
CTE : Contrat Territoriaux d'Exploitation.
CV : Coefficient de Variation
FdP : Farine de Plumes.
FL : Facteurs Limitants.
GAB : Groupement d'Agriculteurs Biologiques.
INRA : Institut National de la Recherche Agronomique.
ITAB : Institut Technique de l'Agriculture Biologique.
N : Azote.
ONIGC : Office National Interprofessionnel des Grandes Cultures.
PGN : Plan de Gestion de l'Azote.
PMG : Poids de 1000 Grains.
RMSE : Root Mean Squared Error
RPR : Reliquat Post-Récolte.
RSH : Reliquat Sortie Hiver.
SAU : Surface Agricole Utilisable.
STICS : Stimulateur multIdisciplinaire pour les Cultures Standard
UN : Unités d'azote.

Introduction

Les problèmes environnementaux et de santé publique sont devenus des préoccupations majeures en France. Dans ce contexte, la consommation des produits issus de l'Agriculture Biologique connaît depuis quelques années une progression remarquable.

Cependant, la production ne suit pas cette progression de la consommation. La filière céréalière biologique est particulièrement déficitaire et entraîne de fortes importations. (Bova, 2008).

Afin d'augmenter la production, le rythme des conversions biologiques doit être dynamisé. Pour cela, il faut pouvoir mettre en place des systèmes durables aussi bien au niveau agronomique qu'au niveau économique. Ainsi, il est indispensable d'acquérir de nouvelles connaissances et de fournir des références techniques pour favoriser des systèmes biologiques stables. (Bouttet et Fontaine, 2007).

Dans le but de répondre à cet objectif, les régions Centre et Ile-de-France qui ont des systèmes de productions céréalières biologiques similaires, se sont réunies dans le cadre d'un programme financé par l'ONIGC (Office National Interprofessionnel des Grandes Cultures).

Parmi les différents thèmes abordés dans ce programme, la fertilisation azotée en systèmes céréaliers biologiques représente un enjeu majeur. L'un des objectifs de ce thème, auquel ce stage doit répondre, concerne la mise au point d'un outil de gestion de l'azote pour le blé en systèmes de grandes cultures biologiques en zone Centre.

Dans un premier temps, une présentation de l'étude met en évidence le rôle de l'azote et fait un état des lieux des pratiques actuelles afin de mieux cerner les problématiques de la culture de blé biologique. Est ensuite étudiée l'efficacité agronomique puis économique des apports d'engrais organiques à partir des essais collectés en zone Centre. Afin d'aider les exploitants dans leur prise de décision de fertiliser ou non, une méthode permettant d'estimer le rendement prévisionnel du blé en conduite biologique, sans apport exogène, est proposée. Pour finir, les résultats obtenus ont permis la mise en place d'un outil de gestion des apports d'azote en blé. Les limites de cet outil ainsi que les suites données à ce travail sont ensuite discutées.

1 Présentation de l'étude

1.1 Le contexte

1.1.1 *L'évolution de la production biologique en France.*

En 2007, la production biologique représentait 2% de la SAU française (Surface Agricole Utilisée), soit une superficie d'environ 557000 hectares cultivés en mode biologique, ce qui représente une augmentation de près de 32% des surfaces entre 2001 et 2007. Sur cette même période, la progression du nombre d'exploitations biologiques s'élève à 2,5%, dans un contexte où le nombre total d'exploitations diminue chaque année. (Agence bio, 2007).

L'évolution de la surface en céréales biologiques (dont le blé représente 34%) suit la dynamique globale de la production biologique.

La mise en place des CTE (Contrats Territoriaux d'Exploitation) en 2001 puis celle des CAD (Contrats Agriculture Durable) en 2003 ont aidé à la conversion en Agriculture Biologique et ont fortement favorisé le développement de la production biologique.

Actuellement, la dynamique de conversion a ralenti et le nombre d'hectares cultivés en bio s'est stabilisé. Entre 2007 et 2008, les surfaces en céréales biologiques ont augmenté de 2,3 % et ont diminué de 4% pour les cultures de blé. Ainsi, compte tenu de l'évolution des marchés, il est nécessaire d'augmenter à nouveau la production afin de satisfaire une demande annuelle de plus en plus importante, notamment chez les meuniers. (Agence bio, 2007).

Le contexte économique actuel est donc favorable aux systèmes céréaliers biologiques.

1.1.2 *Le contexte économique et agronomique en blé biologique.*

Le prix du blé biologique est environ 80% supérieur au blé conventionnel (Bova, 2008). Le prix du blé tendre meunier biologique a fortement augmenté en 2007 pour atteindre un maximum de 410€/t en fin de campagne, ce qui rend le marché attractif actuellement.

Cependant, la conversion des systèmes, en particulier des systèmes céréaliers sans élevage, présente des difficultés techniques. Les rendements et les taux de protéines sont plus faibles que ceux obtenus en agriculture classique. La moyenne nationale des rendements est de 36 quintaux par hectare pour le blé biologique contre 70 en blé conventionnel. Les systèmes biologiques sont aussi très dépendants des conditions pédo-climatiques. La perte de rendement s'échelonne de 10% à 60% selon l'année. (David, 2002).

Même si la rentabilité est souvent garantie par des prix de vente élevés, il est important pour les producteurs de mieux maîtriser leurs rendements et ainsi de s'assurer une stabilité économique durable. (David, 2002). Un suivi technique ainsi que l'acquisition de connaissances et de références sont alors nécessaires pour réduire le risque économique.

1.1.3 *Les programmes inter-régionaux financés par l'ONIGC.*

Les différents organismes travaillant sur l'Agriculture Biologique en régions Centre et Ile-de-France (zone Centre) se sont réunis autour de deux programmes inter-régionaux financés par l'ONIGC. Les organismes participants sont les groupements d'agriculteurs biologiques des régions Centre et Ile-de-France (Biocentre et le GAB Ile-de-France) , Arvalis, l'ITAB (Institut Technique en Agriculture Biologique) et les Chambres d'Agriculture des deux Régions. L'objectif de ces programmes est de favoriser les échanges en termes de conseils, d'expérimentations et de recherches pour répondre au mieux aux attentes des céréaliers biologiques. En effet, contrairement à

l'agriculture classique qui bénéficie de suivis et de conseils basés sur de longues recherches, l'Agriculture Biologique manque encore de références et d'outils pour accompagner et développer la production de céréales.

Un premier programme, déposé en 2004, a permis l'acquisition de références techniques et technico-économiques en grandes cultures biologiques en zone Centre. En conclusion de ce travail, de nouvelles orientations ont été prises et ont contribué à la création d'un nouveau projet en 2007 intitulé « Demain la bio sur les exploitations grandes cultures de la zone Centre ».

Le programme de travail comprend plusieurs thèmes :

- la mise en évidence de la durabilité des exploitations grandes cultures bio et les impacts de la conversion,
- les leviers de la durabilité : les variétés, la lutte contre les ravageurs et la gestion des adventices,
- la fertilité des sols : un enjeu majeur.

Ce dernier thème a pour objectif de mettre au point un outil fiable de gestion de l'azote, facilement utilisable par les agriculteurs et les conseillers agricoles, et intégrant les aspects économiques. (Bouttet et Fontaine, 2007). Le stage s'inscrit dans ce cadre et doit répondre à cet objectif. Pour cela, il est nécessaire de connaître les différentes problématiques et spécificités de la gestion de l'azote en systèmes de grandes cultures biologiques.

Cependant, la plupart des expérimentations ont été conduites sur le blé uniquement. La figure n°1 ci-dessous présente les résultats d'un réseau de parcelles situées en zone Centre et montre toute l'importance de cette culture. En effet, elle obtient les marges brutes les plus élevées après la luzerne. (La luzerne ne représente que 12 parcelles sur ce réseau, puisqu'elle n'est cultivée que quand elle est bien valorisée). (Bouttet, 2007).

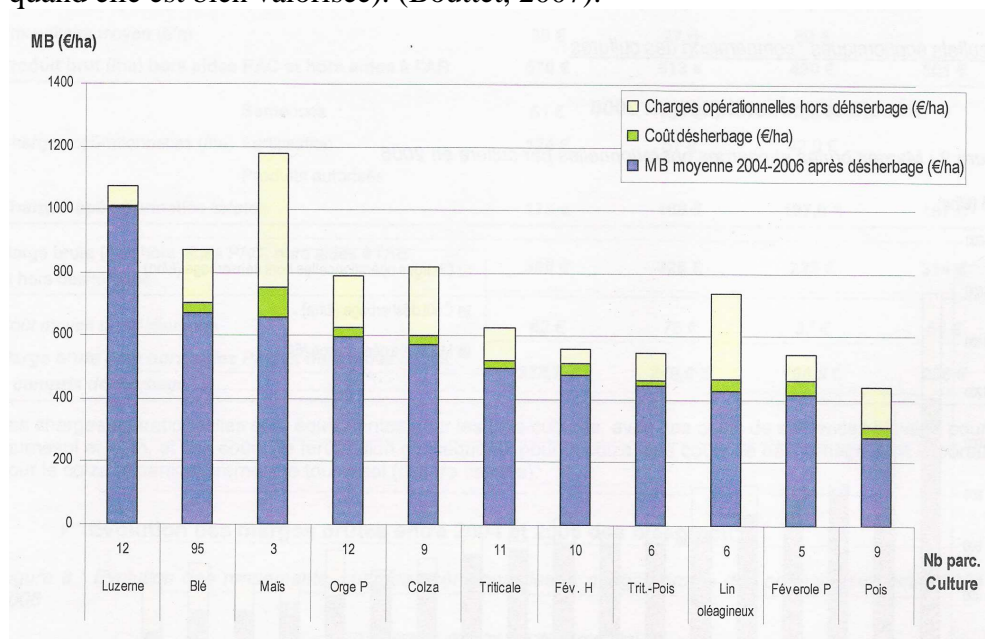


Figure n° 1: Marges brutes moyenne par culture entre 2004 et 2006 réalisées en zone Centre. (Bouttet, 2007).

Le blé est donc essentiel pour la rentabilité de l'exploitation. Ainsi, l'outil portera en priorité sur la gestion de l'azote du blé biologique.

1.2 La gestion de l'azote en blé tendre d'hiver biologique.

Pour augmenter la production biologique, il faut développer des systèmes rentables et durables. Les rendements et les taux de protéines, même s'ils sont plus faibles qu'en systèmes conventionnels, doivent rester corrects afin d'assurer la viabilité de l'exploitation. Pour atteindre des rendements économiquement fiables, l'azote joue un rôle essentiel. D'après David (2004), il est défini comme étant le principal facteur limitant. Afin d'apporter des connaissances sur la gestion de l'azote dans ces systèmes de production, il est nécessaire de s'intéresser aux sources d'azote utilisables par la culture en Agriculture Biologique et aux facteurs qui influent sur sa disponibilité.

1.2.1 L'azote dans la plante.

Le rôle de l'azote dans la plante.

L'azote est assimilable sous la forme nitrique (NO_3^-) ou ammoniacale (NH_4^+). La plante absorbe tout de même préférentiellement la forme nitrique. (Gate, 1995).

L'azote est incorporé dans les acides aminés pour la fabrication des protéines pour la production de masse sèche et intervient directement dans la valorisation de la photosynthèse. (Figure n°2).

Il favorise la multiplication cellulaire, la synthèse des glucides et des protéines, c'est à dire la croissance de la plante, mais permet aussi la constitution de réserves azotées dans les graines. L'azote élève le rendement de la culture et augmente aussi la teneur azotée des grains du blé. (Gate, 1995).

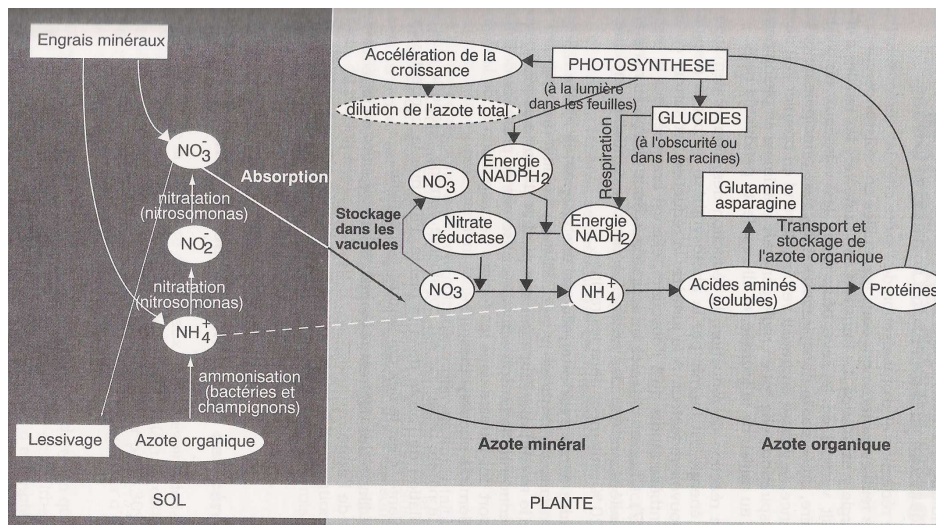


Figure n° 2: Les différentes étapes de l'absorption et de l'assimilation de l'azote par la plante. (Gate, 1995).

La nutrition azotée.

Chez le blé, les besoins évoluent en fonction des stades de croissance. Ils sont particulièrement importants du stade épi 1 cm jusqu'à la floraison. Les conditions de nutrition azotée du blé interviennent directement sur les composantes de rendement de la phase végétative, c'est à dire sur le nombre d'épis/m² et sur le nombre de grains/épi. La phase de remplissage représentée par le poids de 1000 grains (PMG) serait moins sensible aux carences azotées puisque c'est la phase qui absorbe le moins d'azote. (Gate, 1995).

En effet, il a été démontré que les chutes de rendement observées en cas de carence venaient principalement d'une diminution du nombre de grains. Les conséquences sont variables selon le moment du cycle (plus la carence est précoce, plus les conséquences seront visibles), l'intensité et la durée de la carence. (Jeuffroy et Bouchard, 1999 ; Jeuffroy, 2001).

La fourniture d'azote disponible au printemps est donc très importante pour atteindre un rendement satisfaisant. Ainsi, la gestion de l'azote au printemps est une problématique importante que se soit en agriculture conventionnelle ou biologique.

Les besoins en azote en Agriculture Biologique sont difficiles à satisfaire d'autant plus que les apports d'engrais minéraux, qui fournissent de l'azote directement disponible, sont interdits. La plante doit alors répondre à ses besoins en prélevant l'azote du sol uniquement.

1.2.2 Les sources d'azote en agriculture biologique.

En Agriculture Biologique, l'azote minéral provient de la **minéralisation de l'azote organique**. Cet azote organique peut être issu de la matière organique **endogène** c'est à dire présente dans le sol. Elle est composée d'une partie d'humus (matière organique stable) et aussi de matières fraîches (résidus de culture) encore non décomposées. La matière organique peut être aussi d'origine **exogène** (amendements organiques et engrais organiques). (Nicolardot et al, 1996).

La minéralisation de la matière organique.

La minéralisation correspond à une dégradation par la microflore et la microfaune (biomasse microbienne) de l'azote organique en azote minéral (forme assimilable par la plante). (Figure n°3). La qualité de la minéralisation dépend d'un certain nombre de facteurs (Nicolardot et al, 1996):

- la quantité d'azote contenu dans les matières organiques,
- le travail du sol : il modifie les propriétés physiques du sol et ainsi modifie l'activité microbienne,
- les pratiques culturales : le type de culture agit sur la quantité et la nature des restitutions organiques,
- la température et l'humidité qui interviennent sur l'activité microbienne et par conséquent sur les vitesses de transformation de l'azote.

La minéralisation est donc fortement dépendante des conditions pédo-climatiques mais aussi de l'ensemble des facteurs de production (travail du sol, rotation, date d'intervention, bon outil...).

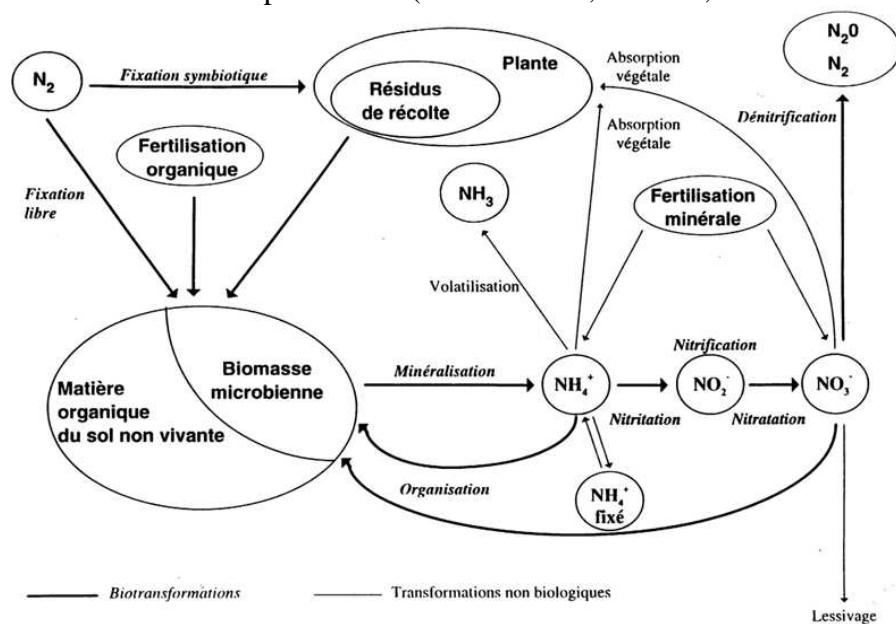


Figure n°3 : Le cycle de l'azote. (Nicolardot et al, 1996).

La fixation symbiotique.

Les légumineuses sont une source importante d'azote. Ces plantes sont capables d'entrer en symbiose avec les bactéries du sol du type Rhizobium. La plante fournit l'énergie issue de la photosynthèse et les bactéries, abritées dans les nodosités de la racine de la plante, fournissent l'azote ammoniacal. La symbiose produit entre 100 et 300 kg d'azote par an et par hectare. Une partie de l'azote est utilisée par la plante elle-même (biomasse et protéines des graines) et l'autre partie se retrouve dans le sol et peut ainsi être utilisable pour la culture suivante. La quantité d'azote restitué dans le sol (entre 10 et 80 unités d'azote par hectare) est variable selon le type de légumineuse.

La luzerne est considérée comme ayant la productivité symbiotique la plus efficace. Elle permet aussi une libération de l'azote à long terme et une amélioration de la structure du sol. (Nicolardot, 1996; Waligora et Tetu, 2008 ; Triboi, 2008).

Ainsi, en Agriculture Biologique, l'utilisation de légumineuses est un atout important. Elles sont présentes dans toutes les rotations biologiques et précèdent généralement une culture de blé.

Les apports exogènes et leur vitesse de minéralisation.

Il existe deux types d'apports exogènes : les amendements (fumier, compost,...) et les engrais organiques (vinasse, fientes,...). Ils se distinguent par leur vitesse de minéralisation. Les amendements ont une vitesse de minéralisation beaucoup plus lente, leur action sur le sol est attendue sur du long terme et ils ne sont pas apportés tous les ans. Les engrais organiques ont une vitesse de minéralisation plus rapide et sont beaucoup utilisés dans les systèmes de grandes cultures biologiques.

Cependant, leur utilisation doit être ajustée en fonction de la cinétique de minéralisation des différents produits utilisés. Les cinétiques de minéralisation ont été caractérisées en laboratoire grâce à des tests d'incubation à 28°C avec une humidité équivalente à la capacité de rétention d'eau. La vitesse de minéralisation du carbone et de l'azote sont ainsi décrits. Les produits, tels que la vinasse, les soies de porc, les farines de plumes ou le guano ont une minéralisation rapide. 46 % de l'azote se retrouve sous forme minérale au bout de 7 jours d'incubation. En revanche, des produits comme le compost de fumier de volaille ont une minéralisation plus lente avec seulement 26% de l'azote total minéralisé en 7 jours. (Figure n° 4). (Raynal et Nicolardot, 2007 et David, 2004).

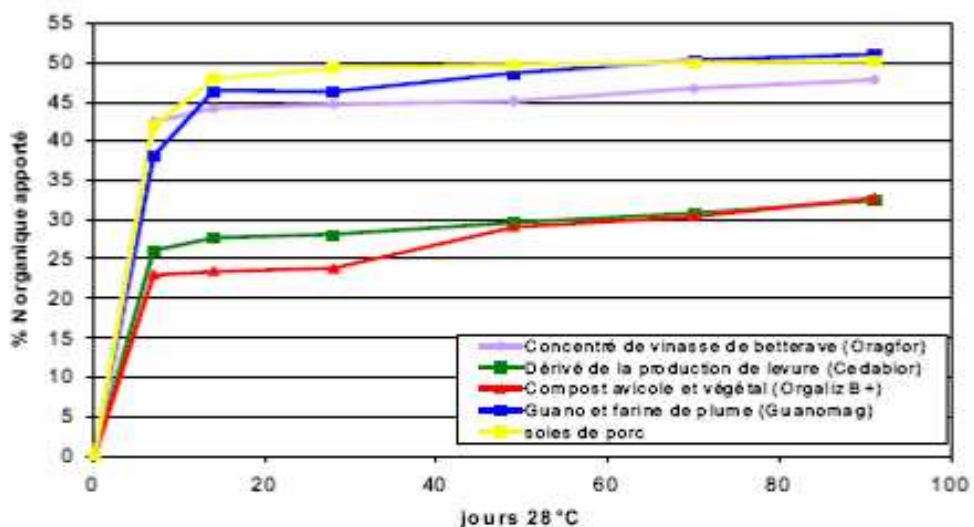


Figure n° 4: Azote minéralisé (en % d'azote organique du produit) pour les engrais organiques. (Raynal et Nicolardot, 2007).

Ces travaux montrent que certains engrais organiques peuvent être rapidement minéralisés. Cependant, la part d'azote ammoniacal des engrais peut être assimilée par la plante mais aussi volatilisée. Ainsi, la disponibilité pour la plante de l'azote des engrais est dépendante d'un certain nombre de facteurs comme le stade du végétal et les conditions pédo-climatiques au moment de l'apport. (Jeuffroy, 2003).

1.2.3 Les contraintes de la fertilisation azotée du blé biologique en système grandes cultures.

Dans les systèmes de polyculture biologique sans élevage, la problématique de l'azote est d'autant plus importante que ces systèmes ne produisent pas d'amendements organiques ou d'engrais. Les sources d'azote sont donc principalement les légumineuses et la matière organique du sol.

La disparition de l'élevage dans les zones céréalières pose un certain nombre de contraintes : l'approvisionnement en amendements organiques locaux est limité et la valorisation commerciale des légumineuses (luzerne, trèfle, féverole..) est aussi plus difficile dans ces régions pauvres en élevage.

Les engrais organiques (farine de plume, guano, fumier de poule, vinasses, engrais Derome,...) sont souvent utilisés dans les régions céréalières mais nécessitent des importations d'autres régions comme la Bretagne. De plus, ils deviennent de plus en plus rares et donc de plus en plus chers. (Figure n°5).

D'un point de vue technique, ces produits doivent d'abord être minéralisés pour être utilisables par la plante. Le décalage entre la minéralisation de ces produits et les besoins instantanés de la culture conduisent parfois à une mauvaise valorisation agronomique de ces engrais (Jeuffroy, 2003). Leur utilisation doit ainsi être bien raisonnée (date d'apport et dose) afin d'obtenir une efficacité optimale.

Produit	% d'Azote	Prix à la tonne (en euros)
Vinasse	2.4	55
Fientes de Poules	6	55
Derome 11-6-2	11	544
Compost fumier de volailles	2.5	15
Farine de plume	10	260

Figure n° 5: Prix (épandage compris) et concentration en azote de quelques engrais organiques. (Salitot, 2007 ; Glachant, 2008).

L'azote est, par son utilisation agronomique et ses sources limitées, un facteur qui peut s'avérer très limitant dans les systèmes céréaliers biologiques. Cependant, d'autres facteurs comme l'enherbement, les ravageurs ou les maladies peuvent intervenir et consommer l'azote disponible. (David, 2004 ; Etienne, 2007). Ainsi, les principales contraintes et les besoins doivent être clairement identifiés pour répondre aux attentes des agriculteurs.

1.3 Etat des lieux des pratiques et des outils actuels.

Afin de cerner au mieux les attentes des agriculteurs, et bien que l'étude concerne essentiellement l'Ile-de-France et la région Centre, il a semblé intéressant de rencontrer des conseillers travaillant sur la fertilisation azotée en blé biologique dans d'autres régions. Les pratiques les plus courantes ainsi que les outils d'aide à la décision utilisés ont pu être mis en évidence.

