



MEMOIRE

Présenté par : Lorraine SOULIE

DAA / MASTER : Agronomie - Environnement

Sujet :

LE DISPOSITIF DE LA MOTTE : ROTATION ET FERTILITE DU MILIEU EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE SANS ELEVAGE

ETUDE LA DYNAMIQUE DE L'AZOTE EN CONDITIONS LIMITANTES PROPOSITION ET TEST D'ADAPTATIONS DE LA ROTATION

**Pour l'obtention du DIPLÔME D'INGENIEUR AGRONOME
de l'institut national agronomique Paris-Grignon**

Enseignant-Responsable du stage : Jean ROGER - ESTRADE
Maître du stage : Philippe VIAUX

Soutenu le : 6 décembre 2006

Remerciements

Ces deux années passées à la Ferme de la Bergerie ont été source de multiples rencontres et échanges. Tout autant que le stage en lui-même, ces rencontres m'ont permis d'acquérir un regard nouveau sur le monde l'agriculture, sur les objectifs de la recherche agronomique, ainsi que sur les enjeux de l'agriculture biologique. Je remercie donc chaleureusement tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à cet apprentissage.

Merci à Philippe Viaux et à Claude Aubert qui m'ont fait comprendre les enjeux de ce projet, et qui m'ont accompagné dans l'élaboration de ce rapport.

Merci à Jean Roger-Estrade et Muriel Valentin Morison pour leurs conseils éclairés.

Merci à tous ceux qui ont répondu favorablement aux invitations de la ferme, et qui ont permis de faire avancer le débat par leurs questions, leurs remarques, mais aussi leurs critiques.

Merci au personnel de la ferme, d'hier et d'aujourd'hui pour leur présence et leurs encouragements. Merci et bravo d'avoir construit ce fabuleux fermenteur d'idées neuves, où l'imagination est un devoir.

Et puis en vrac...

Merci à Olivier d'avoir répondu à mes deux ans de questions,

Merci à Guy, Manu et Franck de ne pas avoir (trop) ri quand je manœuvrais les remorques,

Merci à Stan pour son aide pour mes premiers trous de prélèvements de terre,

Merci à Philippe et à Natacha pour leur vocation à changer le monde et pour leur porte toujours ouverte

Merci à Matthieu pour ses discussions qui dépassaient (de loin !) le cadre agricole

Merci aussi à Patrice, Marion, Isabelle qui continuent jour après jour à construire ce lieu d'exception.

Sommaire

Remerciements	2
Sommaire	3
Table des figures	4
Avant propos	5
Introduction	6
Chapitre 1 : Problématique et objectifs	7
I. Le thème de l'étude et son contexte	8
II. Objectif de l'étude	10
III. La démarche adoptée	11
Chapitre 2 : Diagnostic agronomique	13
I. Matériel et méthode	14
II. Résultats	21
III. Interprétation	31
IV. Conclusion : quels sont les facteurs limitant la production sur les parcelles étudiées ?	37
Chapitre 3 : Comprendre la dynamique de l'azote dans la rotation et tester des adaptations techniques	38
I. Objectifs	39
II. Choix du modèle Stics©	39
III. Les prédictions du modèle correspondent t'elles aux résultats réels ?	41
IV. Comment fonctionne la dynamique de l'azote dans la rotation ?	44
V. Quelles adaptations du système envisager ?	49
Chapitre 4 : Test économique des scénarii envisageables	54
I. Objectif	55
II. Description des scénarii testés	55
III. Les résultats économiques	57
Conclusion	58
Bibliographie	59
Annexes	61
Summary	71
Résumé	72

Table des figures

Figure 1 : Système de polyculture – élevage et fertilité du milieu	9
Figure 2 : Démarche du diagnostic agronomique	12
Figure 3 : Assolement 2005-2006 du dispositif de la Motte	14
Figure 4 : Entrées et sorties de la simulation	40
Graphique 1 : Composantes du rendement	22
Graphique 2 : Poids de mille grains (PMG) et nombre de grains	23
Graphique 3 : Diagramme ombro-thermique	24
Graphique 4 : Rayonnement global	24
Graphique 5 : Orifices de vers de terre sur le fond de labour	25
Graphique 6 : Densité de chardons à la récolte	28
Graphique 7 : Pression de septoriose à montaison et épiaison	28
Graphique 8 : Pression de piétin verse à épiaison et au remplissage	29
Graphique 9 : Populations de pucerons sur les parcelles M3 et M8 au stade pâteux	29
Graphique 10 : Reliquats azotés 2005 – 2006	30
Graphique 11 : Quantité d'azote absorbée à floraison et répartition de l'azote à la récolte	30
Graphique 12 : hauteur du blé par placette	32
Graphique 13 : Biomasse à floraison en fonction de la biomasse adventice	33
Graphique 14 : Effet du piétin sur le PMG	34
Graphique 15 : Effet du stress azoté à floraison sur le nombre de grains	35
Graphique 16 : Biais observé sur la biomasse et l'indice de nutrition azotée	42
Graphique 17 : Ecart entre la biomasse observée et simulée à floraison en fonction de la pression adventice	43
Graphique 18 : Bilan d'azote sur les parcelles en céréales	45
Graphique 19 : Effet du précédent sur la date d'apparition du stress azoté (2006)	46
Graphique 20 : Importance de la carence et taux de protéines	47
Graphique 21 : Perte cumulée d'azote sous les parcelles de blé	48
Graphique 22 : Concentration moyenne en nitrate des eaux de drainage sous les parcelles de blé (2006)	48
Graphique 23 : Biomasse aérienne et stress azoté suivant la date de semis (blé de luzerne)	51
Graphique 24 : Simulation des résultats de récolte avec apport de fertilisant ou d'amendement	52
Graphique 25 : Résultats économiques des différentes modalités	57
Tableau 1 : Analyses de base des sols de la Motte (parcelles en blé en 2005-2006)	16
Tableau 2 : Exemple d'une règle de décision sur les parcelles de la Motte	19
Tableau 3 : Mesures et observations réalisées sur le dispositif	20
Tableau 4 : Itinéraire technique 2005 - 2006 sur les parcelles de blé	21
Tableau 5 : Stades de développement	22
Tableau 6 : Qualité de la récolte 2006	23
Tableau 7 : Description des profils	26
Tableau 8 : Densité des principales adventices	27
Tableau 9 : Facteurs limitants liés à la structure du sol	32
Tableau 10 : Facteurs limitants liés à la pression adventice	33
Tableau 11 : Facteurs limitants liés à la pression de maladies	34
Tableau 12 : Facteurs limitants liés au stress azoté	35
Tableau 13 : Hiérarchisation des facteurs limitants sur les parcelles de blé (2006)	37
Encart 1 : Terminologie utilisée pour l'échantillonnage	15

Avant propos

Ce stage, réalisé pour Arvalis-Institut du Végétal [27] s'inscrit dans le cadre d'un contrat d'apprentissage. Ce mémoire de fin d'études se place donc dans la continuité du travail réalisé durant l'année 2005 [24]. Grâce à ces modalités particulières, les données acquises lors de l'année 2005 ont pu être valorisées dans ce mémoire.

Ce stage s'est déroulé « en immersion », dans une exploitation agricole située au cœur du Parc Naturel Régional du Vexin Français : la Ferme de la Bergerie. Ce lieu est original à plus d'un titre. Historiquement, cette ferme appartient au domaine de Villarceaux, vaste domaine datant du XIII^{ème} siècle, qui abrita les réjouissances d'une partie de la noblesse de l'Ancien Régime. Plus récemment, le domaine a été acquis par une fondation de droit suisse, la Fondation Charles Léopold Mayer pour le Progrès de l'Homme [15]. La fondation a permis la réalisation d'investissements de grande ampleur : la réintroduction de l'élevage (2000), le redécoupage du parcellaire et la plantation de haies, ainsi que la conversion à l'agriculture biologique (2001).

Prise en main par une équipe composée d'ingénieurs agronomes, d'ouvriers agricoles connaissant les terres de longue date, et de personnes impliquées dans le développement de l'agriculture biologique, la ferme a tissé un réseau et a développé des activités diverses : insertion professionnelle, création d'une coopérative de consommateurs, accueil de groupe, partenariat avec la recherche agronomique. Sur ce dernier point, la ferme entretient des relations privilégiées avec plusieurs organismes de recherche. En effet, lors de la conversion à l'agriculture biologique, les responsables de la ferme ont fait appel à l'expertise de plusieurs chercheurs ayant travaillé sur des stratégies innovantes pour une agriculture plus respectueuse de l'environnement. Par la suite, ces partenariats ont fructifié, en permettant, par exemple, la mise en place d'essais, notamment avec Arvalis-Institut du Végétal.

Aujourd'hui, les activités de la ferme évoluent sous la contrainte budgétaire. L'activité agricole s'est séparée de la Fondation et doit dégager ses propres revenus. Par ailleurs, le lieu va prendre un nouveau visage, et a l'ambition de devenir un « écosite », c'est-à-dire un lieu de démonstration sur les thèmes de l'habitat écologique, des énergies renouvelables et des ressources naturelles, ainsi que de l'intégration paysagère.

Cette ferme reste donc un lieu ouvert et propice aux rencontres, qui se confronte aux réalités du monde moderne. C'est un lieu d'apprentissage permanent, aussi bien sur le plan professionnel qu'intellectuel et humain.

Introduction

« L'élevage ? Trop de travail ! L'année prochaine, j'arrête. »

« Le bio ? Quand je vois les problèmes qu'on a, même en utilisant des pesticides, je me dis que l'agriculture bio, c'est pas possible. »

« L'agriculture bio ? Avec du fumier, encore, on peut s'en sortir. Mais, je ne vais quand même pas reprendre un élevage, juste pour ça ! »

A entendre ces paroles, on peut penser que se lancer dans l'agriculture biologique sans avoir d'activité d'élevage est bien plus qu'un défi ! C'est pourtant bien dans cette optique que l'essai de la Motte a débuté. L'origine de la réflexion réside notamment dans les constatations suivantes : l'agriculture biologique française ne parvient pas à satisfaire l'ampleur des demandes des consommateurs, l'élevage s'intensifie dans certaines régions et disparaît dans d'autres, la viande biologique trouve moins de débouchés, et génère moins de marges, etc. Pour autant, supprimer l'activité d'élevage d'une exploitation n'est pas une décision anodine. Le cycle des éléments dans le système est modifié, les prairies et les cultures fourragères ne trouvent plus de débouchés en auto-consommation, les pratiques et en particulier les rotations sont à repenser. Le système complexe de l'exploitation est à reconstruire.

Cet essai se propose donc de tester une solution parmi d'autres pour faire face à ce défi. Est-il possible de proposer un système de polyculture pure, en agriculture biologique, capable de maintenir voire d'améliorer la fertilité du milieu ?

Les fervents défenseurs de l'élevage seront peut être surpris par cette vision des choses. Cependant, il apparaît que l'élevage puisse être remis en cause dans certaines conditions. L'élevage, et plus particulièrement l'élevage bovin, est souvent critiqué pour le gaspillage d'énergie qu'il entraîne (la création d'une calorie de viande nécessite la consommation de sept calories végétales en moyenne). Cela dit, les animaux permettent de valoriser les prairies, mais il apparaît que les pâturages sont souvent des terres cultivables (sauf dans les régions de montagne). Les prochaines années pourront par ailleurs entraîner des concurrences vis-à-vis des terres arables. Augmentation de la population, production de biomasse énergétique, etc, les terres vont devenir de plus en plus convoitées. Et les menaces vis-à-vis de la fertilité se feront de plus en plus marquée : baisse de la matière organique, baisse de la fertilité, érosion, manque d'eau, pollution, biodiversité, etc.

Ce travail a pour objectif d'évaluer le système quatre ans après sa mise en place. Il met donc en œuvre des observations de terrain, ainsi que l'expertise sollicitée auprès d'agronomes et d'agriculteurs. Ce travail se veut aussi être une passerelle avec d'autres essais portant sur les systèmes de culture. C'est pourquoi nous avons décidé d'utiliser des outils développés en agriculture conventionnelle et encore peu valorisé par la recherche en bio. Des logiciels de simulation sont disponibles et permettent d'évaluer les systèmes de culture par différentes approches. Nous utiliserons donc cet outil pour proposer des adaptations possibles du dispositif.

Chapitre 1 : Problématique et objectifs

I.	<i>Le thème de l'étude et son contexte</i>	8
A.	L'agriculture biologique	8
1.	Principes fondateurs	8
2.	Situation de l'agriculture biologique en France	8
B.	L'agriculture sans bétail : une contrainte supplémentaire	8
1.	Les freins au développement de l'élevage biologique	8
2.	Les conséquences agronomiques	8
C.	Production, rentabilité et fertilité	9
D.	La nécessité de repenser les rotations	10
II.	<i>Objectif de l'étude</i>	10
A.	Tester un système de culture en conditions réelles	10
B.	Evaluer un système de culture	10
C.	Améliorer un système de culture	11
III.	<i>La démarche adoptée</i>	11
A.	La démarche générale de l'essai	11
B.	La démarche mise en œuvre cette année	11

Est-t-il possible de construire un système de culture autonome en agriculture biologique sans élevage, qui maintienne intacte la fertilité du milieu ?

I. Le thème de l'étude et son contexte

A. L'agriculture biologique

1. Principes fondateurs

L'agriculture biologique vise à produire des denrées, alimentaires ou non (fibres, matériaux, etc.), de haute qualité, en respectant les cycles naturels des éléments et des organismes vivants [33]. Elle se distingue de l'agriculture dite conventionnelle, entre autres par la non-utilisation d'intrants de synthèse (fertilisants, produits phytosanitaires). La production biologique se heurte donc à des conditions très limitantes.

Cependant, toute une panoplie de solutions alternatives est disponible pour permettre de produire, avec un impératif de viabilité économique. La modification des rotations, l'utilisation de plantes présentant des caractères de résistance, ou encore la préservation des auxiliaires des cultures, ne sont que quelques exemples permettant de s'affranchir de l'usage des pesticides. Concernant la fertilisation des cultures, le maintien de l'activité d'élevage permet de produire du fumier, et d'introduire des prairies temporaires dans la rotation. L'agriculture biologique incite à remettre en œuvre des savoirs fondés sur la compréhension des cycles naturels.

2. Situation de l'agriculture biologique en France

L'agriculture biologique n'est pas nouvelle dans le paysage français. Cependant, le développement progressif de la consommation la remet au goût du jour. Il demeure pourtant que les agriculteurs français hésitent encore à franchir le pas de la conversion. En effet, les mesures incitatives à la conversion restent timides dans notre pays. En conséquence, la France n'est pas autosuffisante dans la production biologique [26].

B. L'agriculture sans bétail : une contrainte supplémentaire

1. Les freins au développement de l'élevage biologique

L'agriculture s'est progressivement spécialisée. L'exemple de la France est frappant avec la délimitation de bassins de productions (production laitière concentrée sur la façade Ouest, plaines de bassin parisien consacrées aux grandes cultures, production maraîchères dans le sud). Dans ce cadre, les productions se sont intensifiées dans les zones où elles sont les plus rentables. En conséquence, les infrastructures liées à l'activité d'élevage disparaissent des zones de grande culture (fermeture d'abattoirs en particulier). Il est donc difficile pour les agriculteurs ayant cessé cette activité de revenir à un système mixte.

D'autre part, la production de viande biologique se heurte à des coûts de production importants. Il est nécessaire de consacrer une grande partie de la surface à l'alimentation du bétail (prairies, céréales ou fourrages). De plus, la vente d'animaux « finis » (agés de trois ans au moins) engendre des coûts supplémentaires. Enfin, la demande en viande biologique est limitée. En effet, son prix de vente est élevé et les consommateurs « bio » font preuve d'un intérêt limité vis-à-vis des produits carnés.

2. Les conséquences agronomiques

L'association des activités d'élevage et de culture sur un parcellaire permet des échanges entre les deux pôles (Figure 1). Dans le cas de l'agriculture biologique, le maintien de l'activité d'élevage est un recours quasi nécessaire afin de s'affranchir des fertilisants minéraux ou des herbicides. En effet, l'introduction de prairies permet la régénération des sols (apport de matières organiques, stimulation de la vie du sol), et limite la pression

adventice. Par ailleurs, le cheptel fournit également des matières organiques qui sont valorisées.

Dans notre cas, la construction d'un système biologique sans élevage implique donc un certain nombre de contraintes. En premier lieu, cela nécessite de privilégier les cultures à destination de l'alimentation humaine, et de réduire les surfaces fourragères. Par ailleurs, l'apport de matières organiques d'origine animale étant proscrit, la gestion des résidus de récolte est à analyser.

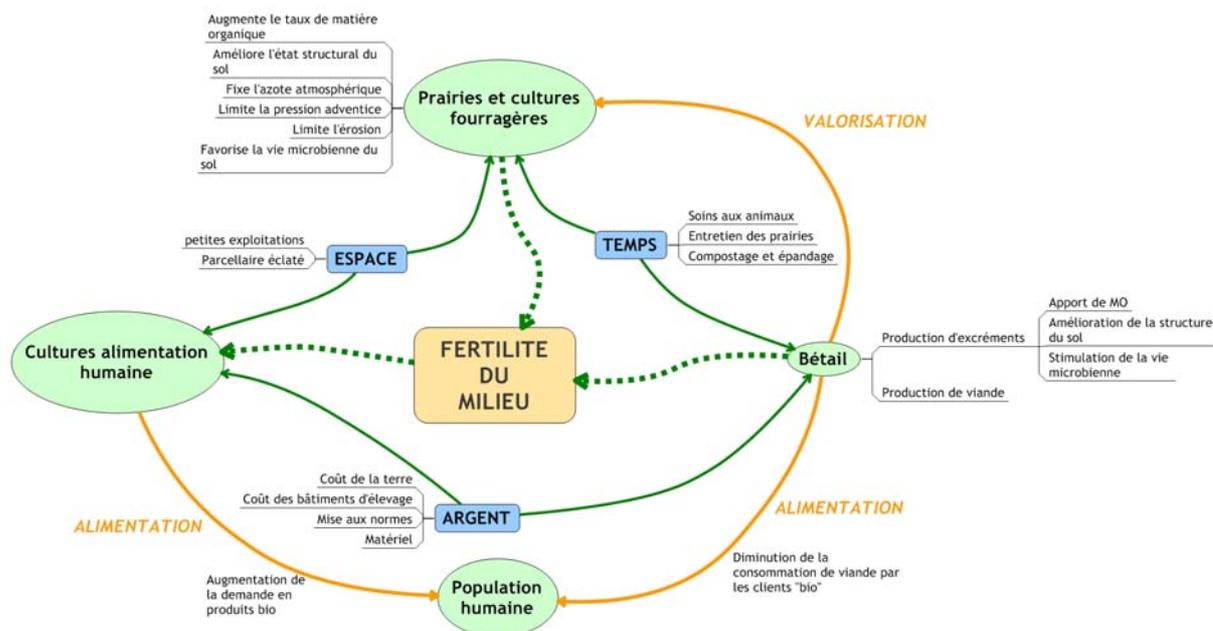


Figure 1 : Système de polyculture – élevage et fertilité du milieu

C. Production, rentabilité et fertilité

Chaque catégorie d'acteur de notre société a des objectifs différents. L'objectif de l'agriculteur, quelles que soient ses convictions et ses agissements écologiques, reste de gagner de l'argent. L'objectif des agriculteurs dans leur ensemble est de produire des denrées alimentaires de qualité, ou tout autre bien issu de la terre nécessaire à la société comme la biomasse, les fibres textiles, mais aussi d'autres biens non monnayables tels que des paysages de qualité ou des zones de maintien de la biodiversité. Enfin, l'objectif des Hommes est de perpétuer leur espèce. Cet objectif devrait se traduire par une volonté de ne pas mettre en péril les ressources des générations futures. Quel est le point commun entre ces trois objectifs ?

Le maintien de la fertilité du milieu est le dénominateur commun entre ces trois objectifs. Cette notion est porteuse de sens multiples [13] [14]. Les points de vue sur la question évoquent la capacité de la terre à produire...

- ... en quantité suffisante pour nourrir la population
- ... des denrées de qualité
- ... de manière régulière
- ... de manière durable
- ... sans nécessiter d'intervention lourde

Les points de vue exprimés laissent bien entendre que le sol n'est pas la seule composante de la fertilité à considérer. La maîtrise de la flore adventice, la préservation des

insectes auxiliaires sont tout aussi importantes que le maintien des propriétés biologique, physique et chimique du sol (Annexe 2).

D. La nécessité de repenser les rotations

Les rotations ont pour objectif d'assurer un précédent favorable aux cultures de vente afin de dégager une marge convenable sur l'ensemble de la rotation. Elles doivent également préserver ou améliorer la fertilité du milieu. Le développement de l'agrochimie a entraîné l'intensification des rotations. Les fongicides permettent d'intensifier la culture de céréales, les engrais chimiques azotés concurrencent les légumineuses. Cependant, ces solutions atteignent aujourd'hui leurs limites dans l'agriculture conventionnelle (apparitions d'adventices et de maladies résistantes, hausse du prix des engrais chimiques). Par ailleurs, le développement de l'agriculture biologique incite à poursuivre les efforts dans une nouvelle direction.

La recherche s'adapte donc à ces nouvelles demandes. Il se crée des groupes de réflexion sur les systèmes de culture, et on associe enfin des spécialistes issus de différentes disciplines. Cette démarche commence à s'amorcer en France, alors qu'elle est en plein essor dans d'autres pays, comme la Suisse.

II. Objectif de l'étude

A. Tester un système de culture en conditions réelles

L'essai mis en place à la ferme de la Bergerie a pour objectif de tester un système de culture. La rotation choisie et l'itinéraire technique associé ont été élaborés dans le but de s'affranchir de l'activité d'élevage. Les apports d'effluents d'élevage sont donc proscrits, et les cultures à destination de l'alimentation humaine sont favorisées. Agronomiquement, ce type de conduite peut conduire à une baisse de la fertilité du milieu, notamment concernant la teneur en matière organique du sol. Le pari est donc celui d'affirmer que le système mis en place rassemble des innovations permettant de maintenir la fertilité du milieu. Le maintien de l'essai pendant deux rotations permettra de vérifier cette hypothèse.

Le choix a été de mettre en place l'essai dans une exploitation agricole. Rares sont les expérimentations de ce type en France. Les agriculteurs, lorsqu'ils sont sollicités, le sont le plus souvent par l'intermédiaire d'enquêtes sur leurs pratiques et leurs résultats de récolte, mais les innovations sont rarement testées « à domicile ». Dans la sphère de l'agriculture biologique en France, peu de moyens sont alloués à la recherche en station. En revanche, les agriculteurs ont tendance à se regrouper en réseau dans les régions. Dans ce contexte, la mise en place d'essai à la ferme, permet d'impliquer réellement les agriculteurs dans le processus de recherche et d'accélérer le transfert de connaissance. D'autre part, ce processus permet d'accéder à des données supplémentaires : marges réelles, introduction d'éléments fixes dans le paysage (haies, bandes enherbées), impact sur la biodiversité, etc.

B. Evaluer un système de culture

Le suivi de l'expérimentation permet d'engranger les informations nécessaires à l'évaluation du système de culture. Celui-ci est évalué selon plusieurs critères :

- Constance de la production : suivi et évolution des rendements
- Qualité de la production : taux de protéines du blé, maladies et ravageurs, propreté de la récolte.
- Apparition de facteurs limitants : flore adventice, maladies, structure du sol, faim d'azote, etc.

Le suivi concerne l'ensemble des cultures sur chaque composante de la fertilité évoquée précédemment. De plus, un travail spécifique est réalisé sur les parcelles en blé, en raison de son niveau de rémunération. Par ailleurs, le développement d'outils spécifiques à cette culture, tels que des logiciels de simulation apporte un panel d'informations plus large.

Ces outils permettent également d'évaluer l'effet de la culture sur l'environnement, ou de tester l'impact *a priori* de certaines modifications du milieu.

C. Améliorer un système de culture

Le système tel qu'il a été construit n'est pas figé. Nous nous autorisons à introduire des innovations au fur et à mesure du déroulement de l'expérimentation. L'existence d'outils de simulation nous permet de tester des modifications de l'itinéraire technique ou l'introduction d'innovations. Enfin, d'autres outils, développés par les instituts techniques tels qu'Arvalis – Institut du Végétal nous permettent d'évaluer l'impact économique de ces modifications.

III. La démarche adoptée

A. La démarche générale de l'essai

L'essai repose sur la mise en place d'une rotation, associée à un itinéraire technique prévisionnel. Les interventions sont réalisées par le personnel de la Ferme de la Bergerie. L'essai est suivi depuis sa mise en place par des stagiaires ou apprentis d'Arvalis-Institut du Végétal. Un suivi des pratiques, des résultats de récolte et des différentes composantes de la fertilité est réalisé et enregistré. Des résultats intermédiaires sont donc accessibles, et l'ensemble des données permettra d'interpréter les résultats finaux, c'est-à-dire ceux obtenus en fin d'une ou plusieurs rotations.

B. La démarche mise en œuvre cette année

Cette année, l'accent a été mis sur la compréhension de la dynamique de l'azote dans la rotation et le test de modifications techniques, à l'aide d'un outil informatique. Ce logiciel, Stics©¹, renseigne sur l'utilisation de l'azote au cours du cycle de la culture, et permet de simuler la production de la culture d'après un itinéraire technique. Nous utilisons ce logiciel sur la culture de blé.

Stics© n'a pas été mis en œuvre dans la situation de l'agriculture biologique, et ne prend donc pas correctement en compte l'existence de facteurs limitants tels que la pression adventice ou la pression de maladies. La première partie du travail consiste donc réaliser un diagnostic agronomique permettant de mettre en évidence et de hiérarchiser les facteurs limitant la production de blé. Le diagnostic agronomique nécessite la collecte de l'ensemble des éléments permettant la compréhension de résultat de récolte : pratiques, climat, conditions du milieu (pression adventice, ravageurs, azote, etc.). L'analyse des résultats s'effectue en deux étapes (

Figure 2) [2][3] [4] [5] [9][12] :

→ D'une part, évaluer les effets du fonctionnement du milieu sur le développement de la culture en place.

→ D'autre part, estimer les effets des pratiques et du climat sur le fonctionnement du milieu (sol, adventices, maladies, etc.)

Il s'agit donc d'une démarche entreprise *a posteriori*. Nous partons du résultat de récolte, puis les éléments collectés nous permettent d'expliquer son élaboration.

