VINCENT Gaël

BTSA Technologies Végétales
Agronomie et Systèmes de Culture

# Demain, quel système de culture pour le blé ?

INRA
Institut National de la Recherche Agronomique

Session 2004 – 2006

**RAPPORT DE STAGE**

Pour **l'ÉPREUVE DE SOUTENANCE** et
l'obtention du diplôme de

**BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR AGRICOLE**
Option Technologies Végétales

**SESSION 2004 / 2006**

| | |
|---|---|
| **Auteur :**<br><br>VINCENT Gaël | **Dates du stage principal** : (support du rapport)<br><br>Du 6 juin 2005 au 5 août 2005<br>Du 28 novembre 2005 au 2 décembre 2005 |
| **Spécialité :**<br><br>Agronomie et systèmes de culture. | **Lieu du stage :**<br><br>Institut National de la Recherche Agronomique<br>78 Versailles - Grignon<br><br>**Maître de stage :**<br><br>Mr SAULAS Patrick |
| **Modules d'Initiative Locale :**<br><br>MIL Cidre: 40 heures<br>MIL Prairie : 40 heures<br>MIL Développement Durable : 40 heures | **Autres stages suivis pendant la formation :**<br><br>Du 8 mai 2005 au 4 juin 2005<br>A Stöcken (Allemagne) chez Mr LEZIUS |

**TITRE DE L'ETUDE :**

# Demain, quel système de culture pour le blé ?

| | |
|---|---|
| **MOTS CLES :**<br><br>Système de culture, durable, intégré, blé, productif, non travail du sol sous couvert permanent, biologique, marges brutes, marges nettes, rendements, logiciel Indigo | Nombres de pages (sans les annexes) : 44<br><br>Nombres d'annexes : 3<br><br>Nombres de pages des annexes : 3 |

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tout particulièrement mon maître de stage, Monsieur SAULAS Patrick pour toute l'aide qu'il m'a apportée durant mon stage et pendant toute l'élaboration de ce rapport.

Je tiens aussi à remercier les professeurs qui m'ont suivi, pour leur aide et leur disponibilité.

## SUMMARY

The reforms of Common Agricultural Policy (CAP) and emergence of new preoccupations look like a turning point in crop systems that we know at the moment.

From this perspective, research institutes have to find alternative solutions to the conventional crop systems. In this way, UMR agronomic of the National Institute for Agronomic Research (NIAR) must conceive and value substainable and integrated systems.

To do so, a test of long length (ten years) in conditions of a field has been carried out in sitting of NIAR Versailles. Four crop systems are lead with two repetitions, in the closely conditions of a farmer's field. Each system is led under rulers decision beforehand defined.

Systems are systems of plant production with 50% winter wheat crop, so that crop is on test each year on each system. Like this, the most part of this report will concern this crop.

Systems will be valued by different views. Agronomy with the yield analysis, economic with the treatment of gross margin and net margin, finally their environment impact and their energy requirement will be measured with the aid of the software Indigo.

In the view of results, the productive system doesn't answer any more to economic and environment obligation. Other crop systems are looking more attractive because they combine profitability, maintenance of the agronomic potential and environment respect. This is the case for integrated and biological systems.

## RESUME

Les réformes de la PAC et l'émergence de nouvelles préoccupations annoncent un tournant dans les systèmes de culture que nous connaissons jusqu'à aujourd'hui. Ceux-ci ne répondent plus aux attentes de la société.

Dans cette optique, les instituts de recherche doivent trouver des solutions alternatives aux systèmes de production conventionnels. Ainsi, l'Unité Mixte de Recherche (UMR) d'agronomie de l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) de Grignon a pour rôle de concevoir et d'évaluer des systèmes de culture durable et intégrés.

Pour cela, un essai de plein champ et de longue durée (minimum 10 ans) a été mis en place sur le site de l'INRA de Versailles. Quatre systèmes de culture (productif, intégré, non travail du sol sous couvert et biologique) y sont menés avec deux répétitions, dans des conditions proches de la parcelle de l'agriculteur. Chaque système de culture est conduit selon des règles de décision préalablement définies, inhérentes à chaque système.