1.3.1 Les pratiques des agriculteurs.

La rencontre avec les conseillers de la zone Centre, de l'Oise, du Gers et de la Drôme a permis de connaître les pratiques des agriculteurs concernant le pilotage de la fertilisation azotée. L'apport d'engrais organique à des doses plus ou moins importantes selon les départements (de 60 à 150 UN/ha) est souvent systématique.

La majorité des agriculteurs rencontrent actuellement des problèmes d'approvisionnement de ces engrais organiques qui deviennent de plus en plus chers.

Ainsi, conseillers et agriculteurs sont en demande d'outils permettant de mieux raisonner l'apport des engrais organiques afin d'optimiser leur utilisation.

1.3.2 Les outils de gestion de la fertilisation du blé biologique existants.

La méthode du bilan prévisionnel.

L'outil le plus souvent utilisé actuellement par les conseillers est la méthode du bilan prévisionnel. Elle consiste à définir les besoins de la plante en azote, qui sont ensuite comparés aux fournitures du sol selon les équations suivantes (CA 77, 2008 ; Meynard, 1996) :

Dose d'engrais conseillée = Besoins de la culture - Fournitures du sol

Besoin de la culture = coefficient de besoin de la plante * objectif de rendement + Résidus Post Récolte.

Fournitures du sol = Reliquat Sortie Hiver (RSH)
+ Minéralisation de l'humus
+ Effet du précédent
+ Azote déjà absorbé pendant l'hiver
+ Effet des apports de matières organiques
+ Effet des CIPAN.

Figure n° 6 : Equations de la méthode du bilan prévisionnel.

Le coefficient de besoin en azote du blé (coefficient b) représente la quantité d'azote nécessaire à la production d'un quintal de blé. En système conventionnel, ce coefficient varie de 2,7 à 3,6 kg d'N/q en fonction des variétés de blé et se situe en moyenne à 3 kg d'N/q. Il a été défini à l'optimum de nutrition azotée. (Le Souder et Blondhot, 2006 ; Briffaux et al, 2005).

Même si le principe de la méthode est utilisable pour tout système, elle a été créée dans le cadre de systèmes conventionnels avec des apports d'azote directement assimilable par la plante. Certains paramètres, comme le coefficient b, la minéralisation de l'humus, l'effet du précédent, ne correspondent peut être pas aux systèmes biologiques. Il est donc possible que cette méthode nécessite des adaptations pour être appliquée en système biologique.

Un outil de conseil adapté à l'Agriculture Biologique : Azodyn.org.

Un premier outil « Azodyn » a été créé afin de simuler les résultats de différentes stratégies de fertilisation azotée sur blé conventionnel (Jeuffroy et Recous, 1999). Le modèle Azodyn-org fait

suite à Azodyn et a pour but d'adapter ce premier modèle aux systèmes biologiques en prenant en compte les engrais et amendements organiques. (David, 2004).

Il permet de proposer des stratégies de fertilisation azotée en fonction des conditions pédo-climatiques permettant d'augmenter la teneur en protéines et le rendement et ainsi d'optimiser l'utilisation des engrais organiques.

Azodyn-org sur blé estime la minéralisation de l'azote des produits organiques et évalue les pertes par volatilisation, en intégrant l'effet de l'état hydrique du sol sur la minéralisation et l'absorption de l'azote du sol.

Certains facteurs limitants comme la présence d'adventices ou des accidents de structure du sol qui peuvent réduire l'efficacité des produits sont aussi pris en compte dans la prévision de la fertilisation. (Morison et al, 2007).

Cet outil a été conçu pour être utilisable à l'échelle d'un bassin de production et non à l'échelle de la parcelle. De plus, la quantité d'informations nécessaires pour utiliser Azodyn-org est importante et ces données sont difficiles à obtenir pour des exploitants. Ainsi, il n'est pas réellement utilisé par les conseillers agricoles ou par les agriculteurs. Ce modèle permet cependant une meilleure connaissance des processus intervenant dans la gestion de l'azote en Agriculture Biologique.

Le plan de gestion de l'azote (PGN) en grandes cultures biologiques de la chambre d'Agriculture de Seine-et-Marne.

Treize essais de fertilisation réalisés pendant 10 ans sur les exploitations biologiques d'Ile-de-France ont permis de mieux connaître l'effet des engrais organiques apportés au printemps et de mieux cerner les situations de bonne ou mauvaise valorisation de l'apport. Les résultats d'un apport de 60 UN/ha avec différents produits ont été analysés.

La comparaison des produits testés n'a montré aucune différence significative d'efficacité entre produits.

De manière générale, un apport de 60 UN/ha apporte un gain en rendement significativement différent du témoin. Mais les réponses à l'azote sont très hétérogènes selon les situations pédo-climatiques. Les essais présentant les résultats les plus positifs ont été observés dans les cas où les facteurs suivants étaient associés :

- un RSH faible
- des conditions pédo-climatiques favorables
- pas de facteurs pouvant limiter l'absorption de l'azote par la plante.

A partir de ces résultats, un premier outil de gestion de l'azote en blé biologique a été proposé en Ile-de-France. Cependant, cet outil est basé sur peu d'essais et nécessite d'être validé sur un nombre plus important de résultats. (Glachant, 2007).

Les outils classiques d'aide à la décision actuellement disponibles prennent en compte ou prévoient un apport d'engrais minéral. Ainsi, leur utilisation en systèmes biologiques peut paraître inadaptée.

Quant aux outils pouvant répondre aux problématiques de l'agriculture biologique, ils ne sont pas assez simples et fiables pour être utilisés systématiquement par les conseillers et les agriculteurs. D'où l'intérêt de mettre au point une méthode permettant de répondre aux manques observés.

1.4 Problématique générale.

Aussi bien en agriculture conventionnelle qu'en agriculture biologique, la gestion de l'azote est essentielle à la production. Les contraintes dans un système biologique sont plus fortes avec l'interdiction de l'utilisation d'engrais de synthèse. L'utilisation d'engrais organiques est alors fréquente mais pose certaines interrogations.

En effet, ces produits sont souvent importés d'élevages conventionnels situés dans d'autres régions. Ces pratiques peuvent entrer en opposition avec les principes de l'Agriculture Biologique qui veut mettre en avant des pratiques autonomes mais aussi économes en énergie.

L'efficacité agronomique de ces produits étant mal connue (Jeuffroy, 2003), leur utilisation de manière systématique à des doses importantes pourrait poser des problèmes de pollution. De plus, le coût élevé de ces engrais pose la question de leur rentabilité. Il paraît donc indispensable de raisonner les apports afin d'augmenter l'efficacité économique du système.

L'objectif de cette étude est alors de fournir un outil fiable permettant de conseiller les agriculteurs sur leur choix de fertiliser ou non.

Dans un premier temps, ce travail doit permettre de connaître le niveau d'efficacité agronomique des engrais et les situations les plus favorables à leur utilisation. La rentabilité de la fertilisation doit ensuite être mise en évidence afin de limiter le risque économique.

Dans un deuxième temps, compte tenu de l'importante variation des rendements réalisés en Agriculture Biologique (David, 2002), il est nécessaire d'acquérir une bonne connaissance du potentiel des parcelles d'une exploitation dans les conditions de l'année. La détermination de ce potentiel donne une information complémentaire permettant de hiérarchiser les parcelles à fertiliser en tenant compte des facteurs limitants. L'objectif est de pouvoir déterminer le niveaux de rendement (à environ 5 quintaux près) qui peut être atteint sur chaque parcelle sans apport exogène d'azote.

L'ensemble des résultats obtenus sur la rentabilité de l'apport et la détermination du rendement prévisionnel sont la base de la mise en place d'un outil de gestion de l'azote.

2 L'efficacité agronomique et économique des apports organiques au printemps.

2.1 L'analyse des essais

2.1.1 Présentation des essais collectés.

Au total les résultats de 55 essais ont été collectés dans différents départements :

- 16 en Ile-de-France, (Annexe n°1)
- 6 en Eure-et-Loire, (Annexe n°2)
- 5 en Indre-et-Loire, (Annexe n°3)
- 7 en Loir-et-Cher, (Annexe n°3)
- 4 dans le Cher, (Annexe n°4)
- 5 dans l'Oise, (Annexe n°5)
- 10 dans le Gers, (Annexe n°6)
- 2 dans la Drôme. (Annexe n°7)

De manière générale, les essais collectés ont été réalisés entre 2001 et 2008. Seulement 9 essais ont été réalisés avant 2001.

40 % des sols des essais de la zone Centre sont des Limons Argileux et 30 % des Limons Battants. Ces deux types de sol couvrent à eux seuls une grande partie des sols rencontrés en zone Centre.

La comparaison des conditions climatiques normales par rapport à celles enregistrées au plus proche des parcelles des essais concernés montrent que 25 % des essais ont été réalisés en situations de pluviométrie excédentaire au printemps. 35% étaient en situations de équilibrée et 40% en situations déficitaire.

Les protocoles utilisés pour la réalisation de ces essais ont été très divers. Les variétés, les types de sols, les doses, les dates d'apports, les produits apportés, les précédents, différent d'un essai à l'autre. Ainsi, les essais ont été séparés en fonction de la « situation » étudiée.

Une « situation » correspond à une dose d'engrais, un type d'engrais et à une date d'apport. Par exemple, un essai testant un apport de 60 unités de vinasse au tallage et un apport de 60 unités de fientes au tallage a été considéré comme testant deux situations différentes.

Les critères étudiés sont les suivants :

- Le type d'engrais (vinasse, fientes, Derome 11-6-2, farine de plume),
- Les apports fractionnés testés sur 13 situations.
- Les apports tardifs testés sur 11 situations.
- Les apports de 60 UN/ha : cette dose a été testée dans la majorité des essais (35 sur 55 essais soit 58 situations). Il est difficile de déterminer l'efficacité des autres doses testées puisqu'elles ne sont représentées que dans peu d'essais.

Le facteur « variété » n'a pas été pris en compte. 50 % des essais ont été réalisés avec la variété Renan et les autres essais avec des variétés différentes. Ainsi, les données existantes par variété sont peu nombreuses et donc inexploitable à la variété. De plus, la variation des besoins en azote entre variétés est trop faible compte tenu de la précision attendue dans l'outil (de l'ordre de plus ou moins 5 quintaux).

2.1.2 L'efficacité des produits.

Dans une grande majorité des essais, seulement deux produits différents ont été testés. Ainsi, dans cette analyse statistique (Figure n° 7, exprimée en pourcentage du témoin), ils sont comparés deux à deux afin de prendre en compte un maximum d'essais pour chaque comparaison.

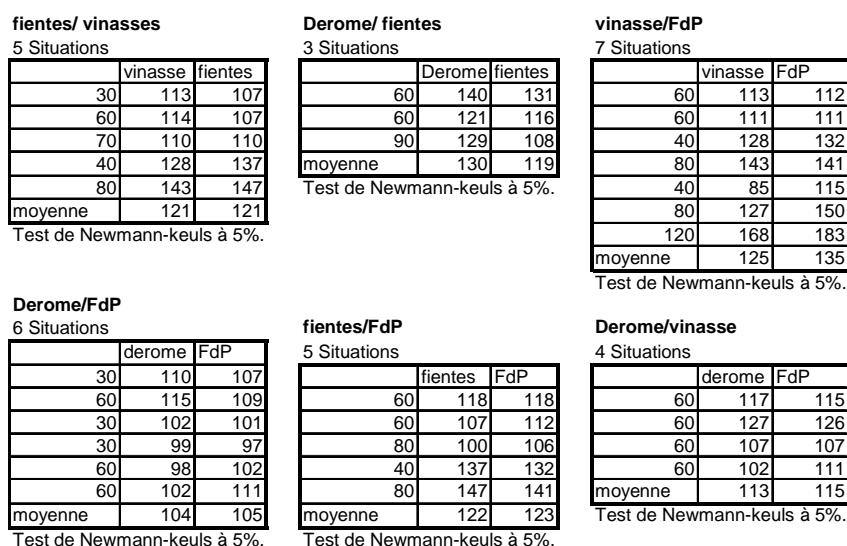


Figure n° 7: Comparaison deux à deux de l'efficacité des produits exprimée en % du témoin.

Même si, aucune différence significative n'a été observée entre les produits, la farine de plumes tend à être plus efficace que les vinasses, et le Derome (11-6-2) plus efficace que les fientes.

Compte tenu de ces résultats, le reste de l'analyse a été réalisé en s'affranchissant du type de produit.

2.1.3 Impact des dates d'apport et du fractionnement sur le rendement et les protéines.

Différentes dates d'apports ont été testées dans certains essais. Un apport unique précoce au tallage (considéré comme la modalité témoin) est comparé avec les deux modalités suivantes :

- modalité « apport fractionné » : une même dose de produit a été épandue mais fractionnée en deux apports, un précoce (au même stade que le témoin) et un tardif (au stade 2 nœuds ou dernière feuille).
- une modalité « apport tardif » : les résultats d'un apport tardif (au stade 2 nœuds ou dernière feuille) sont comparés à l'apport témoin pour une même dose.

D'après Gate (1995), l'apport au tallage a pour objectif de favoriser le rendement et un apport tardif favorise plutôt le taux de protéines. Ainsi un apport fractionné, doit pouvoir à la fois maintenir le rendement et augmenter le taux de protéines. (Figure n° 8).

	Effet sur le rendement	Effet sur le taux de protéines	Nombre de situations en % du témoin	
Comparaison Modalité « apport fractionné » / Témoin Test Newman Keuls à 5%	0	(+)	38 % (5 situations)	62 %
	(-)	(+)	24 % (3 situations)	
	0	0	38 % (5 situations)	
Comparaison Modalité « apport tardif » / Témoin Test Newman Keuls à 5%	0	(+)	18 % (2 situations)	64 %
	(-)	(+)	46 % (5 situations)	
	0	0	36 % (4 situations)	

0 = Stable

(-) = Diminution

(+) = Augmentation

Figure n° 8: Comparaison des apports tardifs et des apports fractionnées avec des apports au tallage.

Le fractionnement des apports ou l'apport tardif permettent dans plus de 60 % des cas d'augmenter le taux de protéines. Cependant, cette augmentation est souvent accompagnée d'un rendement plus faible, notamment pour les apports tardifs seuls.

Ainsi, les résultats des apports fractionnés ne sont satisfaisants (c'est-à-dire un rendement stable pour un taux de protéines plus important) que dans 38 % des essais. Les apports tardifs ne sont, quant à eux, satisfaisants que dans 18% des cas.

D'une manière générale, l'intérêt des apports tardifs ou fractionnés semble limité. L'azote est un facteur souvent limitant en Agriculture Biologique, ainsi l'apport au tallage, fournissant de l'azote au moment où la plante en a le plus besoin, semble plus pertinent.

2.1.4 L'efficacité de la dose 60 unités au tallage.

58 situations présentent une modalité de 60 UN/ha au tallage. (Annexe n° 8). Ce sont donc les résultats obtenus dans cette modalité qui vont permettre de définir les conditions d'efficacité de l'apport.

Les rendements obtenus en témoin et avec un apport de 60 UN/ha au tallage ont été comparés.

De manière globale, la différence de rendement entre les témoins et les modalités 60 UN/ha est significative.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
2.0	U 60	48,364	A	
1.0	témoin	42,738		B

Test Newmann Keuls à 5% significatif. P = 0, CV = 5.89%.

Figure n° 9 : Comparaison statistique entre les rendements témoins et les rendements avec un apport de 60 UN/ha.

De la même façon, une comparaison du taux de protéines entre les témoins et les modalités 60 UN/ha montre une différence significative sur l'ensemble des essais.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
2.0	U 60	10,908	A	
1.0	témoin	10,481		B

Test Newmann Keuls à 5% significatif. P = 0, CV = 3.20%.

Figure n° 10 : Comparaison statistique entre les taux de protéines témoins et les taux de protéines avec un apport de 60 UN/ha.

Cependant, en prenant chaque essai individuellement, l'efficacité de l'apport est significative :

- dans 42 cas sur 58 pour le rendement
- dans 17 cas sur 58 pour le taux de protéines

Le seuil de significativité est d'environ 3 quintaux pour le rendement et de 0,5 % pour le taux de protéines.

La différence entre le rendement du témoin et celui de l'apport, même si elle est significative, est en moyenne de 6 q/ha, ce qui reste relativement faible et ce qui pose des questions quant à la rentabilité de l'apport (compte tenu du prix des engrais organiques).

De plus, il reste de nombreux cas où l'efficacité de l'apport est non significative.

Ainsi la situation de chaque essai doit être caractérisée afin de mettre en évidence les situations favorisant ou non l'efficacité du produit et sa rentabilité.

2.2 Caractérisation de la situation des essais.

2.2.1 Caractérisation des sols.

La classification comportementale des sols de Seine-et-Marne a servi de référence pour ce travail (Aubert et al, 2005). Elle est basée sur une caractérisation au toucher et sur les propriétés des sols définies à dire d'exploitants et d'experts.

Identification du type de sol

La compréhension des résultats de chaque essai passe par une bonne connaissance du sol sur lequel l'essai a été réalisé. Chaque type de sol a donc été identifié. (Annexes 1 à 7).

Aubert et al (2005) proposent une clé d'identification simple (Figure n° 11), permettant de déterminer rapidement le type de sol à partir des critères suivants :

- la sensibilité au toucher et la texture du sol,
- l'état sain ou engorgé du sol,
- l'état hydromorphe,
- le drainage,
- la battance,
- le flétrissement des cultures,
- la nécessité d'irriguer ou non,
- la proportion d'argile.

CLE DE DETERMINATION DES CLASSES DE SOLS 77

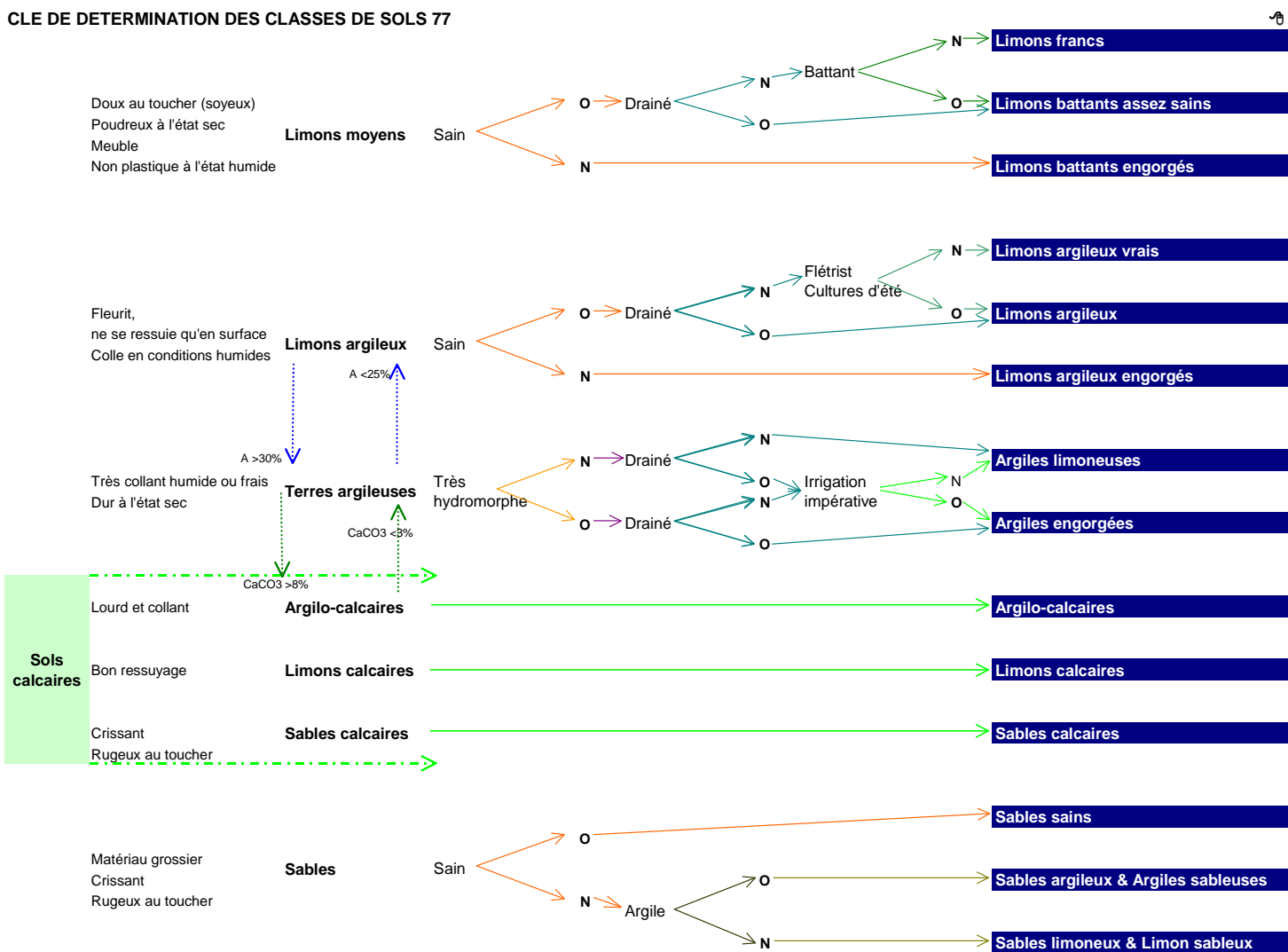


Figure n° 11: Clé de détermination des sols de Seine-et-Marne (Aubert et al, 2005).

Détermination du potentiel des sols

Une fois le type de sol identifié, les sols ont pu être classés en fonction de leur potentiel. De la même manière, d'après Aubert et al (2005), le potentiel d'un sol a été défini en fonction de sa capacité de fonctionnement (bonne structure, bonne porosité...) et donc de sa capacité de production.

Ces potentiels sont définis selon cette classification en année climatique équilibrée et sans facteurs pouvant les limiter.

Sur l'ensemble des essais collectés, 10 types de sol ont été identifiés puis classés en fonction de leur potentiel. (Figure n° 12). Ils représentent la grande majorité des sols rencontrés en zone Centre.

Type de sol	Nombre de situations	Potentiel du sol	Classe de potentiel
Limon sableux	1	Moyen	1
Limon battant profond	12	Elevé	2
Limon argileux profond	15	Elevé	2
Argilo-calcaire semi-profond	4 + 10 (Gers)	Elevé	2
Limon argileux semi-profond	1	Elevé	2
Sable argileux	2 (Drôme)	Elevé	2
Limon battant très profond	1	Très élevé	3
Limon calcaire profond	1	Très élevé	3
Limon francs très profond	5	Très élevé	3
Limon argileux vrai	2	Très élevé	3

Figure n° 12: Classe de potentiel de rendement en fonction du type de sol.

La détermination du potentiel de la parcelle permet d'évaluer si les résultats des essais sont liés au potentiel de la parcelle ou à des facteurs limitants.

2.2.2 Caractérisation des facteurs limitants.

Un facteur limitant est un paramètre qui, au cours de la campagne, peut avoir un effet sur la disponibilité de l'azote pour la plante ou la capacité d'absorption de l'azote par la plante et ainsi être pénalisant pour la productivité de la culture. Afin de connaître leur niveau de gravité, il est nécessaire de les identifier.

Détermination des facteurs limitants.

Lors de la collecte des essais, les observations des expérimentateurs sont essentielles et permettent de faire plusieurs hypothèses sur le déroulement de la campagne et sur la présence ou non de facteurs limitants.

Etienne, 2007 et David, 2004 ont défini les facteurs affectant le rendement. Les facteurs limitants les plus fréquemment rencontrés sont :

- Les mauvaises herbes

Elles peuvent entrer en concurrence avec la culture au niveau de la lumière, de l'eau mais aussi de l'azote. Elles réduisent la quantité d'azote disponible pour la plante et induisent ainsi des réductions de rendements. La gestion des mauvaises herbes est une problématique majeure et peut devenir un facteur très limitant. (Wallace, 2001).

- Les maladies et les ravageurs

Habituellement les producteurs biologiques en grandes cultures ne connaissent pas de problèmes importants concernant les maladies et les ravageurs. En effet, l'utilisation de variétés tolérantes, la diversité des cultures et des insectes présente sur les exploitations biologiques établit un équilibre et permet de limiter le risque de parasitisme.

Cependant, il peut arriver que des conditions environnementales défavorables puissent rendre les cultures plus vulnérables. Dans ce cas, le parasitisme peut devenir un facteur limitant en diminuant la capacité de la plante à absorber l'azote. (Wallace, 2001).

- La structure du sol

Un sol avec une bonne structure, c'est à dire avec une porosité permettant d'assurer une bonne circulation de l'eau et de l'air, est un facteur nécessaire à prendre en compte pour la réussite d'une culture.