¹ Simulateur multi-disciplinaire pour les Cultures Standard

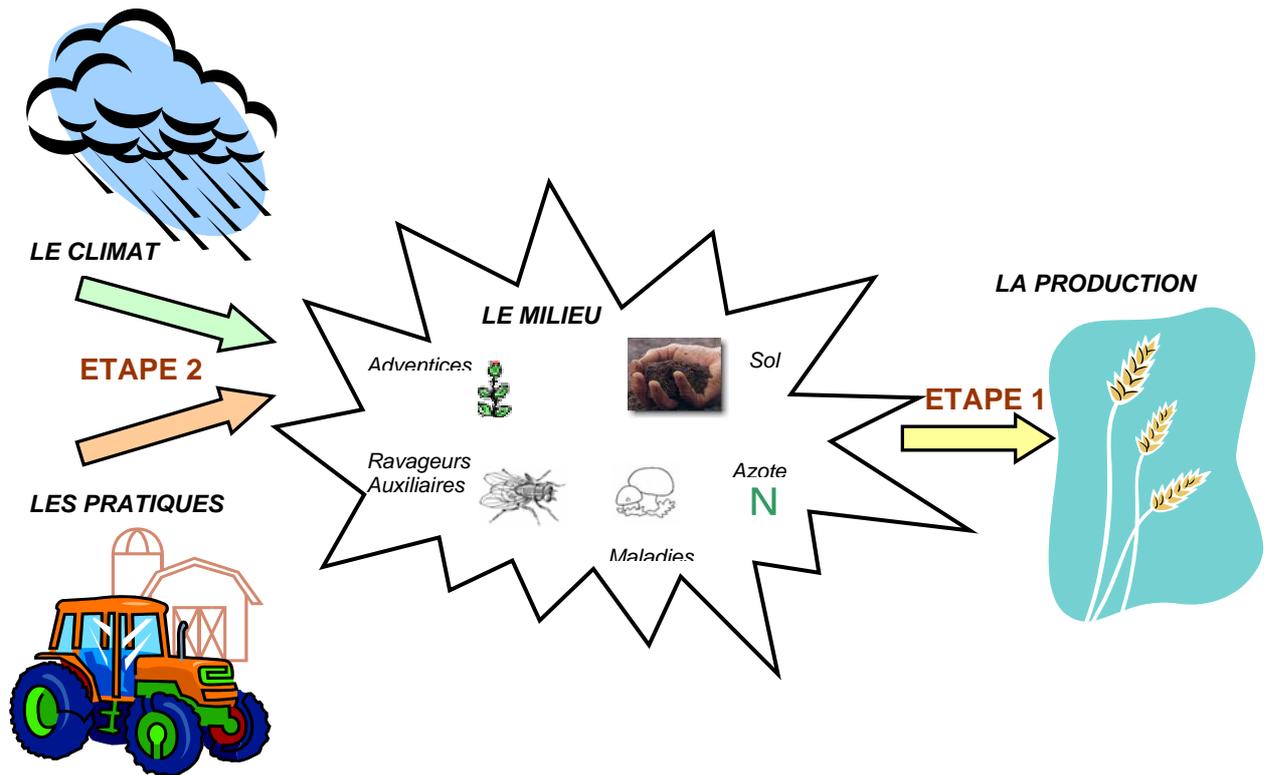


Figure 2 : Démarche du diagnostic agronomique

Les facteurs limitants mis en évidence et hiérarchisés, l'utilisation du logiciel Stics© est alors possible. Il nous permet d'accéder à des résultats supplémentaires, qui n'auraient pas pu être collectés sur le terrain, et de tester des adaptations de l'itinéraire technique. La connaissance des facteurs limitants nous permet de replacer les résultats dans leur contexte et d'expliquer certains écarts par rapport au modèle.

Les adaptations de l'itinéraire technique et de la rotation sont choisies parmi un ensemble de solutions techniquement réalisables. Stics© nous permet de savoir si elles sont agronomiquement viables, et nous renseigne sur les niveaux de production accessibles. Enfin, l'étude se conclue par une évaluation économique concernant la rentabilité de ces adaptations.

Chapitre 2 : Diagnostic agronomique

I. Matériel et méthode	14
A. Le dispositif expérimental	14
1. Description et dimensionnement	14
2. Définitions	15
3. Durée du travail	15
4. Discussion	15
B. Caractéristiques pédo-climatiques	16
1. Les caractéristiques intrinsèques du sol	16
2. Le climat	16
C. La conduite des cultures	17
1. La construction de la rotation	17
2. La construction de l'itinéraire technique « Blé »	18
3. Les règles de décision	19
D. Les mesures réalisées pour caractériser le milieu cultivé	20
II. Résultats	21
A. Les pratiques de l'année	21
B. Les rendements et leurs composantes	22
1. Développement de la culture	22
2. Composantes du rendement	22
3. Qualité de la récolte	23
C. Caractérisation du milieu cultivé	24
1. Climat de l'année	24
2. Fonctionnement physique du sol	25
3. Flore adventice	27
4. Maladies	28
5. Auxiliaires / Ravageurs	29
6. Azote	29
III. Interprétation	31
A. Effets des facteurs limitants sur l'élaboration du rendement	31
1. Effet du climat	31
2. Effet de la structure du sol	31
3. Effet de la pression adventice	32
4. Effet de la pression de maladies et des ravageurs	33
5. Effet du stress azoté	34
B. Effets des pratiques sur les modifications du milieu	35
1. Effet des pratiques sur le sol	35
2. Effet des pratiques sur la pression adventice	36
3. Effet des pratiques sur la pression de maladies	36
4. Effet des pratiques sur la nutrition azotée	36

I. Matériel et méthode

A. Le dispositif expérimental

1. Description et dimensionnement

Le dispositif expérimental est mis en place sur un îlot de huit parcelles rectangulaires attenantes. Autrefois cultivé d'un seul tenant, le parcellaire a été découpé suivant un certain nombre de règles :

→ Les parcelles n'excèdent pas 8 hectares afin de permettre une meilleure intégration paysagère et une bonne prospection de la faune auxiliaire. Il s'agit également de la surface labourable en une journée.

→ La largeur n'excède pas 120 mètres. De nombreuses espèces auxiliaires, comme les carabes, nichent dans les haies et les bandes enherbées et s'alimentent dans les parcelles. Or ces espèces parcourent en moyenne 120 mètres quotidiennement, leur permettant d'explorer l'ensemble de la parcelle. Chaque parcelle est bordée d'une haie sur l'une des longueurs et d'une bande enherbée sur l'autre longueur (

Figure 3). Ces éléments fixes ont été implantés entre 2000 et 2003. Le dispositif forme un ensemble de 60 hectares.

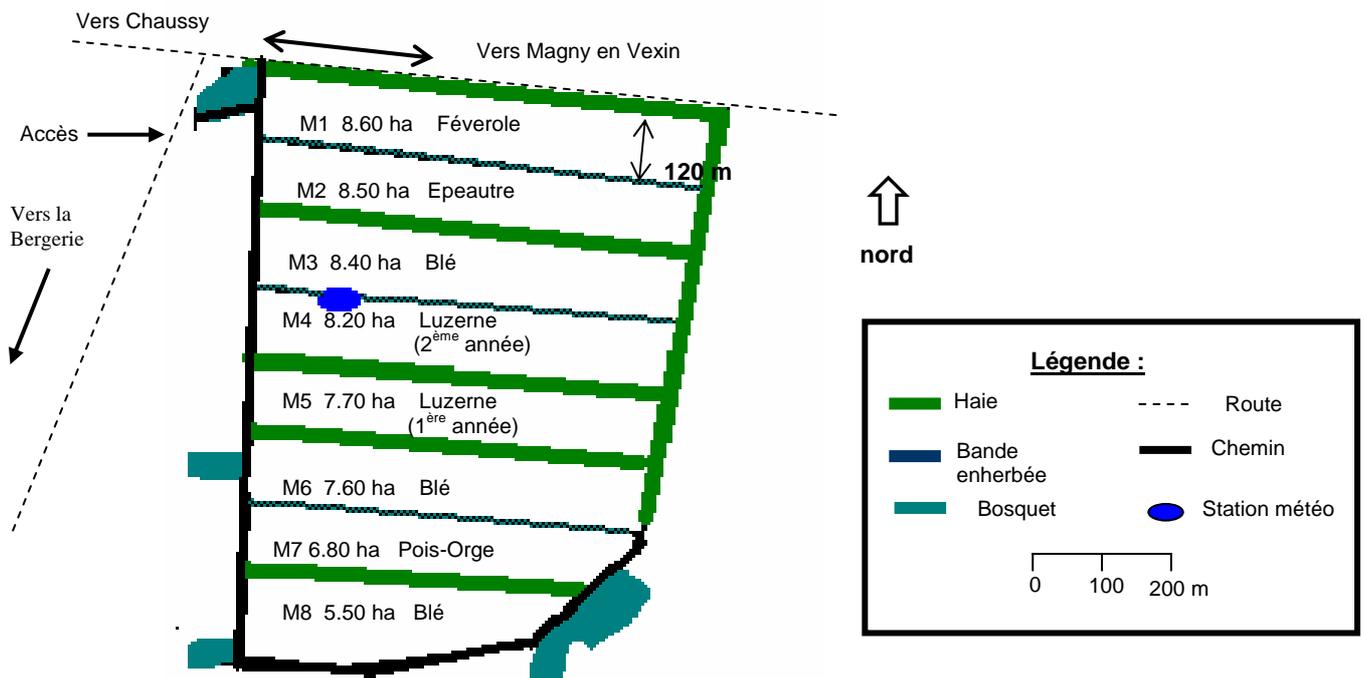


Figure 3 : Assolement 2005-2006 du dispositif de la Motte
(Source : Rapport de stage, S. Lubac, modifié)

2. Définitions

Un plan « classique » d'échantillonnage (en blocs, avec des répétitions) n'est en adéquation ni avec le dimensionnement du dispositif, ni avec les objectifs de l'essai. Cependant, les zones de prélèvement et de comptage doivent respecter un plan précis afin de permettre une comparaison interannuelle des résultats. Une étude menée en 2003 a permis de caractériser l'hétérogénéité des parcelles à partir de différents indicateurs de fertilité [23]. Seize placettes d'observations ont été conservées. Elles correspondent à quatre types de sol différant par leur teneur en argile et leur profondeur. L'échantillonnage est donc raisonné afin de disposer de contextes pédologiques différents (quatre placettes par type de sol caractérisé).

La terminologie utilisée pour les observations est la suivante (Encart 1) :

- ❖ **Ilot** : ensemble des parcelles constituant le dispositif expérimental
- ❖ **Parcelle** : portion de l'ilot délimitée par une haie ^{et/ou} une bande enherbée. Elles sont au nombre de 8, et appelées Motte 1, Motte 2, etc. On notera par la suite M-1, M-2, etc.
- ❖ **Placette** : zone homogène à l'intérieur d'une parcelle, caractérisée lors du point zéro. Elles sont au nombre de 16 (1, 2 ou 3 placettes par parcelle) et ont été géo-référencées par GPS. Elles sont notées M-51, M-52, M-53, etc. Chaque placette est matérialisée par un piquet et les observations sont réalisées dans un rayon de 5 mètres autour du piquet.
Notons que deux parcelles (Motte 2 et Motte 6) n'ont qu'une seule placette identifiée. Or ces deux parcelles sont cultivées en blé cette année. En raison du thème de l'étude, il a été décidé de matérialiser une deuxième placette sur chacune de ces parcelles.
- ❖ **Répétition** : zone de 0,25 m² située sur une placette, où sont réalisés les comptages (nombre de pieds, densité d'adventices, etc.). Il y en a 6 par placette.

Encart 1 : Terminologie utilisée pour l'échantillonnage

3. Durée du travail

Le sujet porte sur une succession culturale. Il est donc indispensable de mener le suivi durant la totalité de la rotation, afin d'évaluer l'impact de la rotation dans son ensemble. De plus, les variables suivies évoluent très lentement. C'est pourquoi il est envisagé de laisser le dispositif en place 15 à 20 ans, soit deux rotations au minimum.

Concernant le contexte plus strict du stage, il porte sur deux années culturales : récoltes 2005 et 2006.

4. Discussion

La mise en place d'un dispositif en grandeur réelle permet d'intégrer l'expérimentation dans le milieu. Tout comme une parcelle agricole, l'expérimentation est soumise aux contraintes réelles de l'exploitation agricole. Cela permet d'accéder à des informations rarement disponibles sur les autres types d'expérimentation. La faisabilité technique est évaluée (temps de travail, matériel, maîtrise des techniques testées), ainsi que la rentabilité économique du système et la biodiversité. En revanche, il n'est pas possible de mettre en place une analyse statistique comparable à celle mise en oeuvre en station expérimentale (blocs avec répétition). La variabilité interannuelle des résultats n'est donc pas toujours accessible.

Par ailleurs, il est nécessaire de réfléchir aux conditions dans lesquelles on peut réaliser des comparaisons interannuelles. Rigoureusement parlant, on ne pourra établir de comparaison justifiée entre les résultats, qu'une fois la rotation terminée (comparaison 2003-2011, 2004-2012, etc.). Cependant, en tenant compte des différences existant entre les placettes considérées (grâce à la caractérisation fine du milieu), il est possible de discriminer les situations observées, et d'analyser les causes de variation de la production parcellaire.

B. Caractéristiques pédo-climatiques

1. Les caractéristiques intrinsèques du sol

Les sols de la Motte sont des limons moyens à limons argileux. Il s'agit de luvisols classiques dans le bassin parisien (accumulation des éléments argileux en profondeur sous l'action du climat). Les taux de matière organique sont faibles (1,7 % en moyenne avec des valeurs extrêmes de 1,4 et 2,1 %). L'ensemble de ces caractéristiques en font des sols fragiles : sensibilité à la battance et au tassement. En profondeur, les sols de la Motte présentent une bonne porosité qui permet un ressuyage efficace. Il persiste cependant quelques zones hydromorphes où la reprise de végétation après la fin de l'hiver est plus lente (Annexe 1).

L'îlot de la Motte présente par ailleurs une légère inclinaison vers le sud-ouest (la placette M 83 est topographiquement la plus basse). La partie la plus basse de l'îlot présente des sols plus superficiels et moins limoneux. Par opposition, les parcelles les plus hautes sont plus profondes, plus limoneuses et plus sensibles à la battance (Tableau 1).

L'hétérogénéité des parcelles est à relativiser par rapport au travail envisagé. Effectivement, il est important de la caractériser pour établir un plan d'échantillonnage, cependant les sols des parcelles 1 à 6 sont considérés comme homogènes concernant leurs effets sur les cultures (profondeur de sol importante et taux d'argile peu variable). Seules les parcelles M7 et M8 ont un comportement différent du fait de leur profondeur de sol réduite. On peut donc considérer que l'année constitue une répétition sur les parcelles homogènes, c'est-à-dire comparer les résultats obtenus d'une année sur l'autre pour une même culture sur les parcelles M1 à M6.

	M 22	M 31	M 32	M 61	M 81	M 82	M 83
Placette	Epeautre précédent blé	Blé précédent luzerne	Blé précédent MC	Blé précédent MC	Blé précédent féverole		
Type de sol	Limon argileux	Limon moyen	Limon moyen	Limon moyen	Limon argileux	Limon moyen	Limon argileux
Argile	15.0	12.0	14.2	12.5	19.5	13.5	17.8
Limon	75.5	78.6	77.6	77.8	69.6	73.6	68.9
Sable	7.8	7.8	6.6	8.1	8.8	11	10.3
MO	1.6	1.6	1.6	1.6	2.0	1.9	2.1
C/N	7.4	6.6	7.2	7.1	7.1	8.0	7.6
CEC Metson	9.5	8.5	10.1	8.8	12.8	10.1	11.4

Tableau 1 : Analyses de base des sols de la Motte (parcelles en blé en 2005-2006)

2. Le climat

La région est caractérisée par un climat à tendance océanique marquée. Les flux d'Ouest procurent des températures douces et des précipitations régulières tout au long de l'année. Les deux dernières années ont été marquées par des régimes hydriques plus contrastés.

C. La conduite des cultures

1. La construction de la rotation

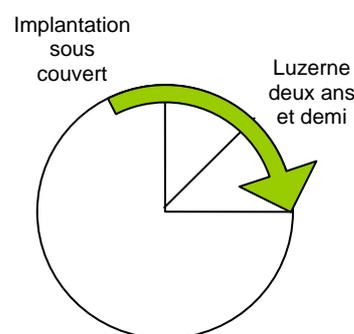
La construction du système de culture résulte d'une réflexion de longue date entre les responsables de la Ferme de la Bergerie, Philippe Viaux représentant Arvalis – Institut du Végétal et Claude Aubert, de la Chambre d'Agriculture de Seine et Marne, représentant le GAB² d'Île de France [35]. L'ITAB³ [34] s'est également impliqué dans la réflexion. Plusieurs questions ont été soulevées lors du choix de la rotation :

La nécessité d'implanter une prairie temporaire :

Ce point n'a pas suscité de controverse entre les protagonistes. Même dans les conditions d'une agriculture sans élevage, la prairie est indispensable pour limiter la prolifération des adventices. La luzerne a été choisie pour son effet bénéfique contre les chardons, et sa capacité à décompacter le sol.

La durée de la prairie :

Plusieurs arguments sont en faveur d'une prairie pluri-annuelle : diminuer le stock grainier du sol, augmenter la productivité de la prairie, développer les racines de la luzerne en profondeur, amortir le coût des semences. Toutefois, pour rester en cohérence avec l'agriculture sans bétail, la prairie ne doit pas réduire la part céréalière de la rotation. Envisagée pour trois ans, il a finalement été décidé de ne la laisser que deux ans. Cette durée semble un bon compromis. D'autres expérimentations ayant opté pour une prairie d'une durée de un an ont du revenir sur leur décision [25] Enfin, le semis au printemps sous couvert de la céréale permet de porter la durée de la prairie à deux ans et demi.



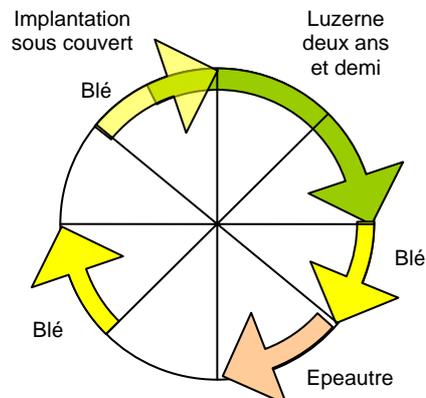
La durée de la rotation :

Plusieurs impératifs se posent : durabilité agronomique et rentabilité économique. Des hypothèses ont donc été formulées sur la rémanence de l'effet de la luzerne, en particulier sur les adventices. Économiquement, le blé reste la culture la plus rémunératrice. Elle doit permettre de compenser les deux années de luzerne dont les débouchés sont limités. Si l'on souhaite intégrer trois années de blé dans la rotation, il est nécessaire d'avoir six années de cultures après la prairie, car il n'est pas recommandé de cultiver le blé sur la même parcelle deux années consécutives. La rotation dure donc huit ans : deux années de prairie puis six années de culture.

Le choix des cultures :

Le blé est privilégié dans la rotation en raison de son prix de vente avantageux, et sa bonne adaptation aux terres de la région. Afin de valoriser l'azote fourni par la luzerne, une deuxième céréale est implantée en quatrième année. L'épeautre a été choisi d'une part pour ses qualités agronomiques : sa hauteur lui confère un pouvoir concurrentiel vis-à-vis des adventices et permet de restituer une grande quantité de carbone. Cependant, bien qu'il s'agisse d'une espèce ancienne, ses critères de rusticité sont limités, et l'épeautre présente une certaine sensibilité aux maladies, notamment les maladies du pied.

Les variétés de blé sont choisies en fonction de leur place dans la rotation. L'objectif est de garantir un débouché en alimentation humaine. On



² Groupement d'Agriculteurs Biologiques

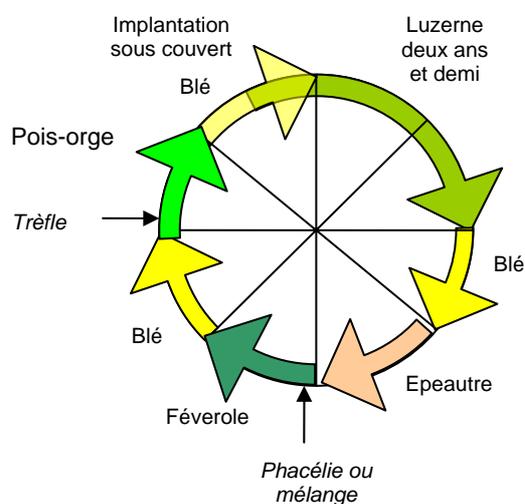
³ Institut Technique de l'Agriculture Biologique

privilégie donc les blés peu productifs présentant de bonnes qualités boulangères. Seul le premier blé de la rotation présente un haut potentiel de rendement. Il bénéficie du précédent favorable de la luzerne, et pourra donc atteindre un taux de protéine correct. La variété *Caphorn* présente des caractéristiques adaptées à cette situation avec une bonne résistance à la verse. Son port dressé et son tallage faible ne sont pas pénalisant car la pression adventice est faible. En revanche, le blé de féverole bénéficie de conditions moins favorables. Le choix s'est donc porté sur une variété plus rustique et à bon pouvoir couvrant, *Renan*, qui présente d'excellents résultats en agriculture biologique. Notons, qu'il reste possible de réaliser des mélanges de variétés pour permettre de vendre le blé en meunerie.

Jusqu'à ce stade, la rotation choisie correspond à l'impératif de l'agriculture sans élevage, puisque les cultures choisies (exceptée la luzerne) trouvent un débouché en alimentation humaine. Sans possibilité d'apporter du compost animal, il est difficile d'assurer la nutrition azotée des cultures. Il est donc nécessaire d'introduire des légumineuses.

Le choix s'est porté sur le pois et la féverole. Le pois est cultivé en mélange avec de l'orge brassicole, qui joue le rôle de tuteur pour le pois. La ferme étant dotée d'un trieur, il est possible de séparer le pois de l'orge et de la vendre en brasserie. La féverole est destinée au bétail. Il existe des légumineuses vendues en consommation humaine, comme la lentille. Cependant, cette culture n'offre pas le même pouvoir concurrentiel que la féverole et constitue un moins bon précédent au blé.

Le mélange pois-orge et la féverole sont des cultures de printemps. La rotation respecte donc une alternance culture d'hiver/ culture de printemps. Ces cultures sont donc généralement précédées par un engrais vert. Seul le deuxième engrais vert est une légumineuse (trèfle incarnat), tandis que le premier engrais vert est constitué d'un mélange (avoine/sarrasin) ou d'une phacélie (crucifère).



2. La construction de l'itinéraire technique « Blé »

L'itinéraire technique adopté correspond aux pratiques mises en œuvre sur le reste de l'exploitation. L'essai ne doit pas nécessiter d'investissement en matériel, ni accroître le temps de travail à l'hectare. Il n'a pas été imposé d'itinéraire technique type à la mise en place de l'essai. Sa mise en œuvre dépend entièrement du personnel de la ferme, et il est dépendant de la charge de travail du moment.

La préparation du sol :

Deux ou trois déchaumages sont réalisés avant l'implantation du blé avec des outils à dents. Des travaux à différentes profondeurs sont recommandés afin de reformer des mottes et répartir la matière organique. Les outils à disques sont bannis de ces parcelles en raison de la présence de chiendent et pour ne pas affiner excessivement le sol. Idéalement, le premier déchaumage est réalisé immédiatement après la moisson, afin de profiter de l'humidité résiduelle du sol permettant de faire lever les adventices⁴. Un labour est pratiqué immédiatement avant le semis. Pour le blé, la profondeur n'excède pas 17 cm. Il est donc nécessaire que la matière organique soit déjà bien décomposée. Ces pratiques sont susceptibles d'évoluer dans le futur (Annexe 3).

⁴ Communication personnelle, Lionel JOUY, Arvalis

Le semis :

Les semis sont réalisés entre mi-octobre et début décembre. La date de semis est laissée au libre arbitre de l'agriculteur. Les semis tardifs permettent une plus faible levée des adventices. Cependant, le blé ne profite pas de la minéralisation d'automne, et présente des densités de pieds plus faibles. La culture est donc moins concurrentielle au printemps.

Le désherbage :

Le hersage des blés a lieu au printemps dès le ressuyage, entre le tallage et la montaison. Il s'agit d'une période chargée sur l'exploitation (semis des prairies, sortie des animaux, semis de printemps, etc.), ce qui explique que les désherbages ne soient pas systématiquement réalisés. Sur une exploitation exclusivement céréalière, la charge de travail serait réduite.

La récolte et la gestion des résidus

Le mûrissement du blé est plus lent qu'en conventionnel : la verdure résiduelle des adventices ralentit le séchage des grains, et la moindre densité de plante limite l'évacuation de l'eau de sol. Les parcelles bio résistent en général mieux aux coups de chaleur de juin, et présentent moins d'échaudage⁵. En général, la moisson s'étale sur la première quinzaine d'août. Les résidus sont broyés et restitués au sol.

3. Les règles de décision

La prise de décision sur une exploitation agricole est le résultat d'une réflexion qui tient compte de plusieurs facteurs. Est-il nécessaire d'intervenir ? Est-il rentable d'intervenir ? A-t-on le temps d'intervenir ? Les conditions météorologiques sont-elles réunies ? Il est nécessaire d'établir un ordre d'importance entre les contraintes qui s'exercent. Quelques exemples illustreront ce propos. Le plus souvent, les règles de décision ne sont pas formalisées, mais résultent d'observations de terrain, et de discussions entre le personnel (Tableau 2, Annexe 4).