Un sol compacté peut empêcher la pénétration racinaire ou/et limiter la minéralisation. (Etienne, 2007). Ainsi, soit la capacité de la plante à absorber l'azote est diminuée, soit, la quantité d'azote minéral disponible est réduite.

- Le peuplement

Une mauvaise implantation ou bien des problèmes de structure du sol peuvent induire un faible peuplement donc un diminution du rendement.

- Le climat (sécheresse ou excédent d'eau)

Un stress hydrique peut affecter de manière importante les composantes du rendement. Il peut induire un retard de la levée, une régression des talles au début de la montaison, mais aussi une diminution du nombre de grains/épi en fin de montaison. (Gate, 1995).

Un excès d'eau peut aussi être néfaste sur la plante. Les racines sont asphyxiées et l'alimentation est stoppée. L'impact du climat est aussi variable en fonction du type de sol. Par exemple, les sols profonds sont moins sensible à la sécheresse.

Dans son travail, pour établir un outil de gestion de l'azote en grandes cultures biologiques, la Chambre d'Agriculture de Seine-et-Marne a mis au point une classification de chaque type de sols en définissant leur comportement en fonction du climat. Une note de potentiel a été attribuée à un grand nombre de type de sols en fonction des années climatiques particulières (sèches ou humides). (Figure n° 13). L'impact du facteur limitant « climat » sur le sol est ainsi facilement identifiable.

Année climatique	Excédentaire sans ressuyage	Excédentaire avec ressuyage	Equilibrée	Déficiente
	Classe de potentiel			
Type de sol				
Limon sableux	0	0	1	1
Limon battant profond	1	2	2	2
Limon argileux profond	1	2	2	2
Limon argileux semi-profond	1	2	2	2
Sable argileux	2	2	2	1
Argilo-calcaire semi-profond	2	2	2	1
Limon battant très profond	2	3	3	3
Limon calcaire profond	2	3	3	3
limon francs très profond	2	3	3	3
Limon argileux vrais	2	3	3	3

Figure n° 13 : Evolution de la classe de potentiel en fonction de l'année climatique.

Prise en compte des facteurs limitants dans les analyses des essais.

Afin de prendre en compte ces facteurs limitants et en particulier leur impact sur les résultats de la parcelle, 3 classes ont été distinguées :

- Absence de facteurs limitants
- Facteurs limitants pouvant avoir un impact moyen sur le rendement : enherbement moyen, climat, maladies ou de ravageurs, faible peuplement.
- Facteurs limitants pouvant avoir un impact important sur le rendement : problème de travail du sol, fort enherbement, forte sécheresse...ou bien la combinaison de plusieurs facteurs d'importance moyenne.

Une fois l'identification du potentiel du sol et des facteurs limitants de chaque essai réalisée, la capacité de valorisation de l'azote peut être définie.

2.2.3 Capacité de valorisation de l'azote.

La présence d'un facteur limitant moyen ou fort a un impact sur la capacité de la plante à valoriser l'azote. Le potentiel de la culture est alors diminué. La combinaison des classes de potentiel et de facteurs limitants a abouti à la définition de la « Capacité de valorisation de l'azote du sol » (Figure n° 14). Ainsi, lorsqu'un facteur limitant moyen est identifié, la classe de potentiel perd une classe. Un facteur limitant fort fait perdre 2 classes. (Annexe n°8).

Par exemple, une parcelle de blé avec un sol du type « limon argileux » profond est considérée comme ayant un potentiel élevé et correspond donc à une Classe 2 de potentiel. Or, si une densité remarquable d'adventices est déterminée au printemps, cette Classe 2 de potentiel du sol va perdre un point pour se situer dans une classe 1 de « Capacité de valorisation de l'azote ».

Ainsi la capacité de valorisation est calculée de la manière suivante :

Classe de potentiel 1 = moyen 2 = élevé 3 = très élevé	Facteurs limitants 0 = aucun - 1 = moyen 2 = fort	=	Capacité de valorisation de l'azote 0 = faible 1 = moyenne 2 = élevé 3 = très élevé
--	---	---	--

Figure n° 14: Méthode permettant d'estimer la capacité de valorisation de l'azote par la plante.

Dans ce cadre, la classe de valorisation de l'azote a été déterminée pour chaque essai et l'efficacité a été étudiée en fonction de ces classes.

2.3 Analyses des essais selon leur situation.

2.3.1 Relation entre efficacité, capacité de valorisation et RSH.

La Chambre d'Agriculture de Seine-et-Marne (à partir du traitement des essais d'Ile de France 1995-2005) a montré une corrélation entre l'efficacité de l'apport, le RSH et la capacité de valorisation de l'azote. Les résultats montrent que si la valorisation de l'azote est mauvaise, quel que soit le RSH, l'efficacité de l'apport sera nulle. Dans des situations de bonne ou moyenne valorisation de l'azote, l'efficacité du produit devrait dépendre du RSH. En effet, si l'azote n'est pas limitant pour la plante, l'apport sera peu utilisé ou même inutile. Donc plus le RSH est faible plus l'apport a un effet sur la plante. Dans cette étude préalable, le RSH est donc une donnée importante. C'est aussi une donnée fiable et se place ainsi à la base de la prise de décision.

L'objectif a été de vérifier si cette analyse reste valable sur l'ensemble des situations ayant une valeur de RSH fiable, soit 42 situations. (Annexe n° 8).

Dans cette étude, l'efficacité de l'apport est exprimée en quintaux gagnés par unité d'azote apportée. Dans un premier temps, la figure ci-dessous montre la relation qu'il existe entre le gain en q/UN et RSH, quelque soit la classe de capacité de valorisation de l'azote des situations.

Aucune corrélation n'a été observée.

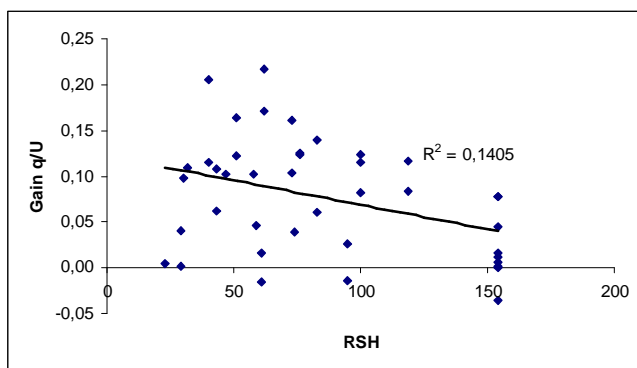


Figure n° 15: Efficacité de l'apport en fonction du RSH pour tous les essais.

La corrélation entre le gain en q/U et RSH a été ensuite réalisée en fonction de la classe de capacité de valorisation de l'azote. (Figures n° 16 à 19).

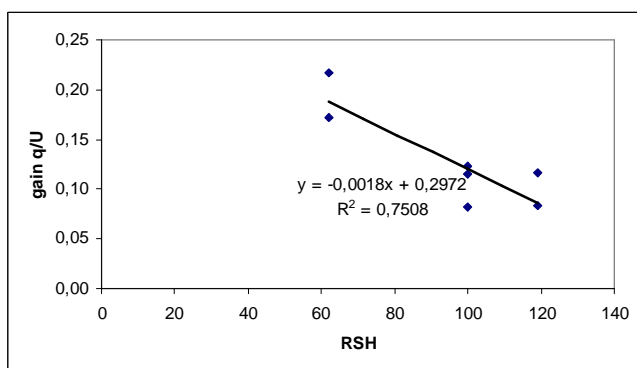


Figure n° 16: L'efficacité de l'apport en fonction du RSH en **classe 3** de capacité de valorisation de l'azote.

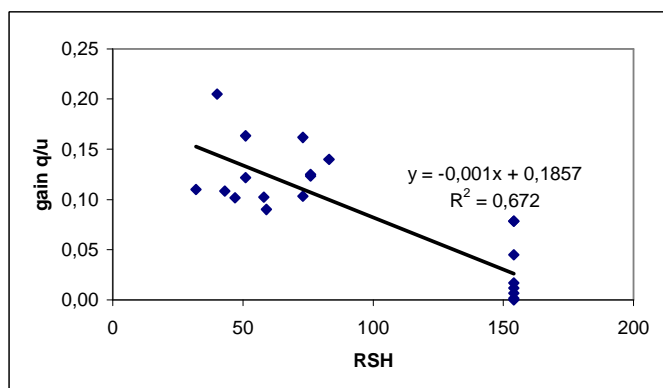


Figure n° 17: L'efficacité de l'apport en fonction du RSH en **classe 2** de capacité de valorisation de l'azote.

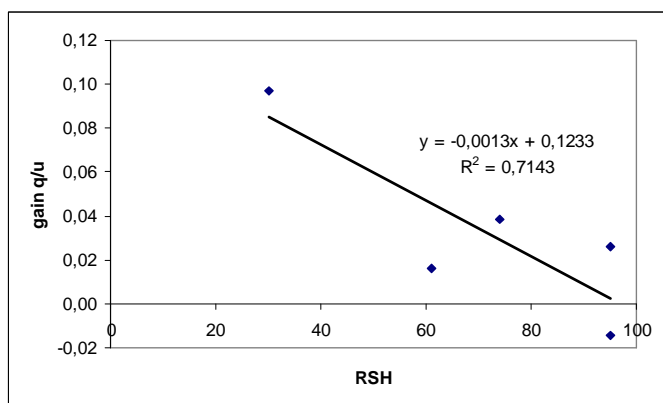


Figure n° 18: L'efficacité de l'apport en fonction du RSH en **classe 1** de capacité de valorisation de l'azote.

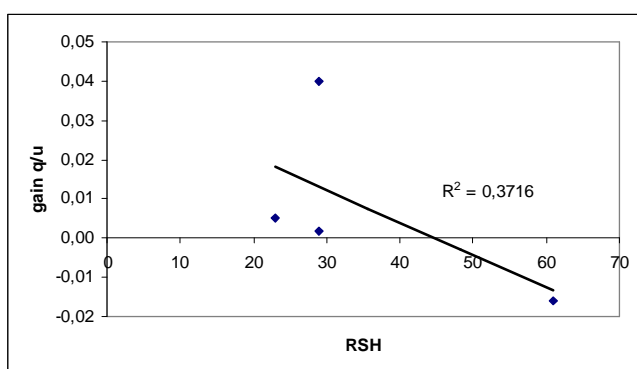


Figure n° 19: L'efficacité de l'apport en fonction du RSH en **classe 0** de capacité de valorisation de l'azote.

Pour chaque classe de valorisation, une tendance est observée entre l'efficacité de l'apport et le RSH. La classe 0 a tout de même un coefficient de corrélation nettement inférieur. Cependant dans cette classe les gains en quintaux sont très faibles et confirment les résultats de la Chambre d'Agriculture de Seine-et-Marne. En effet, quand la classe de valorisation de l'azote est mauvaise, quelque soit le RSH, l'efficacité de l'apport est aussi mauvaise.

Pour les autres classes, la corrélation est plus claire et confirme bien les résultats de Seine-et-Marne.

Il est maintenant nécessaire d'estimer les niveaux d'efficacité atteint dans chaque classe de valorisation en fonction du RSH.

2.3.2 Détermination de l'efficacité agronomique d'un apport de 60 UN/ha au tallage.

Détermination du niveau d'efficacité sur le rendement.

5 classes ont été définies selon le gain de quintaux observé par unité apportée:

- perte de quintaux
- de 0 à 0,05 quintaux/unité (différence de rendement non significative par rapport au témoin)
- de 0,05 à 0,1 quintaux/unité
- de 0,1 à 0,15 quintaux/unité
- supérieur à 0,15 quintaux/unité

L'efficacité en gain de quintaux par unité d'azote apportée a été traduite en gain de quintaux par hectare afin d'être plus facilement compréhensible et utilisable par les agriculteurs. (Figure n° 20).

Efficacité de l'apport pour 60 UN/ha		
en q/UN	en q/ha	Niveau d'efficacité
<0	<0	0
0 à 0,05	0 à 2,5	0
0,05 à 0,1	2,5 à 5,5	(+)
0,1 à 0,15	5,5 à 8,5	(++)
>0,15	>8,5	(+++)

Figure n° 20: Niveaux d'efficacité d'un apport de 60 UN/ha sur le rendement.

Dans un souci de lisibilité et en fonction des droites de corrélation obtenues dans chaque classe de capacité de valorisation de l'azote (paragraphe précédent), 4 classes de RSH ont été définies.

Après avoir identifié les niveaux d'efficacité de toutes les situations en fonction de leur capacité de valorisation de l'azote et de leur classe de RSH, le tableau suivant a été obtenu (Figure n° 21):

Capacité de valorisation de l'azote	faible				moyenne				élevée				très élevée				Nombre de situations
	0-45	45-80	80-115	>115	0-45	45-80	80-115	>115	0-45	45-80	80-115	>115	0-45	45-80	80-115	>115	
0	2	1				2	3					7					15
(+)	1					1						2			1	1	6
(++)					2				2	7					2	1	14
(+++)									2	3				2			7
Total	4				8				23				7				42

Figure n° 21: Nombre de situations présentes dans chaque classe de capacité de valorisation de l'azote et chaque classe de RSH.

Les situations où l'apport a été le plus efficace (+++) sont ainsi identifiées.

En synthétisant ce tableau (Figure n° 22) et en effectuant quelques extrapolations des situations qui n'ont pas été représentées, il est possible d'en déduire le tableau suivant :

Capacité de valorisation de l'azote	faible				moyenne				élevée				très élevée			
	RSH				0-45	45-80	80-115	0-45	45-80	80-115	>115	0-45	45-80	80-115	>115	
Niveau Efficacité rendement	0				(++)	(+)	0	(+++)	(++)	(+)	0	(+++)	(+++)	(++)	(+)	
gain en q/ha pour 60 U apportées	0 à 2,5				5,5 à 8,5	2,5 à 5,5	0 à 2,5	> à 8,5	5,5 à 8,5	2,5 à 5,5	0 à 2,5	> à 8,5	> à 8,5	5,5 à 8,5	2,5 à 5,5	

Figure n° 22: Efficacité d'un apport de 60 UN/ha sur le rendement en fonction de la capacité de la valorisation de l'azote et du RSH.

Les cases rouges représentent les situations extrapolées. Celles-ci seront peut-être confirmées ultérieurement avec d'autres essais fertilisation.

Ce tableau final permet de connaître rapidement quel gain en quintaux par hectare il est possible d'espérer en fonction de la capacité de valorisation de l'azote et en fonction du RSH.

Détermination du niveau d'efficacité sur le taux de protéines.

5 classes sont définies en fonction du gain en protéines observé :

- perte de protéines
- de 0 à 0,55 % de protéines (différence non significative par rapport au témoin)
- de 0,55 à 0,8 % de protéines
- de 0,8 à 1 de protéines
- supérieur à 1% de protéines

Les niveaux d'efficacité sont définis selon le tableau suivant :

Efficacité de l'apport (60U)		
% de protéines gagnées /ha	Niveau d'efficacité	Résultats statistiques
<0	0	Non significatif
0 à 0,55	0	Non significatif
0,55 à 0,8	(+)	Significatif
0,8 à 1	(++)	Significatif
>à 1	(+++)	Significatif

Figure n° 23 : Niveaux d'efficacité d'un apport de 60 UN/ha sur le taux de protéines.

Une augmentation significative du taux de protéines liée à l'apport est observée lorsque les RSH sont compris entre 45 et 115.

Il semblerait que dans les cas étudiés, si le RSH est trop faible, la totalité de l'azote apporté soit utilisé pour le rendement. Au contraire si le RSH est élevé, la quantité d'azote disponible dans le sol est suffisante pour faire du rendement et des protéines.

Pour les sols ayant une capacité de valorisation très élevée (3), une augmentation du taux de protéines est aussi observée dans le cas de RSH importants. (Figure n° 24).

Il est difficile de fournir une explication sur les variations d'efficacité de l'apport sur le taux de protéines (figure n° 24), le taux de protéines étant fortement dépendant des conditions de finition de la campagne. (David, 2004).

Bilan :

En considérant l'efficacité de l'apport sur le rendement et les protéines on obtient le tableau bilan suivant :

Capacité de valorisation de l'azote	faible	moyenne			élevée				très élevée			
		RSH	0-45	45-80	80-115	0-45	45-80	80-115	>115	0-45	45-80	80-115
Niveau Efficacité rendement	0	(++)	(+)	0	(+++)	(++)	(+)	0	(+++)	(+++)	(++)	(+)
gain en q/ha pour 60 U apportées	0 à 2,5	5,5 à 8,5	2,5 à 5,5	0 à 2,5	> à 8,5	5,5 à 8,5	2,5 à 5,5	0 à 2,5	> à 8,5	> à 8,5	5,5 à 8,5	2,5 à 5,5
Efficacité protéines significative	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Oui	Oui

Figure n° 24: Efficacité d'un apport de 60 UN/ha sur le rendement et le taux de protéines en fonction de la capacité de la valorisation de l'azote et du RSH.

Il est important de noter que l'efficacité de l'apport est aussi dépendant des conditions hygrométriques des jours qui suivent l'apport. Une sécheresse favorise la volatilisation de l'azote (Jeuffroy, 2003), tandis qu'une précipitation favorise la minéralisation de l'engrais organique. Ces

conditions post-apport étant difficiles à prévoir, elles ne peuvent pas être prises en compte dans l'élaboration d'un outil prévisionnel.

Dans cette étude, les essais testant différentes doses sont peu nombreux, ainsi aucune courbe de réponse à l'azote organique n'a pu être réellement identifiée. Ainsi, nous pouvons supposer que même si le gain en quintaux par hectare peut augmenter il n'est pas forcément proportionnel à la dose apportée.

2.4 Détermination de la rentabilité des engrais organiques.

Un apport efficace au niveau agronomique ne l'est pas nécessairement au niveau économique. En effet, les engrais organiques sont plus ou moins coûteux selon le type de produit. Ainsi, il est important de présenter les résultats en fonction du prix du blé et du prix de l'unité d'azote, ces deux paramètres étant très variables localement et dans le temps.

Les différences de marges brutes entre une parcelle témoin et une parcelle ayant reçu un apport de 60 UN/ha ont été calculées de la manière suivante :

$$\begin{aligned} & \text{Différence de marges Brutes (en €/ha)} \\ & = \\ & \text{Prix de vente du blé (en €/q) x Nombre de quintaux gagnés (2,5 ; 5,5 ou 8,5 q/ha)} \\ & - \\ & \text{Prix de l'unité d'azote (en €/UN) x 60 UN/ha} \end{aligned}$$

Les différences de marges brutes ont été calculées en fonction du niveau d'efficacité de l'apport déduit du travail précédent sur l'efficacité économique :

- Pour un gain de 2,5 quintaux par hectare :

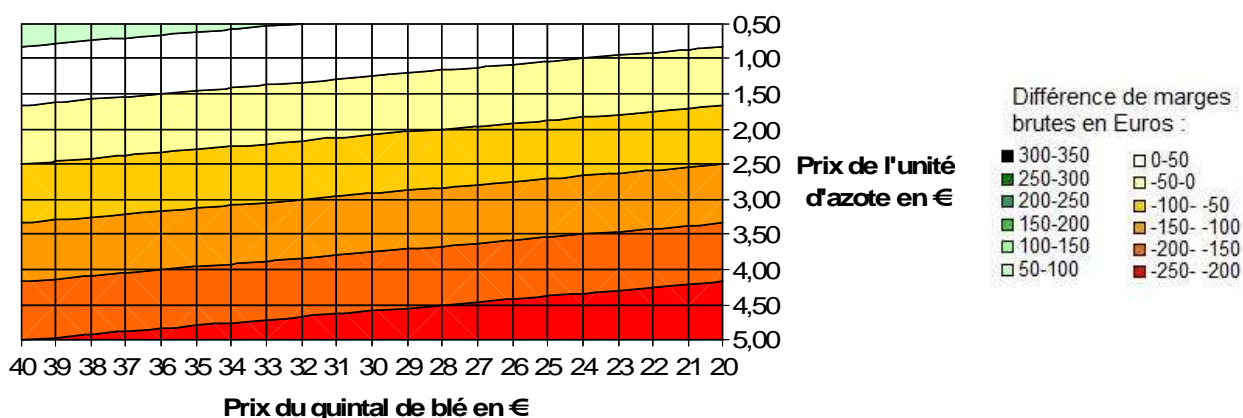


Figure n° 25: Marges brutes dégagées en euros par hectare pour un gain de 2,5 q/ha.

Pour un niveau faible de l'efficacité de l'apport, les différences de marges brutes ne sont positives que dans le cas d'un prix de l'azote très faible (inférieur à 1 €/UN) et ne dépassent pas 100 €/ha.

- Pour un gain de 5,5 quintaux par hectare :

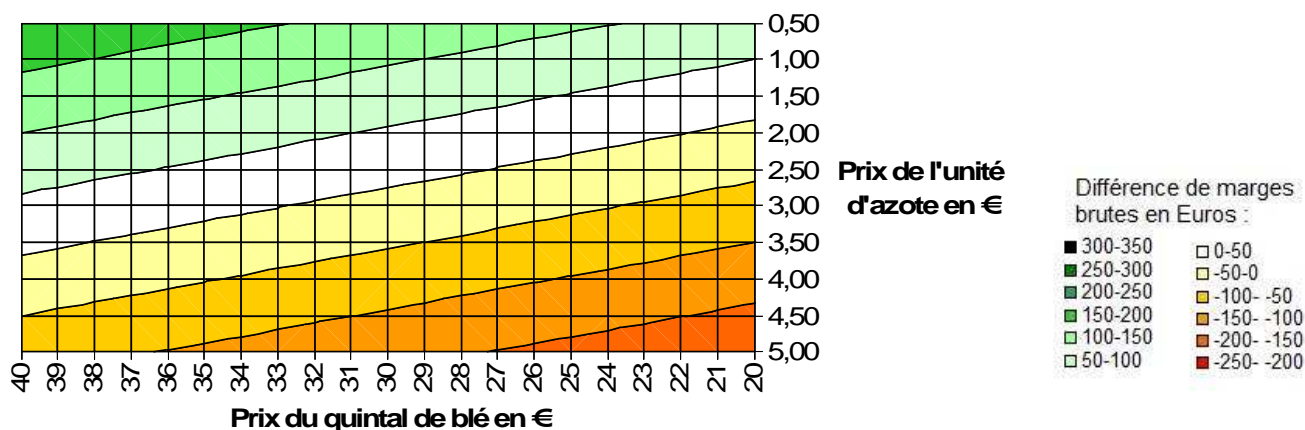


Figure n° 26: Marges brutes dégagées en euros par hectare pour un gain de 5,5 q/ha.

Les différences de marges brutes sont encore négatives dans un grand nombre de cas. L'apport ne peut être valorisé que lorsque le prix de l'unité d'azote est faible (inférieur à 1,5 €/UN) et le prix de vente du quintal élevé.

- Pour un gain de 8,5 quintaux par hectare :

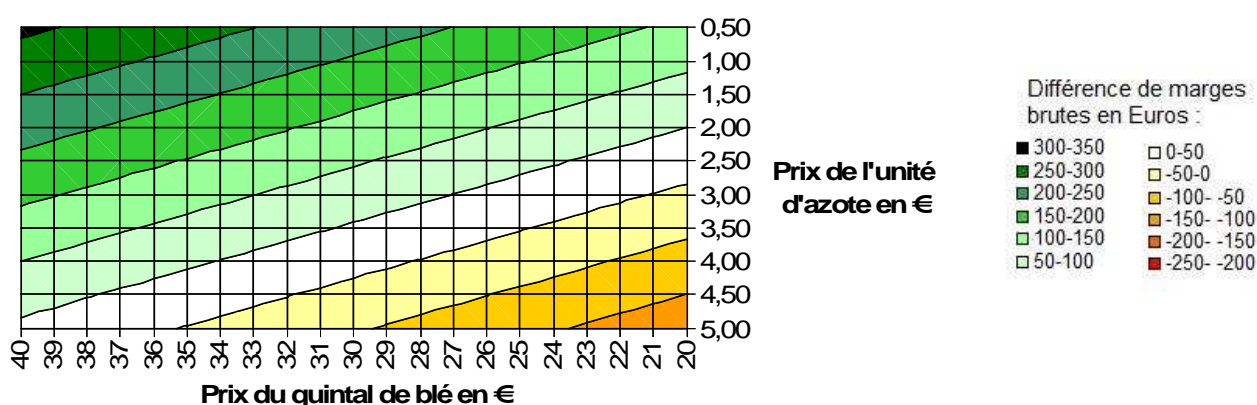


Figure n° 27: Marges brutes dégagées en euros par hectare pour un gain de 8,5 q/ha.

L'apport peut être plus facilement rentabilisé mais les différences de marges brutes restent négatives dans le cas d'un prix de l'azote élevé (supérieur à 2,50 €/UN) et d'un prix de vente du blé inférieur à 35 €/q.

Bilan.

Ces résultats montrent qu'un apport de 60 UN/ha n'est pas rentable dans un grand nombre de situations. L'intérêt de bien définir la situation de la parcelle et de raisonner les apports est ici mis en évidence.

L'efficacité des engrais organiques est fortement dépendante d'un grand nombre de facteurs dont on connaît les caractéristiques au moment de l'apport, c'est-à-dire de la situation pédo-climatique et de la présence de certains facteurs limitants. D'autres facteurs non prévisibles, comme la météo suivant l'apport, influencent aussi l'efficacité de l'apport. Le prix de vente du blé ainsi que le prix de l'unités d'azote doivent également être pris en compte pour juger de la rentabilité de l'apport. Face à tous ces facteurs, l'utilisation d'engrais organique se trouve souvent inappropriée.

La décision d'apporter un engrais organique doit donc être bien réfléchi auparavant. Ainsi, les parcelles à fertiliser en priorité doivent être déterminées afin de limiter le risque économique au niveau de l'exploitation. Un prévisionnel de rendement sans apport peut alors servir d'indicateur afin de faciliter la prise de décision. En intégrant les facteurs limitants, il permet d'estimer la perte de rendement et ainsi de mieux juger de l'intérêt de fertiliser. Finalement, connaître le rendement qu'il est possible d'atteindre avec l'azote déjà présent dans le sol permet déjà de savoir si le niveau prévisionnel est satisfaisant ou non et si l'on souhaite l'augmenter avec un apport éventuel. Ce prévisionnel permet aussi d'estimer les risques liés à la fertilisation comme par exemple l'augmentation de la densité d'adventices.

3 Elaboration d'une méthode de calcul du rendement prévisionnel en blé biologique.

3.1 Définition des objectifs.

L'objectif est de connaître le rendement réalisable uniquement avec les fournitures du sol et non une quantité d'azote à apporter pour un objectif de rendement fixé.

Ce prévisionnel de rendement pour le blé biologique a été mis au point en fonction des mêmes paramètres utilisés dans la méthode du bilan classique.

Pour établir un rendement prévisionnel, deux paramètres doivent être définis :

- la quantité d'azote absorbable par la plante, c'est-à-dire la proportion d'azote provenant des fournitures du sol qui peut être absorbé par la plante
- le nombre de quintaux qu'il est possible de produire avec cet azote, c'est-à-dire le nombre d'unités d'azote nécessaire à la production d'un quintal (c'est-à-dire le coefficient de besoin en azote en UN/q, appelé Coefficient b0).

Le prévisionnel de rendement est établi selon les équations suivantes :

$\frac{\text{Rendement prévisionnel (q/ha)}}{\text{Azote absorbable (UN/ha)}} = \frac{\text{Azote absorbable (UN/ha)}}{\text{Coefficient } b_0 \text{ (UN/q)}}$	$\text{Azote absorbable (UN/ha)} = \frac{\% \text{ d'absorption de l'azote} \times \text{Fournitures du sol (UN/ha)}}{X}$
---	---

Figure n° 28: Equations permettant de calculer le rendement prévisionnel.

Les témoins des essais ont servi de base pour cette étude. Seuls les essais présentant un RSH mesuré et une analyse de sol (22 essais sur 55) ont pu être utilisés. Ainsi, afin de compléter ces données, un réseau de 12 parcelles (sans apport organique exogène) d'Ile-de-France a été mis en place pour la campagne 2008. 34 cas au total ont donc permis de faire cette analyse.

Les résultats des essais et du réseau présentent toutes les données nécessaires pour estimer l'azote absorbé et les fournitures du sol. Ainsi, le pourcentage d'absorption de l'azote et le coefficient b0 sont déterminables à partir de ces données.

3.2 Mise en évidence de la nécessité de réévaluer les fournitures du sol.

3.2.1 Calcul de l'azote absorbé.

Deux méthodes de calcul de l'azote absorbé dans les plantes sont possibles en fonction des données disponibles et des analyses réalisées sur les essais :

- Méthode 1 :

Une analyse Azote Dumas à la récolte permet de déterminer précisément la quantité d'azote absorbé. Cependant cette analyse n'a été faite que sur 11 essais. C'est pourquoi pour compléter ces données, des analyses Azote Dumas au moment de la récolte ont été réalisées durant ce stage sur le réseau de 12 parcelles d'Ile-de-France.

L'ensemble de ces résultats a pu être comparé statistiquement aux résultats de la 2^{ème} méthode qui suit.

- Méthode 2 :

Cette méthode de calcul permet d'estimer la quantité d'azote absorbé en fonction du rendement et du taux de protéines. (Figure n° 29).

$N_{\text{grain}} = \text{Rendement} \times \text{teneur en protéines} \times 0,85 / 0,57$	Rendement en q/ha à 15% d'humidité
$N_{\text{partie aérienne}} = (N_{\text{grain}} \times 1,3997) - 2,4075$	Teneur en protéines en %
$N_{\text{absorbé par culture}} = 1.25 \times N_{\text{partie aérienne}}$	N absorbé en unité/ha

Figure n° 29 : Calcul de l'azote absorbé en fonction du taux de protéines et du rendement. (ITAB, 2001).

Aucune différence significative entre les résultats des deux méthodes n'a été observée (test de Newman Keuls à 5%) sur les 23 cas où la comparaison était possible. La 2^{ème} méthode a l'avantage de pouvoir être utilisée sur l'ensemble des cas. Ainsi, la 2^{ème} méthode (c'est-à-dire celle permettant de calculer l'azote absorbé à partir du rendement et du taux de protéines) a été choisie pour estimer l'azote absorbé sur l'ensemble des 34 cas dans la suite de l'étude.

3.2.2 Calcul des fournitures du sol.

Les fournitures du sol ont été calculées pour l'ensemble des essais d'après la plaquette de la Chambre d'Agriculture de Seine-et-Marne. (Figure n° 30). Les chiffres présentés dans cette plaquette sont issus de la méthode du bilan utilisée en agriculture conventionnelle.

L'azote absorbé et les fournitures du sol ont été ensuite comparés pour déterminer le pourcentage d'absorption de l'azote par la plante.

Année	Agriculteur	Type de sol	Variété	Minéralisation indiquée par la plaquette CA77	Azote déjà absorbé	Précédent	Effet précédent	RSH	Rendement du témoin	Taux de protéines du témoin	Azote absorbé	Fourniture du sol selon la plaquette de la CA77	% d'absorption selon la plaquette de la CA77
1994-1995	JFR	Limon battant profond	Renan	40	20	Trèfle	30	33	19,4	11,2	54	103	52
1995-1996	JFR	Limon battant profond	Renan	40	20	PdT	20	73	66,7	10,5	180	133	135
1996-1997	JFR	Limon battant profond	Renan	40	10	Féveroles	30	76	44,6	9,85	112	136	82
1997-1998	JFR	Limon battant profond	Renan	40	20	PdT	20	61	58,6	10,2	153	121	126
2000-2001	PDU	Limon argileux profond	Ornicar	40	20	maïs	0	30	23,5	10,9	64	70	91
2001-2002	JFR	Limon battant profond	Renan	40	20	Féveroles	30	58	62,6	11,6	186	128	146
2003-2004	JLC	Limon calcaire semi-profond	Renan	30	20	Luzerne 2	30	62	55,9	11,7	168	122	137
2003-2004	HDO	Limon argileux profond	Achat	40	20	Féveroles	30	43	54	8,8	121	113	107
2004-2005	OVI	Limon sableux	Pactole-Runal	25	20	Féveroles	30	80	42,9	12,45	136	135	101
2007-2008	MDE	Limon argileux profond	Renan	40	20	trèfle	30	90	37,9	12,27	118	160	74
2007-2008	DBI	Limon battant profond	Aristos	40	20	féveroles	30	144	70,7	9,7	176	214	82
2003-2004	Auger	Limon argileux profond	Caphorn	40	10	Pois	20	71	34,6	9,95	87	121	72
2000-2001	Hardiller	limon argileux profond	Plusieurs	40	20	potimorche	20	66	40,68	11,2	116	126	92
2001-2002	Joubert	limons battant profonds	Renan	40	20	pois	20	45	23,2	9,3	53	105	51
2001-2002	Hardiller	limon argileux profond	Plusieurs	40	20	oignon	0	59	44	9,7	108	99	109
2003-2004	Joubert	limon battant profond	Plusieurs	40	20	trèfle violet	30	57	39,7	9,6	96	127	76
2003-2004	Hardiller	limon argileux profond	Plusieurs	40	20	féveroles	30	23	38,8	9,25	91	93	97
2005-2006	Joubert	limon battant profond	Plusieurs	40	20	Trèfle violet	30	161	42,7	13,6	149	231	64
2005-2006	Rabier	limons argileux profonds	Plusieurs	40	20	Trèfle violet	30	88	39,45	10	100	158	63
2005-2006	Rabier	limons argileux profonds	Plusieurs	40	20	Trèfle violet	30	88	33,45	10,8	91	158	58
2003-2004	drôme	limons argileux semi-profond	Cezanne	35	20	Tournesol	0	40	33,72	9,8	83	75	111
2004-2005	drôme	limons argileux semi-profond	Caphorn	35	20	Soja	20	40	33,7	8,4	71	95	75
2007-2008	DCO 1	limon argileux profond	Atlas	40	20	luzerne	30	130	69,6	10,8	193	200	97
2007-2008	HDO 1	limon battant profond	Renan	40	20	blé	0	68	28	11,2	79	108	73
2007-2008	HDO 2	limon battant profond	Renan	40	20	blé	0	93	35	10,8	96	133	72
2007-2008	JLC	Limon calcaire profond	Renan	30	10	pois	20	100	30,3	13	100	140	71
2007-2008	MDE Renan	limon argileux profond	Renan	40	20	trèfle	30	142	27,8	9,2	64	212	30
2007-2008	FCH	limon battant profond	Renan	40	30	trèfle	30	165	55,4	12,1	172	245	70
2007-2008	DCO 2	limon battant profond	Atlas	40	20	féveroles	30	89	49,2	10,6	133	159	84
2007-2008	DBI ilot 3	limon battant profond	Renan	40	10	trèfle	30	229	68,64	13	230	289	80
2007-2008	DCO 3	limon battant profond	Titlis	40	20	luzerne	30	120	45,8	12,1	142	190	75
2007-2008	DCO 4	limon argileux profond	Ataro	40	20	féveroles	30	114	40,5	11,4	117	184	64
2007-2008	DCO 5	limon argileux profond	Ataro	40	20	lin	0	114	38,44	11,8	115	154	75
2007-2008	Rabier	limon argileux profond	Plusieurs	40	20	luzerne	30	194	52	12,65	169	264	64



Réseau de parcelles



Pourcentages d'absorption supérieurs à 100%.

Figure n° 31 : Comparaison de l'azote absorbé et des fournitures du sol calculés avec les chiffres diffusés par la Chambre d'Agriculture de Seine-et-Marne.

3.2.3 Comparaison de l'azote absorbé et des fournitures du sol.

Le calcul du ratio de l'azote absorbé (calculé avec la méthode 2) sur les fournitures du sol montre, dans certains cas, des pourcentages d'absorption supérieurs à 100% . (Figure n° 31). Il n'est pourtant pas possible que l'azote absorbé soit supérieur aux fournitures du sol. Il semble donc que les fournitures du sol soient sous-estimées. Certains paramètres de ce calcul doivent être réestimés.

3.3 Nouvelle estimation de la minéralisation

Il n'a pas été possible pendant ce stage de recalculer l'ensemble des paramètres servant à calculer les fournitures de sol. Seule la minéralisation de l'humus a pu être réestimée puisqu'un nouveau modèle d'estimation de la minéralisation de l'humus a récemment été mis au point par Valé (2007).

3.3.1 Estimation de la minéralisation de l'humus.

Les modèles de minéralisation de l'humus existants.

La création de modèles comme STICS (Brisson et al., 1998) et Azodyn (Jeuffroy et Recous, 1999), ainsi que l'outil d'aide à la décision Azofert (Machet et al, 2004) ont permis de faire des prévisions de la vitesse de minéralisation nette de l'azote dans le sol. Cette minéralisation prend en compte la minéralisation de l'humus et des résidus organiques. La minéralisation est estimée en fonction des caractéristiques du sol mais aussi du climat.

Cette minéralisation est calculée de la manière suivante :

$$V_p = K_2 * N_{\text{total}} * D_a * 3$$

$$K_2 = F_{\text{ACT}} * K_2_{\text{pot}}$$

$$\text{Avec } K_2_{\text{pot}} = 65 / (110 + \text{arg}) (600 + \text{CaCO}_3)$$

V_p est la quantité d'azote minéralisé en kg d'N/ha pour un jour normalisé (15°C et humidité à la capacité au champ)

K_2_{pot} est la constante de vitesse de minéralisation

N_{total} est la quantité d'azote total présent dans le sol

D_a est la densité apparente

F_{act} est la proportion d'azote organique actif, fixée à 35%

Arg est la teneur en argile du sol (g/kg).

CaCO_3 est la teneur en calcaire du sol (g/kg).

Figure n° 32: Les variables déterminant la quantité d'azote minéralisé. (Valé et al, 2007).

La quantité d'azote minéralisé en kg d'azote par hectare est dans un premier temps exprimée en jour normalisé (15°C et humidité à la capacité au champ).

Afin d'établir une quantité d'azote absorbé sur une période calendaire, il est nécessaire de déterminer le nombre de jours normalisés correspondant à cette période. Pour cela, il est indispensable de connaître les données météo journalières (température et humidité) les plus proches de la parcelle suivie.

L'équation suivante est ainsi obtenue :

$$\text{Quantité d'azote minéralisé (en kg d'N/ha)} = V_p * \text{Nombre de jours normalisés}$$

Cette méthode de calcul de la minéralisation de l'humus est utilisée dans la méthode du bilan prévisionnel classique.

Le modèle de minéralisation de Matthieu Valé.

Les travaux de Valé (2007) ont montré que ces modèles ne permettaient pas de prédire avec une bonne précision la vitesse de minéralisation potentielle. En effet, le calcul du K2 (taux de minéralisation) en fonction de l'argile et du CaCO₃ utilisé dans STICS et Azofert (Figure n° 32) ne permet pas de prédire de manière suffisante le potentiel de minéralisation. La mise en place d'un nouveau modèle qui prend en compte 4 variables (taux d'argile, taux de CaCO₃, le pH eau et la fréquence de colza dans la rotation) a permis d'augmenter fortement la capacité de prédiction. (Valé, 2007).

Le modèle utilisé dans STICS et Azofert ainsi que le modèle de M. Valé ont été calculés par Jean-Pierre Cohan d'Arvalis pour chacun des essais, du 1^{er} Février au 30 Juin (c'est-à-dire du RSH à la fin de la campagne. (Annexe n° 9).

3.3.2 Comparaison des différentes méthodes de calcul des fournitures du sol.

Les fournitures du sol sur les témoins des cas étudiés sont estimées en intégrant différents modèles de calcul de la minéralisation de l'humus. L'objectif est de vérifier que le modèle de M.Valé permet de prédire de façon plus fiable la minéralisation et donc les fournitures du sol.

L'azote du sol est utilisé pour produire du rendement et des protéines ainsi il a semblé pertinent de comparer les fournitures du sol avec la quantité de quintaux de protéines par hectare produits dans chaque cas. Pour établir une corrélation, il est nécessaire que les résultats de rendements et de taux de protéines n'aient pas été influencés par des facteurs limitants. Ainsi ce sont uniquement les cas sans facteurs limitants qui sont présentés ici, soit 13 cas. (Annexe n° 10). Les droites de corrélation ont été calculées d'après les trois modèles de minéralisation de l'humus (plaquette de la Chambre d'Agriculture 77, bilan prévisionnel classique, modèle de minéralisation de M. Valé)

1. Les références de minéralisation en fonction du type de sol publiées par la Chambre d'Agriculture 77. (Figure n° 30, 2008).

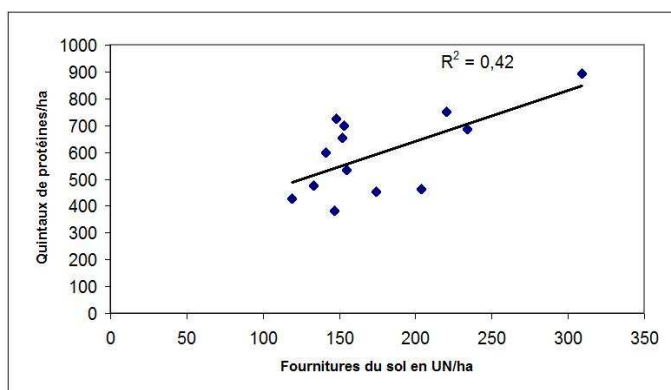


Figure n° 33 : Corrélation entre les fournitures du sol calculées d'après les chiffres de la Chambre d'Agriculture et la quantité de protéines par hectare.

2. La méthode de calcul de la minéralisation de la méthode du bilan classique.

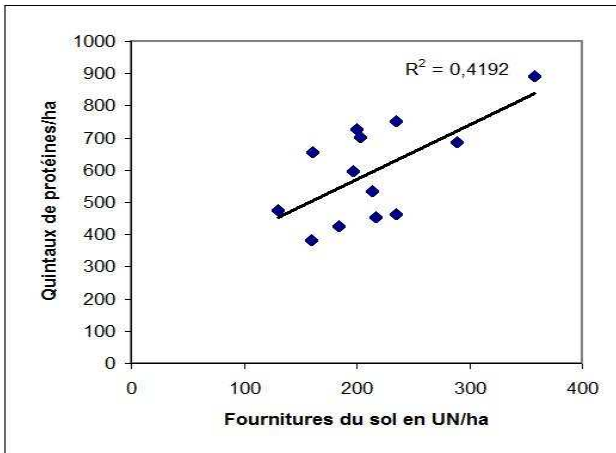


Figure n° 34 : Corrélation entre les fournitures du sol calculées avec les chiffres de la méthode du bilan classique et la quantité de protéines par hectare.

3. La nouvelle méthode de calcul de la minéralisation proposée par M. Valé. (Valé, 2007).

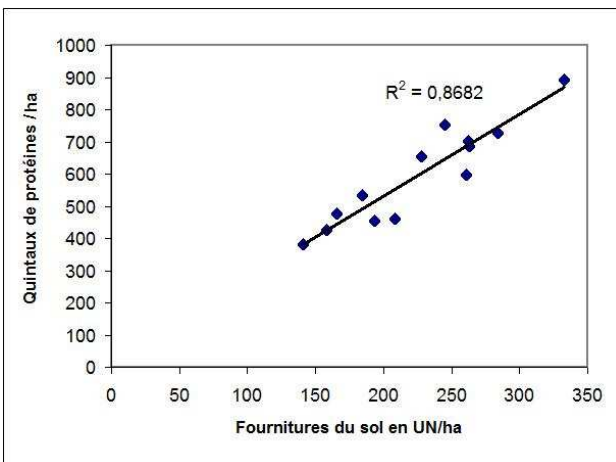


Figure n° 35 : Corrélation entre les fournitures du sol calculées avec les chiffres du modèle de M.Valé et la quantité de protéines par hectare.

La corrélation entre les fournitures du sol et les protéines/ha en utilisant le modèle de M. Valé est plus fiable ($r^2 = 0,86$). Ce modèle semble donc permettre une meilleure prédiction de la minéralisation de l'humus et il est donc retenu pour le calcul des fournitures d'azote.

3.4 Détermination du pourcentage d'absorption de l'azote

Le ratio entre l'azote absorbé calculé (méthode 2) et les fournitures du sol a été calculé pour établir le pourcentage d'absorption par le blé biologique de l'azote fourni par le sol.

Ce pourcentage a été calculé sur les 34 cas étudiés, avec ou sans facteurs limitants.

Année	Agriculteurs	Type de sol	Variété	Facteurs Limitants	Minéralisation selon M.Valé	Minéralisation selon la méthode du bilan	Azote déjà absorbé	Précédent	Effet précédent	RSH	Rendement du témoin	Taux de protéines du témoin	Azote absorbé	Fourniture du sol selon la Méthode de M. Valé	Fourniture du sol selon la Méthode du bilan	% d'absorption selon la Méthode M.Valé	% d'absorption selon la Méthode du bilan
1994-1995	JFR	Limons battants profonds	Renan	Fort	156	94	20	Trèfle	30	33	19,4	11,2	54	239	177	22	30
1995-1996	JFR	Limons battants profonds	Renan	Faible	149	90	20	PdT	20	73	66,7	10,5	180	262	203	69	89
1996-1997	JFR	Limons battants profonds	Renan	Moyen	173	104	10	Féveroles	30	76	44,6	9,85	112	289	220	39	51
1997-1998	JFR	Limons battants profonds	Renan	Faible	160	96	20	PdT	20	61	58,6	10,2	153	261	197	59	78
2000-2001	PDU	Limons argileux profonds	Ornicar	Moyen	143	90	20	maïs	0	30	23,5	10,9	64	193	140	33	46
2001-2002	JFR	Limons battants profonds	Renan	Faible	176	92	20	Féveroles	30	58	62,6	11,6	186	284	200	66	93
2003-2004	JLC	Limons calcaires semi-profonds	Renan	Faible	116	49	20	Luzerne 2	30	62	55,9	11,7	168	228	161	74	104
2003-2004	HDO	Limons argileux profonds	Achat	Faible	73	37	20	Féveroles	30	43	54	8,8	121	166	130	73	93
2004-2005	OVI	Limons sableux	Pactole-Runal	Faible	54	84	20	Féveroles	30	80	42,9	12,45	136	184	214	74	64
2007-2008	MDE	Limons argileux profonds	Renan	Fort	275	106	20	trèfle	30	90	37,9	12,27	118	415	246	29	48
2007-2008	DBI	Limons battants profonds	Aristos	Faible	69	95	20	féveroles	30	144	70,7	9,7	176	263	289	67	61
2003-2004	Auger	Limons argileux profonds	Caphorn	Moyen	53	73	10	Pois	20	71	34,6	9,95	87	154	174	56	50
2000-2001	Hardiller	limons argileux profonds	Plusieurs	Moyen	130	75	20	pdT	20	66	40,68	11,2	116	236	181	49	64
2001-2002	Joubert	limons battants profonds	Renan	Moyen	46	66	20	pois	20	45	23,2	9,3	53	131	151	41	35
2001-2002	Hardiller	limons argileux profonds	Plusieurs	Faible	79	105	20	oignon	0	59	44	9,7	108	158	184	69	59
2003-2004	Joubert	limons battants profonds	Plusieurs	Faible	34	53	20	trèfle violet	30	57	39,7	9,6	96	141	160	68	60
2003-2004	Hardiller	limons argileux profonds	Plusieurs	Moyen	91	122	20	féveroles	30	23	38,8	9,25	91	164	195	55	46
2005-2006	Joubert	limons battants profonds	Plusieurs	Faible	43	68	20	Trèfle violet	30	161	42,7	13,6	149	254	279	58	53
2005-2006	Rabier	limons argileux profonds	Plusieurs	Moyen	40	56	20	Trèfle violet	30	88	39,45	10	100	178	194	56	52
2005-2006	Rabier	limons argileux profonds	Plusieurs	Moyen	40	56	20	Trèfle violet	30	88	33,45	10,8	91	178	194	51	47
2003-2004	drôme	limons argileux semi-profonds	Cezanne	Moyen	116	63	20	Toumesol	0	40	33,72	9,8	83	176	123	47	68
2004-2005	drôme	limons argileux semi-profonds	Caphorn	Moyen	163	82	20	Soja	20	40	33,7	8,4	71	243	162	29	44
2007-2008	DCO 1	limons argileux profonds	Atlas	Faible	65	55	20	luzerne	30	130	69,6	10,8	193	245	235	79	82
2007-2008	HDO 1	limons battants profonds	Renan	Moyen	81	42	20	blé	0	68	28	11,2	79	169	130	47	61
2007-2008	HDO 2	limons battants profonds	Renan	Moyen	81	40	20	blé	0	93	35	10,8	96	194	153	49	62
2007-2008	JLC	Limons calcaires profonds	Renan	Moyen	91	70	10	pois	20	100	30,3	13	100	221	200	45	50
2007-2008	MDE Renan	limons argileux profonds	Renan	Fort	166	89	20	trèfle	30	142	27,8	9,2	64	358	281	18	23
2007-2008	FCH	limons battants profonds	Renan	Moyen	93	46	30	trèfle	30	165	55,4	12,1	172	318	271	54	63
2007-2008	DCO 2	limons battants profonds	Atlas	Moyen	197	141	20	féveroles	30	89	49,2	10,6	133	336	280	40	48
2007-2008	DBI ilot 3	limons battants profonds	Renan	Faible	64	89	10	trèfle	30	229	68,64	13	230	333	358	69	64
2007-2008	DCO 3	limons battants profonds	Titlis	Moyen	144	100	20	luzerne	30	120	45,8	12,1	142	314	270	45	52
2007-2008	DCO 4	limons argileux profonds	Ataro	Faible	44	71	20	féveroles	30	114	40,5	11,4	117	208	235	56	50
2007-2008	DCO 5	limons argileux profonds	Ataro	Faible	59	83	20	lin	0	114	38,44	11,8	115	193	217	60	53
2007-2008	Rabier	limons argileux profonds	Plusieurs	Faible	71	68	20	luzerne	30	194	52	12,65	169	315	312	54	54

 Réseau de parcelles

Figure n° 36 : Calculs des pourcentages d'absorption.