Passer la herse étrille au printemps		Niveau de contrainte
Nécessité	<ul style="list-style-type: none">- Constater sur le terrain <u>les espèces</u> : le hersage n'est efficace que sur les adventices annuelles- Repérer <u>les stades</u> : le stade plantule est le plus sensible au hersage- Constater <u>la densité</u> d'adventices : si la densité est faible, le hersage risque de faire lever plus d'adventice qu'elle n'en détruit	3
Rentabilité	<ul style="list-style-type: none">- Le hersage est bon marché (10€/ha) car ne nécessite pas beaucoup de traction.	4
Temps disponible / Ordre	<ul style="list-style-type: none">- La période peut être chargée au printemps (hersage des prairies, sortie des animaux, semis de printemps). Cependant, dans une exploitation sans élevage, l'emploi du temps serait moins chargé.	1
Conditions météo	<ul style="list-style-type: none">- Intervenir après le ressuyage de la parcelle- Intervenir lors d'une période sèche de quelques jours : la sécheresse favorise la disparition des plantules	2
Limites	<ul style="list-style-type: none">- Le hersage peut provoquer une levée d'adventices- Le hersage peut entraîner la formation d'une croûte de battance à partir de la terre fine produite- Le hersage ne permet pas de casser la croûte de battance si celle-ci s'est formée durant l'hiver	

Tableau 2 : Exemple d'une règle de décision sur les parcelles de la Motte

⁵ Communication personnelle, Claude AUBERT, GAB Ile de France

D. Les mesures réalisées pour caractériser le milieu cultivé

La caractérisation du milieu repose d'une part sur des observations de terrain (notations, appréciations d'experts, etc.) et d'autre part sur des mesures (comptages, analyses, etc.). L'objectif de ces mesures est d'établir s'il y a ou non des facteurs limitant la production, et de hiérarchiser ces facteurs [17] [18] [19]. Les différentes variables observées sont les suivantes (Tableau 3):

Élément du diagnostic	Variables observées	Méthode employée
CLIMAT	Températures (sol, air), humidité, pluviométrie, vent, rayonnement Calcul du point de rosée et de l'ETP Penman	Installation d'une station météo sur l'îlot. Enregistrement en continu des données
SOL	<i>Physique</i> : granulométrie, profondeur de labour, structure, porosité, fissuration <i>Chimique</i> : teneur en MO, pH, CEC, éléments minéraux <i>Biologique</i> : orifices de vers de terre, microbiologie du sol (2003)	Prélèvements de terre en surface et en profondeur Observations de profils culturaux. Méthode s'inspirant de Y. Gautronneau (ISARA ⁶) et C. Aubert (Chambre d'Agriculture 77) [33] Comptages d'orifices de vers de terre en fond de labour
PEUPELEMENT	Stades, densité, biomasse	Tours de plaine, mesure sur les placettes avec répétitions, expertise
ADVENTICES	Espèces présentes [30], stades, dates d'apparition, densité, biomasse	Tours de plaine, comptages sur les placettes avec répétition (sortie hiver, épi 1 cm, floraison), prélèvement de biomasse à floraison [19] [17]
MALADIES	Maladies présentes (feuilles, pied, épi) [31], date d'apparition, intensité de l'attaque	Prélèvements de plantes sur les placettes, grille de notation [19] [16]
RAVAGEURS / AUXILIAIRES	Nombre de pucerons, date d'apparition Densité d'auxiliaires volants (syrphes Annexe 6)	Observations des pucerons sur les placettes Capture de la faune volante pour le suivi des auxiliaires à l'aide de pièges jaunes [29]
AZOTE	<i>Sol</i> : reliquats azotés entrée hiver, sortie hiver, post-récolte <i>Plante</i> : azote absorbé à floraison, azote de pailles, azote des grains	Prélèvements de terre sur 3 ou 4 horizons Prélèvements de plante à floraison et à la récolte

Tableau 3 : Mesures et observations réalisées sur le dispositif

Les protocoles expérimentaux sont disponibles en annexe (page 66).

⁶ Institut Supérieur d'Agriculture de Rhône-Alpes

II. Résultats

A. Les pratiques de l'année

La préparation du sol s'est faite en conditions sèches (le mois de septembre notamment a été particulièrement sec avec moins de 35 mm d'eau). Dans ces conditions, le risque de tassement est faible, mais la levée des adventices est limitée également. La parcelle M6, semée assez précocement a bénéficié de conditions non tassantes. Par contre, les semis tardifs (après le 15 novembre) peuvent dégrader la structure des sols. En particulier, la parcelle M2, particulièrement sensible car faiblement pourvue en argile et en matière organique a été semée le 29 novembre. Les semis ont été retardés pour des raisons organisationnelles. Les conditions relativement sèches de l'automne ont limité les dégâts. Cependant, les températures basses de la fin de l'automne ne permettent pas un développement rapide du blé. Les parcelles M2, M3 et M8 ont donc passé l'hiver au stade 3 feuilles.

Cette année, pour des raisons de disponibilité, le nombre d'interventions a été limité au strict minimum (Tableau 4). Aucune intervention n'a été réalisée entre le semis et la récolte, excepté le roulage sur M8.

		Itinéraire technique :		
		Date	Intervention	Conditions météorologiques
MOTTE 2		7-oct.	Déchaumage (Lemken)	Temps doux pour la saison
Surface : 8,3 ha		29-nov.	Labour	Premières gelées. Temps assez sec
Culture : Epeautre		29-nov.	Semis (157 kg/ha)	-
Précédent : Blé		25-août	Récolte	Temps très humide
Variété : Oberkülmer				
MOTTE 3		6-sept.	Broyage de la luzerne	Temps doux. Quelques précipitations
Surface : 8,2 ha		12-sept.	Déchaumage	Temps très doux et sec pour la saison
Culture : Blé		5-oct.	Déchaumage (Lemken)	Quelques fortes précipitations
Précédent : Luzerne		10-nov.	Labour	Temps sec
Variété : Transit		10-nov.	Semis (430 grains/m ²)	-
		25-août	Récolte	Temps très humide
MOTTE 6		29-août	Déchaumage	Quelques précipitations
Surface : 7,3 ha		7-oct.	Déchaumage	Temps doux pour la saison
Culture : Blé		20-oct.	Labour	Temps doux. Quelques précipitations
Précédent : Pois-Orge		20-oct.	Semis (380 grains/m ²)	-
Variété : Saturnus G4		1-sept.	Récolte	Temps très humide
MOTTE 8		1-août	Broyage	Quelques précipitations
Surface : 6,5 ha		7-oct.	Déchaumage	Temps doux pour la saison
Culture : Blé		14-nov.	Labour	Temps sec
Précédent : Féverole		15-nov.	Semis (400 grains/m ²)	-
Variété : Renan		1-avr.	Roulage	Temps doux
		25-août	Récolte	Temps très humide

Tableau 4 : Itinéraire technique 2005 - 2006 sur les parcelles de blé

B. Les rendements et leurs composantes

1. Développement de la culture

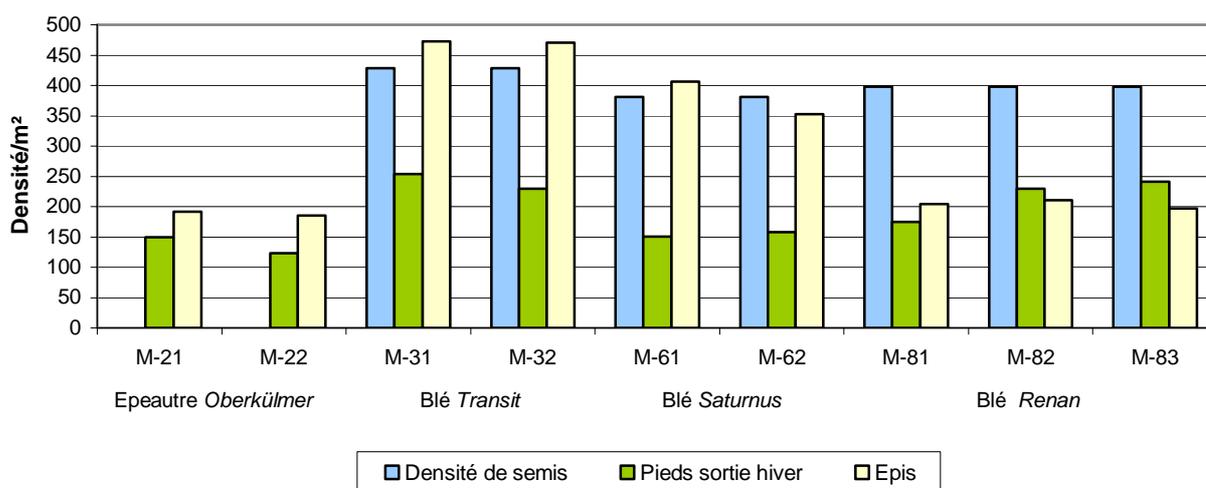
Les dates du stage n'ont pas permis de suivre le début de la campagne (date de levée et début du tallage). Des observations régulières ont permis de déterminer avec précision la date du stade épi 1 cm, épiaison (50% de épis sortis à 50% de la gaine) et de la floraison (50% de épis avec 50% des étamines fleuries). La maturité du grain se situe approximativement fin juillet (Tableau 5).

		Semis	Epi 1 cm	Epiaison
M2	Epeautre	29-nov	ND	10-juin
M3	Blé <i>Transit</i>	10-nov	30-avr	02-juin
M6	Blé <i>Saturnus</i>	20-oct	17-avr	26-mai
M8	Blé <i>Renan</i>	15-nov	24-avr	01-juin

Tableau 5 : Stades de développement

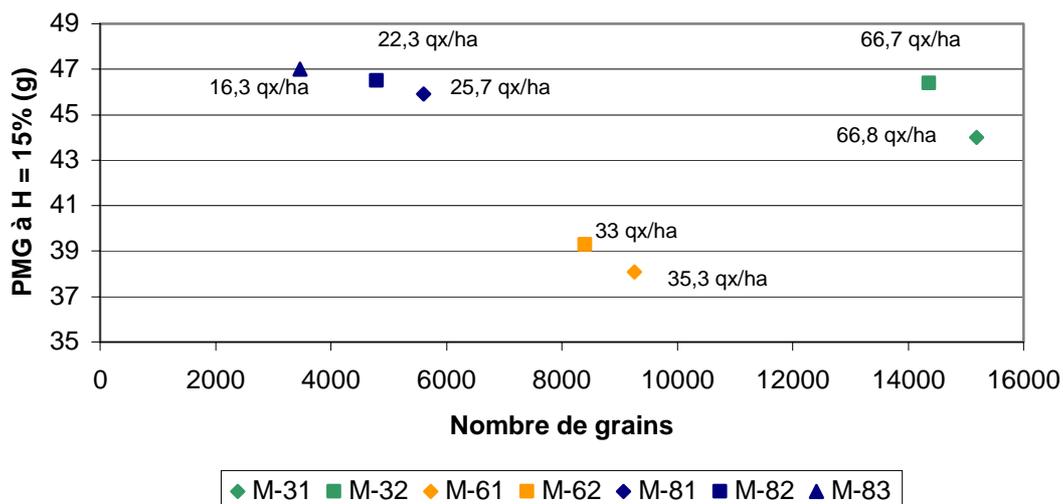
2. Composantes du rendement

La mesure des composantes du rendement, en particulier le nombre d'épis par m² et le nombre de grains par épi, permet d'accéder à une mesure locale du rendement. En complément, une mesure du nombre de pieds en sortie d'hiver a été réalisée afin d'estimer les capacités de tallage des blés considérés (Graphique 1).



Graphique 1 : Composantes du rendement

Un fort manque à la levée est observé pour l'ensemble des parcelles, y compris pour la parcelle M6 semée tôt. Sur certaines zones, seuls 40% des graines lèvent. Cependant, il est possible que les mesures au champ aient sous-estimé le nombre de pieds, en raison d'une confusion possible des pieds et des talles au mois de mars. Le tallage est correct pour les parcelles M3 et M6. L'épeautre semble avoir de moins bonnes capacités de tallage. Enfin sur la parcelle M8, on observe un tallage très insuffisant, voire des pertes de pieds.



Graphique 2 : Poids de mille grains (PMG) et nombre de grains

Les PMG sont relativement homogènes sur les parcelles. Le faible nombre de grains est compensé par un PMG élevé, en particulier sur la parcelle M8 (Graphique 2). La parcelle M3 présente des PMG relativement élevés (supérieur à 44) associé à des nombres de grains importants (environ 15 000 grains/m²).

Le décalage observé entre les rendements calculés et les rendements observés en moyenne sur les parcelles M6 et M8 est sans doute du à l'incertitude lors de la mesure de la densité d'épis. En effet, les comptages ont été réalisés en juillet, au développement maximum des chardons, et les comptages, pour des raisons évidentes, ont été réalisés au niveau de zones moyennement envahies.

3. Qualité de la récolte

La récolte s'est déroulée en conditions défavorables. La moisson tardive a endommagé le grain (poids spécifique très médiocre), et a entraîné des pertes sur la parcelle M8. L'humidité résiduelle a imposé un séchage, et la parcelle M6 présentait quelques grains germés. Les taux de protéines sont bons sur la parcelle M3. Ils sont légèrement inférieurs sur la parcelle M8. La teneur moyenne sur la parcelle peut tout de même atteindre 11%, car le peuplement est plus important au niveau de la placette M81 (Tableau 6).

		Humidité (%)	Poids spécifique (kg/hL)
M-31	Blé <i>Transit</i>	14.2	69.5
M-32		15.1	71.1
M-61	Blé <i>Saturnus</i>	17.4	69.4
M-81	Blé <i>Renan</i>	17.6	65.0
M-82		17.9	67.5
M-83		16.7	68.5

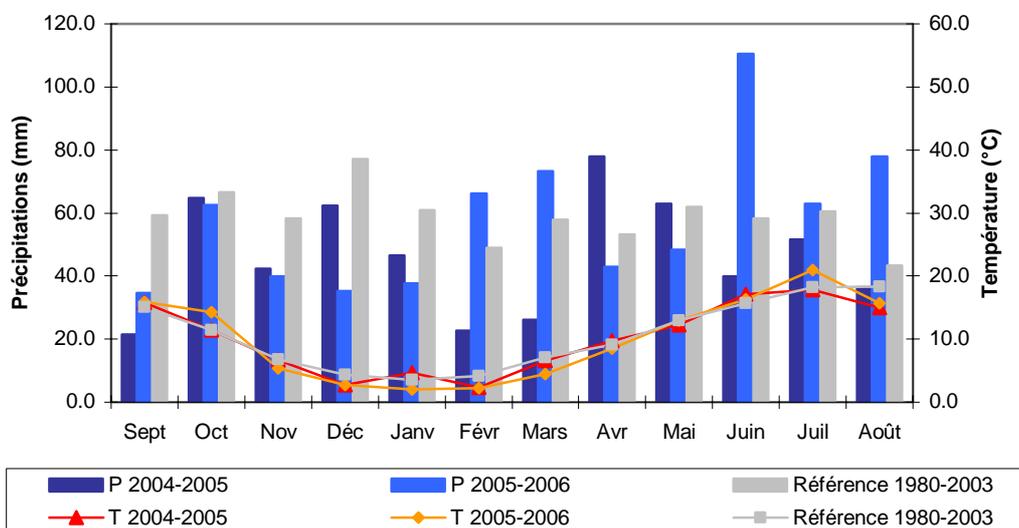
Tableau 6 : Qualité de la récolte 2006

C. Caractérisation du milieu cultivé

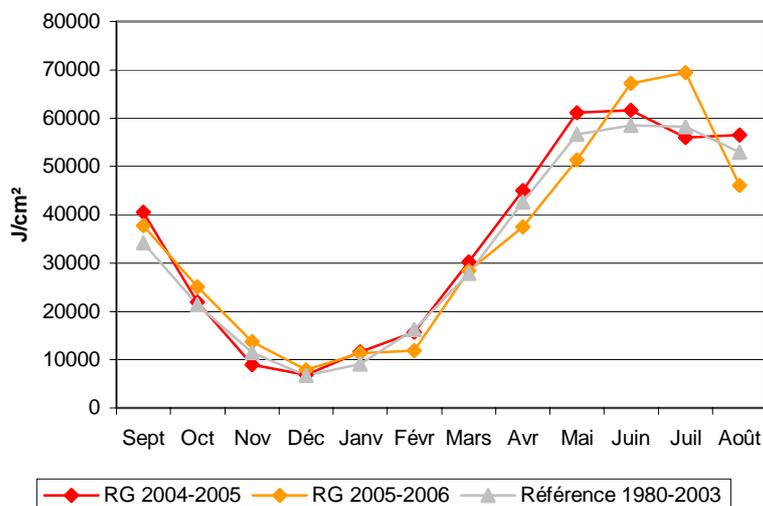
1. Climat de l'année

La saison 2005-2006 a été plus humide que 2004-2005 (690 mm contre 550). Les précipitations de février et mars contrastent avec l'hiver 2005 particulièrement sec. Le mois de juin a également été particulièrement humide, puisqu'il s'agit de la période la plus arrosée de l'année avec plus de 110 mm d'eau. L'année a été marquée par un hiver plus long et rigoureux (31 jours de gel contre 21 en 2004). De plus, le printemps a été frais par rapport aux normales saisonnières. Au mois de juillet, les températures plus clémentes que l'année précédente n'ont cependant pas permis d'avancer la récolte (Graphique 3).

Enfin, la donnée la plus marquante entre les deux saisons étudiées correspond au rayonnement global. L'année 2006 n'a pas bénéficié d'un ensoleillement aussi généreux que 2005, notamment de février à juin, c'est-à-dire lorsque la photosynthèse est la plus importante (Graphique 4).



Graphique 3 : Diagramme ombro-thermique



Graphique 4 : Rayonnement global

2. Fonctionnement physique du sol

La terminologie employée pour la description des profils est présentée en annexes (Annexe 7)

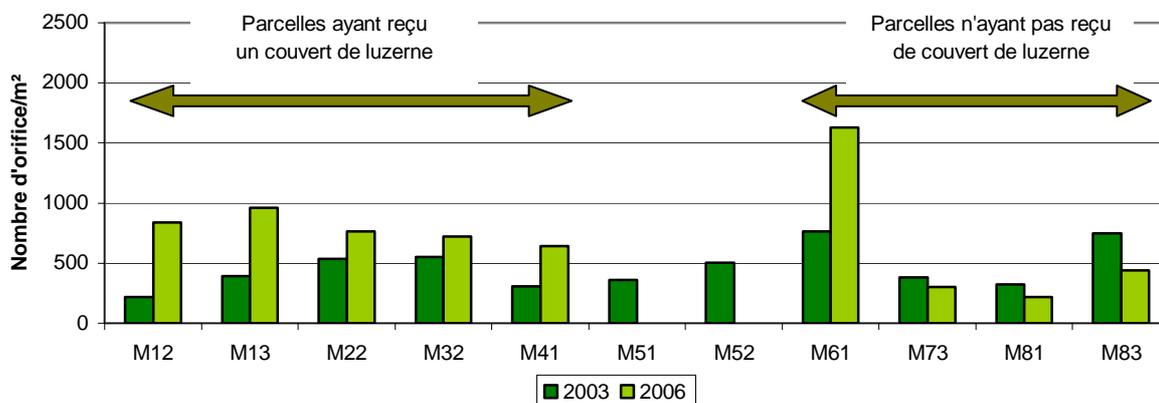
La surface du sol est caractérisée par un état de battance marqué pour les placettes M-22 et M-32 (Tableau 7). La situation va en s'améliorant sur les parcelles topographiquement plus basses. Les placettes M-81 et M-83 ne présentent pas de battance, cependant elles ont une plus grande densité de cailloux.

L'horizon travaillé a une bonne structure (mottes Γ et terre fine). Cependant, une structure trop fine du sol peut conduire à un colmatage de la porosité en profondeur par entraînement des éléments fins⁷ suite à une pluie importante. C'est ce que l'on constate sur la placette M-61. La profondeur de labour est de 18 cm pour le blé en général. Le fond de labour à 26 cm en M-61 correspond sans doute à un ancien labour plus profond (semis du pois-orge) que le dernier labour n'a pas atteint.

Sur l'ensemble des placettes, on observe une zone tassée plus ou moins marquée. La placette M-22 présente la zone tassée la plus épaisse. La porosité et la prospection par les racines y sont très limitées. Avec des sols relativement comparables, la placette M-32 présente une situation beaucoup plus saine. Les placettes M-61 et M-81 correspondent aux profils les plus favorables au développement de la culture. Cependant, la parcelle M8 présente une profondeur de sol moindre. Le passage des racines reste toutefois encore possible dans la zone de transition entre la roche mère et le sol.

Les tassements observés peuvent être à l'origine de dysfonctionnements du régime hydrique. Cependant, l'horizon P₁ ne présente pas de signe d'engorgement important et les traces d'hydromorphie sont rares. Le drainage est bon.

Concernant les comptages d'orifices de vers de terre, on observe une nette augmentation essentiellement sur les parcelles ayant eu un couvert de luzerne ainsi que sur la parcelle M6. Les parcelles M7 et M8 connaissent une évolution inverse (Graphique 5).



Graphique 5 : Orifices de vers de terre sur le fond de labour

⁷ Communication personnelle, Claude. AUBERT, GAB Ile de France

MOTTE 22	MOTTE 32	MOTTE 61	MOTTE 81	MOTTE 83
Epeautre précédent blé le 29-05-06	Blé précédent luzerne le 12-05-06	Blé précédent pois-orge le 12-05-06	Blé précédent féverole le 19-05-06	

Horizons anthropiques : horizons habituellement travaillés	Etat de surface	Battu. Fentes de retrait de 2 mm. Adventices	Croûte de battance de 1 cm environ. Quelques fentes de retrait de 1 mm. Nombreuses traces d'activité biologique (trous de vers de terre et turicules).	Peu de battance, pas de feuillette. Nombreuses traces d'activité biologique (trous de vers de terre).	Non battu. Quelques fissures. Nombreuses traces d'activité biologique. Adventices. Couleur du sol plus foncée.	Cailloux. Très nombreuses adventices. Activité biologique
	Profondeur de labour	Dernier labour = 18 cm Changement de couleur = 32 cm	DL = 18 cm CC = 34 cm	DL : 26 cm CC : 34 cm	DL : 18 cm CC : 28 cm	DL = 15 cm (labour plus superficiel en fond de parcelle, cailloux) CC = 28 cm
	Structure	H ₁ : 100% terre fine H ₅ : $\Gamma = 100\%$	H ₁ : 100% terre fine H ₅ : $\Gamma = 100\%$	H ₁ : 100% terre fine H ₅ : $\Delta_0 = 20\%$ et $\Gamma = 80\%$	H ₁ : terre fine H ₅ : $\Gamma = 100\%$	H ₁ : 100% terre fine ; H ₅ : $\Gamma = 100\%$
	Porosité dans H5	Pores = 5 Fissuration = 4-5	P = 5 F = 5	P = 5 F = 5	P = 5 F = 4	P = 5 F = 5
	Racines dans H5	R = 5	R = 5	R = 5	R = 4	R = 5
	Remarque	Pivots de luzerne qui repartent. Pailles de blé non décomposées en fond de raie par paquet	Pivots de luzerne qui repartent. Nombreux résidus de luzerne qui facilitent la fragmentation. La MO n'est pas dégradée		Bonne structuration par l'activité biologique (vers de terre, racines, etc.)	Difficulté à reconnaître le changement de couleur car affleurement de la roche tendre

Horizons anthropiques : fonds de labour généralement tassé	H6	Epaisseur	14 cm	16 cm	8 cm	10 cm	0 (directement passage à la roche tendre)
		Structure	$\Delta = 70\%$ $\Phi(\Delta) = 10\%$ $\Delta_0 = 20\%$	$\Delta_0 = 80\%$ $\Phi(\Delta) = 20\%$	$\Delta = 70\%$ $\Delta_0 = 30\%$	$\Delta = 80\%$ $\Delta_0 = 20\%$	-
		Porosité	P = 1 et F = 2	P = 4 et F = 2	P = 1 et F = 3	P = 1-2 et F = 3	-
		Racines	R = 2-3	R = 4	R = 2-3	R = 3	-
	Sommet de P1	Epaisseur	12 cm	5 cm	5-6 cm	8 cm	13 cm (zone de transition avec la roche tendre)
		Structure	$\Delta = 60\%$ $\Phi(\Delta) = 30\%$ $\Gamma = 10\%$	$\Delta = 30\%$ $\Phi(\Delta_+) = 10\%$ $\Delta_0 = 60\%$		$\Delta = 50\%$ $\Delta_0 = 50\%$	$\Delta = 80\%$ $\Delta_0 = 20\%$
		Porosité	P = 2 et F = 3	P = 4 et F = 3		P = 3 et F = 4	P = 1 et F = 3
		Racines	R = 3	R = 5	R = 3-4	R = 3	R = 3-4

Tableau 7 : Description des profils

3. Flore adventice

La flore adventice est variée et présente des hétérogénéités suivant les parcelles considérées (Tableau 8). Les éléments principaux sont les suivants :

→ La matricaire est l'espèce majoritaire sur les parcelles M1 à M6

→ Le gaillet ne concerne que les parcelles situées en bas de l'îlot (M7 et M8), essentiellement sur les placettes superficielles et caillouteuses. On remarque par ailleurs sur ces zones, que la flore présente des variantes. En particulier, le mouron, majoritairement de couleur rouge sur les parcelles, présente des fleurs bleues sur la placette M-83.

→ Les renouées sont présentes en plus grande densité sur la parcelle M8

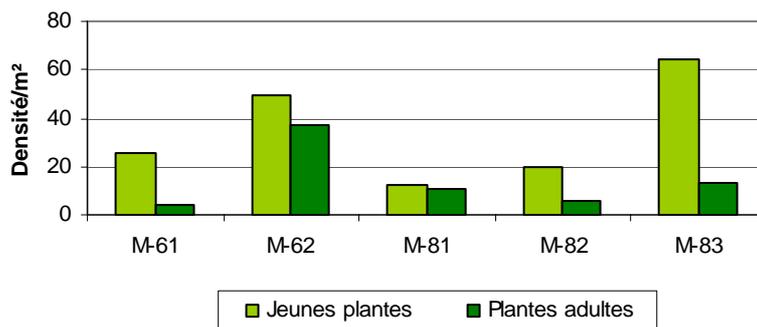
→ Le chiendent se développe sur l'ensemble des parcelles

→ Le chardon (cirse des champs) est très rare sur les parcelles M2 et M3. En revanche, l'infestation est très marquée en M6 et M8. Les comptages étant délicats pendant la période de végétation, des comptages complémentaires ont été réalisés immédiatement après la récolte sur les parcelles M6 et M8 (Graphique 6).