3.4.1 Détermination du pourcentage d'absorption grâce au nouveau modèle de minéralisation.

Les pourcentages d'absorption de l'azote par la plante ont été recalculés en intégrant les calculs du modèle de minéralisation de M. Valé. Ils sont cette fois-ci tous inférieurs à 100%. Cela signifie que les quantités d'azote absorbé sont toujours inférieures aux fournitures d'azote du sol. (Figure n° 36). Ces résultats sont donc plus cohérents que ceux obtenus avec les références actuelles. (paragraphe 3.2.3).

3.4.2 Détermination du pourcentage d'absorption en fonction des facteurs limitants.

L'objectif est de connaître l'influence des facteurs limitants sur le pourcentage d'absorption de l'azote par la plante. (Figure n°37).

Ainsi, la figure ci-dessous compare ce pourcentage d'absorption pour chaque classe de facteurs limitants.

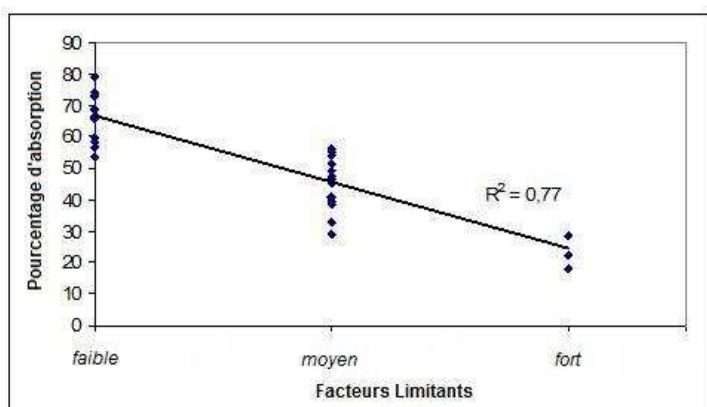


Figure n° 37: Pourcentage d'absorption de l'azote par le blé biologique en fonction des classes de facteurs limitants.

La corrélation obtenue entre le pourcentage d'absorption de l'azote et les classes de facteurs limitants permet d'en déduire un pourcentage moyen d'absorption de l'azote par classe de facteurs limitants. (Figure n° 38).

Facteur limitant	0 (Faible)	1 (Moyen)	2 (Fort)
% d'absorption	70 %	50 %	25 %
Ecart-type	6,2 %	8,3 %	5,4 %

Figure n° 38: Pourcentage d'azote absorbé en fonction des classes de facteurs limitants.

Des interrogations se posent quant au devenir de l'azote qui n'a pas été absorbé. Plusieurs hypothèses sont envisagées. Cet azote peut correspondre aux RPR (Reliquat Post Récolte) mais ceux-ci sont généralement stables et ne représentent qu'une vingtaine d'unités. (Aubert et al, 2005).

L'azote non absorbé peut aussi être lessivé ou bien réorganisé.

Le pourcentage d'azote absorbé par la plante en fonction des facteurs limitants est maintenant connu. Il reste maintenant à déterminer le coefficient de besoin en azote du blé biologique.

3.5 Détermination du coefficient de besoin en azote du blé biologique. (Coefficient b0).

Ce coefficient b0 est calculé en divisant l'azote absorbé par le rendement dans chacun des 34 cas. (Annexe n° 11). Il concerne des cultures qui n'ont pas reçu d'apports organiques.

Ce coefficient « b0 » est à distinguer du coefficient « b » de besoin en azote du blé conventionnel qui est déterminé pour du blé conduit à l'optimum de fertilisation avec des apports d'engrais minéraux.

La dépendance entre ce coefficient et d'autres paramètres est étudiés. (Figures n° 39 et 40).

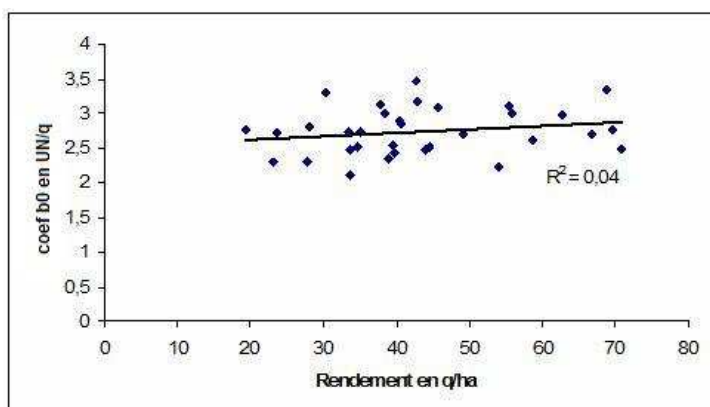


Figure n° 39: Corrélation entre le coefficient b0 et le rendement.

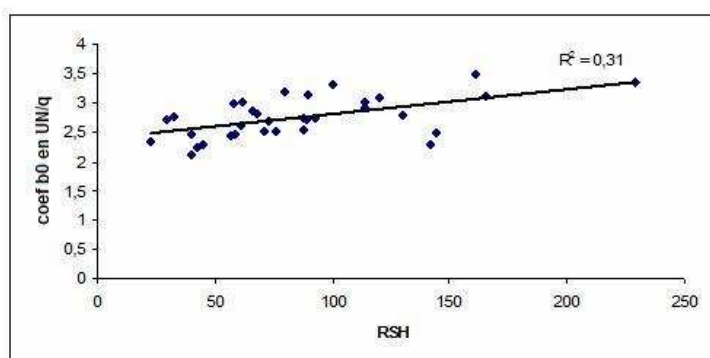


Figure n° 40: Corrélation entre le coefficient b0 et les RSH.

Les droites de corrélation montrent une indépendance du coefficient b0 vis-à-vis du rendement mais montrent une tendance à être corrélé avec le RSH.

Dans un premier temps, un coefficient b0 moyen a été calculé. La moyenne obtenue est de **2.75 unité par quintal** de blé biologique. (Ecart-type de 0.35).

Dans un deuxième temps, le coefficient b0 a été calculé en fonction de la classe de RSH afin de voir par la suite si cette tendance avec le RSH peut apporter plus de fiabilité dans cette étude.

Les coefficients b0 obtenus en fonction de la classe de RSH sont les suivants :

Classe de RSH	1 (de 0 à 45 UN/ha)	2 (de 45 à 80 UN/ha)	3 et 4 (de 80 à 115 et >à 115 UN/ha)
Coefficient b0	2.45	2.7	2.9
Ecart-type	0.24	0.25	0.32

Figure n° 41: Coefficient b0 en fonction de la classe de RSH.

En agriculture conventionnelle, le coefficient b est calculé en fonction des variétés de blé avec une valeur attribuée par profil. Or, en Agriculture Biologique, les variétés utilisées correspondent généralement à un seul profil. Ce sont principalement des blés panifiables qui sont utilisés. 50% des essais ont été réalisés avec la variété Renan. Le coefficient moyen b0 calculé uniquement sur cette variété est de 2,8 avec un écart-type de 0.32. Il est donc très proche des 2.75 kg/q du coefficient b0 moyen prenant en compte toutes les variétés.

L'ensemble des facteurs utiles à la mise en place d'une méthode de prédiction du rendement du blé biologique ont donc été déterminés. Il reste à mettre en place un outil utilisable par les agriculteurs.

4 Mise en place de l'outil de gestion de l'azote en blé biologique.

4.1 Principes d'utilisation de l'outil.

Afin d'utiliser l'outil de la meilleure manière, la démarche suivante doit être suivie à partir de l'identification du type de sol et des facteurs limitants éventuels :

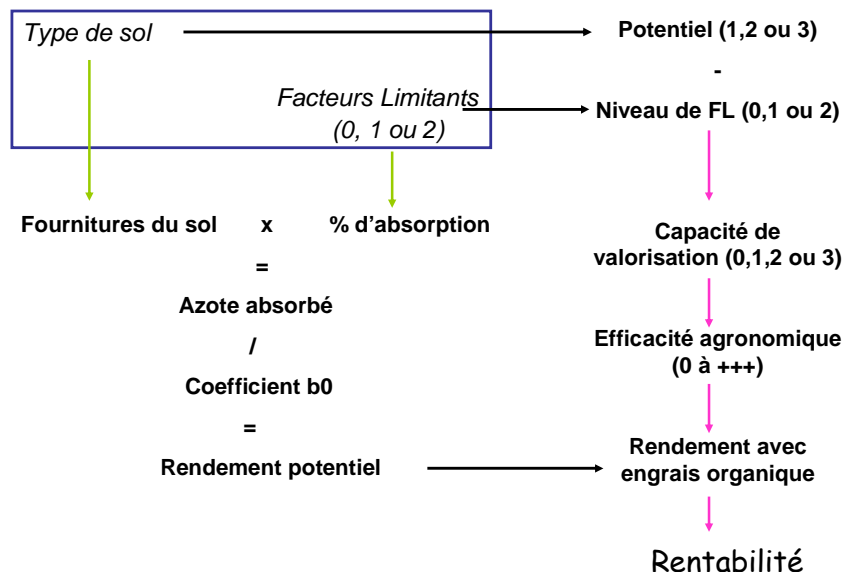


Figure n°42 : Schéma du déroulement de l'outil.

Certains paramètres de cet outil nécessitent d'être fixés afin de mettre au point un outil simple et fiable.

4.2 Détermination des valeurs de minéralisation à utiliser dans l'outil.

Le modèle de minéralisation mis au point par M. Valé est très complexe et ne peut pas être utilisé en routine par les agriculteurs ou les conseillers. Ainsi, une moyenne par type de sol des résultats de minéralisation obtenus a été calculée. Cependant, certaines incohérences dans le calcul du modèle ont été observées.

4.2.1 Les limites du modèle de M. Valé.

Sur certains essais, des incohérences de la minéralisation estimée ont été remarquées. En effet, la prévision de minéralisation du modèle de M. Valé montre de grandes différences entre 2 sols similaires où seul le pH varie (ex. JFR et MDE, figure n° 42). Il peut arriver aussi que des sols considérés comme ayant un fort potentiel aient une minéralisation estimée faible (ex. DBI, figure n° 43).

Parcelle	Type de sol	Rendement en q/ha	RSH	pH	Minéralisation en UN/ha
DBI 2008	Limon battant très profond	81.3	144	7.8	71
JFR 1998	Limon battant profond	58.6	67	7.8	173
JFR 2002		62.6	58	7.1	76
MDE 2003	Limon argileux profond	63.9	90	8.3	176
MDE 2008		37.6 (FL)	90	8.5	275

Figure n° 43: Exemple d'estimations incohérentes de la minéralisation sur certains essais.

Il semblerait que les incohérences soient en partie expliquées par une forte sensibilité du modèle au pH.

Ces incohérences n'ont pas été remarquées dans la comparaison des différents modèles de minéralisation (paragraphe 3.3.2) puisqu'elles ne concernent que des essais ayant des facteurs limitants.

4.2.2 Les valeurs minéralisation utilisées pour le prévisionnel de rendement.

La moyenne de minéralisation par type de sol est calculée en ôtant les cas incohérents identifiés par le paragraphe précédent. Ainsi, la classification de la minéralisation de l'humus obtenue en fonction du type de sol est la suivante (Annexe n° 12) :

Type de sol	Minéralisation selon le modèle n°1 (références CA77).	Minéralisation selon le modèle n°2 (méthode du bilan classique)	Minéralisation selon le modèle n°3 (méthode de M. Valé)
Limon argileux profond (13)	40	80	110
Limon battant profond (12)	40	80	100
Limon calcaire profond (2)	30	60	100
Limon sableux (2)	25	80	50
Argilo-calcaire semi-profond (4) (Gers)	20	35	65
Sable argileux (2) (Drôme)	30	70	140

Figure n° 44: Comparaison des moyennes de minéralisation de l'humus en fonction du type de sol obtenues par les trois modèles différents.

Le modèle n° 3 présente des chiffres de minéralisation nettement supérieurs à ceux actuellement utilisés. Le sol peut donc être considéré comme une source importante d'azote en système biologique.

Ce sont donc ces chiffres qui devront être utilisés par les agriculteurs ou les conseillers pour calculer les fournitures du sol en azote.

Prévisionnel de rendement pour le blé biologique.

Effet direct des apports de matières organiques à l'automne		
Fumier de bovins 35T/ha	Lisier de bovins 30 m3/ha	Fientes de volailles 3T/ha
+ 15	+ 5	+ 0

Arrière effet des apports de matières organiques	
Lisier tous les 2 ans	+ 10
Fumier tous les 3 ans	+ 10
Fréquence plus faible	0

Effet des CIPAN	Niveau de végétation des CIPAN	Niveau de végétation des CIPAN		
		Faible	Moyen	Fort
Enfouissement avant le 1er Novembre	Légumineuses	10	20	30
	Crucifères-Phacélie	5	10	15
	Graminées	0	5	10
Enfouissement après le 1er Décembre	Légumineuses	15	25	35
	Crucifères-Phacélie	10	15	20
	Graminées	5	10	15

1. Estimation des fournitures du sol	
Minéralisation de l'humus	
Reliquat Sortie Hiver (analyse)	
Azote déjà absorbé par la culture	
Effet du précédent	
Effet direct des apports de matières organiques	
Arrière effet des apports de matières organiques	
Effet des CIPAN	
Total des fournitures du sol en azote en unités/ha	

2. Pourcentage d'absorption	
Facteur limitant faible	75 %
Facteur limitant moyen	50 %
Facteur limitant fort	20 %

3. Quantité d'azote absorbé	
Total des fournitures du sol (1)	
Capacité d'absorption (2)	
(1) X (2) = 3	

4. Rendement prévisionnel en q/ha	
Quantité d'azote absorbé (3)	
Coefficient de besoin en azote du blé biologique en U/q	2.75
(3) / Coefficient = (4)	

Type de sol	Minéralisation humus
Limon argileux profond	110
Limon battant profond	100
Limon calcaire profond	100
Limon sableux	50
Argilo-calcaire semi-profond (Gers)	65

Stade du blé	< 2 talles	de 2 à 3 talles	> 3 talles
Azote absorbé	10	20	30

Effet du précédent	Unité d'azote/ha
Blé paille enfouies	-20
Blé paille exportées	0
Maïs grain	-10
Maïs ensilage	0
Tournesol	0
Lin	0
Jachère graminées	+ 10
Jachère crucifères	+ 20
Jachère légumineuses	+ 30
Bettrave	+ 20
Pomme de terre	+ 20
Colza	+ 20
Pois-Haricot	+ 20
Féverole	+ 30
Luzerne, Trèfle	+ 30

Figure n°45 : Plaquette permettant d'établir un prévisionnel de rendement.

4.3 Prévision de rendement et d'efficacité d'un apport d'engrais organique.

L'objectif est de pouvoir estimer à 5 quintaux près le rendement réalisable sur une parcelle. La plaquette ci-contre (Figure n 45) présente l'ensemble des chiffres nécessaires pour établir le prévisionnel de rendement.

Le choix de la classe de facteurs limitants nécessite de se baser sur un r eferentiel (Figure n  46). Celui-ci présente les niveaux de chaque type et de chaque classe de facteurs limitants ayant un impact sur la disponibilité de l'azote pour la culture. Il a été établi grâce aux observations de terrain des conseillers et des agriculteurs.

Type de facteur limitant	Niveau indicatif de facteur limitant	
	Moyen 1	Fort 2
Adventices Graminées (tallage) Matricaires (rosettes 8-10 cm) Sanves (rosettes 10-20 cm)	80 pieds/m ² 80 pieds/m ² 50 pieds/m ²	> 200 pieds/m ² 200 pieds/m ² 130 pieds/m ²
Maladies / ravageurs	Non pr�evisable sauf variété ou site sensible, ou dégâts déjà caus�es, cf facteur limitant peuplement (exemple mouche grise)	
Peuplement	< 180 pieds/m ²	< 100 pieds/m ²
Structure du sol (� la b�che !) Sols humides Sols s�echants	Resserr�e : arêtes de 1 à 2 cm lorsque l'on casse les mottes Sol trop a�er�e : les racines explorent mal le profil	Compact�es : arêtes de 2 à 4 cm lorsque l'on casse les mottes, les racines ne pénètrent plus Sol trop a�er�e et matière organique en fond de raie : les racines ne passent plus
Climat	Fonction du type de sol Voir tableau ci-dessous	

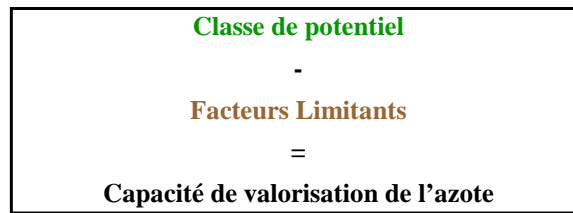
Année climatique (pluviométrie hivernale)	Excédentaire sans ressuyage	Excédentaire avec ressuyage	Equilibrée	Déficitaire
Type de sol	Niveau de facteur limitant			
Limon sableux	2	2	1	1
Limon battant profond	1	0	0	0
Limon argileux profond	1	0	0	0
Argilo-calcaire semi-profond	0	0	0	1
Limon argileux semi-profond	1	0	0	0
Limon battant très profond	0	0	0	0
Limon calcaire profond	0	0	0	0
Limon franc très profond	0	0	0	0
Limon argileux vrai	0	0	0	0
Sable argileux	0	0	0	0

Figure n  46 : Niveaux des facteurs limitants ayant un impact sur la disponibilité de l'azote.

Une fois le rendement prévisionnel estim e, il reste à déterminer l'efficacité agronomique et la rentabilité d'un apport de 60 UN/ha.

Prévision de l'efficacité de l'apport.

Type de sol	Potentiel du sol	Classe de potentiel
Limon sableux	Moyen	1
Limon battant profond	Élevé	2
Limon argileux profond	Élevé	2
Argilo-calcaire semi-profond	Élevé	2
Limon argileux semi-profond	Élevé	2
Sable argileux	Élevé	2
Limon battant très profond	Très élevé	3
Limon calcaire profond	Très élevé	3
Limon franc très profond	Très élevé	3
Limon argileux vrai	Très élevé	3



Voir Figure n° 46

Capacité de valorisation de l'azote	0 (faible)				1 (moyenne)				2 (élevée)				3 (très élevée)										
	0-45		45-80		80-115		0-45		45-80		80-115		>115		0-45		45-80		80-115		>115		
RSH																							
Niveau Efficacité rendement	0	(++)	(+)	0	(+++)	(++)	(+)	0	(+++)	(++)	(+)	0	(+++)	(+++)	(++)	(+)	0	(+++)	(+++)	(++)	(+)	0	(+++)
gain en q/ha pour 60 U apportées	0 à 2,5	5,5 à 8,5	2,5 à 5,5	0 à 2,5	> à 8,5	5,5 à 8,5	2,5 à 5,5	0 à 2,5	> à 8,5	5,5 à 8,5	2,5 à 5,5	0 à 2,5	> à 8,5	> à 8,5	5,5 à 8,5	2,5 à 5,5	0 à 2,5	> à 8,5	> à 8,5	5,5 à 8,5	2,5 à 5,5	0 à 2,5	> à 8,5
Efficacité protéines significative	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Oui

→ Efficacité économique

Figure n° 47 : Plaquette permettant de prévoir l'efficacité d'un apport de 60 UN/ha.

L'efficacité économique est déterminée grâce aux graphiques (Figures n°25, 26 et 27) présentant les différences de marges brutes en fonction du prix de vente du blé, du prix d'achat de l'azote et de l'efficacité agronomique.

Une fois l'outil mis en place, sa fiabilité a été déterminée.

5 Estimation de la fiabilité de l'outil.

La comparaison des rendements prévisionnels avec les rendements réellement obtenus a permis de vérifier la fiabilité de l'outil.

L'utilisation d'un coefficient b0 moyen et d'un coefficient b0 variable en fonction du RSH ont été testés afin de déterminer si la fiabilité peut être augmentée.

5.1 Comparaison des rendements à partir d'un coefficient b0 moyen.

Dans un premier temps, le coefficient b0 moyen déterminé à 2,75 UN/q est utilisé pour calculer le rendement prévisionnel. Ainsi, une droite de corrélation a été réalisée afin de comparer les rendements prévisionnels et les rendements réels. (Figure n° 48).

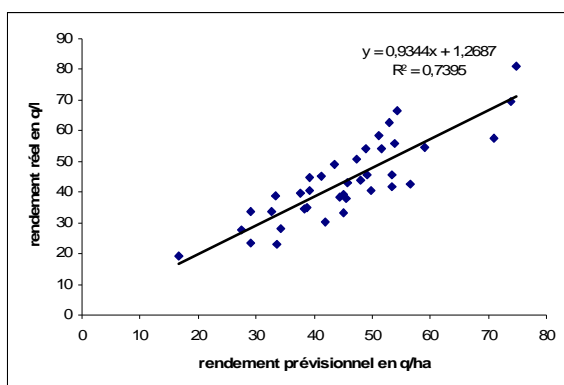


Figure n° 48: Corrélation entre le rendement réel et le rendement prévisionnel par la méthode du bilan avec un coefficient b0 moyen.

La corrélation entre les rendements prévisionnels et les rendements réels est bonne ($r^2 = 0.74$). Cependant la comparaison statistique entre les deux rendements montre un coefficient de variation de 26 %. Cette analyse statistique est alors peu précise et les résultats ne peuvent pas être exploités.

5.2 Comparaison des rendements à partir d'un coefficient b0 variable en fonction du RSH.

Afin d'améliorer la fiabilité du rendement prévisionnel, le coefficient b0 a été adapté en fonction du RSH. (Paragraphe 3.5, Figure n° 41). La corrélation obtenue entre le rendement prévisionnel et le rendement réel est la suivante :

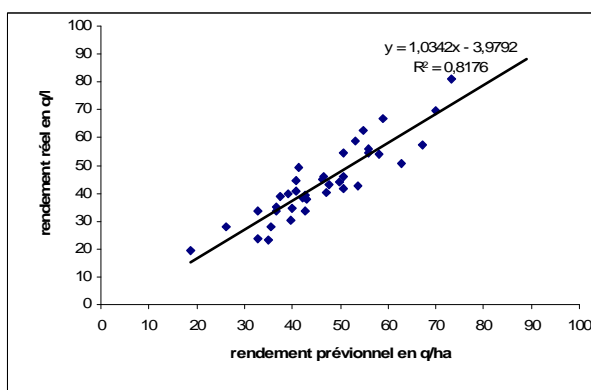


Figure n° 49 : Corrélation entre le rendement réel et le rendement prévisionnel par la méthode du bilan avec un coefficient b0 variable selon le RSH.

La corrélation est meilleure avec un coefficient b0 variable en fonction du RSH. Cependant, le rendement prévisionnel a tendance à être surestimé d'environ 3 quintaux en moyenne : l'analyse statistique montre une différence significative entre les rendements estimés et réels. (Figure n° 50). A noter que la précision a été améliorée (CV = 9 %).

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
1.0	estimé	47,515	A	
2.0	réel	44,466		B

Figure n° 50: Analyse statistique comparant les deux rendements. (Test de Newman keuls à 5%. P = 0.01, CV= 9%).

L'écart entre les deux rendements a été minimisé grâce au calcul du RMSE. Il apparaît qu'en enlevant **2,5 quintaux** au rendement prévisionnel, l'erreur est réduite.

Le coefficient de corrélation ne change pas ($r^2 = 0.82$) mais l'équation de la droite est modifiée. (Figure n° 51).

De plus, par ce moyen, l'analyse statistique ne montre plus aucune différence significative entre le rendement réel et estimé. (Test de Newman Keuls à 5%, $p = 0.9$ et $CV = 9\%$).