	M-21		M-22		M-31		M-32	
	Epeautre précédent blé		Blé précédent luzerne		Blé précédent luzerne		Blé précédent luzerne	
	6-avr.	30-mai	6-avr.	29-mai	5-avr.	1-juin	5-avr.	1-juin
Dicotylédones annuelles								
Matricaire	25	131	15	134	53	302	19	305
Renouée liseron	18	29	2	5		5		1
Mouron		18		38	2	46		16
Chénopode		3		2		1		
Renouée des oiseaux		11						
Autres dicots								97
Graminées annuelles								
Vulpin		13						
Vivaces								
Luzerne	3	6	7	14	7	11	1	4
Cirse des champs			1	5		1		
Chiendent	1	5	2	10	35	85	3	12
Laiteron		4		3		2		5
Vivace à déterminer								

	M-61		M-62		M-81		M-82		M-83	
	Blé précédent pois-orge		Blé précédent pois-orge		Blé précédent féverole		Blé précédent féverole		Blé précédent féverole	
	3-avr.	22-mai	3-avr.	22-mai	4-avr.	22-mai	4-avr.	19-mai	4-avr.	18-mai
Dicotylédones annuelles										
Matricaire	16	23	17	25		1	10	59		
Renouée liseron	12	21		1	39	103	20	39	19	57
Mouron		25	1	27		29	1	91		37
Gaillet	1				6	23	1	1	18	34
Chénopode		6						3		4
Véronique				7		5		6		60
Plantain lancéolé								2		
Coquelicot										1
Autres dicots	12	1	18		3	1	68	1	99	
Graminées annuelles										
Vulpin		15		10						
Vivaces										
Cirse des champs		5	18	27		3	1	5		5
Chiendent					43	> 100	13	80		
Laiteron				21		22		24		59
Rumex	1	1								
Liseron des champs						7				
Vivace à déterminer	1		1							

Tableau 8 : Densité des principales adventices



Graphique 6 : Densité de chardons à la récolte

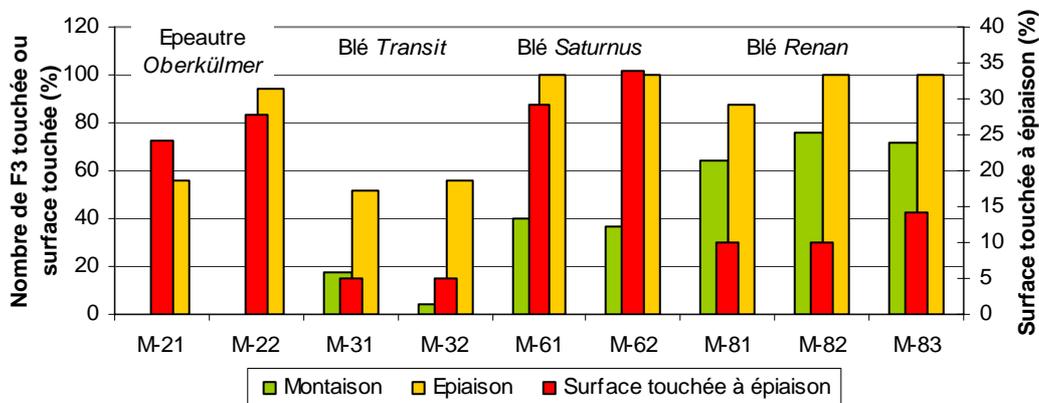
4. Maladies

Des maladies affectent les différents organes de la plante au fur et à mesure de son développement.

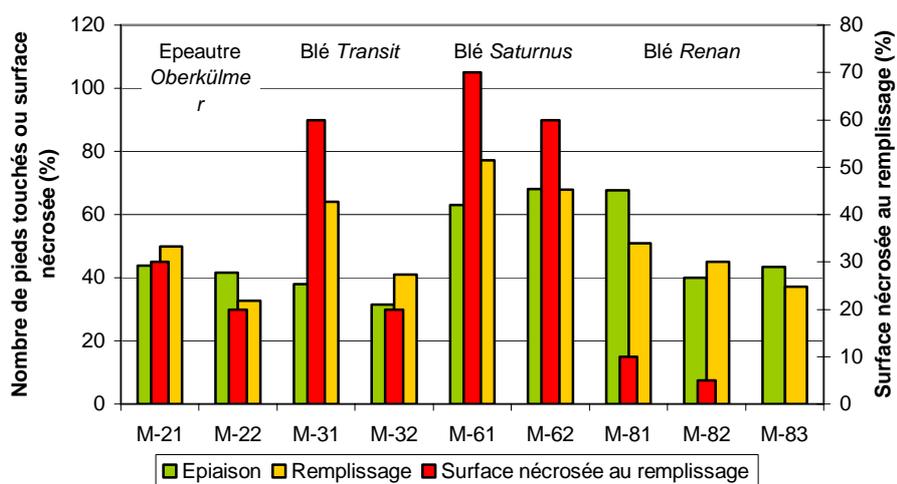
Les *maladies du feuillage* sont les premières à se déclarer. La septoriose est la maladie la plus répandue. Elle touche l'ensemble des parcelles, avec une pression plus marquée sur les parcelles M6 et M8 (Graphique 7). Cependant, même si l'ensemble des plantes est touché, les feuilles gardent une partie photo-synthétiquement active (pas plus de 40% de la feuille F3 touchée). L'oïdium, quant à lui, n'est présent que sur la parcelle M8. Enfin, la rouille brune apparaît en fin de cycle. Sa présence a été confirmée sur l'épeautre.

Les *maladies du pied* ont été notées à partir de l'épiaison. On remarque une attaque assez précoce de piétin, mais elle se développe peu. L'épeautre est moins touché par cette maladie que le blé, tout comme les zones superficielles (M-82 et M-83). La nécrose de la base de la tige est limitée (Graphique 8). Le rhizoctone n'est présent que sous forme de traces.

Enfin, la présence de septoriose est généralisée sur les *épis*, exceptée sur l'épeautre. Notons cependant, que les épillets de l'épeautre sont entourés d'une enveloppe rigide et épaisse. La maladie est donc difficile à diagnostiquer et peut passer inaperçue. La fusariose orangée n'est présente que sur la parcelle M6, avec des traces sur la moitié des épis. Cette parcelle a également été touchée par du charbon qui s'exprime à floraison. Enfin, la parcelle M3 présente de l'ergot des céréales en quantité non négligeable (1 ergot pour 50 grains environ). Ce taux dépasse la norme autorisée. L'épeautre est également touché, dans une moindre mesure. Cependant, la ferme dispose d'un équipement de triage, permettant de séparer les ergots efficacement.



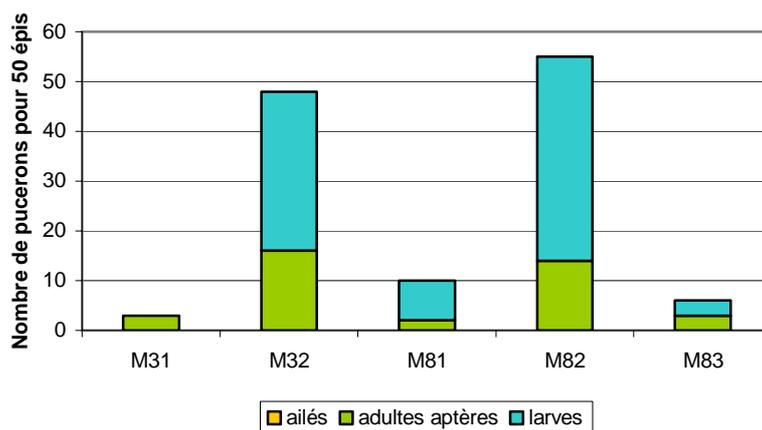
Graphique 7 : Pression de septoriose à montaison et épiaison



Graphique 8 : Pression de piétin verse à épiaison et au remplissage

5. Auxiliaires / Ravageurs

Les résultats concernant la faune volante ne sont pas encore disponibles. La diagnose des individus est en cours auprès de JP Sarthou (INRA Toulouse). Les observations sur les populations de pucerons ont été limitées cette année par la météorologie. En effet, les conditions ont été défavorables à leur développement (averses violentes et répétées qui « lavent » les plantes des pucerons). De plus, ce temps humide a favorisé le développement d'un champignon parasite du pucerons : *Entomophthora muscae*. Les populations ne dépassent pas 60 individus pour 50 épis, soit moins de 2 individus par épi (Graphique 9). Les infestations sont très localisées. Bien qu'aucun comptage n'ait été réalisé sur la parcelle M6, les observations de terrain n'ont pas révélé de populations importantes.

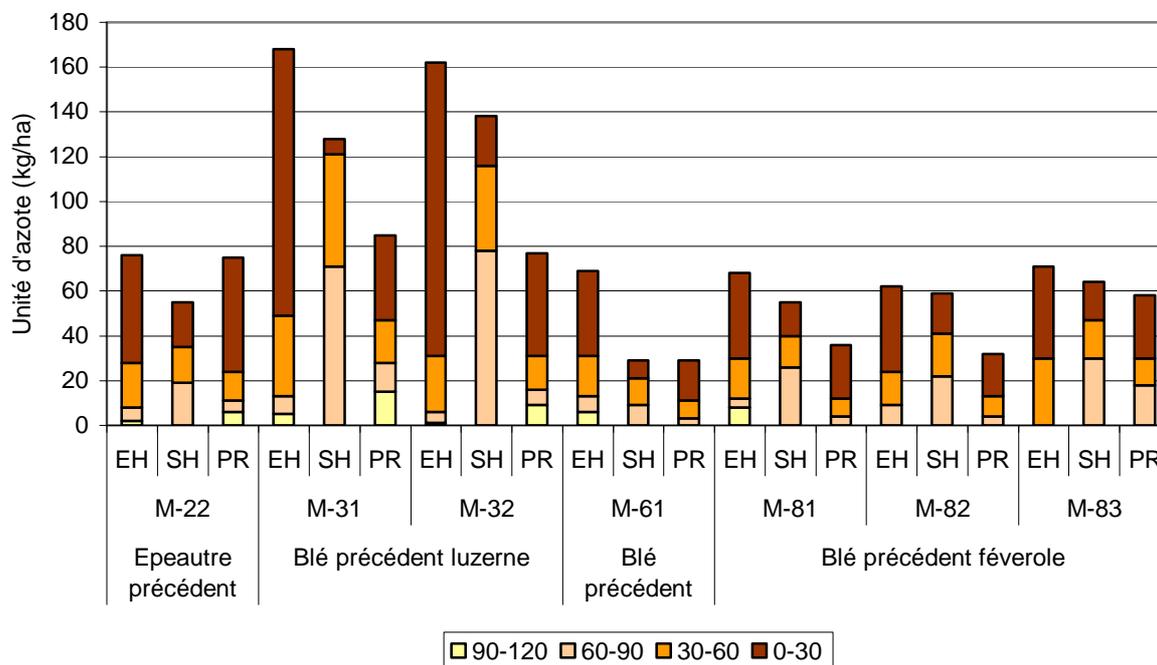


Graphique 9 : Populations de pucerons sur les parcelles M3 et M8 au stade pâteux

6. Azote

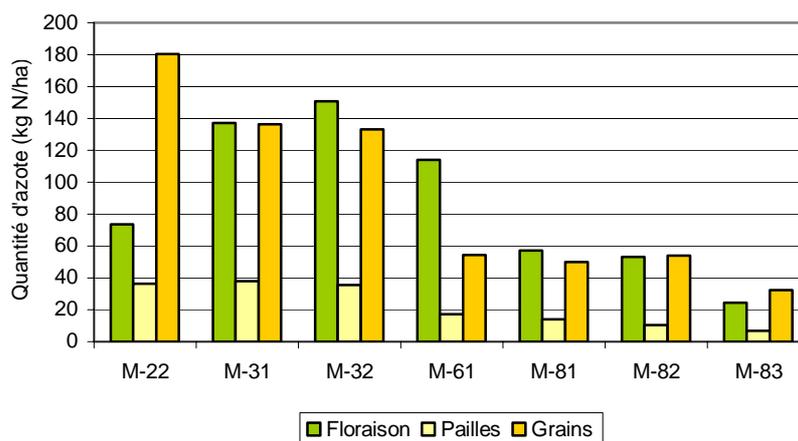
Les reliquats azotés après la luzerne sont particulièrement élevés (supérieurs à 150 kg/ha), d'autant plus que l'automne a été particulièrement doux favorisant la minéralisation. Les reliquats après le mélange pois-orge, la féverole ou le blé sont relativement proches

(Graphique 10) Précisons cependant que la féverole n'ayant pas atteint la fin de son cycle, les restitutions sont inférieures aux années précédentes.



Graphique 10 : Reliquats azotés 2005 - 2006

La quantité d'azote absorbée par le peuplement recoupe les informations fournies par les reliquats azotés. On remarque par ailleurs que la parcelle de blé précédent pois-orge (M6) présente une forte absorption d'azote à floraison, mais que l'azote n'est pas bien remobilisé pour les grains à la récolte (Graphique 11). Le fonctionnement du peuplement végétal a été perturbé lors du remplissage des grains.



Graphique 11 : Quantité d'azote absorbée à floraison et répartition de l'azote à la récolte

III. Interprétation

L'objectif de cette partie est de mettre en lien les observations réalisées sur les facteurs limitants, et les résultats de récolte, ainsi que d'établir l'impact des pratiques mises en oeuvre.

A. Effets des facteurs limitants sur l'élaboration du rendement

1. Effet du climat

Le développement du peuplement végétal est très lié à la température. En effet, le rythme d'émission des feuilles, ainsi que l'apparition des stades sont déterminés en grande partie par la somme des températures journalières depuis le semis. La durée du jour et le rayonnement jouent également [22].

Les parcelles étudiées ont été semées relativement tardivement. Le développement de la culture avant l'hiver a donc été très limité (hiver au stade 2 feuilles). Seule la parcelle M6 semée fin octobre a pu bénéficier de la douceur de l'automne pour se développer. Par ailleurs, la minéralisation d'automne a été favorisée. Celle-ci n'a vraisemblablement pas pu être valorisée par la culture de manière optimale, car les précipitations consécutives ont pu entraîner des pertes par drainage.

Par la suite, le printemps tardif a retardé la reprise de la végétation et de la minéralisation. Le tallage a été retardé, et le nombre de talles émises est faible. Hors, un fois le stade « épi 1 cm » dépassé (qui marque le début de la montaison), le blé n'est plus capable d'émettre des talles. La densité d'épis et le potentiel de rendement sont donc déterminés.

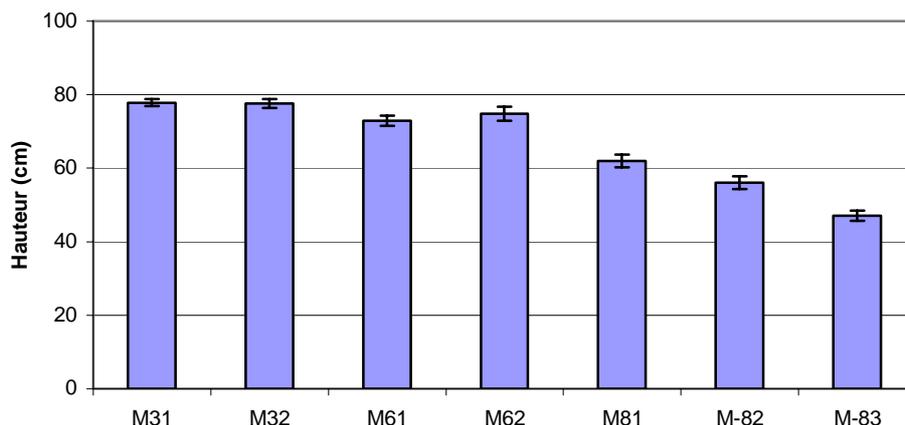
Enfin, la floraison a eu lieu tard également, en raison d'une quinzaine très fraîche fin mai-début juin (température moyenne de 11°C). Les températures très élevées qui ont immédiatement suivi ont fait craindre un échaudage, mais ces dégâts n'ont pas été observés. La réserve en eau est suffisante compte tenu du peuplement végétal.

Le blé a atteint sa maturité fin juillet. Malheureusement, le mois d'août n'a pas offert de créneau de beau temps chaud et sec. Le grain a donc été récolté tard (dernière parcelle de blé moissonnée le 1^{er} septembre), et légèrement humide. La récolte tardive a entraîné des pertes de grains sur la parcelle M8 de l'ordre de 1 à 2 grains par épi soit une perte avoisinant 1 ql/ha. On n'observe pas de perte de grains sur les parcelles M3 et M6, dont les épillets sont restés fermés. L'humidité a pu affecter le poids spécifique (masse d'une hectolitre de grains mesuré en kilogramme). Enfin, quelques grains ont germés sur la parcelle M6. Un déclassement de la récolte est donc à craindre.

2. Effet de la structure du sol

Il est difficile d'estimer la diminution du potentiel de production des parcelles de blé suivant l'état du profil cultural observé. Cependant, les observations réalisées nous permettent de classer les situations observées, suivant les facteurs considérés. Cette classification a pour objectif de discriminer les différentes placettes suivant les facteurs limitants.

Ces appréciations sont issues à la fois des observations réalisées et du ressenti de l'observateur face aux parcelles. L'appréciation globale ne correspond pas à une moyenne sur les différents critères, car tous ne sont pas équivalents. Il apparaît par exemple que la profondeur de sol a un effet plus marqué que la battance sur le développement du peuplement végétal. Cet aspect est particulièrement visible sur les parcelles présentant un gradient de profondeur comme c'est le cas de la parcelle M8. La hauteur du blé révèle bien l'effet dépressif du manque de sol (Graphique 12), mais d'autres indicateurs tels que la densité de pied ou le nombre de grains par épi révèle le même phénomène. Cette remarque est d'autant plus vraie cette année car les interventions ont été réalisées en conditions favorables. Le sol n'a donc pas souffert de resserrement.



Graphique 12 : hauteur du blé par placette

La nature du sol a également un impact sur le développement de la plante. Dans les sols les plus argileux, et présentant des éléments grossiers comme c'est le cas de la parcelle M8, on remarque au moment du ressuyage de printemps que le sol est soufflé. L'air remplace l'eau qui s'est évacuée du sol. Ce phénomène contrarie le tallage, mais un roulage permet de ré-enraciner la plante.

	M22	M32	M61	M81	M83
Profondeur	Situation très favorable	Situation très favorable	Situation favorable	Situation défavorable	Situation très défavorable
Horizon tassé	Situation défavorable	Situation favorable	Situation défavorable	Situation favorable	Situation intermédiaire
Horizon labouré	Situation favorable	Situation favorable	Situation intermédiaire	Situation intermédiaire	Situation défavorable
Battance	Situation très défavorable	Situation très défavorable	Situation intermédiaire	Situation favorable	Situation favorable
Activité biologique	Situation très défavorable	Situation intermédiaire	Situation favorable	Situation intermédiaire	Situation défavorable
Appréciation globale	Situation défavorable	Situation favorable	Situation intermédiaire	Situation défavorable	Situation très défavorable

Légende :

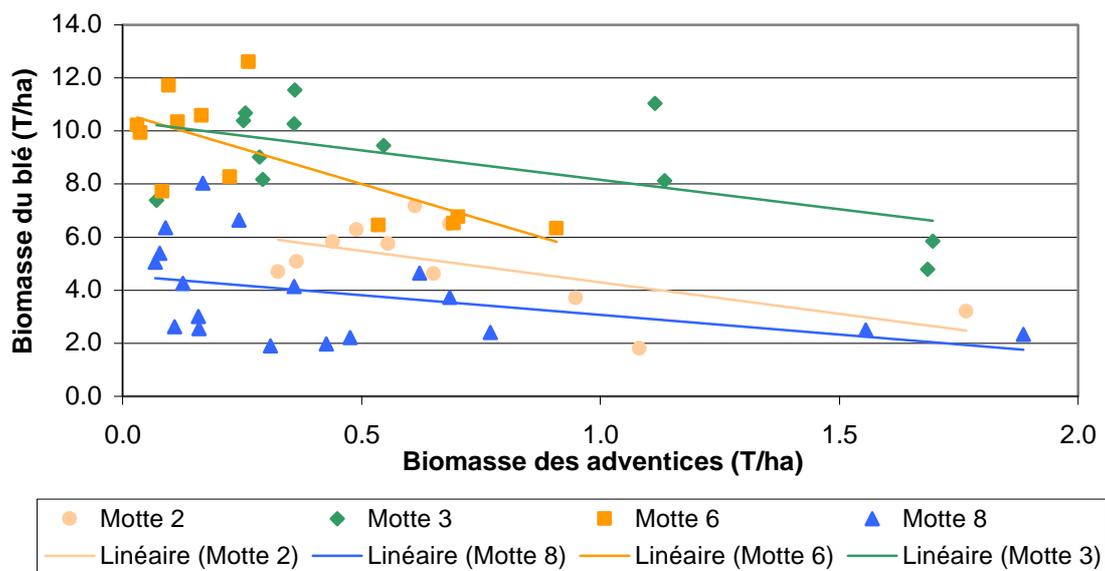


Tableau 9 : Facteurs limitants liés à la structure du sol

3. Effet de la pression adventice

La pression adventice exerce un effet dépressif sur la production des parcelles (Graphique 13). Cet effet est relativement similaire entre les parcelles (perte de 2 T/ha de biomasse de blé par tonne de biomasse d'adventice à la floraison du blé). Seule la parcelle M6 semble être davantage pénalisée. Ces résultats sont surprenants, car la variété *Saturnus* est notée comme plus concurrentielle que *Renan* et *Transit* dans les essais du GAB Ile de France [21].

NB : La présence d'adventices n'est pas prise en compte dans les logiciels de simulation de l'azote.



Graphique 13 : Biomasse à floraison en fonction de la biomasse adventice

Il serait intéressant de poursuivre l'analyse afin de savoir sur quelle composante influe la pression adventice. Le nombre de répétitions est trop faible pour tirer des conclusions. Il semble cependant que le nombre d'épis soit la composante la plus affectée.

	M21	M22	M31	M32	M61	M62	M81	M82	M83
Biomasse	Orange	Rouge	Vert	Vert	Vert	Vert	Orange	Rouge	Rouge
Densité	Jaune	Jaune	Rouge	Rouge	Vert	Vert	Orange	Orange	Orange
Espèces concurrentielles	Vert	Vert	Jaune	Jaune	Orange	Orange	Rouge	Rouge	Rouge
Stade de développement	Vert	Vert	Jaune	Jaune	Orange	Orange	Orange	Orange	Rouge
Appréciation globale	Vert	Vert	Jaune	Jaune	Orange	Orange	Orange	Rouge	Rouge

Légende :

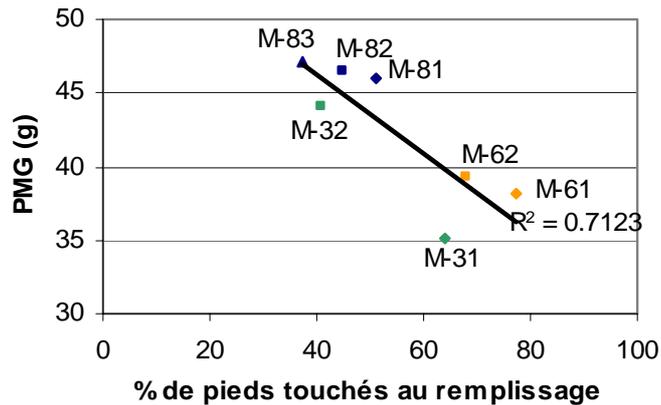
■ Situation très défavorable	■ Situation défavorable	■ Situation intermédiaire	■ Situation favorable	■ Situation très favorable
---	---	---	--	---

Tableau 10 : Facteurs limitants liés à la pression adventice

4. Effet de la pression de maladies et des ravageurs

Les maladies les plus pénalisantes pour le rendement sont celles qui attaquent le pied et limitent le remplissage des grains [16]. A ce stade, le nombre de grains est déterminé, mais la taille des grains peut être affectée. On constate en effet une baisse du PMG sur les placettes les plus touchées par le piétin. Cet effet de la maladie est visible sur l'ensemble des parcelles considérées (Graphique 14). Notons cependant, que le PMG est également lié à la variété.

NB : La présence de maladies n'est pas prise en compte dans les logiciels de simulation utilisés.



Graphique 14 : Effet du piétin sur le PMG

	M21	M22	M31	M32	M61	M62	M81	M82	M83
Maladies du feuillage	Jaune	Jaune	Vert	Vert	Orange	Orange	Jaune	Jaune	Jaune
Maladies du pied	Jaune	Jaune	Rouge	Jaune	Rouge	Orange	Vert	Vert	Vert
Maladies de l'épi	Jaune	Jaune	Orange	Orange	Jaune	Jaune	Vert	Vert	Vert
Appréciation globale	Jaune	Jaune	Orange	Jaune	Rouge	Orange	Vert	Vert	Vert

Légende :

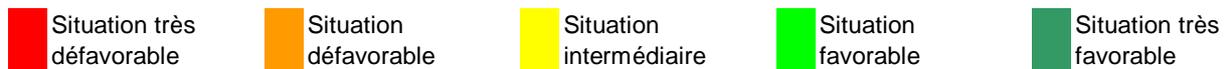


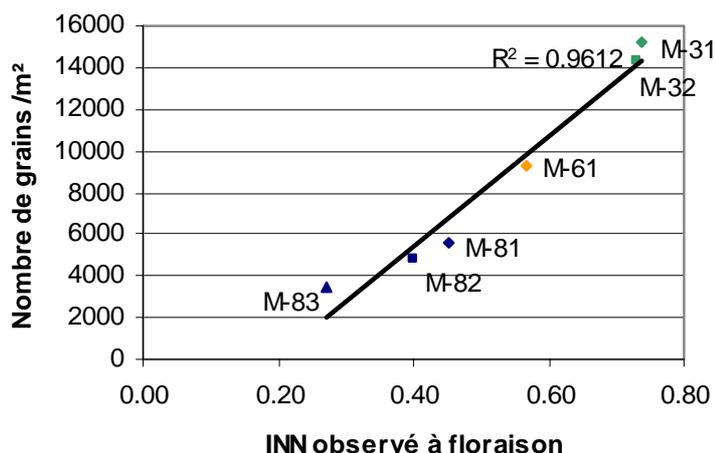
Tableau 11 : Facteurs limitant liés à la pression de maladies

Concernant les ravageurs, les pucerons sont les insectes susceptibles d'affecter le plus fortement le rendement du blé. Cette année, les populations sont de petite taille et leur développement a été limité par la météo. Ils n'ont pas entraîné de dégâts sur les cultures.

5. Effet du stress azoté

L'azote est tout d'abord assimilé dans les parties végétatives (feuilles) à la montaison avant d'être exporté vers les grains au moment du remplissage. La concurrence entre le rendement et la qualité du grain est fréquente [1] [7]. Les situations à fort rendement conduisent couramment à des taux de protéines faibles, tandis que les parcelles à plus faibles rendements compensent avec une bonne qualité du grain. Cette tendance ne s'observe pas sur nos parcelles car le précédent luzerne offre des conditions nettement différentes des autres précédents. Les meilleurs rendements ainsi que les meilleurs taux de protéines sont obtenus sur cette parcelle.

Le stress azoté à la floraison a un effet marqué sur l'élaboration du rendement. On constate que l'indice de nutrition azoté mesuré à floraison est quasiment linéairement lié au nombre de grains (Graphique 15).



Graphique 15 : Effet du stress azoté à floraison sur le nombre de grains

Une analyse de l'impact des adventices sur l'absorption de l'azote à floraison a été menée. Nos données ne nous permettent pas de conclure sur une relation directe entre ces deux variables.

	M22	M31	M32	M61	M81	M82	M83
Azote absorbé à floraison	Orange	Vert	Vert	Vert	Rouge	Orange	Orange
Rendement	Orange	Vert	Vert	Orange	Orange	Rouge	Rouge
Protéines	Blanc	Vert	Vert	Rouge	Orange	Orange	Orange
Appréciation globale	Orange	Vert	Vert	Rouge	Orange	Orange	Orange

Légende :

 Situation très défavorable	 Situation défavorable	 Situation intermédiaire	 Situation favorable	 Situation très favorable
---	---	---	---	--

Tableau 12 : Facteurs limitants liés au stress azoté

B. Effets des pratiques sur les modifications du milieu

1. Effet des pratiques sur le sol

Les deux années de luzerne constituent le point majeur de la rotation susceptible de modifier la qualité du profil cultural. Or seules trois parcelles (M1, M2 et M3) ont eu ce couvert. Concernant le blé, nous ne pouvons donc nous appuyer que sur deux profils : M-22 et M-32. Notons également que la profondeur de labour a été nettement diminuée depuis 2003 (de 30 cm à 18 cm). Cette modification des pratiques correspond à une nécessité de d'augmenter le stock de matière organique du sol en diminuant le volume d'incorporation des résidus.

L'état structural de l'horizon labouré semble d'ores et déjà s'améliorer : alors qu'en 2003 sur la placette M-22, on observait 50% de mottes Φ , l'ensemble de l'horizon est aujourd'hui constitué de motte Γ . Le phénomène de fissuration a donc été efficace. La même tendance s'observe sur la placette M-32. En profondeur, le changement est moins net. L'horizon tassé est toujours visible. La luzerne a effectivement la capacité de traverser l'horizon tassé, cependant les pivots ne créent pas toujours de la fissuration. Ce phénomène semble être plus lent en profondeur. En effet, sur la parcelle M1, ce sont les pivots anciens en cours de dégradation qui créent de la fissuration. Il semble donc que la luzerne commence par perforer la semelle de labour, puis en se dégradant lentement (en 2 ou 3 ans

minimum), elle permet la fissuration de l'horizon. Les hivers relativement secs des dernières années améliorent également la fissuration.

En revanche, il serait prématuré de tirer des conclusions concernant les orifices de vers de terre, notamment du fait de l'effet de la remontée de la profondeur de labour qui s'ajoute à l'effet de la couverture de luzerne.

2. Effet des pratiques sur la pression adventice

Il n'y a pas eu de désherbage sur les parcelles de l'essai. Les facteurs déterminant la pression adventice sont donc liés aux facteurs suivants :

→ Le type de sol : la matricaire est la flore dominante sur les parcelles 1 à 6, car elle colonise préférentiellement les sols limoneux et battants. Elle est bien adaptée aux sols froids et se développe plus vite que le blé au printemps. Bien que localement très dense, la matricaire n'est pas l'espèce la plus concurrentielle. Le gaillet, qui se retrouve sur les zones les plus superficielles exerce une concurrence plus marquée (placette M-83).

→ L'antécédent culturel : la luzerne est le facteur principal pour la pression adventice. Deux groupes de parcelles peuvent donc être distingués pour les parcelles en blé cette année : M2 et M3 qui ont eu un couvert de luzerne, et M6 et M8 qui, placées en fin de rotation ne sont pas encore passés par la prairie. L'effet est particulièrement visible sur la densité de chardons. Cependant, la présence de quelques ronds de chardons sur la parcelle M2, peu étendus mais d'ores et déjà présents, peut inquiéter quant à la suite de la rotation. Une attention particulière est à porter sur le développement de ces foyers. On remarque par ailleurs une plus forte densité de renouées sur les parcelles avec un précédent de culture de printemps.

3. Effet des pratiques sur la pression de maladies

On note en premier lieu que les résultats sont sensiblement homogènes au sein d'une même parcelle, mais différent d'une parcelle à l'autre. L'effet variété semble donc prépondérant, ce qui est en accord avec les critères de résistance et de sensibilité qui leurs sont conférés. L'effet type de sol ne s'exprime pas, même sur les maladies du pied, souvent sensibles à ce critère.

Concernant la présence de charbon sur la parcelle M6, la contamination des semences est incriminée car les autres parcelles de la même variété (semences achetées au même fournisseur) sont également touchées. Enfin, la présence d'ergot des céréales semble s'expliquer par une sensibilité accrue de la variété *Transit*. La présence de bandes enherbées de dactyle constitue un facteur aggravant, car cette espèce est un hôte secondaire de la maladie.

4. Effet des pratiques sur la nutrition azotée

Les mesures de reliquats azotés montrent l'effet prépondérant du précédent. La luzerne constitue le précédent le plus favorable. Les précédents pois-orge ou féverole ont des effets similaires. Notons cependant que le précédent féverole ayant été broyé avant la maturité, les restitutions sont inférieures aux années précédentes. Par contre, les reliquats après blé sont plus élevés que la moyenne. On peut donc penser que la luzerne a un effet sur la nutrition azotée en deuxième année de rotation.

L'azote disponible pour la plante est entièrement apporté par les restitutions ou les résidus de la culture précédente (ou des cultures précédentes). Sa disponibilité est déterminée par la nature et la quantité des résidus, ainsi que par les conditions de minéralisation. La flore microbienne du sol joue un rôle primordial dans la minéralisation des résidus.

IV. Conclusion : quels sont les facteurs limitant la production sur les parcelles étudiées ?

Le travail précédent a permis de discriminer les cas de figure suivant différents critères. Désormais, il s'agit de hiérarchiser les facteurs limitants sur chacune des parcelles. L'expertise acquise sur le terrain permet d'établir un classement.

	M22	M31	M32	M61	M81	M82	M83
Caractéristiques du sol	1	3	2	4	3	2	1
Pression adventice	4	2	1	3	1	1	2
Pression de maladies	3	1	1	2	4	4	4
Azote	2	4	3	1	2	3	3
Appréciation globale							

Légende :

 Situation très défavorable	 Situation défavorable	 Situation intermédiaire	 Situation favorable	 Situation très favorable
--	---	---	---	--

Tableau 13 : Hiérarchisation des facteurs limitants sur les parcelles de blé (2006)

Dans la suite du travail, un logiciel de simulation prenant en compte essentiellement l'effet limitant de l'azote va être utilisé. Or, dans notre cas, les facteurs limitants se multiplient entre eux. Par exemple, un sol tassé et hydromorphe favorise la pousse de certaines adventices.

Cette étape nous permettra donc de replacer les résultats obtenus par simulation dans notre contexte propre.

Chapitre 3 : Comprendre la dynamique de l'azote dans la rotation et tester des adaptations techniques

I.	Objectifs _____	39
II.	Choix du modèle Stics _____	39
	A. Historique _____	39
	B. Objectif du modèle _____	39
	C. Fonctionnement du modèle _____	39
	1. Les variables d'entrée _____	39
	2. Les variables de sortie _____	40
	D. Domaines de validité et limites _____	40
	E. Conclusion : intérêt du modèle dans le travail engagé _____	41
III.	Les prédictions du modèle correspondent t'elles aux résultats réels ? _____	41
	A. Confronter les sorties simulées avec les sorties observées _____	41
	B. Comprendre les causes des écarts observés _____	42
	1. Facteurs limitants non pris en compte _____	42
	2. Paramètres biaisés _____	43
	3. Situation ne correspondant pas aux hypothèses du modèle ou sortant du domaine de validité _____	44
IV.	Comment fonctionne la dynamique de l'azote dans la rotation ? _____	44
	A. Quel est le bilan de l'azote dans la rotation ? _____	44
	1. Entrée d'azote _____	44
	2. Sorties d'azote _____	45
	3. Quel impact du système sur le taux de matière organique _____	46
	B. Quand l'azote est t'il disponible pour le blé ? _____	46
	1. Période de carence _____	46
	2. Période d'excès _____	47
	C. Quel impact des facteurs limitants ? _____	49
V.	Quelles adaptations du système envisager ? _____	49
	A. Les apports d'autres programmes de recherche _____	49
	1. La luzerne restituée plus d'azote la deuxième année après sa destruction _____	49
	2. Les engrais verts permettent d'optimiser l'alimentation du blé au printemps _____	50
	3. Les fertilisants organiques présentent un intérêt en situation de forte carence _____	50
	B. Les adaptations testées sur le dispositif de la Motte _____	51
	1. Optimiser la date de semis du blé de luzerne _____	51
	2. Apporter des amendements et des fertilisants organiques _____	51
	C. Conclusion : la rotation agronomiquement idéale ? _____	53

I. Objectifs

Ce chapitre a pour objectif de valoriser les données enregistrées lors des deux dernières campagnes, par l'intermédiaire d'un logiciel de simulation de l'azote. Ce logiciel, Stics© [32] va être employé dans deux directions :

→ Le logiciel comme outil de compréhension : « Quelle est la dynamique de l'azote dans la rotation ? ». Il nous permettra d'accéder à un certain nombre d'informations difficilement mesurables sur le terrain. Ces informations concernent à la fois la production des parcelles (en terme de rendement et de qualité de récolte), mais également les impacts environnementaux du système de culture.

→ Le logiciel comme outil d'aide à la décision : « Quelles adaptations de la rotation et de l'itinéraire technique sont envisageables ? »

II. Choix du modèle Stics©

A. Historique

Le logiciel Stics© résulte d'une réflexion commune entre agronomes. Les premiers formalismes du logiciel ont été énoncés au milieu des années 1980. Ils s'inspirent de modèles construits aux Etats-Unis ainsi qu'en Hollande, reprenant les acquis de la physiologie végétale. Stics© s'est développé progressivement grâce à des groupes de travail. Les avancées de chacun sont partagées à l'occasion de réunions échelonnées tous les deux ans environ. Ces groupes se sont enrichis au fur et à mesure de nouveaux spécialistes permettant ainsi d'élargir le champ d'actions du modèle et les applications possibles. Le modèle s'adapte désormais à de nombreuses cultures.

B. Objectif du modèle

Stics© est un modèle de fonctionnement des cultures à pas de temps journalier. Il a pour objectif de simuler les conséquences de variations du milieu (ex : nutrition azotée) et du système de culture (ex : fertilisation, rotation, irrigation) sur la production d'une parcelle agricole en rendement et en qualité. Il délivre également des sorties environnementales, renseignant sur les effets du système testé. Il permet donc d'accéder à des variables difficilement accessibles sur le terrain, par exemple sur les pertes en azote du système.

Stics© a été conçu comme un outil de simulation opérationnel en conditions agricoles. Il a aussi été conçu comme un outil de travail, de collaboration et de transfert des connaissances vers des domaines scientifiques connexes. Dans notre cas, il nous permettra d'obtenir des sorties dont nous évaluerons l'effet sur la rentabilité économique du système.

C. Fonctionnement du modèle

1. Les variables d'entrée

Le logiciel fonctionne à partir de fichiers de données à compléter suivant la situation à simuler :

→ Un fichier « Sol » renseigne sur les caractéristiques générales (granulométrie, pH, matière organique), ainsi que sur différents horizons du sol (densité, humidité à la capacité au champ, taux de cailloux).

→ Un fichier « Plante » contient l'ensemble des informations relatives à la culture. Certaines caractéristiques variétales sont à compléter.

→ Un fichier « Technique » est à créer pour chaque unité de simulation. Il indique les dates d'interventions, la profondeur de travail du sol, l'apport de fertilisants et leur composition. Il est nécessaire d'initialiser la simulation en renseignant la teneur en azote des différents horizons au temps zéro.

→ Enfin, un fichier « Paramètres généraux » indique les options de simulation, les modes de minéralisation des engrais, etc. Il permet également d'activer ou non le stress azoté et hydrique.

La simulation est réalisée lorsqu'un fichier « Climatique » est joint aux fichiers précédents. Il est également possible d'ajouter un fichier où les variables observées sur le terrain sont indiquées. Ce fichier pourra être utilisé pour comparer sorties simulées et observées, et optimiser certains paramètres.

2. Les variables de sortie

Le logiciel génère plusieurs fichiers de sortie (Figure 4) :

→ Un fichier récapitulatif indiquant : les stades calculés et observés, la production simulée (rendement, teneur en protéines et en azote), le bilan d'azote et le bilan hydrique, la production ou le déstockage de matière organique.

→ Un fichier journalier indiquant la valeur des variables d'état du modèle (biomasse, azote absorbé, LAI, etc.)

→ Un fichier « Profil » décrivant chaque strate de sol. Il est possible de visualiser graphiquement ce fichier à certaines dates choisies par l'utilisateur.

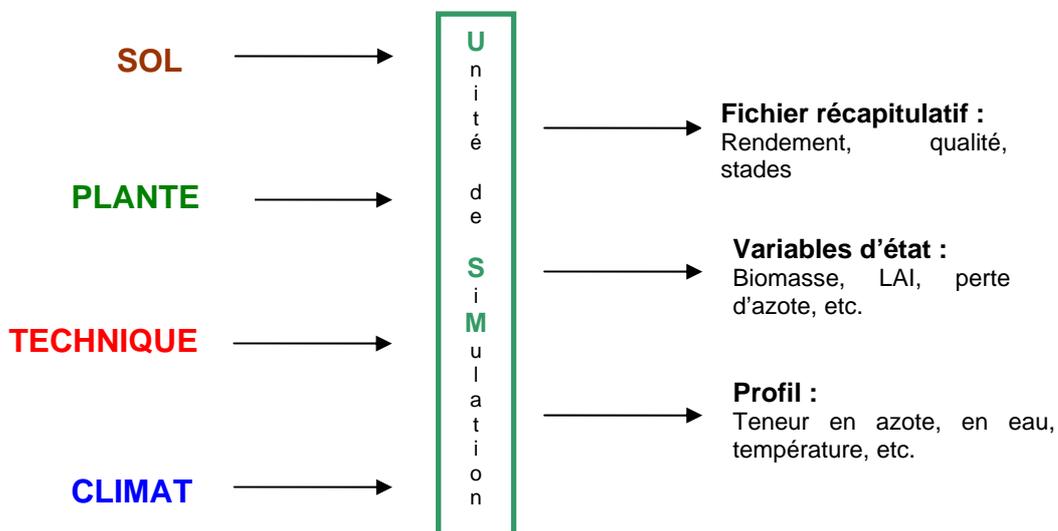


Figure 4 : Entrées et sorties de la simulation

D. Domaines de validité et limites

Stics© a été validé dans différentes situations pédo-climatiques. La validation consiste en une comparaison entre variables observées et simulées correspondant aux sorties « agronomiques » (rendement en grain, biomasse aérienne, teneur en azote du sol et de la récolte, etc.). Des outils statistiques ont permis d'améliorer le modèle par la suite. Il résulte une erreur résiduelle de 15% concernant le rendement en blé.

Un certain nombre d'approximations a été effectuée, notamment sur les dates de semis du blé. Le modèle minimise les écarts pour des semis réalisés entre le 22 octobre et le 7 novembre. Pour des semis sortant de cette fenêtre, les paramètres employés peuvent s'écarter de leur valeur réelle.

La validation a été réalisée dans le contexte de l'agriculture conventionnelle. Le logiciel ne simule pas de perte de rendement en cas de carence en phosphore ou potassium. De même l'effet concurrentiel des adventices n'est pas pris en compte.

Le modèle est utilisable dans une gamme relativement large de situations. Cependant, rien n'indique que ses conclusions peuvent être transposées dans le cadre de

l'agriculture biologique. La présence de facteurs limitants autres que l'azote, comme c'est le cas ici, nous invite à la prudence face aux résultats obtenus.

E. Conclusion : intérêt du modèle dans le travail engagé

Stics© présente l'avantage d'avoir des données d'entrée relativement faciles d'accès et peu onéreuses. Seule l'initialisation de la simulation nécessite une analyse en laboratoire indispensable (reliquats azotés sur les différents horizons). Des analyses complémentaires permettent de renseigner plus précisément la composition des apports ou des résidus de culture.

Stics© a été récemment enrichi d'un module de simulation des cultures associées. Il permet donc de simuler la culture du mélange pois-orge. Il permet en outre la simulation chronologique de plusieurs simulations. Ainsi, il est possible de simuler une rotation. Enfin, ce logiciel a été validé dans des contextes pédo-climatiques proches du notre. Il est donc adapté au sujet de l'étude.

Cependant, ce logiciel n'intègre pas les facteurs limitants tels que la flore adventice ou les maladies. Il ne dispose pas non plus de données sur la luzerne ou la féverole, ainsi que sur d'autres espèces que l'exploitant souhaiterait développer sur ses terres.

III. Les prédictions du modèle correspondent t'elles aux résultats réels ?

Remarque préalable : Nous ne travaillons ici que sur la culture du blé. Le logiciel dispose d'un certain nombre de variétés dont les caractéristiques physiologiques (précocité, nombre de grains, etc.) ont été caractérisées avec précision. Or les variétés cultivées en agriculture biologiques présentent des différences, notamment en terme de précocité. L'expertise d'ingénieurs a permis de renseigner un certain nombre de caractéristiques⁸.

Par ailleurs, ne disposant pas de renseignement sur l'épeautre, nous avons travaillé avec les mêmes données qu'un blé tardif. Aux dires d'experts, la dynamique de l'azote est comparable. Cependant, les potentiels de production ne sont pas comparables.

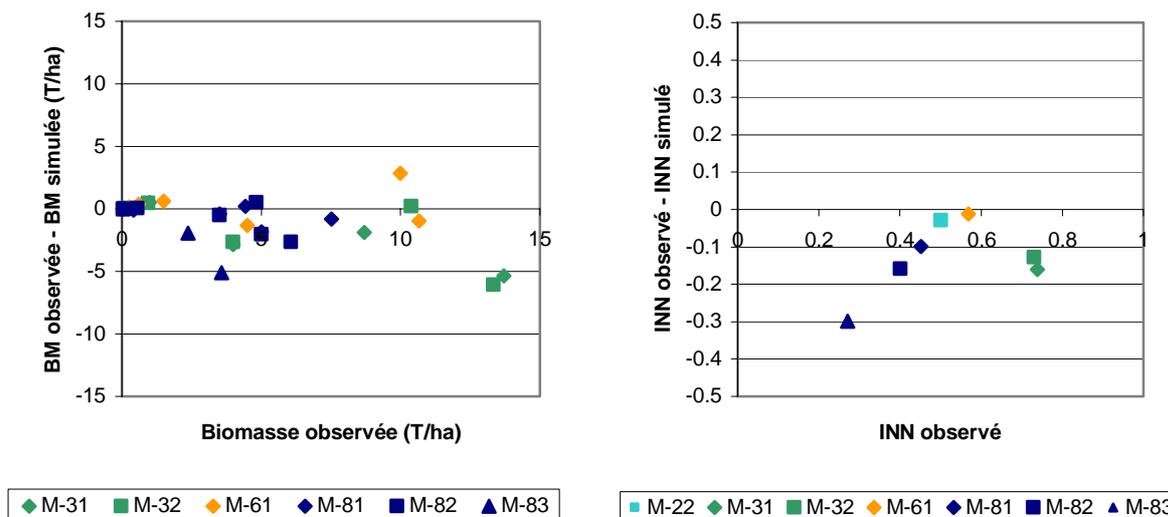
A. Confronter les sorties simulées avec les sorties observées

La première phase de travail consiste à vérifier si les sorties du modèle correspondent aux résultats observés. Les simulations sont donc réalisées avec les paramètres techniques mis en œuvre pendant l'année. Nous avons choisi deux indicateurs pour évaluer les écarts entre les résultats réels et les résultats de simulation. Ces observations ont été réalisées sur les parcelles en blé (Graphique 16).

→ La biomasse est un des indicateurs le plus facilement mesurable ou estimable sur le terrain (interventions d'experts, constitution d'une banque de photographies).

→ L'indice de nutrition azoté mesuré à la floraison est un bon indicateur du stress azoté. Il indique la teneur en azote contenue dans la plante par rapport à la teneur en azote optimale du peuplement. C'est donc un nombre sans dimension.

⁸ Communication personnelle, Philippe DU CHEYRON, Arvalis



Graphique 16 : Biais observé sur la biomasse et l'indice de nutrition azotée

On observe une légère surestimation de la biomasse par le modèle en début de cycle. Puis la tendance s'inverse dès que la biomasse observée dépasse 2T/ha. Un comportement similaire est constaté sur l'ensemble des parcelles, excepté la placette M-83 pour laquelle la biomasse observée est inférieure à celle simulée dès le début du cycle. Pour l'indice de nutrition azotée (INN) à floraison, caractéristique du stress azoté de la plante, le logiciel sous estime sa valeur dans tous les cas. L'écart observé est particulièrement important pour la parcelle M8 (blé de féverole).

B. Comprendre les causes des écarts observés

1. Facteurs limitants non pris en compte

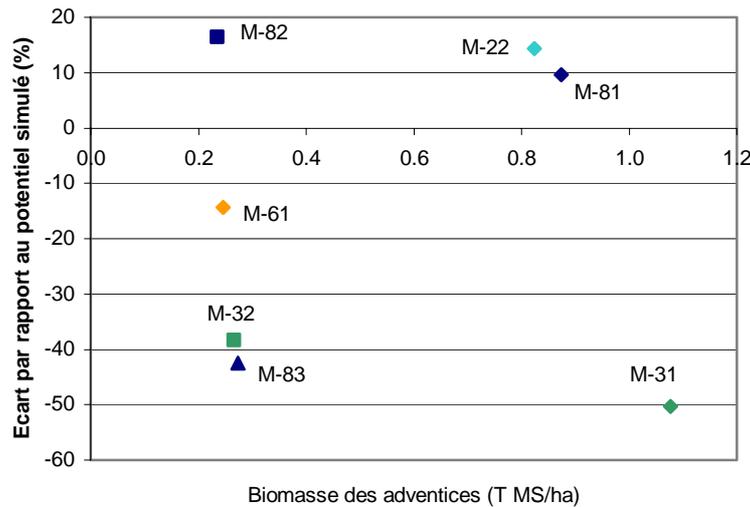
Les différences observées vont dans le même sens dans tous les cas de figure. On peut donc supposer que la surestimation du modèle est due à la non prise en compte des facteurs limitants tels que les adventices. Leur effet étant moins prégnant en début de cycle qu'en fin de cycle, l'écart se creuse progressivement. Sur la parcelle M8, d'autres facteurs limitants tels que la profondeur de sol s'expriment. De plus, la pression adventice est plus marquée que sur les autres parcelles, et s'exprime plus tôt. Le développement du blé est donc freiné dès le début du cycle.

Ces différences peuvent nous informer sur l'effet des facteurs limitants mis en évidence dans le chapitre précédent. Le diagnostic agronomique nous permet d'expliquer l'origine des écarts et d'accéder à un ordre de grandeur de la perte induite.

❖ Effet de la pression adventice :

Rappel : le diagnostic agronomique nous a permis de constater que la présence d'adventices à la floraison se traduisait par une perte en matière sèche. La perte a pu être estimée sur les parcelles de l'ordre de 2T/ha de biomasse de blé par tonne de biomasse d'adventices. Ce résultat est issu de mesures sur l'ensemble des parcelles (Graphique 13).

Utilisation du logiciel : il nous permet de comparer les sorties simulées (sans autre facteur limitant que l'azote) avec les résultats observés (soumis à un ensemble de facteurs limitants). Il est donc possible de mettre en relation le biais observé avec les observations réalisées sur les adventices (Graphique 17).



Graphique 17 : Ecart entre la biomasse observée et simulée à floraison en fonction de la pression adventice

Ce graphique ne nous permet pas de conclure sur l'effet pénalisant des adventices sur la biomasse. Il n'est pas non plus possible d'observer de tendance générale par parcelle. Cependant que les placettes M-31, M-32 et M-83 présentent un biais particulièrement important. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer ces résultats :

→ La parcelle M3 présente un potentiel de production important grâce aux reliquats azotés élevés (précédent luzerne). Cependant, l'azote disponible favorise également la croissance des adventices (matricaire chiendent, etc.). Le blé n'atteint donc pas son potentiel.

→ La placette M-83 présente une biomasse inférieure de 40% au potentiel permis par les reliquats azotés. Or la pression adventice est moins importante que sur d'autres parcelles. D'autres facteurs limitants ont donc du freiner le développement de la culture. En effet, cette placette présente un sol superficiel pénalisant.

La pression adventice n'est donc pas le seul facteur limitant la production, et elle ne semble pas être un facteur limitant dans l'ensemble des situations. Le diagnostic agronomique ne nous a pas permis d'établir un lien entre la pression adventice et l'indice de nutrition azoté de la culture. La pression adventice doit donc concurrencer la culture par plusieurs voies : concurrence vis-à-vis de l'eau, de la lumière, ou encore de l'azote...

❖ Effet des maladies

Rappel : les maladies, même en se déclarant tardivement impactent le rendement par sa composante poids de mille grains (Graphique 14).

Utilisation du logiciel : il nous permet de mettre en lien les écarts observés entre le rendement en grain observé et simulé avec les observations sur les maladies.

Les résultats obtenus sur ces critères ne nous permettent pas conclure. La confusion d'effet entre la pression adventice et la pression de maladies empêche de chiffrer la perte de rendement due à l'un ou l'autre des facteurs. Agronomiquement cette confusion d'effet est compréhensible. Une parcelle concurrencée par les adventices présente une densité moindre, les maladies se propagent alors moins rapidement. Fréquemment, cet argument qui est avancé pour expliquer l'aspect peu pénalisant des maladies en agriculture biologique.

2. Paramètres biaisés

Les écarts observés vont dans le même sens pour l'ensemble des situations. Il est possible que des paramètres (efficacité de conversion, croissance aérienne, etc.) utilisés

par défaut soient faux et introduisent un biais. Il est possible d'optimiser certains paramètres en forçant le modèle à certaines dates avec les données observées. Cette stratégie peut être mise en œuvre lorsque l'on s'est assuré que l'écart ne provient pas d'autres sources d'erreur, essentiellement la présence de facteurs limitants. Dans notre cas, il n'est pas judicieux d'optimiser les paramètres, car nous sommes placés, de part la nature même de l'essai, dans des conditions limitantes⁹.

3. Situation ne correspondant pas aux hypothèses du modèle ou sortant du domaine de validité

Stics© a fait l'objet d'une validation de ses résultats. Un réseau d'essais dans des situations pédo-climatiques variées a permis de comparer les sorties observées avec les sorties simulées. La validation porte sur les sorties finales (rendement, qualité, reliquats d'azote, etc.), ainsi que sur les sorties intermédiaires. Il en résulte une erreur résiduelle autour de 15% pour la biomasse et le rendement en grain. L'ensemble des validations a été effectué dans le contexte de l'agriculture conventionnelle.