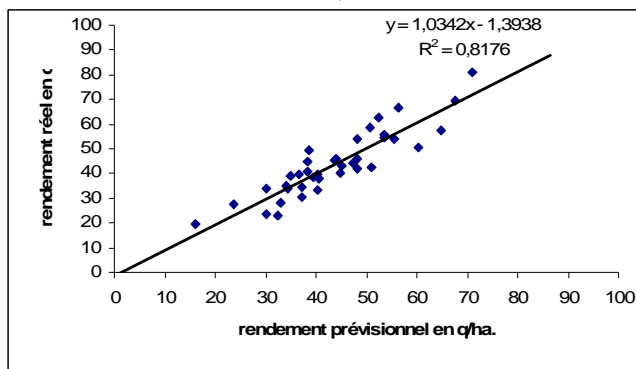


Figure n° 51: Corrélation entre le rendement réel et le rendement prévisionnel (après calcul du RMSE) par la méthode du bilan avec un coefficient b_0 variable selon le RSH.

La comparaison entre le rendement estimé par l'outil et le rendement réel des 34 cas montre une bonne corrélation. La fiabilité de l'outil semble donc relativement bonne. Il serait maintenant intéressant de le valider sur un nombre plus important d'essais qui n'ont pas servi à la mise en place de l'outil.

Bilan :

Le prévisionnel de rendement est moins fiable en utilisant un coefficient b_0 moyen. Cependant, la précision est suffisante pour l'objectif qui est de hiérarchiser les parcelles. Ainsi, dans un souci de simplicité, c'est le coefficient b_0 moyen qui est utilisé dans la plaquette destinée aux agriculteurs.

L'utilisation des coefficients b_0 variables en fonction du RSH augmente la fiabilité de l'outil. Ainsi, ces coefficients pourront être intégrés au PGN de la Chambre d'Agriculture de Seine-et-Marne. La soustraction de 2,5 quintaux au rendement prévisionnel peut être réalisé afin d'augmenter la précision, mais pourrait inciter à la fertilisation par la suite.

5.3 Discussion.

Après avoir présenté cette étude aux agriculteurs de la zone Centre, il est apparu que certains paramètres devaient être bien définis pour utiliser l'outil dans les meilleures conditions.

- Les calculs de capacité de valorisation de l'azote ont mis en évidence que les parcelles biologiques étaient fréquemment en présence de facteurs limitants moyens. Ainsi, lors de l'utilisation de l'outil, il est conseillé, en cas d'hésitation entre deux classes, de prendre toujours la classe considérant le facteur limitant le plus important.

- Il est important de noter que l'apport d'azote peut aussi profiter aux mauvaises herbes. Ainsi une parcelle sans facteur limitant avant l'apport, peut passer dans une classe de facteur limitant

moyen après l'apport. Le calcul du prévisionnel de rendement permet d'estimer le risque occasionné par l'apport en faisant varier la classe de facteurs limitants.

- La structure du sol est aussi un paramètre très important à prendre en compte. Par exemple, un sol compacté amène souvent à un blocage de la minéralisation ce qui correspond à un facteur limitant important.

- Afin d'utiliser au mieux cet outil, l'analyse du RSH est indispensable. Il est donc recommandé de faire des analyses de RSH chaque année sur un maximum de parcelles.

Il est essentiel qu'à la suite de ce travail, soit déterminé un référentiel plus précis permettant de déterminer les classes de facteurs limitants. L'estimation de la nuisibilité des adventices est une problématique importante en Agriculture Biologique. Il serait intéressant d'estimer, au stade tallage, à quelle densité une adventice (en fonction de son espèce et de son stade) peut devenir nuisible à la culture.

Pour augmenter la précision de l'outil, il sera nécessaire de réévaluer d'autres paramètres du calcul des fournitures du sol. L'effet précédent est notamment un point important, mais peu de références chiffrées sont disponibles. L'estimation de la minéralisation de l'humus, même si elle semble être plus fiable, a présenté des résultats incohérents sur certains essais et peut donc être améliorée.

Seuls les sols les plus représentés dans la zone Centre ont pu être étudiés, ainsi des références devront être établies sur d'autres types de sol. De plus, les années climatiques rencontrées dans cette étude sont globalement plus sèches que la précédente décennie. Ainsi, les conditions météorologiques peuvent évoluer et modifier le potentiel des sols.

Enfin, même si les corrélations entre le rendement estimé et le rendement réel sont bonnes, il est nécessaire de tester l'outil sur d'autres cas afin de vérifier sa fiabilité.

Cet outil est donc un premier bilan qui pourra servir de base de travail par la suite.

Conclusion et perspectives.

En absence d'azote minéral de synthèse, l'azote du sol prend toute son importance. Le fonctionnement des systèmes biologiques est bien différent des systèmes conventionnels. La gestion de l'azote interagit avec de nombreux de facteurs comme les mauvaises herbes, le sol, le climat, la rotation... Les outils adaptés aux systèmes biologiques doivent donc prendre en compte de multiples contraintes, notamment d'ordre pédo-climatiques. L'outil élaboré dans cette étude permet de choisir de fertiliser ou non, en prenant en compte ces contraintes.

Le sol n'est pas seulement un support mais bien un véritable facteur de production. Sa structure et sa fertilité sont essentielles à la durabilité du système. L'introduction de légumineuses dans la rotation comme la luzerne permet d'améliorer la structure du sol mais permet aussi de libérer de l'azote. La diversité des cultures dans la rotation permet aussi de mieux maîtriser les adventices et les pathogènes.

Un système biologique n'est pas simplement raisonné à l'échelle d'une campagne et d'une parcelle mais bien à l'échelle d'une rotation sur l'ensemble de l'exploitation. Ainsi, l'outil réalisé ici n'est qu'une première étape et devra s'étendre sur d'autres cultures pour pouvoir juger de l'efficacité globale d'un système. Cette démarche pourrait aussi être testée pour les systèmes en bas intrants.

L'objectif du programme ONIGC est bien de mettre en place un outil d'aide à la gestion de l'azote sur l'ensemble des grandes cultures tout en continuant les expérimentations sur le blé. En effet, l'efficacité des apports de printemps a montré ses limites et pousse de plus en plus les agriculteurs à trouver d'autres sources d'azote. Les prochaines expérimentations seront alors probablement tournées vers la fertilisation d'automne, les cultures intermédiaires, et les précédents légumineuses. Les premiers essais fertilisation d'automne tendent à montrer des résultats plutôt satisfaisants. (Bouttet, 2007).

Références Bibliographiques

Agence bio, 2008. L'agriculture biologique française, chiffre 2007.

Aubert C., Bizot E., Glachant C., Proffit L., Loussot P., Richer de Forges T, 2005. Guide conseil n°4, Classification agronomique et comportementale des sols de Seine et Marne. Chambre d'Agriculture de Seine-et-Marne.

Bouttet D., 2007. Compte-rendu technique 2006 3^{ème} année de programme : « acquisition de références techniques et technico-économiques en grandes cultures dans les régions Centre et Ile-de-France. Arvalis.

Bouttet D., Fontaine L., 2007. Demande de financement d'Arvalis auprès de l'ONIGC : « Demain la Bio sur les exploitations grandes cultures de la zone Centre ». Arvalis.

Bova F., 2008. Situation des marchés des céréales biologiques : campagne 2007/2008. ONIGC.

Briffaux G., Laurent F., Castillon P., Gate P., 2005. Fertilisation azotée du blé tendre d'hiver. Planche n°12. Arvalis.

Brisson N., Mary B., Ripoche D., Jeuffroy M.H., Ruget F., Nicoullaud B., Gate P., Devienne-Barret F., Antonioletti R., Durr C., Richard G., Beaudoin N., Recous S., Tayot X., Plenet D., Cellier P., Machet J.M., Meynard J.M. et Delecalle R., 1998. STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. I. Theory and parameterization applied to wheat and corn. *Agronomie* 18: 311-346.

Chambre d'agriculture de Seine-et-Marne, 2008. Plan prévisionnel de fertilisation Comment faire ?

David C., 2002. La production du blé biologique en France...vers une fragilisation de la filière ?, Colloque Agri-Vision, Québec.

David C., 2004. Le blé en agriculture biologique : diagnostic agronomique et raisonnement de la fertilisation azotée de printemps. Thèse, INRA INA-PG. 122p.

David C., Jeuffroy MH., Meynard JM., 2005. Nitrogen management of organic winter wheat: Decision-making through model-based explorations. *Researching Sustainable Systems*, International Scientific Conference on Organic Agriculture, Adelaide, Australia.

David C., Jeuffroy MH., Valentin-Morison M., Herbain C., 2007. Improvement of the soil-crop model AZODYN under conventional, low-input and organic conditions. 3rd QLIF Congress: Improving Sustainability in Organic and Low Input Food Production Systems, University of Hohenheim, Germany.

Etienne C., 2007. Réalisation d'un diagnostic agronomique des facteurs limitants du rendement et du taux de protéines du blé biologique en région Rhône-Alpes. Mémoire de fin d'étude d'ingénieur. ENITAC. 35p.

Gate P., 1995. Ecophysiologie du blé, Lavoisier. p 279-295.

- Glachant C., 2008.** Observatoire des grandes cultures biologiques en Ile-de-France : Analyse de la récolte 2007. Chambre d'Agriculture de Seine-et-Marne. Documents de travail.
- Glachant C., Aubert C., 2007.** Fertilisation azotée de printemps sur blé biologique- proposition d'un outil de pilotage en Ile de France. Journée Technique Agronomie. Le programme FertiagriBio : ses apports aux agriculteurs. ITAB.
- ITAB, 2001.** Fertilisation azotée des céréales d'hiver conduites en Agriculture Biologique. Evaluation des effets directs d'un apport d'azote au printemps sur le blé tendre d'hiver. Protocole d'essai.
- Jeuffroy M.H., 2003.** Fertilisation organique et amélioration de la productivité et de la qualité boulangère du blé biologique. Fiche de dossier de presse. INRA.
- Jeuffroy M.H., 2001.** Les nouveaux outils de la fertilisation azotée du blé : comment concilier rendement, qualité et environnement ? Les nouveaux défis de la fertilisation raisonnée, GEMAS, COMIFER, p 237.
- Jeuffroy M.H. et Recous S., 1999.** Azodyn: a simple model simulating the date of nitrogen deficiency for decision support in wheat fertilization. *European Journal of Agronomy* 10:129-144.
- Jeuffroy M.H., Bouchard C., 1999.** Intensity and duration of nitrogen deficiency on wheat grain number. *Crop science*, 39, 1385-1393.
- Le Souder C., Blondlot A., 2006.** Bilan azoté : Les besoins unitaires des nouvelles variétés de blé tendre. *Perceptives Agricoles*, N°321.
- Machet J., Recous S., Jeuffroy M.H., Mary B., Nicolardot B. et Parnaudeau V., 2004.** A dynamic version of the predictive balance sheet method for fertiliser N advice. Controlling nitrogen flows and losses 12th Nitrogen Workshop, University of Exeter, UK, 21-24 September 2003 191-193.
- Meynard J.M., Justes E., Machet J.M., Recous S., 1996.** Fertilisation azotée des cultures annuelles de plein champ. Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes. Ed.INRA, Les Colloques n°83. 325p.
- Morison M., Jeuffroy M-H., David C., 2007.** Raisonnement de la fertilisation azotée du blé et du colza biologique : mise au point d'un outil d'aide à la décision.. Journée Technique Agronomie. Le programme FertiagriBio : ses apports aux agriculteurs. ITAB.
- Nicolardot B., Mary B., Houot S., Recous S.,1996.** La dynamique de l'azote dans les sols cultivés. Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes. Ed.INRA, Les Colloques n°83. 325p.
- Raynal C. et Nicolardot B., 2007.** Une meilleure connaissance des engrais et amendements organiques utilisés en agriculture biologique. Journée Technique Agronomie. Le programme FertiagriBio : ses apports aux agriculteurs. ITAB.
- Salitot G., 2007.** Info-Bio, Chambre d'Agriculture de l'Oise.
- Triboi E., Triboi-Blondel A.M., 2008.** Systèmes de culture autonomes en azote et en énergie, réalité ou utopie ? Colloque international Agriculture biologique et changement climatique. Enita Clermont, France.

Valé M., 2006. Quantification et prédiction de la minéralisation nette de l'azote du sol in situ, sous divers pédoclimats et systèmes de culture français. Thèse, ENSAT. 182p.

Valé M., Laurent F., Champolivier L., Mary B., Justes E., 2007. Amélioration de la prédiction de la minéralisation de l'azote organique du sol in situ pour une large gamme de sols français. Congrès COMIFER-GEMAS, - 20 & 21 nov. 2007 - Blois, France.

Waligora C., Tetu T., 2008. Légumineuses, il est urgent de les réhabiliter. Techniques Culturelles Simplifiées, N°48.

Wallace J., 2001. Guide de production biologique des grandes cultures. 2^{ème} édition. Canadian Organic Growers Inc. 300p.

Annexes

Annexe n° 1 : Essais collectés en Ile-de-France.

N°	Année	Agriculteur	Lieu	Type de sol	Facteur limitant	Précédent	RSH	Rendement du témoin	Taux de protéines du témoin	Variété	Produit	Date de l'apport	Dose	Rendement à 60 UN	Résultats statistiques	Taux de protéines à 60 UN
1	1994-1995	JFR	Chevry-Cossigny (77)	Limon battant profond	Wsol	Tréfle	33	19,4	11,2	Renan	Guano	Tallage	30	21	A	11,2
											Guano	Tallage	60	21,8	A	11,8
											Guano	tallage+DF	30 + 30	22,4	A	12,1
											Farine de sg 5,5%	Tallage	30	21	A	11,4
											Farine de sg	Tallage	60	19,5	A	11,7
Farine de sg	tallage+DF	30 + 30	19,8	A (témoin A)	11,9											
2	1995-1996	JFR	Chevry-Cossigny (77)	Limon battant profond	-	PdT	74	66,7	10,5	Renan	Guano	Tallage	30	73,1	AB	11,1
											Guano	Tallage	60	76,4	A	11,7
											Guano	tallage+DF	30 + 30	73,3	AB	12,3
											Farine de plumes	Tallage	30	71,2	B	11
											Farine de plumes	Tallage	60	72,9	AB	11,6
Farine de plumes	tallage+DF	30 + 30	72	B (témoin C)	11,8											
3	1996-1997	JFR	Chevry-Cossigny (77)	Limon battant profond	-	Féverole	78	44,6	9,85	Renan	Guano 11-6-2	Tallage	30	45,5	B	9,9
											Guano 11-6-3	Tallage	60	52	A	10
											Guano 11-6-4	tallage+DF	30 + 30	45,7	B	10,4
											FdP 8-6-6	Tallage	30	45,2	B (témoin B)	9,9
											Vinasses 3.33	Printemps	60	57,1		10,9
4	1997-1998	JFR	Chevry-Cossigny (77)	Limon battant profond drainé	Enherbement	PdT	67	58,6	10,2	Renan	Guano	Tallage	30	58,1	A	10,6
											Guano	Tallage	45	56,3	A	10,9
											Guano	Tallage	60	57,6	A	10,6
											Guano	tallage+DF	30 + 30	58,1	A	11,1
											Farine de plumes	Tallage	30	57,11	A	10,5
Farine de plumes	Tallage	60	59,58	A	10,7											
Farine de plumes	tallage+DF	30 + 30	58,64	A (témoin A)	11,3											
vinasse	100															
vinasse	tallage	67														
5	1999-2000	HDO	Vaux-sur-Lunain (77)	Limon battant profond non drainé sain	-	Betrave	34	9,15	Cézanne	Guano (betrave)	28/01 tallage	60	43,3	A	9	
										Vinasses (betrave)	06/03 fin tallage	60	42,9	A (témoin B)	9,3	
6	1999-2000	HDO	Vaux-sur-Lunain (77)	Limon battant profond non drainé sain	-	Pois	45,1	9,45	Cézanne	Guano (pois)	28/01 tallage	60	48,4	A	9,45	
										Vinasses (pois)	06/03 fin tallage	60	48	A (témoin A)	9,75	
7	2000-2001	PDU	Flacourt (78)	Limon argileux profond (non drainé ?)	Wsol	Maïs	23,5	10,9	Omicar	Guano 11-6-2	09/03 tallage	40	26,87	D	9,7	
										Guano 11-6-2		80	31,36	C	9,9	
										Guano 11-6-2		120	35,72	B	9,7	
										Guano 11-6-2		160	39,22	A (témoin E)	9,7	
										bouillons de luzerne		50	33,87		9,7	
8	2001-2002	JFR	Chevry-Cossigny (77)	Limon battant profond	-	Féverole	58	62,6	11,6	Renan	FdP 10%	08-avr	40	68,3	E	11,93
											FdP 10%	08-avr	80	71,4	BC	12,4
											FdP 10%	08-avr	120	74,5	AB	12,83
											FdP 10%	08-avr	160	77,4	A	13,6
											FdP 10%	22-avr	80	69	C	12,65
FdP 10%	08/04 + 23/05	80+40	74,5	AB (témoin D)	13,45											
9	2002-2003	MDE	Maisse (91)	Limon argileux profond	-	Tréfle	63,9	15	Renan	Fientes de poules 3.98%	14-mars	50	64,5	non sign	15,03	
										Fientes de poules 3.98%	14-mars	100	64,6	non sign	15,15	
										Fientes de poules 3.98%	14-mars	150	63,5	non sign	15,28	
										Fientes de poules 3.98%	14-mars	200	64,8	non sign	15,3	
										Fientes de poules 3.98%	14/03 + 13/05	100+50	65,1	non sign	15,18	
10	2002-2003	FDB	Chaussy (95)	Limon argileux semi-profond	Wsol	PT 3 ans	26,6	11,25	Renan	Fientes de poules 3.98%	11-mars	50	30,2	B	11,23	
										Fientes de poules 3.98%	11-mars	100	33,3	C	11,45	
										Fientes de poules 3.98%	11-mars	150	36,5	C	11,78	
										Fientes de poules 3.98%	11-mars	200	38,3	D	12,03	
										Fientes de poules 3.98%	11/03 + 15/05	100+50	34,3	E (témoin A)	12,35	
11	2003-2004	JLC	Villenauxe-la-Petite (77)	Limon calcaire profond	-	Luzerne 2	70	55,9	11,7	Renan	fientes 4,65%	09-mars	30	62,4	ABC	11,68
											fientes 4,65%	09-mars	60	66,2	AB	11,83
											fientes 4,65%	09-mars	90	67,8	AB	11,78
											fientes 4,65%	09-mars	120	67,6	AB	11,88
											fientes 4,65%	09/03+24/05	60+30	60,1	BC	12,78
fientes 4,65%	24-mai	50	56,2	C	12,95											
FdP 14%	18-mars	60	68,9	A	12,23											
FdP 14%	18/03+24/05	60+30	64,6	AB (témoin C)	12,68											
12	2003-2004	HDO	Vaux-sur-Lunain (77)	Limon argileux profond	-	Féverole	46	54	8,8	Achat	fientes 4,65%	09-mars	30	54,3	D	8,78
											fientes 4,65%	09-mars	60	57,7	BCD	9,08
											fientes 4,65%	09-mars	90	58,5	ABCD	8,95
											fientes 4,65%	09-mars	120	59,9	ABC	9,18
											fientes 4,65%	09/03+24/05	60+30	60,7	ABC	9,58
fientes 4,65%	24-mai	50	56,6	CD	9,48											
FdP 14%	18-mars	60	60,5	ABC	9,25											
FdP 14%	18/03+24/05	60+30	64,1	A (témoin D)	10											
13	2004-2005	OVI	Saints (77)	Limon sableux (Sable Sain limoneux)	-	Féverole	82	42,9	12,45	Pactole-Runal	fientes	04/11 levée	40+0+0	44,8	BC	13,23
											fientes	04-nov	80+0+0	48,3	AB	13,2
											fientes	04-nov	120+0+0	49,3	A	14,23
											fientes	04/11+17/05 gonfl	80+0+40	48,3	AB	13,85
											fientes	18/03 tallage	0+80+0	42,9	C	12,63
											fientes	18/03+17/05	0+80+40	43,4	C	13,13
											FdP 14%	04-nov	80+0+0	47,2	AB	13,43
											FdP 14%	04/11+17/05	80+0+40	49	A	14,47
											FdP 14%	18/03 tallage	0+80+0	45,6	ABC	13,23
											FdP 14%	18/03+17/05	0+80+40	44,9	BC	13,85
fientes + farine	04/11+17/05 gonfl	80+0+40	46,5	ABC (témoin C)	14,38											
14	2007-2008	MDE	Maisse 91720	Limon argileux profond	-	Tréfle	90	37,9	12,27	Renan	Fientes	automne	80	45	A	16,37
											Farine os	automne	80	42,24	AB	15,97
											Fientes + Farine os	automne + fin tallage	80+40	40,95	AB	15,1
											Farine os + Farine os	automne + fin tallage	80+40	39,6	BC	14,15
											Fientes	2 nouuds	80	38,4	BC	14
Farine os	Fin tallage	80	37,97	BC	13,87											
Fientes	Fin tallage	80	34,5	C (témoin BC)	13,2											
15	2007-2008	DBI	Feucherolles 78810	Limon battant profond	-	Féverole	144	81,3	9,7	Aristos	Fientes	automne	80	90,3	A	10,35
											Farine os	automne	80	86,6	B	10,35
											Fientes + Farine os	automne + fin tallage	80+40	86,6	B	10,325
											Farine os + Farine os	automne + fin tallage	80+40	85,9	B	10,275
											Fientes	2 nouuds	80	86	B	10,239
Farine os	Fin tallage	80	83,7	B	9,8											
Fientes	Fin tallage	80	87	B (témoin C)	9,775											
16	2007	TLE	Favrieux 78200	Limon argileux profond	-	tréfle	64	?	?	fumiers compostés de volaille	automne	90 U	59	A	?	
										Fientes de volailles	automne	90 U	69	A	?	
										déchets verts	automne	90 U	63	AB	?	

Annexe n° 2 : Essais collectés en Eure-et-Loir.

N°	Année	Agriculteur	Lieu	Type de sol	Facteur limitant	Précédent	RSH	Rendement du témoin	Taux de protéines du témoin	Variété	Produit	Date de l'apport	Dose	Rendement à 60 UN	Résultats statistiques	Taux de protéines à 60 UN
17	2000-2001	Fortin	Jouy 28500	Limon argileux profond		blé	43	23,3	10,9	soisson	Derome 8 6 2 luzerne compost	20-févr 20-févr 20-févr	60 48 60	29,4 22,5 22,7	A B B tém B	10,7 10,9 10,9
18	2001-2002	Fortin	Jouy 28500	limon argileux profond		maïs grain		34,1	9,1	apache	Derome 8 6 2 fientes 183 derome + compost Derome fientes 183 luzerne compost déchets vert derome	tallage 12/03 épis 1cm 12/04 tallage épis 1cm tallage tallage tallage tallage tallage tallage	60 60 60 60 60 60 60 60 60	47,6 44,7 44 41,1 39,7 39,7 37,3 36,8 65,1	A CD B C B CD CDE A	8,9 8,9 8,9 9,3 9,3 9 9,1 9
19	2002-2003	Fortin	Jouy 28500	Limon argileux profond		féverole	80	56,9	10,9	caphom	pois lapin derome	tallage tallage 1 noeud	60 60 30 + 30	60,4 64,5 64,5	A B A tém C	11,2 11,3 11,4
20	2003-2004	Fortin	Jouy 28501	Limon argileux profond		Pois	71	34,6	9,95	caphom	fientes 4% derome 8 6 2 fientes fientes fientes derome + fientes	1 cm 1 cm gonflement gonflement 1 cm + gonf 1 cm + gonf	148 50 74 148 148+148 50+148	38,5 44,4 36,3 41,2 39,4 35,7	non sign non sign non sign non sign non sign non sign	10,15 10,3 9,8 9,9 10,75 10,75
21	2004-2005	Fortin	Jouy 28500	Limon argileux profond		moutarde à graine	38	28,3	10,1	caphom+renan	orgapume orgapume	19/04 2N 19/05 GE	50 50	35,2 29,6	A B tém B	10,5 11,1
22	2005-2006	Baudion	serville 28410	Limon argileux profond		lin	74	40,1	13	renan	farine plume farine plume	11-avr 11-avr	50 100	42,4 39,9	A B tém B	13,3 13,7

Annexe n° 3 : Essais collectés en Loir-et-Cher et Indre-et-Loire.