On constate que si le logiciel simule correctement les effets de variations de teneur en azote du sol, il ne prend pas bien en compte les effets de carences en phosphore ou en potassium. De même l'ensemble des facteurs limitants biotiques n'est pas pris en compte. D'autre part, la validation du modèle pour la culture de blé a été réalisée avec des dates de semis entre le 22 octobre et le 7 novembre. Les semis plus précoces ou plus tardifs, comme souvent sur l'exploitation peuvent donc être mal modélisés.

Concernant la pression adventice, une solution est envisageable pour tenir compte de la concurrence exercée pour l'eau, l'azote et la lumière. Le logiciel étant capable de simuler des cultures associées, nous pourrions tester un mélange « blé-matricaire », proche des situations rencontrées sur certaines parcelles de l'essai. Nous ne disposons cependant pas des informations nécessaires sur la physiologie des adventices pour envisager ce type de simulations.

Dans la suite de notre travail, nous garderons à l'esprit que les sorties du modèle nous permettent de comparer plusieurs situations entre elles. Elles permettent de distinguer les situations les plus favorables. Cependant, le logiciel ne pourra pas être utilisé pour prédire la récolte ou pour chiffrer des pertes de rendement.

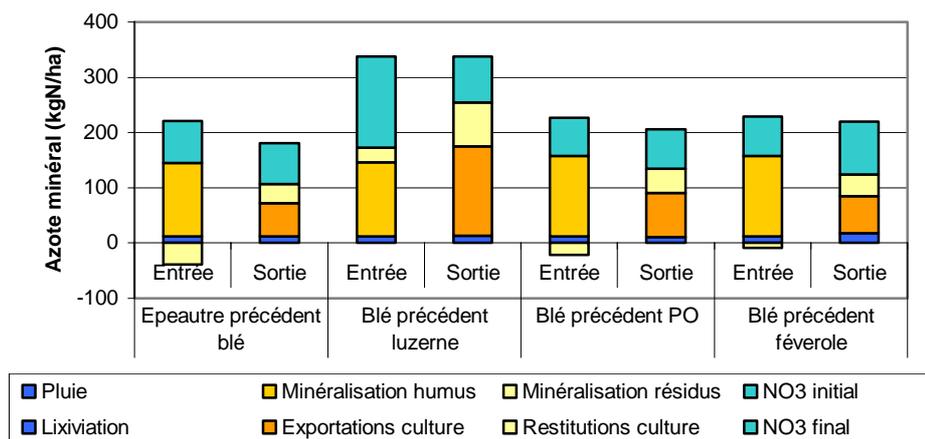
IV. Comment fonctionne la dynamique de l'azote dans la rotation ?

A. Quel est le bilan de l'azote dans la rotation ?

1. Entrée d'azote

Nous raisonnons pour les entrées d'azote sur la forme minérale de l'azote, seule forme assimilable pour le blé. Les entrées sont constituées par la minéralisation des résidus de culture et de la matière organique du sol. Les apports par les précipitations sont négligeables (Graphique 18).

⁹ Communication personnelle, Eric JUSTES, INRA Toulouse



Graphique 18 : Bilan d'azote sur les parcelles en céréales

L'essentiel des apports provient de la minéralisation de l'humus. Malgré des différences sur les teneurs en matière organique de parcelles, les apports sont comparables dans les quatre situations (Graphique 18). Les résidus de culture apportent de l'azote proportionnellement à la biomasse restituée et à leur rapport carbone/azote. Cette valeur donne une indication sur la capacité des résidus à être minéralisés par les micro-organismes du sol. Lorsque la teneur en azote est trop faible par rapport au carbone, les micro-organismes doivent prélever de l'azote dans leur milieu pour parvenir à dégrader les résidus. Dans ce cas, l'apport d'azote par les résidus est compté négativement. On observe alors un phénomène de faim d'azote, comme c'est le cas pour l'épeautre précédent blé. Seuls les résidus de la luzerne apportent de l'azote directement à la culture.

La luzerne est le précédent le plus favorable pour le blé. Cependant, la minéralisation des résidus étant faible la première année, on peut penser que l'épeautre profite de ces résidus en deuxième année. Effectivement, il apparaît que les entrées d'azote sur la parcelle M2 sont comparables à ceux des parcelles M6 et M8, alors que le précédent blé ne permet pas ou peu d'entrée d'azote. L'azote provient donc de la minéralisation de matière organique formée l'année précédente.

Notons également que le précédent féverole offre des résultats très proches du pois-orge. Il s'agit ici vraisemblablement du biais introduit par l'absence de récolte de féverole en 2005, d'où de faibles restitutions.

2. Sorties d'azote

Les sorties d'azote sont constituées par l'assimilation de l'azote dans les pailles et les grains, les pertes par lessivage et l'immobilisation pour l'organisation des résidus (formation d'humus).

Dans cette expérimentation, la recherche de qualité est privilégiée au rendement, car l'objectif premier reste de garantir un débouché en alimentation humaine aux productions. Or, comme nous l'avons dit précédemment, il existe un antagonisme entre rendement et protéines. Sur notre essai, le constat est différent car le précédent luzerne permet d'atteindre les meilleurs rendements et la meilleure qualité de récolte. Concernant les deux autres précédents, l'efficacité de l'azote est meilleure pour le blé de féverole. Le taux de protéines est supérieur de près de deux points, avec des rendements plus faibles. Cette différence marquée peut être due d'une part au phénomène de dilution de l'azote, mais également à l'effet variété. Le blé de féverole est semé avec la variété *Renan* reconnu pour son bon comportement en agriculture biologique.

3. Quel impact du système sur le taux de matière organique

La matière organique constitue la source majeure d'azote minéral pour les cultures. La mise en place de cultures dont le remplissage des grains est conditionné par le déstockage de matière organique peut laisser craindre un appauvrissement des sols. Le taux de matière organique étant déjà faible, il est risqué qu'il s'abaisse davantage. Le potentiel de production des parcelles pourrait en être affecté.

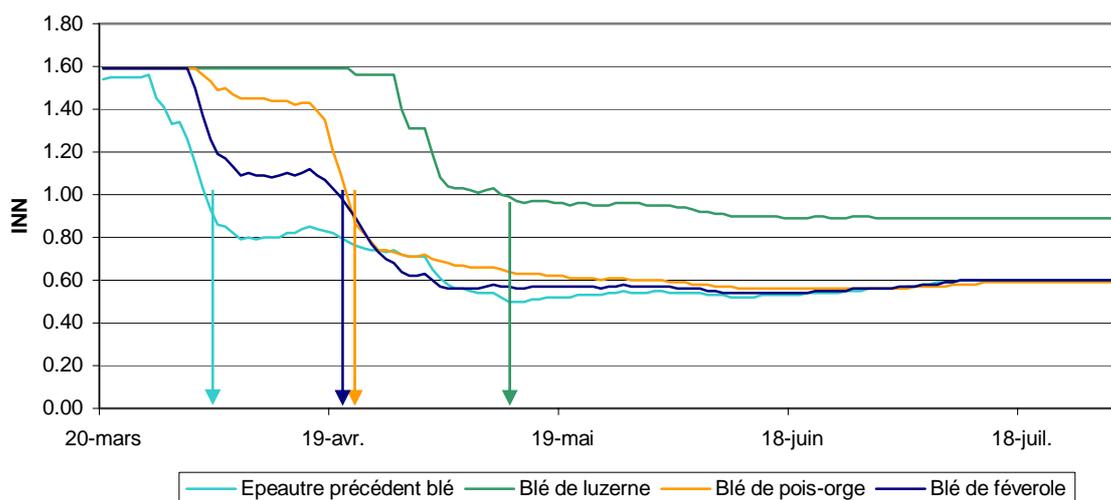
Les simulations montrent un déstockage de matière organique sur l'ensemble de parcelles en blé, excepté la parcelle précédent luzerne. Sur les parcelles M6 et M8, sans antécédent de luzerne, le déstockage de carbone et d'azote dépasse 1%. Pour la parcelle d'épeautre précédent blé, le déstockage avoisine 0.3%.

B. Quand l'azote est-il disponible pour le blé ?

1. Période de carence

L'indice de nutrition azotée (INN) est un indicateur du stress azoté d'une culture. Il représente la proportion d'azote absorbé par la plante par rapport à ses besoins (calculé sur la base de sa biomasse). Le stress augmente lorsque la biomasse se développe (phénomène de dilution de l'azote).

❖ Effet du précédent cultural :



Graphique 19 : Effet du précédent sur la date d'apparition du stress azoté (2006)

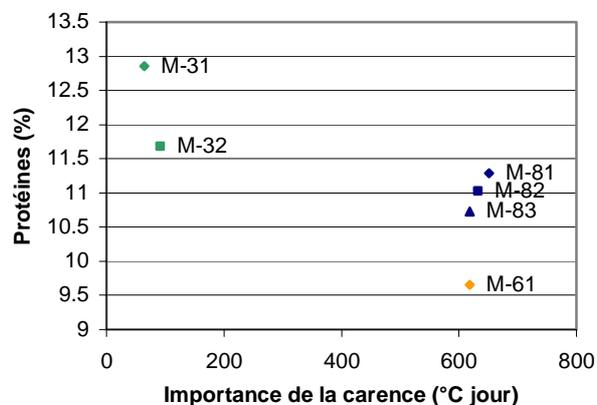
L'indicateur INN permet de discriminer les différents précédents, suivant la précocité d'apparition du stress (Graphique 19). Le manque d'azote pour le développement de la culture apparaît entre début avril (précédent blé) et mi mai (précédent luzerne).

→ La parcelle d'épeautre est carencée en premier. En effet, le semis tardif n'a pas permis à la culture de puiser de l'azote à l'automne. Puis, l'épeautre produit rapidement de la biomasse au printemps (la culture rattrape son retard sur le blé en quelques semaines). La demande en azote est donc forte, et l'apport par le sol n'est pas suffisant. Le déficit se creuse, et n'est pas compensé par la minéralisation de printemps.

→ La parcelle M3 (blé précédent luzerne) est carencée beaucoup plus tardivement, et l'INN se maintient à 0,9 jusqu'à la fin du cycle. En effet, la demande en azote s'intensifie lorsque la minéralisation reprend, et les résidus de culture subviennent aux besoins du blé.

→ La carence apparaît à peu près simultanément sur les parcelles M6 et M8, mais la dynamique de l'azote est différente dans les deux cas. La parcelle M6 a été semée tôt, et a donc profité de la minéralisation d'automne. Les réserves sont donc suffisantes pour assurer la reprise de végétation. Par contre, la parcelle M8 a été semée plus tard (15-nov.), puisant peu d'azote en début de cycle. La reprise de végétation s'amorce avant que l'azote ne soit disponible, entraînant une carence.

Excepté la parcelle de blé de luzerne, toutes les parcelles sont en situation de carence permanente, c'est-à-dire que le blé reste carencé jusqu'à la fin du cycle. La carence peut se caractériser par deux indicateurs : sa durée en degrés jour et son intensité qui vaut $1 - INN_{\text{mini}}$. L'importance de la carence est le produit de ces deux indicateurs. Nous avons mis en évidence que l'INN à floraison était fortement corrélé au nombre de grains à la récolte. D'autres études [1] [7][8] ont mis en évidence le lien entre les résultats de récolte et l'importance de la carence. Sur nos parcelles, peut-on faire la même constatation ?



Graphique 20 : Importance de la carence et taux de protéines

Il apparaît en effet que le taux de protéines est meilleur dans les situations de carence peu importantes (Graphique 20). Cependant, dans des situations de carence marquée, les taux de protéines s'échelonnent entre 9,5 et 11,5 %. La variété semble avoir un effet majeur sur le taux de protéines. *Renan*, semé sur la parcelle M8 permet d'atteindre des taux de protéines convenables même dans des situations de carence. Cela explique sa large diffusion auprès des agriculteurs biologiques.

❖ Effet de l'année :

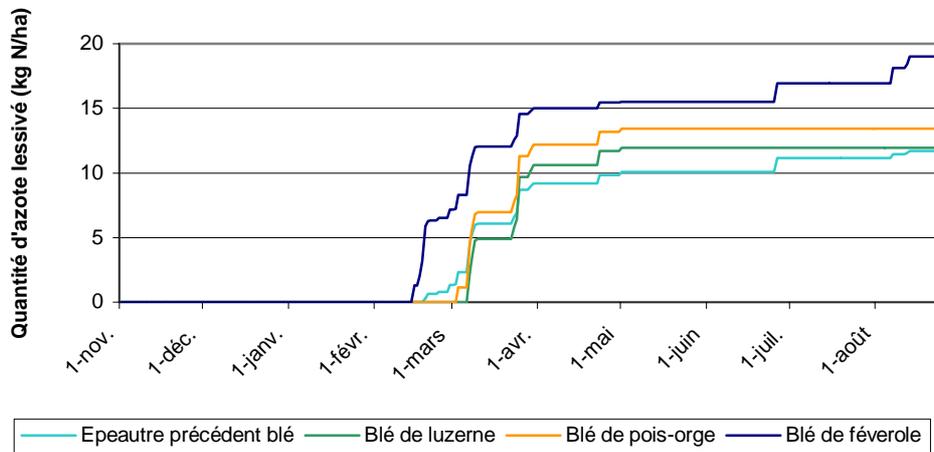
L'effet climatique de l'année a un rôle majeur sur la dynamique de minéralisation de l'azote. Pour un même précédent (luzerne), le stress azoté ne se manifeste pas à la même date d'une année sur l'autre. En 2005, le stress azoté est apparu 3 semaines plus tôt qu'en 2006. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer ces observations. D'une part, l'hiver 2004-2005, particulièrement sec n'a pas permis une bonne décomposition des résidus de culture. D'autre part, la reprise de végétation a commencé plus tôt en 2005, entraînant une plus grande demande en azote au printemps.

2. Période d'excès

L'excès d'azote sur une parcelle peut avoir plusieurs conséquences. Il peut être absorbé par la culture ($INN > 1$), et permettra à la plante d'augmenter sa biomasse sans être pénalisée par un manque d'azote. Il peut favoriser la croissance d'adventices (espèces nitrophiles). Il peut aussi être entraîné par les eaux de drainage en raison de sa forte mobilité dans le sol. Dans ce cas, l'azote constitue une source de pollution. Les résultats précédents ont montré que le stress azoté n'apparaissait qu'au printemps. L'hiver

est donc la période pendant laquelle des pertes d'azote sous l'action de précipitations peuvent survenir.

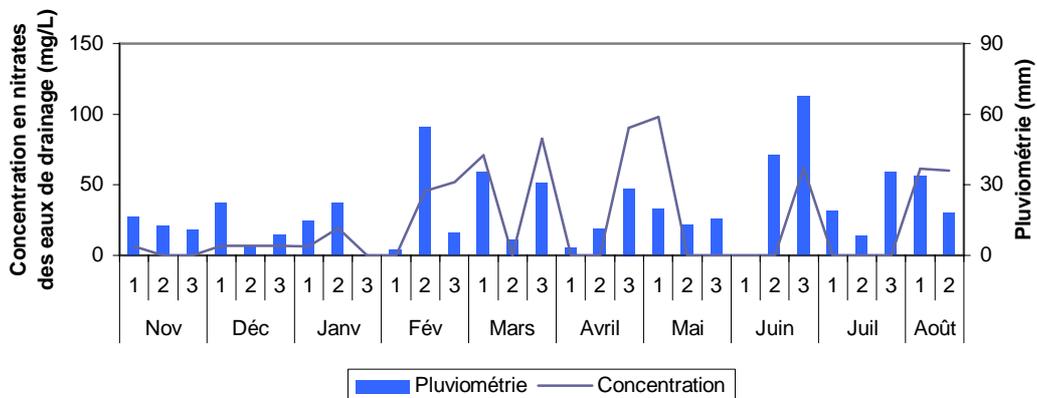
- ❖ Quels sont les précédents entraînant le plus de pertes sous le blé ?
Le logiciel Stics© nous permet d'accéder à la quantité d'azote perdue dans les eaux de drainage au cours du cycle (Graphique 21).



Graphique 21 : Perte cumulée d'azote sous les parcelles de blé

Cette année, les pertes d'azote surviennent au cours du mois de mars et avril. La parcelle M8 est celle qui entraîne le plus de perte, tandis que la parcelle M2 présente des pertes très faibles (11 kg/ha cumulé). Il est cependant nécessaire de garder à l'esprit que ces résultats sont issus de la simulation : les pertes sont calculées en fonction de l'azote absorbé par les plantes. Or, nous avons montré que le logiciel surestime la biomasse et l'azote absorbé (Graphique 16). Les pertes réelles sont probablement plus importantes que les pertes simulées. Notons cependant que les adventices se sont développées massivement (biomasse de 1 à 2 T de matière sèche par hectare), et « contribuent » certainement à l'absorption d'une partie de l'azote.

- ❖ Le système de culture présente-t-il des risques de pollution ?
Le logiciel nous permet également de calculer la concentration en nitrate des eaux de drainage, en couplant les bilans hydriques et les bilans d'azote (Graphique 22).



Graphique 22 : Concentration moyenne en nitrate des eaux de drainage sous les parcelles de blé (2006)

La concentration en nitrates de eaux de drainage dépasse à plusieurs reprises la limite autorisée (50 mg/L). Ces pics sont ponctuels et correspondent à des périodes pluvieuses. Il serait intéressant de comparer ces valeurs avec celles enregistrées sous les parcelles en féverole ou en luzerne, malheureusement, ces espèces ne figurent pas dans le logiciel. En effet, les légumineuses sont parfois rendues responsables d'une pollution de la nappe phréatique.

C. Quel impact des facteurs limitants ?

Le diagnostic agronomique nous a permis d'établir une hiérarchie entre les facteurs limitants. Le logiciel Stics© nous permet de classer les situations suivant leur potentiel permis par la fourniture en azote du sol. Ces deux types d'informations nous permettent donc de placer l'azote par rapport aux autres facteurs limitants et d'établir des liens entre les facteurs limitants.

Pour la parcelle de blé de luzerne, la fourniture en azote permet d'obtenir de meilleurs résultats que sur les autres parcelles. Cependant, les résultats obtenus sont nettement inférieurs aux résultats simulés. D'autre part, les adventices sont très présentes malgré l'antécédent luzerne. L'azote semble donc favoriser la pousse des adventices. La perte de rendement peut être estimée entre 20 et 25% du potentiel permis par la fourniture azotée.

Sur la parcelle d'épeautre, seul l'azote semble vraiment pénalisant. En effet, la pression adventice est bien concurrencée par la culture, et les espèces vivaces sont rares à ce stade de la rotation.

Sur les autres parcelles, la fourniture limitée en azote ne permet pas d'atteindre de hauts niveaux de production. Dans ces cas, les facteurs limitants expriment pleinement leur effet dépressif. Il n'est alors pas possible de distinguer les effets de chaque facteur limitant.

V. Quelles adaptations du système envisager ?

A. Les apports d'autres programmes de recherche

1. La luzerne restitue plus d'azote la deuxième année après sa destruction

Le modèle Stics© résulte de plusieurs modules de simulation. L'un d'eux concerne la dynamique de minéralisation des résidus dans le sol. Ce module a été validé à travers plusieurs expérimentations, comparant les sorties de terrain avec les sorties simulées. Un essai, mené en Champagne crayeuse sur l'effet du retournement des luzernières a montré la bonne adéquation des résultats du modèle avec les mesures [9]. Il a été mis en évidence que les résidus de luzerne se minéralisaient de manière continue pendant les 18 mois suivant le retournement. De plus, la quantité cumulée d'azote minéralisé est plus importante en deuxième année. Il semble donc plus judicieux d'implanter une culture exigeante deux ans après la luzerne.

Deux solutions peuvent convenir à notre essai :

→ Planter l'épeautre après le blé. L'épeautre est capable de produire beaucoup de biomasse qui sera restituée au sol. Dans des conditions d'azote non limitant, la dégradation des pailles sera efficace. On pourra planter un engrais vert entre la moisson et le semis du blé (moutarde).

→ Planter une culture de printemps après la luzerne, puis un blé. Dans ce cas, on sèmera une culture intermédiaire piège à nitrate après le retournement de la luzerne.

2. Les engrais verts permettent d'optimiser l'alimentation du blé au printemps

Un autre projet du programme FertiAgriBio, traitait de la dynamique de minéralisation des engrais verts [20]. Ce projet avait pour objectif de connaître et de prévoir la fourniture en azote après des précédents légumineuses ou engrais vert (projet du CREAB¹⁰ Midi-Pyrénées). L'objet de l'étude présente de nombreuses similitudes avec notre essai, car une des situations étudiées est un blé précédent féverole, avec ou sans culture intermédiaire (moutarde ou vesce-avoine). Ici encore, le modèle Stics© a apporté sa contribution à l'étude.

Les conclusions de l'essai indiquent que :

- les cultures intermédiaires permettent de limiter les reliquats entrée hiver par rapport au témoin sans culture intermédiaire
- la moutarde permet d'absorber plus d'azote que la vesce-avoine
- les parcelles ayant été semées avec une culture intermédiaire permettent d'augmenter le reliquat sortie hiver par rapport au témoin. L'azote absorbé à l'automne est donc restitué au blé au printemps
- la culture intermédiaire vesce-avoine permet d'obtenir de meilleurs rendements et de meilleurs taux de protéines par rapport à la moutarde et au témoin.

Dans le cadre de notre essai, la mise en place de culture intermédiaire présente deux intérêts. Elle permet d'augmenter les restitutions dans un contexte où aucun apport organique n'est réalisé. Elle permet de limiter les pertes d'azote après les cultures de légumineuses. Cet essai peut nous inciter à :

- planter une moutarde après la première céréale de la rotation, car la minéralisation de la luzerne se poursuit.
- planter un mélange légumineuse-graminée entre la féverole et le blé

Par ailleurs, la ferme souhaite tester la phacélie en culture intermédiaire. Il s'agit d'une crucifère favorable au maintien de certains insectes auxiliaires.

3. Les fertilisants organiques présentent un intérêt en situation de forte carence

Le même essai [20] a permis de tester l'efficacité de deux fertilisants organiques : farines de plumes hydrolysées et vinasses de betterave. Ces apports ont été testés après deux précédents différents : féverole ou soja. L'efficacité de l'engrais, caractérisée par son coefficient apparent d'utilisation (CAU) est mesurée dans chacun des cas. Ce coefficient correspond à la part d'azote libéré par rapport à la part d'azote total apporté. Il apparaît alors que :

- l'efficacité des deux engrais est plus faible sur le précédent féverole que sur le précédent soja. Or la féverole laisse d'avantages d'azote dans le sol après la récolte. Il semble donc que le fertilisant est plus efficace dans les situations plus carencées
- l'efficacité des vinasses est meilleure que celle des plumes, et ce pour chacun des précédents.

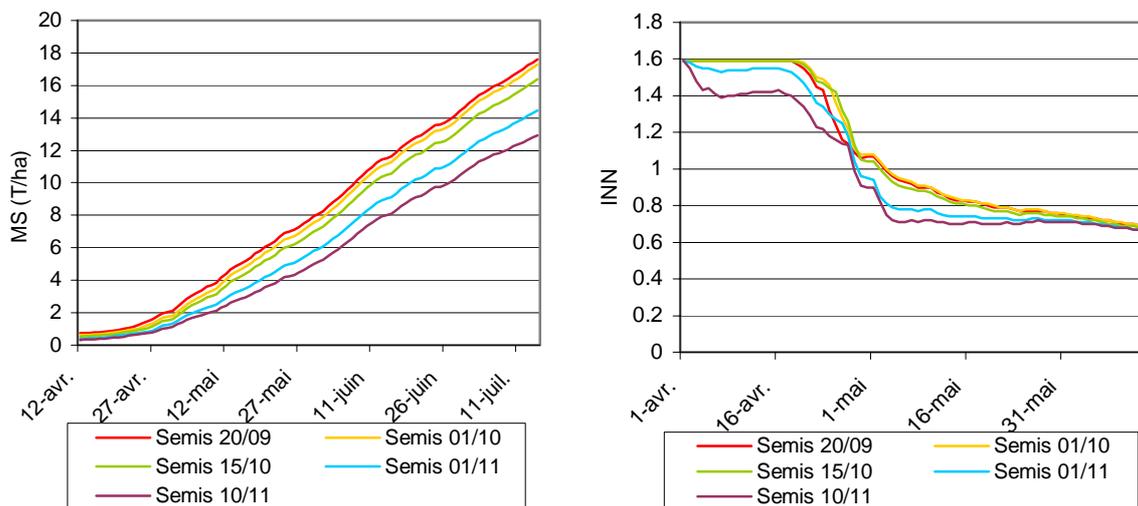
Notre essai se déroule en situation fortement limitantes. Pourtant, l'apport de fertilisant organique extérieur n'a pas été envisagé, afin de rester dans la logique de l'agriculture sans élevage autonome. Cependant, si la situation devient critique, ces solutions pourront être étudiées. Le développement de la filière biocarburant dans cette région (Val d'Oise, Oise) va rendre les coproduits plus accessibles et bon marché. Leur bonne efficacité en agriculture pourra les rendre attractifs. Encore faut-il que ces produits s'accordent à notre volonté d'encourager une agriculture responsable et diversifiée dans la région...

¹⁰ Centre de Recherche et d'Expérimentation en Agriculture Biologique

B. Les adaptations testées sur le dispositif de la Motte

1. Optimiser la date de semis du blé de luzerne

Comme nous l'avons montré précédemment, la luzerne est le précédent qui libère le plus d'azote. Les risques de perte sont les plus importants. Un bon raisonnement de la date de semis du blé est capital pour limiter les pertes, en particulier à l'automne. Quelle date de semis permet de limiter les pertes d'azote et de retarder l'apparition du stress azoté ?



Graphique 23 : Biomasse aérienne et stress azoté suivant la date de semis (blé de luzerne)

La biomasse du blé est d'autant plus importante que le blé est semé tôt (Graphique 23). Le stress azoté se manifeste plus tardivement dans les situations de semis précoces. L'azote assimilé à l'automne permet donc d'alimenter la biomasse formée. Cependant, il apparaît que les parcelles semées avant le mois de novembre ont des teneurs en protéines inférieures à 10%, et ne trouveront donc pas de débouchés en alimentation humaine. Les rendements importants permis par une biomasse élevée, entraînent une baisse de la qualité de la récolte. L'ensemble de ces résultats est bien sûr relatif à l'année climatique.

D'autre part, les semis précoces entraînent un salissement important des parcelles (levée d'adventices à l'automne). Cependant la pression adventice n'est pas forcément problématique, si le blé est concurrentiel au printemps. Le compromis est donc difficile à trouver.

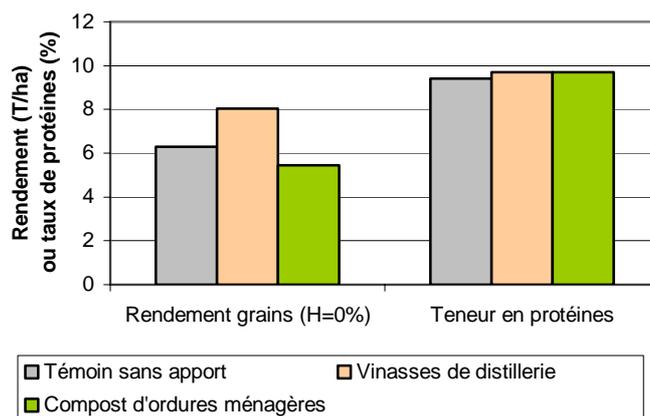
Dans notre situation sans apport d'azote possible au printemps, on retiendra que les semis trop précoces ne présentent pas d'intérêt car l'azote assimilé ne profite pas à la qualité. Des semis intermédiaires (15 octobre), permettent d'assurer un bon peuplement en hiver, tout en privilégiant la qualité au rendement.

2. Apporter des amendements et des fertilisants organiques

L'essai se déroule en conditions extrêmement limitantes. De plus, les rendements parfois faibles ne permettent pas de restituer des volumes importants de résidus de cultures. La fertilité du milieu pourrait donc être affectée si la stabilité structurale du sol se dégrade (baisse du taux de matière organique). Deux leviers permettent de pallier à ce manque : l'apport de fertilisants permet d'améliorer la production de la parcelle et d'augmenter les volumes de résidus, et l'apport d'amendement permet d'améliorer les propriétés du sol. Or le contexte de l'essai reste l'agriculture sans élevage autonome pour le maintien de sa fertilité. L'apport de matière exogène semble donc en contradiction avec cet objectif. Cependant, l'autonomie peut aussi être comprise à l'échelle du territoire. Dans ce cas, l'apport de

fertilisants ou d'amendement produits localement et contribuant au maintien de la fertilité du milieu deviennent acceptables dans le cadre de cette expérimentation.

La culture de la betterave, comme précisé ci avant est répandue dans la région, et le débouché biocarburant prend de l'ampleur. D'autres part, la présence des haies sur le dispositif permettra à terme de produire des résidus de taille. Leur compostage en mélange avec des matières plus riches en azote (fientes) constitue un bon amendement. Ce type d'apport n'est pas paramétré dans le logiciel que nous utilisons, mais sa composition et sa dynamique de minéralisation est proche d'un compost d'ordures ménagères [11]. Le test de ces apports a été réalisé sur un blé de féverole, à mi rotation (Graphique 24).



Graphique 24 : Simulation des résultats de récolte avec apport de fertilisant ou d'amendement

L'apport de vinasse de distillerie à 2,5 T/ha permet d'augmenter le rendement de 30% par rapport au témoin sans apport. Aucun des trois traitements n'a d'effet significatif sur la qualité de la récolte. Concernant l'effet sur le stock d'humus du sol, une consommation d'azote pour la minéralisation de l'amendement est observée. Cependant, ce phénomène n'affecte pas la matière organique du sol. Les micro-organismes puisent l'azote nécessaire dans la part facilement minéralisable de l'amendement. Dans le cas d'un amendement constitué de compost de déchets verts et fientes, les fientes apportent l'azote nécessaire à la dégradation des matériaux ligneux de taille de haies.

Notons cependant que l'effet d'un amendement doit être pensé à l'échelle de la rotation avec des apports réguliers. L'effet sur les propriétés du sol ne peut absolument pas être accessible avec une analyse annuelle.

C. Conclusion : la rotation agronomiquement idéale ?

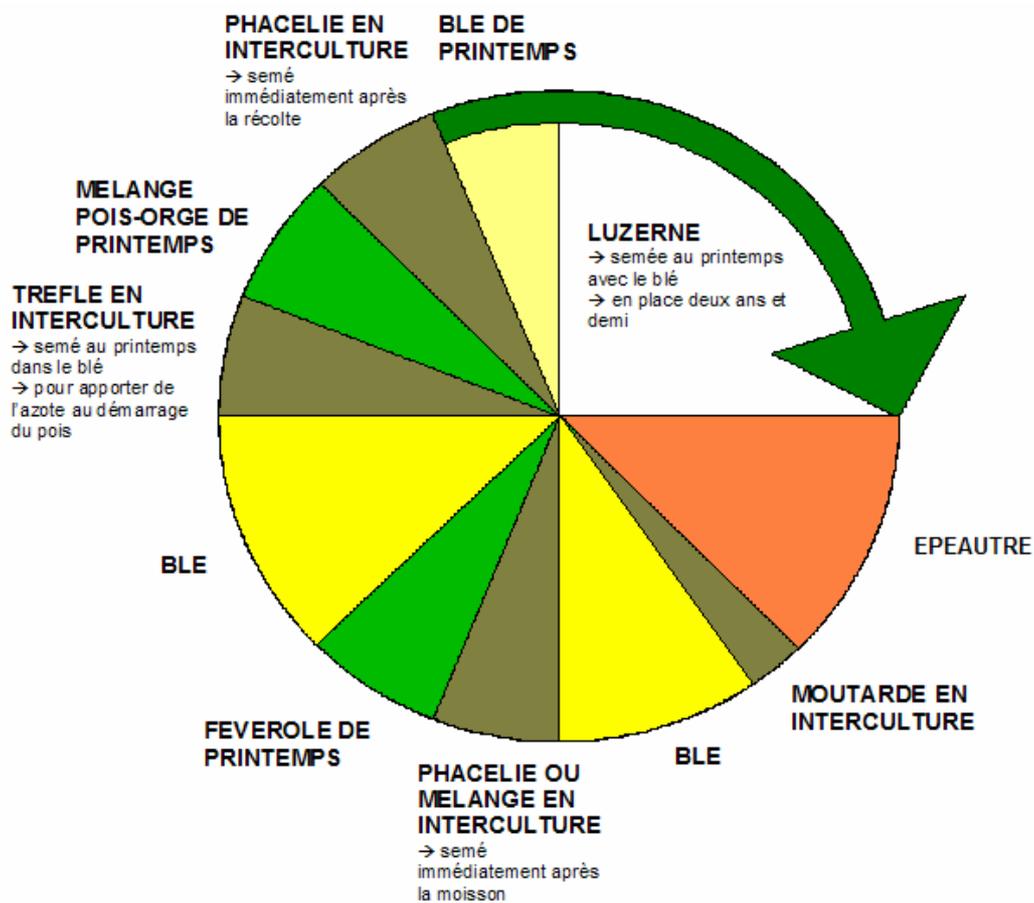


Figure 5 : Propositions d'adaptations de la rotation

Mais n'oublions pas non plus le désir d'innover de la ferme ! Le mélange lentilles-cameline testé cultivé pour la troisième année sur l'exploitation peut s'insérer dans la rotation en lieu et place du pois-orge. Il s'agit bien de culture à destination de l'alimentation humaine (la cameline est une graine oléagineuse, consommée en assaisonnement). Bien que peu concurrentielle par rapport aux adventices, cette culture laisse des reliquats azotés intéressants. Avec une phacélie en interculture, le blé de printemps peut bénéficier d'une alimentation suffisante (Figure 5).

Chapitre 4 : Test économique des scénarii envisageables

I.	Objectif	55
II.	Description des scénarii testés	55
A.	Les rotations choisies	55
B.	Les hypothèses formulées	55
III.	Les résultats économiques	57
A.	Les sources de données	57
B.	Des résultats qui diffèrent peu suivant les modalités envisagées	57

I. Objectif

Ce chapitre s'inscrit dans la continuité du chapitre précédent. Nous allons ici comparer plusieurs scénarii envisageables sur le dispositif avec des critères économiques. Nous allons donc évaluer la rotation telle qu'elle est pratiquée aujourd'hui, puis comparer ces résultats sur les mêmes critères, avec les rotations que nous avons proposées dans le chapitre précédent. L'objectif est donc de savoir si les suggestions proposées entraînent ou non une perte économique.

Ce travail met en œuvre des outils de calcul économiques (calcul de marges et de coûts de production). D'autres indicateurs tels que le temps de travail pourront prochainement être mis en œuvre.

II. Description des scénarii testés

A. Les rotations choisies

Les rotations choisies sont cohérentes entre elles. Elles sont de même durée, la part des cultures céréalières par rapport aux cultures fourragères est identique et le matériel utilisé est comparable. Elles se distinguent entre elles par l'introduction d'engrais verts, ou par l'apport de fertilisants ou d'amendements organiques.

B. Les hypothèses formulées

Les résultats de rendement de la rotation témoin sont issus des moyennes des rendements obtenus sur l'essai depuis sa mise en place. Pour les autres rotations, les objectifs de rendement, sont issus de la bibliographie utilisée dans la partie modélisation ou des résultats de simulation. Ces résultats sont corrigés en fonction de la pression adventice observée sur les parcelles. Cependant, la pression adventice évoluera très certainement dans les prochaines années, en particulier au cours de la deuxième rotation. Il est aujourd'hui prématuré de se prononcer sur ce sujet.

Notons également que l'impact à long terme des apports d'amendement ne peut pas être pris en compte par des critères économiques. Ce genre d'apport se raisonne à l'échelle de la décennie voire davantage, et les propriétés du sol évoluent lentement.

LA ROTATION TEMOIN		LA ROTATION AVEC ENGRAIS VERTS SANS APPORT ORGANIQUE		LA ROTATION AVEC APPORTS ORGANIQUES SANS ENGRAIS VERTS	
Culture et rendement	Itinéraire technique	Culture et rendement	Itinéraire technique	Culture et rendement	Itinéraire technique
LUZERNE 1 0 T/ha	Mars (n-1) : herse étrille + semis à la volée Juin : broyage	LUZERNE 1 0 T/ha	Mars (n-1) : herse étrille + semis à la volée Juin : broyage	LUZERNE 1 0 T/ha	Mars (n-1) : herse étrille + semis à la volée Juin : broyage
LUZERNE 2 12 T/ha	Juin : fauche, 2 fanages, andainage, pressage Juillet : fauche, 2 fanages, andainage, pressage	LUZERNE 2 12 T/ha	Juin : fauche, 2 fanages, andainage, pressage Juillet : fauche, 2 fanages, andainage, pressage	LUZERNE 2 12 T/ha	Juin : fauche, 2 fanages, andainage, pressage Juillet : fauche, 2 fanages, andainage, pressage
BLE 58 qx/ha	Septembre: broyage Septembre-octobre : 2 déchaumages Octobre : labour Octobre : herse rotative + semoir Août : récolte	EPEAUTRE 50 qx/ha	Septembre : broyage Octobre : 2 déchaumage Octobre : labour Octobre : herse rotative + semoir Août : récolte	BLE 58 qx/ha	Septembre : broyage Octobre : 2 déchaumage Octobre : labour Octobre : herse rotative + semoir Août : récolte
EPEAUTRE 45 qx/ha	Septembre : Déchaumage Novembre : Labour Novembre : herse rotative + semoir Août : récolte Septembre : Déchaumage	BLE 60 qx/ha	Septembre : Déchaumage, semis de la moutarde Novembre : broyage Novembre : Labour Novembre : herse rotative + semoir Août : récolte	EPEAUTRE 45 qx/ha	Septembre : Déchaumage Novembre : Labour Novembre : herse rotative + semoir Août : récolte
FEVEROLE 25 qx/ha	Octobre : Déchaumage Mars : Labour Mars : herse rotative + semoir Août : récolte	FEVEROLE 25/ha	Septembre : Déchaumage, semis de la phacélie Mars : Labour Mars : herse rotative + semoir Août : récolte Septembre : Déchaumage	FEVEROLE 25 qx/ha	Septembre : Déchaumage Mars : Labour Mars : herse rotative + semoir Août : récolte
BLE 40 qx/ha	Septembre : Déchaumage Octobre : labour Octobre : herse rotative + semoir Août : récolte	BLE 45 qx/ha	Octobre : labour Octobre : herse rotative + semoir Août : récolte Septembre : Déchaumage	BLE 38 qx/ha	Septembre : épandage de compost déchets verts+fientes (8 T/ha) Septembre : déchaumage Octobre : labour Octobre : herse rotative + semoir Août : récolte
POIS-ORGE 15 qx/ha (P) 20 qx/ha (O)	Septembre : Déchaumage Octobre : Déchaumage Mars : Labour Mars : herse rotative + semoir Août : récolte	POIS-ORGE 20 qx/ha (P) 25 qx/ha (O)	Septembre : semis du trèfle Mars : Labour Mars : herse rotative + semoir Août : récolte Septembre : Déchaumage	POIS-ORGE 15 qx/ha (P) 20 qx/ha (O)	Septembre : Déchaumage Octobre : Déchaumage Mars : Labour Mars : herse rotative + semoir Août : récolte
BLE 25 qx/ha	Septembre : Déchaumage Octobre : Déchaumage Octobre : labour Octobre : herse rotative + semoir Août : récolte	BLE DE PRINTEMPS 30 qx/ha	Septembre : semis de la phacélie Mars : labour Mars : herse rotative + semoir Août : récolte	BLE 32 qx/ha	Septembre : déchaumage Octobre : labour Octobre : herse rotative + semoir Mars : épandage de vinasses de distillerie (2,5 T/ha suivant reliquats) Août : récolte

III. Les résultats économiques

A. Les sources de données

Le travail du service des études économiques d'Arvalis a permis de mettre au point des outils de calcul des coûts de production. Une base de donnée permet d'accéder aux coûts de mécanisation. Ces coûts tiennent compte de l'usage du matériel (surface travaillé chaque année par le matériel), ainsi que de sa durée d'amortissement. La plupart du matériel agricole utilisé à la ferme est présent dans la base de données. Par ailleurs, des normes permettent de tenir compte des charges de main d'œuvre, de fermage, ainsi que les autres charges fixes de l'exploitation. L'utilisation de ces données permet de comparer la compétitivité de plusieurs exploitations sur les mêmes critères. On considère donc que l'ensemble de l'exploitation est en fermage, ce qui n'est pas le cas dans la réalité. Les coûts de production et les marges ne sont pas biaisés par cette différence.

Pour les produits de l'exploitation, nous prenons en compte les cours des produits agricoles actuels pour le calcul des produits. Nous ne tiendrons donc pas compte d'une éventuelle fluctuation des prix agricoles.

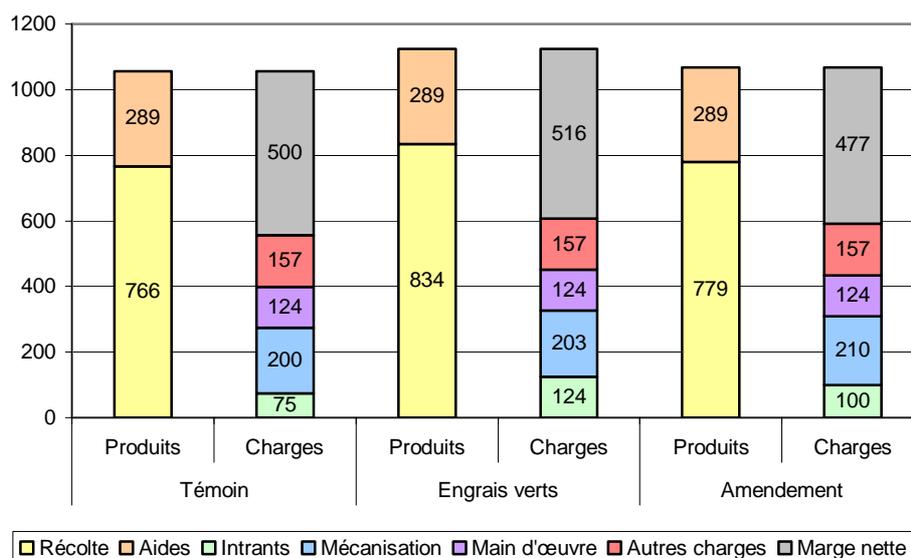
B. Des résultats qui diffèrent peu suivant les modalités envisagées

Les trois rotations testées présentent peu de différences (Graphique 25) en terme de marge nette (moins de 4% par rapport au témoin).

Les différences principales portent sur :

→ Le niveau de production : la rotation avec les engrais verts permet d'augmenter de près de 10% le produit de la récolte par rapport au témoin. La différence n'est pas flagrante sur la rotation avec apports organiques

→ Les intrants : bien qu'ils ne représentent que 20% maximum des charges, la dépense est nettement augmentée dans le cas de la rotation avec engrais verts (+ 65%). Cette différence est due au prix important des semences utilisées en culture intermédiaire (prix d'autant plus élevé que ces semences sont certifiées de l'agriculture biologique). Les interventions de semis n'alourdissent pas significativement les charges de mécanisation.



Graphique 25 : Résultats économiques des différentes modalités

Conclusion

Le dispositif de la Motte en est encore à ses débuts. Cependant, certains aspects commencent à s'éclaircir. Il apparaît en premier lieu que les résultats de récolte sont parfois décevants et présentent une variabilité importante : variabilité inter-parcellaire, ainsi que variabilité inter-annuelle.

Que doit on alors remettre en cause sur le dispositif ? Avant tout, il semble nécessaire de se demander si tout a été mis en œuvre pour optimiser le résultat. Si tel est le cas, on pourra rechercher d'autres causes pour expliquer le résultat.

Actuellement, il semble que tout n'est pas mis en œuvre pour maintenir la fertilité du milieu. En effet, les contraintes placées sur ce dispositif nécessitent plus de temps de travail. La gestion de la pression adventice nécessite plus d'interventions qu'il n'y en a de réalisées. Les déchaumages, ainsi que les désherbages mécaniques de printemps devraient être plus systématiques. Par ailleurs, le maintien du taux de matière organique sans possibilité d'apport encourage l'implantation d'engrais verts en interculture. Or, pour la deuxième année consécutive, ces couverts ne sont pas implantés. Les études réalisées sur le sujet confirment pourtant l'intérêt, tant agronomique qu'environnemental des ces couverts. Nous avons prouvé, qu'ils présentent de plus une rentabilité à court terme comparable au système mis en place actuellement.

Dans les cas où tout est mis en œuvre pour permettre une bonne production, quelles sont les causes qui peuvent expliquer les résultats éventuellement médiocres ? Certaines parcelles présentent en effet des caractéristiques de sol peu favorables. C'était le cas cette année sur l'une des parcelles en blé, avec une épaisseur de sol insuffisante. On constate dans ce cas, que le choix de variétés adaptées aux conditions limitantes permet de maintenir une bonne qualité de récolte. De la même façon, certains précédents sont moins favorables que d'autres. C'est donc à ces stades de la rotation que l'implantation d'engrais verts, voire l'apport de fertilisants ou d'amendements prendraient tout leur sens.

Environnementalement, le dispositif de la Motte correspond aux exigences de la société. Il serait d'ailleurs intéressant d'approfondir le sujet à l'échelle de l'exploitation. En effet, le maintien d'une bonne qualité des eaux au niveau du puits situé sur les terres de la ferme serait-il du au système biologique ? Notre étude ne nous permet pas de l'affirmer, mais la fermeture pour des raisons sanitaires de certains puits de la commune situés sur des terres en agriculture conventionnelle pourrait amener les consommateurs, les agriculteurs et les pouvoirs publics à réfléchir à la question.

Les prochaines années permettront peut être de confirmer les tendances qui se dessinent. Elles permettront sans doute aussi d'explorer de nouvelles pistes. En particulier, le premier inventaire des insectes volants présents sur le dispositif réalisé cette année (diagnose en cours) pourra être valorisé dans les prochaines années.

Bibliographie

Publications scientifiques :

- [1] Bouchard C, Jeuffroy MH (2000) Fertilisation du blé, conséquences d'un déficit de nutrition azoté selon les variétés. Perspectives agricoles n°262, novembre 2000
- [2] David C (2004) Le blé en agriculture biologique : diagnostic agronomique et raisonnement de la fertilisation azotée de printemps. Thèse INA P-G.
- [3] Doré T (1992) Analyse par voie d'enquête, de la variabilité des rendements et des effets précédents du pois protéagineux de printemps. Thèse INA P-G
- [4] Doré T (2000) Contribution à la recherche sur les systèmes de culture : diagnostic agronomique régional et maîtrise des effets précédent. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches INPL
- [5] Doré T, Meynard JM, Sébillotte M (1997) A Diagnostic Method for Assessing Regional Variations in Crop Yield. Agricultural Systems, Vol. 54, No. 2, pp. 169-188
- [6] Doré T, Meynard JM, Sébillotte M (1998) The role of grain number, nitrogen nutrition and stem number in limiting pea crop yields under agricultural conditions. European journal of Agronomy 8, 29-37
- [7] Jeuffroy MH, Barré C, Bouchard C, Demotes-Mainard S, Devienne-Barret F, Girard ML, Recous S (2000). Fonctionnement d'un peuplement de blé en conditions de nutrition azotée sub-optimale. In « Fonctionnement des peuplements végétaux sous contraintes environnementales » INRA, Paris, Les colloques, n°93, 289-304.
- [8] Jeuffroy MH, Bouchard C (1999) Intensity and Duration of Nitrogen Deficiency on Wheat Grain Number, Crop Science, vol 39
- [9] Justes E (2001) Libération de l'azote après luzerne, un effet sur deux campagnes. Perspectives agricoles n°264, janvier 2001
- [10] Leterme P, Manichon H, Roger-Estrade J (1994) Analyse intégrée des rendements du blé tendre et de leurs causes de variation dans un réseau de parcelles d'agriculteurs du Thymerais. Agronomie 14, 341-361
- [11] Raynal C, Nicolardot B (2006) Une meilleure connaissance des engrais et amendements organiques utilisés en bio, Alter Agri n°79
- [12] Vereijken P (1989) Experimental systems of integrated and organic wheat production. Agricultural Systems 30, 197-197

Ouvrages

- [13] Sébillotte M (1989) Fertilité et systèmes de production. INRA 369 p.
- [14] Viaux P (1999) Une troisième voie en Grandes Cultures. Agridécision 211 p.
- [15] Calame M&P, Si Villarceaux m'était conté (2000). Editions de la Fondation pour le Progrès de l'Homme.

« Littérature grise »

- [16] Arvalis Institut du végétal () Evaluation du risque d'apparition de maladies sur les céréales à paille
- [17] Casagrande M (2006) Dispositif, mesures et prélèvements sur le réseau blé biologique 2005-2006. Thèse en cours

- [18] Casagrande M (2006) Revue bibliographique sur les indicateurs de facteurs limitants. Thèse en cours
- [19] Casagrande M (2006) Système de notation des maladies et des adventices. Thèse en cours
- [20] CREAB Midi-Pyrénées (2006) Résultats de l'essai FertiAgriBio campagne 2004-05. Partenariat CREAB-INRA UMR ARCHE Toulouse
- [21] GAB Ile de France (2004, 2005 et 2006) Description des variétés de blé tendre d'hiver et de printemps
- [22] ITAB Commission grandes cultures (2000) Protocole de suivi d'essais comparant des variétés de céréales à paille d'hiver en conduite biologique : observations et mesures. Diffusion interne
- [23] Lubac S (2003) Fertilité des sols en système céréalier biologique : méthodologie pour un dispositif expérimental sans élevage. Mémoire de fin d'étude ENITA Bordeaux.
- [24] Soulié L (2005) Suivi annuel du dispositif de la Motte : rotation et fertilité du milieu en agriculture biologique sans élevage. Rapport de stage de deuxième année INA P-G.
- [25] Tamaracaz J (2006) Rapport de l'essai de Mapraz, Agridea-Fibl

Sites Internet

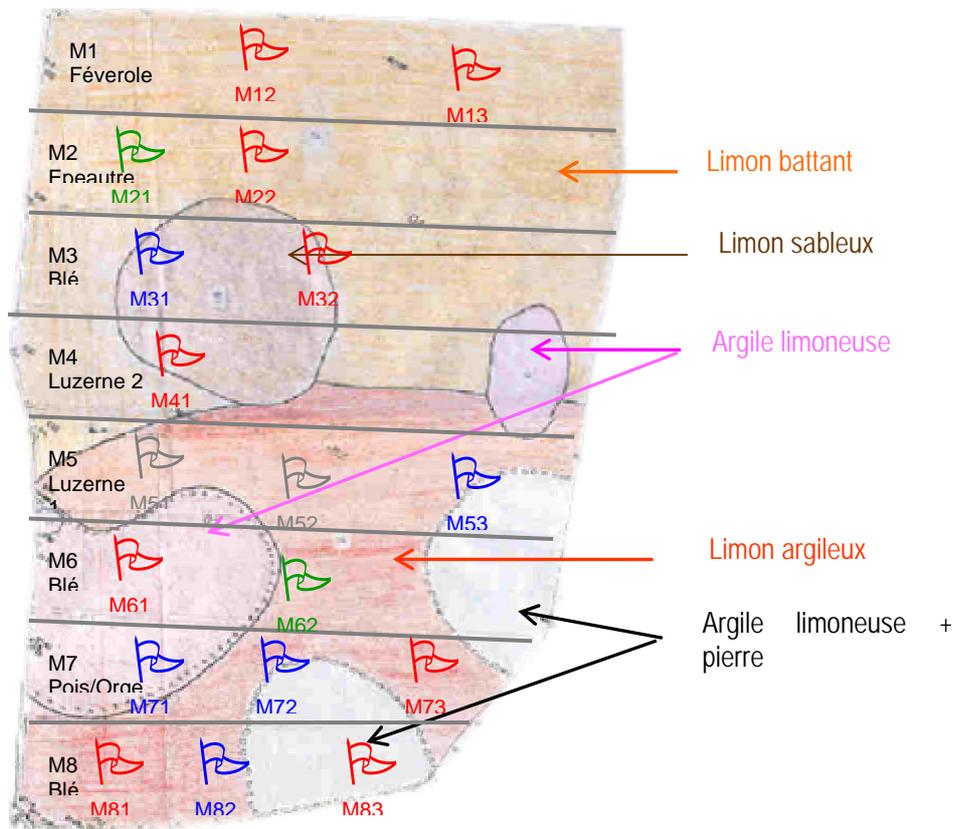
- [26] Site de l'Agence Bio : www.agence-bio.org
- [27] Site d'Arvalis Institut du Végétal : www.arvalisinstitutduvegetal.fr
- [28] Site de l'INRA (agronomie environnement): www.inra.fr/ea/sources/index.php
- [29] Site de l'INRA (ravageurs) : www.inra.fr/Internet/Produits/HYPPZ/pests.htm
- [30] Site de l'INRA (adventices) : www.dijon.inra.fr/hyppa/hyppa-f/noms_f.htm#A
- [31] Site de l'INRA (maladies) : www.inra.fr/hyp3/noms.html
- [32] Site de l'INRA (Stics©) : www.avignon.inra.fr/stics/
- [33] Site de l'Institut Supérieur d'Agriculture de Rhones Alpes (ISARA), lien sur les profils culturaux : www.isara.fr/fr/profilcultural/sommaire.htm (lien actif le 22/08/06)
- [34] Site de l'Institut Technique de l'Agriculture Biologique (ITAB) : www.itab-asso.fr
- [35] Site du GAB Ile de France : www.bioiledefrance.fr