N°	Année	Agriculteur	Lieu	Type de sol	Facteur limitant	Précédent	RSH	Rendement du témoin	Taux de protéines du témoin	Variété	Produit	Date de l'apport	Dose	Rendement à 60 UN	Résultats statistiques	Taux de protéines à 60 UN
23	2001	Hardiller	St Léonard en Beauce 41370	limons argileux profonds		pomme de terre	66	40,68	11,2	plusieurs (BTP)	plumes hydrolysées	ligule visible (Z39)	70	43,2		12,3
24	2002	Joubert	Betz le château 37600	limons battant profonds		pois	45	31,5	7,1	apache	vinasse 3% vinasse 3% vinasse 3%	18-févr 18-févr 18-févr	27 36 66	30,8 39,1 41,3		8,5
25	2002	Hardiller	St Léonard en Beauce 41370	limons argileux profonds		oignon	57	44	9,7	plusieurs	Soie de porc (14%) Soie de porc (14%)	16/04 (1 noeud)	50	46,8		10,2
26	2003	Joubert	Betz le château 37600	limons battant profonds		?	59	43,6	10	plusieurs	plumes 12,45% vinasse + plumes vinasse 3%	25-mars 15/10 + 25/03 15-oct	50 45 + 50 45	49,5 51,2 50,4		11,1 11,1 10,3
27	2003	Hardiller	St Léonard en Beauce 41370	limons argileux profonds		?	32	35,49		plusieurs	Soie de porc 12,85%	30-avr	70	43,88		
28	2004	Joubert	Betz le château 37600	limons battant profonds	puccerons	trèfle violet	52	39,7	9,6	plusieurs	vinasse vinasse vinasse	16/02 tallage 24/04 fin montaison 16/02 + 24/04	31 31 31 + 31	36,7 35,8 38,5		9,6 9,9 9,9
29	2004	Hardiller	St Léonard en Beauce 41370	limons argileux profonds	puccerons	féveroles	23	38,8	9,25	plusieurs	plumes plumes	11-mai	50	39,1	non sign	9,6
30	2005	Joubert	Betz le château 37600	limons battant profonds		maïs grain	faibles	21,6	9,1	plusieurs	plumes plumes	03 épis 1 cm + 01/04 2N 2 N	30 + 30 60	32,2 26,7		8,8 9,4
31	2005	Hardiller	St Léonard en Beauce 41370	limons argileux profonds	sécheresse	pomme de terre	faibles	29,9	9,33	plusieurs	plumes plumes plumes	03/05 DF DF DF	60 120 120	29,8 29,9		9,36 9,4
32	2006	Joubert	Betz le château 37600	limons battant profonds		Trèfle violet	161	42,7	13,6	plusieurs	plumes plumes	06/05 DF DF	30 60	42,2 43		13,3 13,9
33	2006	Rabier	Josnes 41370	limons argileux profonds		coquelicots	88	39,45	10	plusieurs	plumes plumes	18/04 DF DF	60 120	41 41,275		10,35 10,725
34	2006	Rabier	Josnes 41370	limons argileux profonds	sécheresse	Trèfle violet + Ray grass	88	33,45	10,8	plusieurs	plumes	04/05 DF	60	32,6		10,6

Annexe n° 4 : Essais collectés dans le Cher.

N°	Année	Agriculteur	Lieu	Type de sol	Facteur limitant	Précédent	RSH	Rendement du témoin	Taux de protéines du témoin	Variété	Produit	Date de l'apport	Dose	Rendement à 60 UN	Résultats statistiques	Taux de protéines à 60 UN
35	2004	Savoie GAEC du Coudray	Civray	Argilo-calcaire peu profond	pucerons	pois	on suppose qu'il est correct	22,5	11,8	Renan + Soisson	plumes	08-avr	40	26	B	11,95
											plumes + plumes	01/03 + 08/04	50 + 40	27	B	13
											plumes + plumes + plumes	01/03 + 08/04 + 26/05	50 + 40 + 25	27	B	12,8
											plumes + plumes + vinasse	01/03 + 08/04 + 26/05	50 + 40 + 25	28	AB	13,1
											plumes + plumes + guano	01/03 + 08/04 + 26/05	50 + 40 + 25	26,5	B	13,3
											plumes + plumes + plumes	01/03 + 08/04 + 26/05	50 + 40 + 50	28	AB	13,5
											plumes + plumes + vinasse	01/03 + 08/04 + 26/05	50 + 40 + 50	28,5	AB	13,5
plumes + plumes + guano	01/03 + 08/04 + 26/05	50 + 40 + 50	31,5	A tém C	13,5											
36	2005	Savoie GAEC du Coudray	Civray	Limos francs semi-profond		maïs doux	72	54,31	12,32	renan + aristos	FPI	09/02 (tillage) + 26/04 (2N)	75 + 25	56,9	A	12,5
											Fpl	09/02 + 11/05 (gainie fendue)	75 + 25	54,8	A	12,4
											Fpl	09/02 + 11/05 (gainie fendue)	75 + 50	54,2	A	12,6
											V	09/02 (tillage) + 26/04 (2N)	75 + 25	53,8	A	12,16
											V	09/02 + 11/05 (gainie fendue)	75 + 25	52,3	A	12,45
											V	09/02 + 11/05 (gainie fendue)	75 + 50	52,9	A	12,73
											Derome	09/02 (tillage) + 26/04 (2N)	75 + 25	55,8	A	12,34
											Derome	09/02 + 11/05 (gainie fendue)	75 + 25	56,1	A	12,45
											Derome	09/02 + 11/05 (gainie fendue)	77 + 50	55,9	A	12,83
											Guano	09/02 (tillage) + 26/04 (2N)	75 + 25	56,3	A	12,51
											Guano	09/02 + 11/05 (gainie fendue)	75 + 25	52,2	A	13
											Guano	09/02 + 11/05 (gainie fendue)	78 + 50	57,3	A	12,66
compost DV	09/02 tillage	75	55,2	A tém A	12,2											
37	2006	Savoie GAEC du Coudray	Civray	Limos francs semi-profond		lentille + interculture colza	154	45,8	11,9	renan + atlans	Vinasse	19/05 Gainie fendue	50	43,70	B	12,5
											Vinasse	19/05 Gainie fendue	25	45,10	AB	12,3
											PI	19/05 Gainie fendue	50	46,80	AB	12,2
											PI	04/05 2N	50	48,50	A	12,2
											Vinasse	04/05 2N	50	45,80	AB	12,1
											PI	19/05 Gainie fendue	25	47,30	AB	12
											Derome	19/05 Gainie fendue	50	45,90	AB	12
											PI	04/05 2N	25	47,50	A	2
											Derome	04/05 2N	50	46,20	AB	11,9
											Vinasse	04/05 2N	25	46,10	AB	11,9
Derome	04/05 2N	25	45,10	AB	11,9											
Derome	19/05 Gainie fendue	25	45,40	AB tém AB	11,9											
38	2006	Savoie GAEC du Coudray	Civray	Limos francs semi-profond		lentille + interculture colza	154	41,8	11,8	renan	Comp fumier de dinde	22-déc	60	49,10		12,4
											FPI	22-déc	60	45,30		12,3
											Derome	22-déc	60	49,60		12,4
											Vinasse	22-déc	60	49,00		13
											Derome	22/12 + 17/03	60 + 60	50,90		13,3
											Comp fumier de dinde	17-mars	60	44,90		10,8
											FPI	17-mars	60	46,50		12,9
											Derome	17-mars	60	42,50		11,9
Vinasse	17-mars	60	46,40		11,8											

Annexe n° 5 : Essais collectés dans l'Oise.

N°	Année	Agriculteur	Lieu	Type de sol	Facteur limitant	Précédent	RSH	Rendement du témoin	Taux de protéines du témoin	Variété	Produit	Date de l'apport	Dose	Rendement à 60 UN	Taux de protéines à 60 UN
39	2003	Boutillier	Warluis 60430	limons francs très profond	matricaires	?	35	33,9	10,7	Soissons	vinasse	tillage	125	39,4	10,9
40	2003	ISAB	Beauvais 60000	limons francs très profond		?	30	34,2	9,4	Apache	vinasse	tillage	140	49,7	9,7
41	2004	ISAB	Beauvais 60000	limons francs très profond		féveroles	100	50,7	10,9	Renan	vinasse	tillage(12/04)	64 U	57,6	A
											épi 3cm (15/04)	64 U	55,6	A	
42	2005	EARL du Thilleux	Thieux 60480	limons francs très profond		féveroles	119	57,4	10,6	Renan	vinasse	tillage (23/03)	64	64,4	A
											vinasse	1 N (21/04)	64	62,4	AB
											fientes	tillage (23/03)	70	61,3	B
43	2007	ISAB	Beauvais 60000	limons francs très profond		lin oléagineux	32	45,2	10,4	Pactole	vinasse	29/03 tillage	105	59,2	11
											Derome	29/03 tillage	91	58,3	11,1
											Derome	29/03 tillage	144	50,8	10,77

Annexe n° 6 : Essais collectés dans le Gers.

N°	Année	Agriculteur	Lieu	Type de sol	Facteur limitant	Précédent	RSH	Rendement du témoin	Taux de protéines du témoin	Variété	Produit	Date de l'apport	Dose	Rendement à 60 UN	Taux de protéines à 60 UN
44	1998	La heure	Auch 32000	Argilo-calcaire semi-profond	hydromorphie	Tournesol	20	46,3	?	?	Guano	27-févr 27/02 + 04/05 27/02 + 04/05 + 29/05 27/02 + 04/05 27/02 + 04/05 + 29/05	20 U 20 + 20 20 + 10 + 10 20 + 40 20 + 20 + 20	46,3 53,7 53,2 51,8 56,9	
45	1999	M Batiot	Montamat 32220	Argilo-calcaire semi-profond	Sécheresse	ail	20	29,7	11,1	Renan	Biosol (6 à 9 % N) Biosol Biosol Biosol Guano	28-déc 28/12 + 20/03 28-déc 28/12 + 20/03 20/03 (fin tallage) + 14/05 (DF)	500 kg 250 + 250 1000 kg 500 + 500 kg 30 + 30	31,3 32 32,7 33,8 33,4	10,9 10,9 11,2 11,1 11,2
46	2000	CREAB	Duran 32810	Argilo-calcaire profond	adventices + maladies	Jachère	80	41,3	11	Rapor	farine de plume hydrolysée (Dynaster 10 0 0)	28/02+ 04/05 28/02+ 04/05 28/02+ 04/05 28/02+ 04/05	10 + 10 20 + 20 30 + 30 40 + 40	46,9 46,3 45 46,4	11,4 11,2 11,5 11,9
47	2001	Tremoulet	St Puy 32310	Argilo-calcaire semi-profond		Tournesol	20,2	35,6	8,03	Rapor	farine de plume hydrolysée (Dynaster 10 0 0)	07/03 (tallage) + 28/03 (épis 1 cm) 07/03 + 28/03 07/03 + 28/03	20 + 20 40 + 40 80 + 40	43,9 53 54,8	8,32 7,95 8,32
48	2002	La heure	Auch 32000	Argilo-calcaire semi-profond		Soja	60	41,13	9,6	Arpège	Potazos 10 0 0 (11,4%N)	08/04 (1N) 29/03 (épis 1 cm) 29/03 + 08/04 08/03 (tallage) + 02/04(épis 1 cm) 29/03 (épis 1 cm) + 30/04 (DF)	100,26 U 100,26 100,26+50,13 100,26+50,13 100,26+50,13	49,55 54,75 53,8 55,55 50,75	11,63 11,3 11,52 10,82 11,7
49	2002	La heure	Auch 32000	Argilo-calcaire semi-profond		Soja	60	41,4	9,3	Arpège	Potazos 10 0 0 (11,4%N) Orgalitz 3,5 (2,34%N)	épis 1 cm épis 1 cm	61,3 U 36,7 U	46,4 44,4	10,2 9,4
50	2003	La heure	Auch 32000	Argilo-calcaire semi-profond		Soja	60	18,8	10,5	Arpège	Orgalitz hentes 5,12% Orgalitz hentes 5,12% Potazos plumes 12,83% Potazos plumes 12,83% Vinasse 3,76% Vinasse 3,76%	épis 1 cm épis 1 cm épis 1 cm épis 1 cm épis 1 cm épis 1 cm	40 80 40 80 40 80	25,7 27,65 24,85 26,52 24 26,82	9,2 9,65 10,32 11,175 10,4 11,95
51	2004	La heure	Auch 32000	Argilo-calcaire semi-profond		féveroles	80	33,1	8,75	Renan	Plumes Vinasse Plumes Vinasse Plumes Vinasse	01/04 épis 1 cm 01/04 épis 1 cm 01/04 épis 1 cm 01/04 épis 1 cm 01/04 épis 1 cm 01/04 épis 1 cm	120 120 80 80 40 40	60,5 55,6 49,7 42,2 38,1 28,2	9,4 9,7 9,2 9,4 8,8 8,7
52	2005	La heure	Auch 32000	Argilo-calcaire semi-profond		Féveroles	80	38,7	11,3	Renan	CIPAN moutarde CIPAN VA N74 farine de plume N74CIPAN moutarde N74 CIPAN VA	07-avr 07-avr 07-avr	74 74 74	38,4 44,8 41 33,1 51,3	11,2 12,4 12,6 11,8 13,2
53	2005	La heure	Auch 32000	Argilo-calcaire semi-profond		Soja	60	31,05	10,4	Renan + Caphorn	Plumes Vinasces	07-avr	74 72	40,2 47,35	10,95 10,95

Annexe n° 7: Essais collectés dans la Drôme.

N°	Année	Agriculteur	Lieu	Type de sol	Facteur limitant	Précédent	RSH	Rendement du témoin	Taux de protéines du témoin	Variété	Produit	Date de l'apport	Dose	Rendement à 60 UN	Taux de protéines à 60 UN
54	2004		Montmeyran 26120	Sable argileux		Tournesol	40	33,72	9,8	Cezanne + Orpic + Lona	farine de plume et de volaille 10 3 3 farine de plume et de volaille 10 3 3 farine de plume et de volaille 10 3 3 farine de plume et de volaille 10 3 3 Compost fumier 25 23 19	25/02 tallage 07/04 1-2 N 28/04 montaison 12/03 + 07/04 10/02 pluie de 60 mm de 22/02	80 80 80 40 + 40 170	46,5 52,53 49,71 52,09 63,5	9,36 9,86 10,4 9,56 9,5
55	2005		Montmeyran 26120	Sable argileux		Soja	40	33,7	8,4	Caphorn	Dix 10 3 3 Dix 10 3 3 Dix 10 3 3 Dix 10 3 3 Dix 10 3 3 Dix 10 3 3 Fumier de volaille 20 13 17 Fumier de volaille 20 13 17 + fumier de volaille 15 10 16 Fumier de volaille 20 13 17 + Dix fumier de volaille 15 10 16	23-mars 23/03 + 11/05 06-avr 11-mai 14/04 + 11/05 27-avr 23-mars 23/03 + 14/04 23/03 + 11/05 14-avr	80 40 + 40 80 80 40 + 40 80 160 80 + 60 80 + 40 120	48 48,1 49,1 40,2 50 42,6 58,7 62,6 52 63,9	8,5 9 8,7 9,5 9,3 9,9 8,7 9,1 9,1 9,5

Annexe n° 8 : Situations testant une dose de 60 UN/ha.

Numéro	Année	Agriculteur	Classe de potentiel	Produit	Précédent	Variété	Témoin	60 unités	Gain en q	gain q/U	Efficacité sur le rendement	Taux de protéines témoin	Taux de protéines 60	Gain taux de protéines	Efficacité sur le taux de protéines	RSH	Facteurs Limitants	Capacité de valorisation	Efficacité sur le rendement	Efficacité sur le taux de protéines
1	94-95	JFR	2	Guano	Trèfle	Renan	19,4	21,8	2,4	0,04	0<x<0,05	11,2	11,8	0,6	0,55<x<0,8	29	Travail du sol	0	0	(+)
2	94-95	JFR	2	Farine de sg	Trèfle	Renan	19,4	19,5	0,1	0,00	0<x<0,05	11,2	11,7	0,5	0<x<0,55	29	Travail du sol	0	0	0
3	95-96	JFR	2	Guano	PdT	Renan	66,7	76,4	9,7	0,16	>0,15	10,5	11,7	1,2	>1	73		2	(+++)	(+++)
4	95-96	JFR	2	Guano	PdT	Renan	66,7	72,9	6,2	0,10	0,1<x<0,15	10,5	11,6	1,1	>1	73		2	(++)	(+++)
5	96-97	JFR	2	Guano 11-6-2	Féverole	Renan	44,6	52	7,4	0,12	0,1<x<0,15	9,85	10	0,15	0<x<0,55	76		2	(++)	0
6	96-97	JFR	2	vinasses	Féverole	Renan	49,6	57,1	7,5	0,13	0,1<x<0,15	9,85	10,9	1,05	>1	76		2	(++)	(+++)
7	97-98	JFR	2	Guano 11-6-2	PdT	Renan	58,6	57,65	-0,95	-0,02	<0	10,2	10,6	0,4	0<x<0,55	61	Adventices	1	0	0
8	97-98	JFR	2	FdP 8-6-8	PdT	Renan	58,6	59,58	0,98	0,02	0<x<0,05	10,2	10,7	0,5	0<x<0,55	61	Adventices	1	0	(+)
9	99-00	HDO	2	Guano	Betterave	Cézanne	34,01	43,33	9,32	0,16	>0,15	9,15	9	-0,15	<0			2	(+++)	0
10	99-00	HDO	2	vinasses	Betterave	Cézanne	34,01	42,85	8,84	0,15	>0,15	9,15	9,3	0,15	0<x<0,55			2	(+++)	0
11	99-00	HDO	2	Guano	Pois	Cézanne	45,07	48,39	3,32	0,06	0,05<x<0,1	9,45	9,45	0	0<x<0,55			2	(+)	0
12	99-00	HDO	2	vinasses	Pois	Cézanne	45,07	48,03	2,96	0,05	0,05<x<0,1	9,45	9,75	0,3	0<x<0,55			2	(+)	0
13	00-01	PDU	2	Guano 11-6-2	Maïs	Omicar	23,48	29,31	5,83	0,10	0,1<x<0,15	10,9	10,1	-0,8	<0	30	Travail du sol	1	(++)	0
14	01-02	JFR	2	FdP	Féverole	Renan	62,6	68,75	6,15	0,10	0,1<x<0,15	11,6	12,23	0,63	0,55<x<0,8			2	(++)	(+)
15	02-03	MDE	2	FV	Trèfle	Renan	63,9	64,33	0,43	0,01	0<x<0,05	15	15,01	0,01	0<x<0,55			2	0	0
16	02-03	FDB	2	FV	PdT	Renan	26,6	30,66	4,06	0,07	0,05<x<0,1	11,25	11,34	0,09	0<x<0,55			2	(+)	0
17	03-04	JLC	2	FV	Luzerne 2	Renan	55,9	66,2	10,3	0,17	>0,15	11,7	11,83	0,13	0<x<0,55	62		3	(+++)	0
18	03-04	JLC	2	FdP	Luzerne 2	Renan	55,9	68,9	13	0,22	>0,15	11,7	12,23	0,53	0<x<0,55	62		3	(+++)	0
19	03-04	HDO	2	Féverole	Féverole	Achat	54	57,7	3,7	0,06	0,05<x<0,1	8,8	9,08	0,28	0<x<0,55	43		2	(+)	0
20	03-04	HDO	2	FdP	Féverole	Achat	54	60,5	6,5	0,11	0,1<x<0,15	8,8	9,25	0,45	0<x<0,55	43		2	(++)	0
21	00-01	Fortin	2	Derome 8 6 2	blé	soisson	23,3	29,4	6,1	0,10	0,1<x<0,15	10,9	10,7	-0,2	<0	47		2	(++)	0
22	01-02	Fortin	2	Derome 8 6 2	Maïs grain	Apache	34,1	47,6	13,5	0,23	>0,15	9,1	8,9	-0,2	<0			2	(+++)	0
23	01-02	Fortin	2	Derome 8 6 2	Maïs grain	Apache	34,1	41,1	7	0,12	0,1<x<0,15	9,1	9,3	0,2	0<x<0,55			2	(++)	0
24	01-02	Fortin	2	Fientes 11,8%	Maïs grain	Apache	34,1	44,7	10,6	0,18	>0,15	9,1	8,9	-0,2	<0			2	(+++)	0
25	01-02	Fortin	2	Fientes 11,8%	Maïs grain	Apache	34,1	39,7	5,6	0,09	0,05<x<0,1	9,1	9,3	0,2	0<x<0,55			2	(+)	0
26	02-03	Fortin	2	Derome 8 6 2	Féverole	Caphorn	56,9	65,1	8,2	0,14	0,1<x<0,15	10,9	11,2	0,3	0<x<0,55	83		2	(++)	0
28	03-04	Fortin	2	Derome 8 6 2	Pois	Caphorn	34,6	44,4	9,8	0,16	>0,15	9,95	10,3	0,35	0<x<0,55	51		2	(+++)	0
31	05-06	Baudion	2	FdP	Lin	Renan	40,1	42,4	2,3	0,04	0<x<0,05	13	13,3	0,3	0<x<0,55	74	Sécheresse	1	0	0
32	01-02	Joubert	2	vinasses	Pois	Apache	34	41,3	7,3	0,12	0,1<x<0,15	8,2	8,8	0,6	0,55<x<0,8	51		2	(++)	(+)
33	01-02	Hardiller	2	soie de porcs 14%	Oignon	Plusieurs	44	46,8	2,8	0,05	0,05<x<0,1	9,7	10,2	0,5	0<x<0,55	59		1	(+)	0
34	02-03	Joubert	2	plumes		Plusieurs	43,6	49,5	5,9	0,10	0,1<x<0,15	10	11,1	1,1	>1	64		2	(++)	(+++)
35	03-04	Hardiller	2	plumes	Féverole	Plusieurs	38,8	39,1	0,3	0,01	0<x<0,05	9,25	9,6	0,35	0<x<0,55	23	Pucerons	0	0	0
36	04-05	Joubert	2	plumes	Maïs grain	Plusieurs	21,6	26,7	5,1	0,09	0,05<x<0,1	9,1	9,4	0,3	0<x<0,55		Sécheresse	1	(+)	0
37	04-05	Hardiller	2	plumes	PdT	Plusieurs	29,9	29,8	-0,1	0,00	0<x<0,05	9,33	9,36	0,03	0<x<0,55		Sécheresse	1	0	0
38	05-06	Rabier	2	plumes	Trèfle violet	Plusieurs	39,45	41	1,55	0,03	0<x<0,05	13,6	13,9	0,3	0<x<0,55	95	Sécheresse + gelée	1	0	0
39	05-06	Rabier	2	plumes	Trèfle violet	Plusieurs	33,45	32,6	-0,85	-0,01	<0	10,8	10,6	-0,2	<0	95	Sécheresse + gelée	1	0	0
40	05-06	GAEC Coudray	2	vinasses	Lentille + Colza	Renan	45,8	43,7	-2,1	-0,03	<0	11,9	12,5	0,6	0,55<x<0,8	154		2	0	0
41	05-06	GAEC Coudray	2	plumes	Lentille + Colza	Renan	45,8	46,8	1	0,02	0<x<0,05	11,9	12,2	0,3	0<x<0,55	154		2	0	0
42	05-06	GAEC Coudray	2	plumes	Lentille + Colza	Renan	45,8	48,5	2,7	0,05	0,05<x<0,1	11,9	12,2	0,3	0<x<0,55	154		2	(+)	0
43	05-06	GAEC Coudray	2	vinasses	Lentille + Colza	Renan	45,8	45,8	0	0,00	0<x<0,05	11,9	12,2	0,3	0<x<0,55	154		2	0	0
44	05-06	GAEC Coudray	2	Derome 8 6 2	Lentille + Colza	Renan	45,8	45,9	0,1	0,00	0<x<0,05	11,9	12	0,1	0<x<0,55	154		2	0	0
45	05-06	GAEC Coudray	2	Derome 8 6 2	Lentille + Colza	Renan	45,8	46,2	0,4	0,01	0<x<0,05	11,9	11,9	0	0<x<0,55	154		2	0	0
46	05-06	GAEC Coudray	2	FdP	Lentille + Colza	Renan	41,8	46,5	4,7	0,08	0,05<x<0,1	11,8	12,9	1,1	>1	154		2	(+)	(+++)
47	05-06	GAEC Coudray	2	Derome 8 6 2	Lentille + Colza	Renan	41,8	42,5	0,7	0,01	0<x<0,05	11,8	11,9	0,1	0<x<0,55	154		2	0	0
48	05-06	GAEC Coudray	2	vinasses	Lentille + Colza	Renan	41,8	46,5	4,7	0,08	0,05<x<0,1	11,8	11,8	0	0<x<0,55	154		2	(+)	0
49	03-04	ISAB	3	vinasses	Féverole	Renan	50,7	57,6	6,9	0,12	0,1<x<0,15	10,9	11,6	0,7	0,55<x<0,8	100		3	(++)	(+)
50	03-04	ISAB	3	vinasses	Féverole	Renan	50,7	55,6	4,9	0,08	0,05<x<0,1	10,9	11,8	0,9	0,8<x<1	100		3	(+)	(++)
51	03-04	ISAB	3	vinasses	Féverole	Renan	50,7	58,1	7,4	0,12	0,1<x<0,15	10,9	12,6	1,7	>1	100		3	(++)	(+++)
52	04-05	EARL Thilleux	3	vinasses	Féverole	Renan	57,4	64,4	7	0,12	0,1<x<0,15	10,6	12	1,4	>1	119		3	(++)	(+++)
53	04-05	EARL Thilleux	3	vinasses	Féverole	Renan	57,4	62,4	5	0,08	0,05<x<0,1	10,6	12,2	1,6	>1	119		3	(+)	(+++)
54	06-07	ISAB	3	vinasses	Lin	Pactole	45,2	51,8	6,6	0,11	0,1<x<0,15	10,4	10,73	0,33	0<x<0,55	32	Pluies exédataires + sécheresse	1	(++)	0
55	01-02	La heure	2	potazos 11,4	Soja	Arpège	41,4	46,4	5	0,08	0,05<x<0,1	9,3	10,2	0,9	0,8<x<1			2	(+)	(++)
56	03-04	La heure	2	plumes	Féverole	Renan	33,1	45,35	12,25	0,20	>0,15	8,75	9,14	0,39	0<x<0,55			2	(+++)	0
57	03-04	La heure	2	vinasses	Féverole	Renan	33,1	39,8	6,7	0,11	0,1<x<0,15	8,75	9,04	0,29	0<x<0,55			2	(++)	0
58	04-05	Montmeyran	2	Dix	Soja	Caphorn	33,7	45,99	12,29	0,20	>15	8,4	8,71	0,31	0<x<0,55	40		2	(+++)	0

Annexe n° 9: Calcul de minéralisation de l'humus d'après le modèle de M. Valé.