Participation à des réunions professionnelles :

- [36] Assises de la Bio organisées par l'ITAB : 15 mai 2006
- [37] Journées du groupe de juin organisées par la Ferme de la Bergerie : les 8 et 9 juin 2006
- [38] Journée de mi-programme de FertiAgriBio
- [39] Journée de restitution FertiAgriBio
- [40] Réunion de service SEE : le 29 juin 2006

Annexes

<i>Annexe 1 : Cartographie à dire d'expert des parcelles de la Motte</i>	62
<i>Annexe 2 : Composantes de la fertilité du milieu</i>	63
<i>Annexe 3 : Evolution possible du travail du sol sur le dispositif</i>	63
<i>Annexe 4 : Exemple de règles de décision sur les parcelles de la Motte</i>	64
<i>Annexe 5 : La gestion de la luzerne</i>	65
<i>Annexe 6 : Projet de suivi de la biodiversité sur le dispositif</i>	65
<i>Annexe 7 : Terminologie simplifiée pour la description des profils</i>	70



Légende :



2003 : fosse pédologique et analyse de sol
2006 : profil cultural



2003 : fosse pédologique et analyse de sol
2006 : pas de profil cultural (parcelle en luzerne de 1^{ère} année)

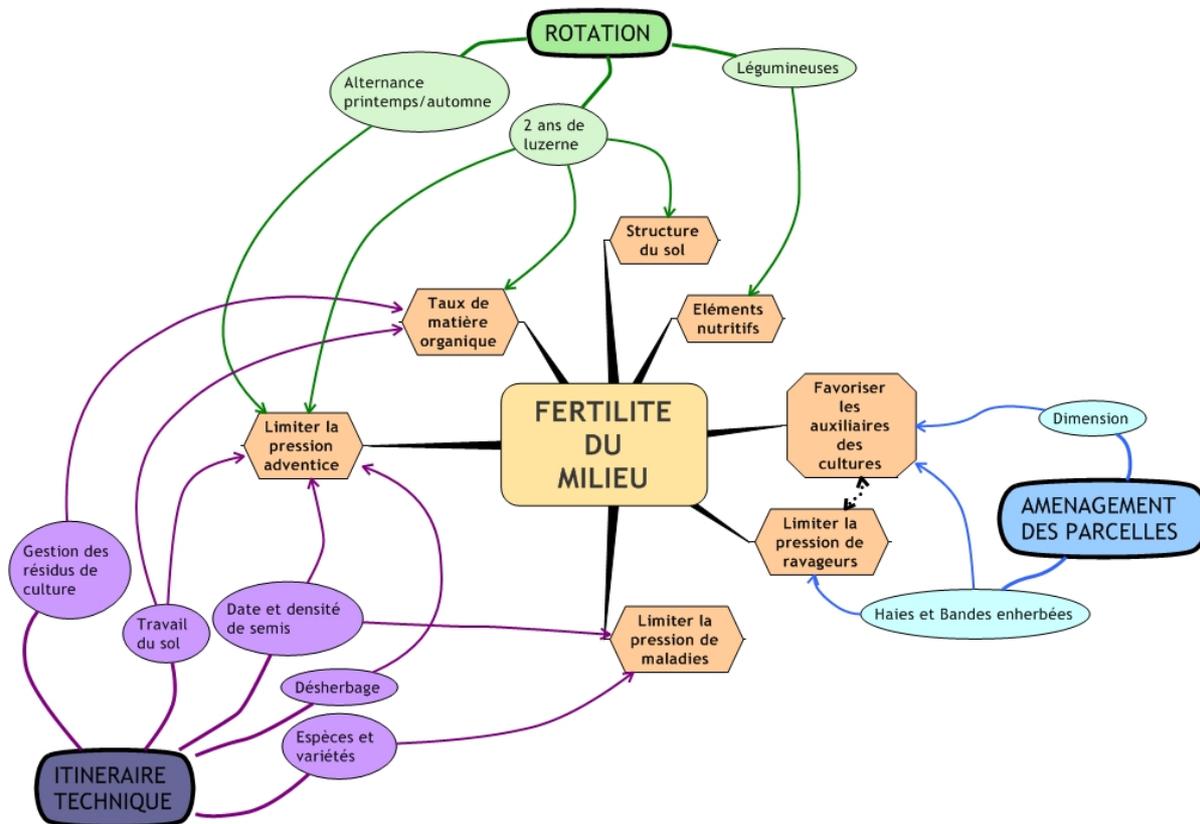


2003 : analyse de sol (pas de fosse pédologique)
2006 : pas de profil cultural



2003 : géoréférencement, mais pas de caractérisation du milieu
2006 : Placette complémentaire utilisée pour les observations du peuplement

**Annexe 1 : Cartographie à dire d'expert des parcelles de la Motte
(Source C. Aubert et S. Lubac, 2003)**



Supprimer le labour sur les parcelles de la Motte ?

Cette idée a été soulevée à plusieurs reprises.

Pour	Contre
<ul style="list-style-type: none"> - Améliorer le statut organique des sols - Limiter le phénomène de battance - Favoriser les macro-organismes du sol (vers de terre) - Améliorer la portance - Eviter les problèmes de compaction et favoriser la disparition de la semelle de labour 	<ul style="list-style-type: none"> - le labour a un rôle important dans la gestion des adventices. La prairie est trop courte pour permettre six ans de culture sans labour - le labour facilite l'implantation des cultures de printemps (féverole notamment) - le matériel de semis spécifique coûte cher - Avec l'implantation sous couvert, il y a déjà trois ans sans labour, soit seulement 5 labours en 8 ans.

Dans le futur, on peut imaginer poursuivre le dispositif en divisant les parcelles dans le sens de la longueur, et comparer labour et non labour. Ce genre d'évolution du dispositif, est envisageable après une rotation complète.

Annexe 3 : Evolution possible du travail du sol sur le dispositif

Passer la herse étrille au printemps		Niveau de contrainte
Nécessité	- Constater sur le terrain <u>les espèces</u> : le hersage n'est efficace que sur les adventices annuelles - Repérer <u>les stades</u> : le stade plantule est le plus sensible au hersage - Constater <u>la densité</u> d'adventices : si la densité est faible, le hersage risque de faire lever plus d'adventice qu'elle n'en détruit	3
Rentabilité	- Le hersage est bon marché (10€/ha) car ne nécessite pas beaucoup de traction.	4
Temps disponible / Ordre	- La période peut être chargée au printemps (hersage des prairies, sortie des animaux, semis de printemps). Cependant, dans une exploitation sans élevage, l'emploi du temps serait moins chargé.	1
Conditions météo	- Intervenir après le ressuyage de la parcelle - Intervenir lors d'une période sèche de quelques jours : la sécheresse favorise la disparition des plantules	2
Limites	- Le hersage peut provoquer une levée d'adventices - Le hersage peut provoquer la formation d'une croûte de battance à partir de la terre fine produite - Le hersage ne permet pas de casser la croûte de battance si celle-ci s'est formée durant l'hiver	

Semer		Niveau de contrainte
Nécessité	- Date de semis : privilégier les semis précoces sur les parcelles propres - Densité de semis : augmenter la densité de semis sur les parcelles sales, ainsi que pour les variétés peu couvrantes - Variété : choisir la variété adaptée aux conditions du milieu (fourniture du sol en azote, pression d'adventices, maladies antécédentes, etc.)	3
Rentabilité	- Dans le cas de la ferme, l'activité agricole reste rentable (cf. calcul des marges)	4
Temps disponible / Ordre	- Semer en premier lieu les parcelles propres - Semer les parcelles suivant l'indice de précocité de la variété	1
Conditions météo	- Semer avant d'avoir des conditions trop humides et tassantes	2
Limites		

Retourner la parcelle en cas de forte infestation d'adventices		Niveau de contrainte
Nécessité	- Constater l'état de la culture (densité de pieds, pouvoir couvrant) - Constater les adventices présentes, leur stade et leur densité.	1
Rentabilité	- Raisonner sur le manque à gagner pour la culture en place (infestation), et pour les cultures suivantes (renouvellement du stock grainier) - Maintenir la culture en place jusqu'à floraison pour recevoir les aides	2
Temps disponible / Ordre	Intervention exceptionnelle	4
Conditions météo	Travailler en conditions non tassantes	3
Limites	-	

Moissonner		Niveau de contrainte
Nécessité	- Mesurer l'humidité au champ en échantillonnant correctement dans la parcelle	1
Rentabilité	- La qualité du grain est détériorée par un taux d'humidité excessif - Une pénalité financière affecte les lots au-delà de 15% d'humidité - Le séchage des grains est facturé par la coopérative	2
Temps disponible / Ordre	- Récolter les parcelles de semences variété par variété (nettoyage du matériel indispensable) -	4
Conditions météo	Conditions sèches indispensables	3
Limites		

Annexe 4 : Exemple de règles de décision sur les parcelles de la Motte

Quelle gestion de la luzerne pour limiter la pression adventice ?

Idéalement, la luzerne reste en place deux ans et demi (semis sous couvert de la céréale réalisé en avril et labour en octobre). Au cours de la première année, un broyage peut être réalisé au printemps pour éviter aux adventices de grainer. Au cours de la deuxième année, deux fauches sont exportées (fin juin et mi août suivant la météo), puis la troisième fauche est restituée au sol. L'objectif est d'avoir une luzerne qui s'implante dans la céréale sans la concurrencer en restant au ras du sol, puis qui se développe rapidement à l'automne en formant un couvert pour l'hiver évitant la battance. Le système racinaire se développe rapidement au cours du printemps suivant et la luzerne produit de la biomasse en abondance la dernière année.

En pratique, le semis sous couvert est un technique difficile à maîtriser. Elle a été expérimentée sur l'essai en 2004 sur la parcelle M4, puis réitérée en 2005 sur la parcelle M5. Sur la parcelle M4, un re-semis a du être fait sur 50% de la surface au printemps suivant, quant à la parcelle M5, elle a été entièrement re-semée après un déchaumage. L'expérience n'a pas été tentée cette année sur la parcelle M6 et la méthode va peut être évoluer. Il est envisagé de semer la prochaine parcelle (M7) en blé de printemps et d'implanter la luzerne au moment du hersage. Notons que les parcelles M1, M2 et M3 n'ont pas été semées suivant cette technique. La luzerne a été implantée au printemps labour.

Il semble acquis que deux ans minimum sont nécessaires pour avoir un pouvoir nettoyant suffisant de la luzerne. L'essai de Mapraz en Suisse présente beaucoup de similitudes avec l'essai de la Motte. Leur choix s'était porté sur une prairie de trèfle implantée sous couvert de la céréale et maintenue en place un an et demi. L'augmentation de la pression adventice les a fait revenir sur ces choix. L'essai est en cours de modification avec remplacement du trèfle par la luzerne et allongement de la durée de la prairie. Ces modifications se font au détriment du reste de la rotation qui s'en trouve raccourcie.

On constate que les deux ans ne permettent pas d'avoir un état irréprochable de la parcelle. Si le semis de printemps est réussi et permet de réaliser une ou deux coupes supplémentaires, les effets bénéfiques de la luzerne seront peut être renforcés.

Annexe 5 : La gestion de la luzerne

Projet de suivi de la faune auxiliaire sur les parcelles de la Motte

Le dispositif de la Motte est adapté pour mettre en place un suivi sur la biodiversité. De plus, l'implantation des haies et des bandes enherbées rend ce projet d'autant plus pertinent, car il est possible de mettre en place un protocole permettant de mesurer l'impact de ces aménagements sur la faune.

Les syrphes sont des insectes, dont les larves sont prédatrices des pucerons. Jean-Pierre SARTHOU, enseignant-chercheur à Toulouse, les a beaucoup étudiés et a développé des outils, notamment des bases de données, sur le sujet. Ces outils permettent notamment de déterminer l'état écologique d'un milieu à partir des populations de syrphes présentes.

L'année 2006 a été l'occasion de réaliser une première campagne de piégeage de la faune volante. Ces piégeages pourront donc servir de base aux prochaines études (point zéro de la faune volante).

Annexe 6 : Projet de suivi de la biodiversité sur le dispositif

Protocole de prélèvement des échantillons de terre

Objectifs

Dans le contexte de notre étude, les échantillons de terre permettent de réaliser :

- les analyses physico-chimiques classiques
- les mesures de reliquats azotés
- les analyses de microbiologie des sols
- les analyses phosphore spécifiques

Enfin, il est indispensable de conserver une trace de l'ensemble des prélèvements de terre réalisés (perte d'échantillons par le laboratoire d'analyses, apparition d'une nouvelle technique d'analyse, nécessité de renouveler une mesure)

Matériel

- tarière de 1.20 mètre disponible à la Ferme de la Bergerie
- tarière automatique pour prélever en condition sèches (s'adresser à un préleveur¹¹ ou réserver le matériel auprès d'une station Arvalis¹²)

Date de prélèvement

Il est en général conseillé de réaliser les prélèvements en sortie d'hiver. Cependant, pour des raisons de dates de stage, ils sont en général fait début juin.

Pour les reliquats azotés : entrée hiver (mi octobre), sortie hiver (février) et récolte.

Quantité à prélever

Envoyer l'équivalent de 3 à 4 poignée à chacun des laboratoires

Temps nécessaire

Pour des prélèvements de surface réalisés à la tarière : compter une journée pour l'ensemble des placettes.

Contact des laboratoires

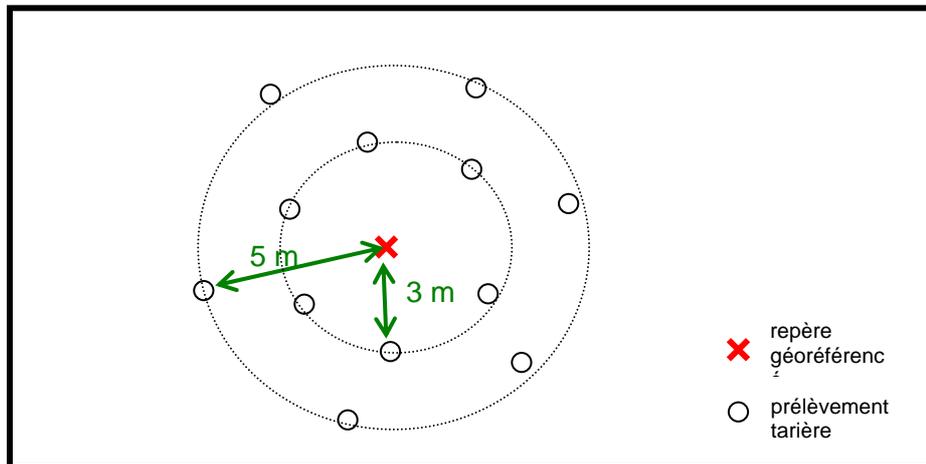
- SAS Ardon
- Laboratoire de microbiologie des sols, INRA Dijon (R. Chaussod)
- INRA Bordeaux (C. Morel)

¹¹ Stéphane ECHARD - Quad environnement

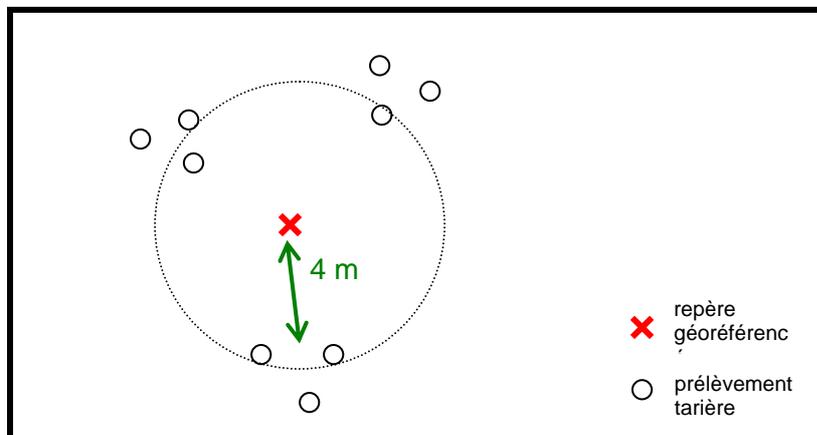
¹² Station d'Ouzouar le Marché (45)

Méthode de prélèvement

- ❖ Analyses physico-chimiques classiques :
 - 12 prélèvements (cf. schéma)
 - Mélanger soigneusement la terre dans un seau, puis prélever un échantillon de terre
 - Profondeur : 0-20 cm



- ❖ Analyses microbiologiques et phosphore spécifique
 - 3 répétitions pour chaque placette
 - Une répétition correspond à 3 forages (cf. schéma)
 - Mélanger soigneusement la terre pour chaque répétition, puis ensacher
 - Profondeur : 0-30 cm



- ❖ Reliquats azotés
 - Même plan de prélèvement
 - 4 horizons de prélèvement : 0-30, 30-60, 60-90 et 90-120 cm

Protocole de collecte des « données plantes » (céréales)

Objectifs

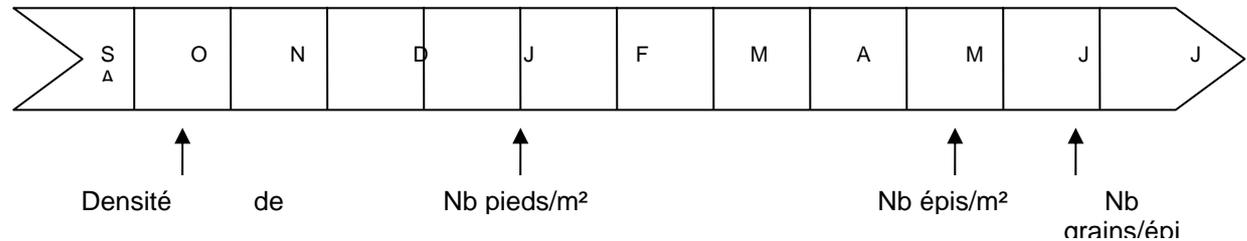
Les « données plante » permettent de suivre les différentes étapes du cycle de la culture. Elles permettent d'accéder aux composantes du rendement et de savoir quels sont les points critiques de son élaboration. Ces données permettent en outre de renseigner un certain nombre de paramètres de logiciels de simulation tels que STICS[®].

Matériel

- Un mètre (ou un cadre à confectionner)
- Des piquets ou des tiges (30 cm)

Date d'observation

- Comptages :



- Repérer les stades : épi 1 cm, épiaison, floraison, remplissage du grain, stade laiteux, stade pâteux

Temps nécessaire

- comptages de pieds ou d'épis : une journée
- comptages du nombre de grains : une demi journée
- mesures de PMG : réserver 2 jours sur le site de Boigneville (mesure de PMG avant et après étuvage)

Méthode de comptages

- Nombre de pieds au m² et nombre d'épis au m² : deux méthodes sont disponibles
 - Repérer 2 rangs jumelés sur un mètre linéaire et faire les comptages. Faire 4 répétitions. Technique rapide à condition que les rangs soient bien visibles.
 - Placer un cadre de 50 cm de côté au sol et réaliser les comptages. Faire 4 répétitions. Cette technique est plus facile à mettre en œuvre pour les comptages d'épis (rangs fermés)
- Nombre de grains par épi : prélever un lot composé de cinq épis (un épi court, un épi long et 3 épis de taille moyenne). Répéter ces comptages sur 3 lots.

Contact sur le site de Boigneville

Françoise LANCELOT : 01-64-99-22-00

Protocole de prélèvement des racines pour la mesure du taux de mycorhization

Objectifs

Les symbioses mycorhiziennes qui peuvent s'établir entre certaines plantes cultivées et des champignons du sol permettent :

- d'améliorer l'alimentation en phosphore de la plante
- de subvenir au besoin en carbone du champignon

Il semblerait que les cultures implantées dans des sols peu pourvus en phosphore, ou ne bénéficiant pas d'apport extérieur, comme c'est le cas en agriculture biologique, développeraient des symbioses plus importantes que les

Matériel

- une fourche – bêche
- une passoire fine
- papier absorbant

Date de prélèvement

- Céréales d'hiver : fin mars – début avril
- Cultures de printemps (pois-orge et féverole) : début juin

Temps nécessaire

- Céréales d'hiver : 2-3 demi-journées de prélèvement et 2-3 demi-journées de lavage
- Cultures de printemps : 1 demi journée de prélèvement et 2 demi-journées de lavage

Méthode

- Sur le terrain : prélever une motte de terre et dégager soigneusement les racines présentes. Les racines les plus jeunes sont les plus intéressantes à récupérer.
- Faire 5 répétitions par placette
- A la ferme : rincer soigneusement les racines au jet d'eau en utilisant un tamis. Bien rincer le tamis entre chaque échantillon.
- Récupérer les racines (une petite poignée par répétition), et les placer dans du papier absorbant humide.
- Envoyer immédiatement au laboratoire ou conserver au frais (une journée maximum)

Contact du laboratoire

Bachar BLAL
Laboratoire Biorize
INRA Domaine d'Epoisses
21 110 BRETENIERES

1/ La dénomination des horizons

L'horizon labouré est divisé en plusieurs horizons :

→ H_0 : surface du sol

→ H_1 : 0-5 cm. Horizon d'incorporation des mottes

→ H_5 : zone labourée

→ H_6 : zone située entre le dernier labour et le labour le plus ancien (changement de couleur)

L'horizon pédologique P_1 se situe sous le changement de couleur. Seule sa partie supérieure est visible sur un profil cultural.

2/ La structure interne

La description de l'état interne des mottes permet d'avoir une information quantitative sur le tassement. La terminologie fine figure en annexe. Nous employons ici :

→ Motte Γ : sigle ouvert qui traduit une forte porosité

→ Motte Δ : sigle fermé qui traduit un état peu poreux. Elles se déclinent en Δ_0 (motte en cours de fragmentation) et Δ_+ (état très tassé, non colonisable par les racines)

→ Motte Φ : sigle barré qui traduit un phénomène de fissuration. Etat intermédiaire entre Δ et Γ (noté $\Phi(\Delta)$) ou entre Δ_+ et Δ_0 (noté $\Phi(\Delta_+)$).

3/ Porosité / racines

La porosité est soit constituée de pores (P), soit de fissures (F). On note ces deux composantes sur une échelle de 0 à 5. La même échelle est employée pour comptabiliser les racines.

Annexe 7 : Terminologie simplifiée pour la description des profils

Summary

The experimental farm “La Motte” demonstrates organic farming without livestock. It was established in 2003. It is a full-scale experimental farm (60 hectares) based on an organic farm in Vexin (60 kilometres northwest of Paris). The goal of the experiment is to test the impact of crop rotation on environmental fertility. Its rotation meets organic farming requirements. Furthermore, it operates under the constraint of no livestock: animal organic amendments such as compost and manure are forbidden; production for human consumption is emphasized, etc. The term “environmental fertility” includes all the factors that contribute to enhance the long-term yield and production quality: soil structure and stability, competition from weeds, diseases, parasites, etc. The crop rotation and techniques used should make it possible to maintain production and quality, through the choice of cultivation methods, species and varieties, and residue management, etc.

The two last growing seasons provide data allowing characterisation of the environment. The observations and the expertise of various specialists have made it possible to discern and prioritize the limiting factors of the parcels, in particular for wheat. It appears that the nitrogen supply is completely different depending on preceding crops. Weeds also provide strong competition in several parcels, and have a much more important impact on yield than on the quality of the wheat. In addition, the use STICS© software to simulate nitrogen dynamics allows us to understand the reasons for the variation in the level of the production. We have also shown that the loss of nitrogen through the mineralization of crop residues does not have a huge impact on the water quality. STICS© also allows us to test some rotation adaptations, such as spreading organic fertilisers and the introduction of green fertiliser during the intercrop period. Finally, the study ends with an economic analysis of the system and of the viability of the suggested adaptations.

We conclude that the suggested adaptations do not present a real difference in term of profitability. However, the agronomic interest should stimulate us to increase organic restitutions. The introduction of green fertilizer fits perfectly with the aim of the experiment in the context of the non-livestock farming and should be encouraged.

Résumé

Le dispositif de la Motte est un essai en agriculture biologique sans élevage mis en place par Arvalis – Institut du Végétal en 2003. Il s'agit d'un essai grandeur nature de 60 hectares basé à la ferme de la Bergerie, exploitation agricole du Vexin Français. L'objectif de l'essai est de tester l'impact d'une rotation de culture sur la fertilité du milieu. Cette rotation respecte les impératifs de l'agriculture biologique, et se place sous la contrainte supplémentaire de l'agriculture sans élevage : pas d'apport de fertilisant ou d'amendement d'origine animale, cultures à destination de l'alimentation humaine privilégiées, etc. La fertilité du milieu est comprise à un sens large. On considère l'ensemble des facteurs qui contribuent à améliorer la production des parcelles, en quantité et en qualité, et ce sur le long terme : stabilité structurale du sol, pression adventice, maladies, ravageurs, etc. La rotation et l'itinéraire technique doivent donc permettre de maintenir le potentiel de production des parcelles par le choix des interventions culturales réalisées, les espèces et les variétés mises en place, la gestion des résidus, etc.

Les deux dernières saisons culturales ont permis d'acquérir des données sur l'ensemble des caractéristiques du milieu. Ces observations, ainsi que l'expertise acquise sur l'essai, ont permis de mettre en évidence et de hiérarchiser les facteurs limitants sur les parcelles, principalement sur la culture du blé. Il apparaît que la fourniture en azote est très différente suivant les précédents culturaux. La pression adventice est elle aussi pénalisante sur certaines parcelles, et joue davantage sur le rendement que sur la qualité de la récolte. Par ailleurs, l'utilisation d'un logiciel de simulation de la dynamique de l'azote, Stics©, a permis de comprendre les causes de variation de la production et d'accéder à des informations sur l'impact environnemental des précédents. Nous avons ainsi montré que la perte d'azote par la minéralisation de résidus de culture après légumineuses ne présente pas d'impact important sur la pollution de la nappe phréatique. Stics© nous a aussi permis de tester des adaptations de la rotation, en particulier l'apport de fertilisants ou d'amendement, et l'introduction d'engrais verts en interculture. Enfin, l'étude se termine par une analyse financière du système, et de la viabilité économique des adaptations suggérées.

Nous concluons donc que les adaptations proposées ne présentent pas de différences flagrantes en terme de rentabilité. Cependant, l'intérêt agronomique nous incite à augmenter les apports ou les restitutions organiques. L'introduction d'engrais verts prend tout son sens dans cet essai car elle reste en parfait accord avec le contexte de l'agriculture biologique sans élevage.