Calculs minéralisation de l'azote issu de l'humus du sol														Du 01/02 au 30/06							
Organisme	N° Essai	D Essai	Arg (g.kg ⁻¹)	CaCO3 (g.kg ⁻¹)	pH'eau	Fréq. Colza	K2 Valé (kgNmin.TNtot ⁻¹ .JN ⁻¹)	K2 Classique (kgNmin.TNtot ⁻¹ .JN ⁻¹)	Ntotal (g.kg ⁻¹)	da (g.cm ⁻³)	Vp Valé (kgN.ha ⁻¹ .JN ⁻¹)	Vp Classique (kgN.ha ⁻¹ .JN ⁻¹)	Station METEO	Date Semis	Date RSH	Date Récolte	RU type	Variété	JN	Qté N minéralisée (kgN.ha ⁻¹) du 01/02 au 30/06 Valé	Qté N minéralisée (kgN.ha ⁻¹) du 01/02 au 30/06 Classique
CA28	1	CA28-1	121,0	0,0	7,7	0	0,12	0,16	1,2	1,5	0,65	0,89	2873	27/10/2003	01/02/04	03/08/04	120	Caphorn	81	53	73
ARVALIS 41	2	ARVALIS 41 - 2	201,0	2,0	7,7	0	0,21	0,12	1,2	1,5	1,18	0,68	4198	23/02/2001	28/03/2001	11/08/2001	150	plusieurs (essai variétés)	111	130	75
ARVALIS 41	3	ARVALIS 41 - 3	126,0	8,7	6,8	0	0,11	0,16	1,0	1,5	0,48	0,69	3798	17/10/2001	28/02/2002	20/07/2002	120	Apache	96	46	66
ARVALIS 41	3 bis	ARVALIS 41 - 3 bis	147,0	2,0	7,3	0	0,11	0,15	1,5	1,5	0,72	0,96	4198	05/11/2001	01/02/2002	20/07/2002	150	Apache	108	79	106
ARVALIS 41	4	ARVALIS 41 - 4	131,0	1,0	7,6	0	0,12	0,16	0,8	1,5	0,44	0,57	3798	23/10/2002	17/02/2003	11/07/2003	120	moyenne de plusieurs (essai variétés)	115	50	66
ARVALIS 41	5	ARVALIS 41 - 5	147,0	2,0	7,3	0	0,11	0,15	1,5	1,5	0,72	0,96	4198	25/10/02	17/02/03	11/07/03	150	moyenne de plusieurs (essai variétés)	127	91	122
ARVALIS 41	6	ARVALIS 41 - 6	131,0	0,0	6,7	0	0,1	0,16	0,8	1,5	0,36	0,57	3798	28/10/2003	02/02/2004	27/07/2004	120	moyenne de plusieurs (essai variétés)	94	34	53
ARVALIS 41	7	ARVALIS 41 - 7	264,0	13,0	7,9	0	0,13	0,10	1,4	1,5	0,79	0,61	4198	25/10/2003	02/02/2004	01/09/2004	150	moyenne de plusieurs (essai variétés)	104	82	63
ARVALIS 41	10	ARVALIS 41 - 10	131,0	0,0	6,6	0	0,1	0,16	1,0	1,5	0,44	0,69	3798	08/11/2005	14/02/2006	21/07/2006	120	moyenne de plusieurs (essai variétés)	98	43	68
ARVALIS 41	11	ARVALIS 41 - 11	275,0	0,0	6,9	0	0,07	0,10	1,4	1,5	0,43	0,61	4198	08/11/2005	30/01/2006	24/07/2006	120	moyenne de plusieurs (essai variétés)	92	40	56
CA77	1	CA77 - 1	174,0	305,0	8,2	0	0,21	0,09	1,3	1,5	1,26	0,53	7750	27/10/2003	27/01/2004	28/07/2004	120	Renan	92	116	49
CA77	2	CA77 - 2	158,0	0,0	7,1	0	0,1	0,14	1,5	1,5	0,68	0,95	7700	07/11/2001	28/01/2002	01/08/2002	150	Renan	113	76	108
CA77	3	CA77 - 3	164,0	1,0	7,5	0	0,22	0,14	1,3	1,5	1,29	0,81	7868	10/11/2001	09/09/2001	09/09/2001	150	Ornicar	111	143	90
CA77	4	CA77 - 4	95,0	0,0	6,9	0	0,12	0,19	1,1	1,5	0,59	0,92	7778	24/10/2004	27/01/2005	22/07/2005	100	Pactole	91	54	84
CA77	5	CA77 - 5	245,0	2,0	7	0	0,08	0,11	1,3	1,5	0,48	0,64	7898	15/11/2006	13/02/2007	18/07/2007	120	?	104	50	67
CA77	6	CA77 - 6	152,0	2,0	7,8	0	0,24	0,14	1,4	1,5	1,51	0,91	7700	31/10/1994	28/01/1995	02/08/1995	150	Renan	103	156	94
CA77	7	CA77 - 7	152,0	2,0	7,8	0	0,24	0,14	1,4	1,5	1,51	0,91	7700	24/10/1996	07/02/1996	31/07/1996	150	Renan	99	149	90
CA77	8	CA77 - 8	152,0	2,0	7,8	0	0,24	0,14	1,4	1,5	1,51	0,91	7700	15/11/1996	29/01/1997	28/07/1997	150	Renan	106	160	96
CA77	9	CA77 - 9	152,0	2,0	7,8	0	0,24	0,14	1,4	1,5	1,51	0,91	7700	06/10/1997	06/02/1998	11/08/1998	150	Renan	114	173	104
CA77	10	CA77 - 10	188,0	1,0	7,9	0	0,25	0,13	0,6	1,5	0,71	0,36	9151	02/10/2003	10/02/2004	02/08/2004	150	Achat	103	73	37
CA77	11	CA77 - 11	217,0	66,0	8,3	0	0,2	0,10	1,7	1,5	1,53	0,80	9151	28/02/2002		29/07/2003	150	Renan	115	176	92
CA77	12	CA77 - 12	198,0	269,0	8,5	0	0,22	0,08	2,5	1,5	2,48	0,96	9151	23/10/2007	06/02/2008		150	Renan	111	275	106
CA77	13	CA77 - 13	118,0	2,0	7,8	0	0,12	0,17	1,1	1,5	0,59	0,82	7868	05/11/2007			150	Aristos	116	69	95
CREAB	1	CREAB - 1	293,5	136,8	8,3	0	0,11	0,06	1,3	1,5	0,64	0,44	3252	02/12/1999		19/07/2000	120	Rapor	120	76	53
CREAB	2	CREAB - 2	354,5	299,4	8,5	0	0,11	0,05	1,0	1,5	0,49	0,24	3252	21/11/2001		19/07/2002	120	Arpège	114	56	27
CREAB	3	CREAB - 3	304,8	255,5	8,4	0	0,11	0,06	1,0	1,5	0,49	0,28	3252	20/11/2002		02/07/2003	120	Arpège	140	68	40
CREAB	4	CREAB - 4	292,5	407,6	8,5	0	0,11	0,06	1,0	1,5	0,50	0,25	3252	05/11/2003		14/07/2004	120	Renan	113	56	29
Drôme	1	Drôme - 1	152,2	9,7	9	0	0,26	0,06	0,9	1,5	1,10	0,60	2602	27/10/2003			100	Cezanne+Orpic+Lona	106	116	63
Drôme	2	Drôme - 2	210,2	46,5	8,2	0	0,22	0,11	1,4	1,5	1,43	0,71	2602	30/10/2004			100	Caphorn	115	163	82
Réseau	1	Réseau - 1	262	0	7,7	0	0,12	0,10	1,0	1,5	0,56	0,47	7701	27/10/07		19/07/2008	150	Limon argileux profond	116	65	55
Réseau	2	Réseau - 2	243	3	8,1	0	0,15	0,11	2,5	1,5	1,70	1,21	7701	27/10/07		19/07/2008	150	Limon argileux profond	116	197	141
Réseau	3	Réseau - 3	144	1	7,9	0	0,21	0,15	1,3	1,5	1,24	0,86	7701	27/10/07		19/07/2008	150	Limon argileux profond	116	144	100
Réseau	4	Réseau - 4	161	0	6,4	0	0,09	0,14	1,0	1,5	0,38	0,61	7701	27/10/07		19/07/2008	150	Limon argileux profond	116	44	71
Réseau	5	Réseau - 5	138	0	7,4	0	0,11	0,15	1,0	1,5	0,51	0,71	7701	27/10/07		19/07/2008	150	Limon battant	116	59	83
Réseau	6	Réseau - 6	157	4	8,1	0	0,27	0,14	1,0	1,5	1,23	0,66	7701	25/10/07		24/07/2008	150	Limon argileux profond	116	143	76
Réseau	7	Réseau - 7	157	4	6,7	0	0,09	0,14	1,0	1,5	0,41	0,66	7701	25/10/07		24/07/2008	150	Limon argileux profond	116	48	76
Réseau	8	Réseau - 8	149	317	8,2	0	0,13	0,10	1,6	1,5	0,93	0,71	7701	25/10/07		22/07/2008	120	limon calcaire semi-profond sur calcaire	98	91	70
Réseau	9	Réseau - 9	188	1	7,9	0	0,25	0,13	0,6	1,5	0,70	0,36	7701	26/10/07		19/07/2008	150	Limons battants profonds	116	81	42
Réseau	10	Réseau - 10	191	3	7,8	0	0,23	0,13	1,4	1,5	1,43	0,76	9151	07/11/07		28/07/2008	100	limons argileux peu profond sur calcaire	82	117	63
Réseau	11	Réseau - 11	118	2	7,8	0	0,12	0,17	1,1	1,5	0,59	0,82	7898	04/11/07		31/07/2008	150	limon battant profond	108	64	89
Réseau	12	Réseau - 12	200	30	8,1	0	0,24	0,12	0,8	1,5	0,84	0,41	9170	25/10/07		19/07/2008	150	Limon battant profond	110	93	46
Réseau	13	Réseau - 13	157	0	9	0	0,26	0,14	1,1	1,5	1,35	0,73	2754	07/11/07		31/07/2008	150	Limon battant	104	141	77
Réseau	14	Réseau - 14	296	3	7,4	0	0,10	0,09	1,7	1,5	0,73	0,70	4165	25/10/07		22/07/2008	120	limon argileux	97	71	68
Réseau	15	Réseau - 15	217	66	8,3	0	0,20	0,10	1,7	1,5	1,50	0,80	9151	25/10/07		21/07/2008	150	Limon argileux profond	111	166	89

Annexe n° 10: Essais sans facteurs limitants permettant de comparer les différents calculs de fournitures du sol en Azote.

Année	Agriculteur	Type de sol	Classe de potentiel	Minéralisation selon M.Valé	Minéralisation selon la méthode du bilan	Minéralisation indiquée par la plaquette CA77	Azote déjà absorbé	Précédent	Effet précédent	RSH	Rendement du témoin	Taux de protéines du témoin	Rendement * Taux de protéines	Azote absorbé	Fourniture du sol selon la Méthode de M. Valé	Fourniture du sol selon la Méthode du bilan	Fourniture du sol selon la plaquette de la CA77
2001-2002	Hardiller	limon argileux profond	2	79	105	40	20	oignon	0	59	44	9,7	426,8	108	158	184	119
2003-2004	Joubert	limon battant profond	2	34	53	40	20	trèfle violet	30	57	39,7	9,6	381,12	96	141	160	147
2003-2004	JLC	limon calcaire semi-profond	2	116	49	40	20	Luzerne 2	30	62	55,9	11,7	654,03	168	228	161	152
2001-2002	JFR	limon battant profond	2	176	92	40	20	Féveroles	30	58	62,6	11,6	726,16	186	284	200	148
2004-2005	OVI	limon sableux (Sable Sain)	2	54	84	25	20	Féveroles	30	80	42,9	12,45	534,105	136	184	214	155
1995-1996	JFR	limon battant profond	2	149	90	40	20	PdT	20	73	66,7	10,5	700,35	180	262	203	153
1997-1998	JFR	limon battant profond	2	160	96	40	20	PdT	20	61	58,6	10,2	597,72	153	261	197	141
2003-2004	HDO	limon argileux profond	2	73	37	40	20	Féveroles	30	43	54	8,8	475,2	121	166	130	133
2007-2008	DBI	limon battant	3	69	95	40	20	féveroles	30	144	70,7	9,7	685,79	176	263	289	234
2007-2008	DCO 1	limon argileux profond	2	65	55	40	20	luzerne	30	130	69,6	10,8	751,68	193	245	235	220
2007-2008	DCO 4	limon argileux profond	2	44	71	40	20	féveroles	30	114	40,5	11,4	461,7	117	208	235	204
2007-2008	DCO 5	limon argileux profond	2	59	83	40	20	lin	0	114	38,44	11,8	453,592	115	193	217	174
2007-2008	DBI ilot 3	limon battant profond	3	64	89	40	10	trèfle	30	229	68,64	13	892,32	230	333	358	309

Annexe n° 11 : Calcul du coefficient B0.

Années	Agriculteur	Type de sol	Variété	Minéralisation selon M.Valé	Azote déjà absorbé	Précédent	Effet précédent	RSH	Classe RSH	Rendement du témoin	Taux de protéines du témoin	Azote absorbé	Fourniture du sol selon la Méthode de M. Valé	% d'absorption selon la Méthode M.Valé	Coef b0
1994-1995	JFR	Limon battant profond	Renan	156	20	Trèfle	30	33	1	19,4	11,2	54	239	22	2,77
1995-1996	JFR	Limon battant profond	Renan	149	20	PdT	20	73	2	66,7	10,5	180	262	69	2,69
1996-1997	JFR	Limon battant profond	Renan	173	10	Féveroles	30	76	2	44,6	9,85	112	289	39	2,50
1997-1998	JFR	Limon battant profond	Renan	160	20	PdT	20	61	2	58,6	10,2	153	261	59	2,61
2000-2001	PDU	Limon argileux profond	Omicar	143	20	mais	0	30	1	23,5	10,9	64	193	33	2,72
2001-2002	JFR	Limon battant profond	Renan	176	20	Féveroles	30	58	2	62,6	11,6	186	284	66	2,98
2003-2004	JLC	Limon calcaire semi-profond	Renan	116	20	Luzerne 2	30	62	2	55,9	11,7	168	228	74	3,00
2003-2004	HDO	Limon argileux profond	Achat	73	20	Féveroles	30	43	1	54	8,8	121	166	73	2,24
2004-2005	OVI	Limon sableux (Sable Sain limoneux)	Pactole-Runal	54	20	Féveroles	30	80	3	42,9	12,45	136	184	74	3,18
2007-2008	MDE	Limon argileux profond	Renan	275	20	trèfle	30	90	3	37,9	12,27	118	415	29	3,12
2007-2008	DBI	Limon battant profond	Aristos	69	20	féveroles	30	144	4	70,7	9,7	176	263	67	2,49
2003-2004	Auger	Limon argileux profond	Caphorn	53	10	Pois	20	71	2	34,6	9,95	87	154	56	2,51
2000-2001	Hardiller	limon argileux profond	Plusieurs	130	20	pomme de terre	20	66	2	40,68	11,2	116	236	49	2,85
2001-2002	Joubert	limons battant profonds	Renan	46	20	pois	20	45	2	23,2	9,3	53	131	41	2,30
2001-2002	Hardiller	limon argileux profond	Plusieurs	79	20	oignon	0	59	2	44	9,7	108	158	69	2,46
2003-2004	Joubert	limon battant profond	Plusieurs	34	20	trèfle violet	30	57	2	39,7	9,6	96	141	68	2,43
2003-2004	Hardiller	limon argileux profond	Plusieurs	91	20	féveroles	30	23	1	38,8	9,25	91	164	55	2,34
2005-2006	Joubert	limon battant profond	Plusieurs	43	20	Trèfle violet	30	161	4	42,7	13,6	149	254	58	3,48
2005-2006	Rabier	limons argileux profonds	Plusieurs	40	20	Trèfle violet	30	88	3	39,45	10	100	178	56	2,53
2005-2006	Rabier	limons argileux profonds	Plusieurs	40	20	Trèfle violet + Ray grass	30	88	3	33,45	10,8	91	178	51	2,73
2003-2004	drôme	Limons argileux semi-profond	Cezanne	116	20	Tournesol	0	40	1	33,72	9,8	83	176	47	2,47
2004-2005	drôme	Limons argileux semi-profond	Caphorn	163	20	Soja	20	40	1	33,7	8,4	71	243	29	2,10
2007-2008	DCO 1	limon argileux profond	Atlas	65	20	luzerne	30	130	4	69,6	10,8	193	245	79	2,77
2007-2008	HDO 1	limon battant profond	Renan	81	20	blé	0	68	2	28	11,2	79	169	47	2,81
2007-2008	HDO 2	limon battant profond	Renan	81	20	blé	0	93	3	35	10,8	96	194	49	2,73
2007-2008	JLC	LCap/c	Renan	91	10	pois	20	100	3	30,3	13	100	221	45	3,29
2007-2008	MDE Renan	limon argileux profond	Renan	166	20	trèfle	30	142	4	27,8	9,2	64	358	18	2,29
2007-2008	FCH	limon battant profond	Renan	93	30	trèfle	30	165	4	55,4	12,1	172	318	54	3,10
2007-2008	DCO 2	limon battant profond	Atlas	197	20	féveroles	30	89	3	49,2	10,6	133	336	40	2,70
2007-2008	DBI ilot 3	limon battant profond	Renan	64	10	trèfle	30	229	4	68,64	13	230	333	69	3,35
2007-2008	DCO 3	limon battant profond	Talis	144	20	luzerne	30	120	4	45,8	12,1	142	314	45	3,09
2007-2008	DCO 4	limon argileux profond	Ataro	44	20	féveroles	30	114	3	40,5	11,4	117	208	56	2,90
2007-2008	DCO 5	limon argileux profond	Ataro	59	20	lin	0	114	3	38,44	11,8	115	193	60	3,00
2007-2008	Rabier	limon argileux profond	Plusieurs	71	20	luzerne	30	194	4	52	12,65	169	315	54	3,24

2,76
0,35 Moyenne
Ecart-Type

Annexe n° 12 : Moyenne de la minéralisation de l'humus par type de sol.

Type de sol	Agri	Moyenne de Qté N minéralisée (kgN.ha-1) du 01/02 au 30/06 Valé
Argilo-calcaire sp		
	CREAB 2000	76,13219569
	CREAB 2002	55,52316334
	CREAB 2003	68,35129092
	CREAB 2004	56,09159209
Total Argilo-calcaire sp		64,02456051
Limon argileux profond		
	DCO champs de la pierre	64,62481156
	Hardiller 2001	130,2955085
	Hardiller 2002	78,88910388
	Hardiller 2003	91,39895805
	Hardiller 2004	82,21893902
	HDO 2004	73,36288395
	JMB parc 1	143,2400799
	MDE 2003	175,5470621
	MDE renan	166,4321827
	PDU 2001	143,2111446
	rabier	71,39397278
	RGO Droite 2	117,2669247
Total Limon argileux profond		111,490131
Limon battant profond		
	DBI 2008	68,98254536
	DBI ilot 3	64,10482468
	DCO Champ Robin	196,9271471
	DCO clos D	143,8037988
	FCH	92,62728672
	FDB lainé1	141,075136
	HDO Grand champ	81,11714077
	JFR 1995	155,6720284
	JFR 1996	149,4481037
	JFR 1997	159,9521705
	JFR 1998	172,764378
	JFR 2002	76,10499173
	JMB parc 2	47,91280707
	Joubert 2002	45,98295976
	Joubert 2003	50,38003043
	Joubert 2004	33,96244515
	Joubert 2006	43,23791972
Total Limon battant profond		101,415042
Limon calcaire tp		
	JLC 2004	115,7961723
	JLC Les près	91,01905703
Total Limon calcaire tp		103,4076147
Limon sableux		
	Auger	53,14578734
	OVI 2005	54,1794219
Total Limon sableux		53,66260462
Sable argileux		
	Drome 2004	115,7293859
	Drome 2005	163,4893725
Total Sable argileux		139,6093792
Total		100,2921724



BILLY, Lise, promotion 2005/2008, Mise en place d'un outil de gestion de l'azote pour le blé tendre en système de grandes cultures biologiques en zone Centre, ITAB et Chambre d'Agriculture de Seine-et-Marne, 38 pages, Mémoire de fin d'études, ENITA de Clermont-Ferrand, 2008.

STRUCTURE D'ACCUEIL ET INSTITUTIONS ASSOCIEES:

- ◆ Institut Technique de l'Agriculture Biologique
- ◆ Chambre d'Agriculture de Seine-et-Marne

ENCADRANTS :

- ◆ Maître de stage : GLACHANT, Charlotte (Conseillère en grandes cultures biologiques à la Chambre d'Agriculture de Seine-et-Marne).
- ◆ Tuteur pédagogique : VASSAL, Nathalie (Responsable de la formation Agronomie, Productions Végétales et Environnement et Maître de conférence à l'ENITA de Clermont-Ferrand)

OPTION : Agronomie, Productions Végétales et Environnement.

RESUMÉ

Ce stage s'inscrit le cadre du programme ONIGC « Demain le bio en grande culture dans la zone Centre ». Il a pour objectif de mettre au point un outil de gestion de l'azote en blé biologique fiable et facilement utilisable. En effet, d'importantes interrogations se posent quant à l'utilisation des engrais organiques au printemps qui sont souvent apportés systématiquement et sont de plus en plus chers. Cette étude a permis de mieux appréhender leur efficacité (selon le type de produit et la date d'apport). Les situations les plus favorables à l'efficacité agronomique et économique d'une dose de 60 UN/ha au tallage de ces produits ont ensuite été caractérisées. Cette étude a mis en évidence l'impact du type de sol, des facteurs limitants et du RSH sur l'efficacité de ces engrais. Dans la plupart des cas, ces engrais organiques ne sont pas rentables.

Ainsi, une meilleure connaissance du rendement réalisable sans apport suivant la situation de la parcelle permettrait d'aider au choix de fertiliser ou non. Une méthode permettant d'établir un rendement prévisionnel en blé biologique a donc été mise au point. Pour cela, les fournitures du sol ont été estimées de manière plus fiable grâce à un nouveau modèle estimant la minéralisation de l'humus. La comparaison avec l'azote absorbé a permis d'estimer la valorisation de l'azote par la plante en fonction des facteurs limitants. Un coefficient de besoin en azote du blé biologique a ensuite été estimé afin d'en déduire un prévisionnel de rendement.

La connaissance du rendement potentiel de la parcelle ainsi que de l'efficacité estimée de 60 UN/ha au tallage permettent de mieux raisonner la fertilisation et ainsi favoriser des systèmes rentables et durables.

Mots clés : Blé tendre biologique, fertilisation azotée, efficacité agronomique, rentabilité, rendement prévisionnel, facteurs limitants, fournitures du sol, capacité d'absorption.

Avec le soutien financier de l'ONIGC :