Les systèmes sont de type production végétale avec la présence de la culture de blé tendre d'hiver à hauteur de 50%, si bien que cette culture est présente tous les ans sur chaque système. Ainsi, une majeure partie de ce rapport portera sur cette culture.

Les systèmes seront évalués de différents points de vues : Agronomique par l'analyse des rendements, économique par le traitement des marges brutes et des marges nettes, enfin leur impact environnemental et leur exigence énergétique seront mesurés à l'aide du logiciel Indigo.

Au vu des résultats, le système productif ne répond plus aux contraintes économiques et environnementales .D'autres systèmes de culture s'annoncent comme plus intéressants car ils allient rentabilité, maintien du potentiel agronomique et respect de l'environnement. C'est le cas des systèmes intégré et biologique.

(281 mots)

INTRODUCTION -1-

1 LE MODE DE PRODUCTION ACTUEL EST-IL TOUJOURS EN ACCORD AVEC LE CONTEXTE ? - 2 -

1.1 UNE ECONOMIE DEFAVORABLE - 2 -
1.2 UNE POLITIQUE EUROPEENNE QUI CHANGE DE DONNE - 3 -
1.3 LA ROLE DE L'AGRICULTEUR, ENTRE ENVIRONNEMENT ET SOCIETE - 4 -
1.4 UN POTENTIEL A PRESERVER - 5 -
1.5 PRODUIRE DE LA QUALITE - 6 -

2 CONSTRUCTION D'UN ITINERAIRE CULTURAL A FAIBLE NIVEAU D'INTRANTS - 8 -

2.1 COMMENT LE CONSTRUIRE ? - 8 -
*2.1.1 Méthode des composantes de rendement - 8 -*
*2.1.2 Présentation des résultats de l'expérimentation - 9 -*
2.2 UTILISATION D'UN MELANGE DE VARIETES - 9 -
*2.2.1 Pourquoi ? - 9 -*
*2.2.2 Comment le constituer ? - 10 -*
*2.2.3 Présentation des résultats de l'expérimentation - 11 -*
2.3 LE NON LABOUR - 12 -

3 L'EXPERIMENTATION « LA CAGE » - 14 -

3.1 PRESENTATION - 14 -
3.2 DISPOSITIF EXPERIMENTAL - 15 -
*3.2.1 Présentation des systèmes de culture - 15 -*
*3.2.2 Un dispositif « ouvert » - 16 -*
*3.2.3 Les règles de décision - 17 -*
*3.2.4 Mesures et notations effectuées sur le blé en 2005 - 19 -*

4 ANALYSE DES RESULTATS - 20 -

4.1 PRESENTATION DE L'ANALYSE DE VARIANCE - 20 -
4.2 DEROULEMENT DE L'ANALYSE - 20 -
*4.2.1 Vérification des hypothèses de l'analyse de variance sur les résidus - 20 -*
*4.2.2 Tableau d'analyse de variance - 21 -*
4.3 RESULTATS AGRONOMIQUES - 22 -
*4.3.1 Etude des rendements depuis le début de l'essai - 22 -*
*4.3.2 Etude des rendements machine pour l'année 2005 - 24 -*
4.3.2.1 Données brutes - 24 -
4.3.2.2 Vérification des hypothèses de l'analyse de variance sur les résidus - 24 -
4.3.2.3 Le tableau de l'analyse de variance - 25 -
4.3.2.4 Comparaison de moyennes - 26 -
4.4 RESULTATS ECONOMIQUES - 27 -
*4.4.1 Etude des marges brutes - 27 -*
4.4.1.1 Données brutes - 27 -
4.4.1.2 Vérification des hypothèses de l'analyse de variance sur les résidus - 27 -
4.4.1.3 Le tableau de l'analyse de variance - 29 -
4.4.1.4 Comparaison de moyennes - 30 -
*4.4.2 Etude des marges nettes - 31 -*
4.4.2.1 Données brutes - 31 -
4.4.2.2 Vérification des hypothèses de l'analyse de variance sur les résidus - 31 -
4.4.2.3 Le tableau de l'analyse de variance - 33 -
4.4.2.4 Comparaison de moyennes - 34 -
4.5 APPROCHE ENVIRONNEMENTALE - 36 -
*4.5.1 Présentation du logiciel INDIGO - 36 -*
*4.5.2 Utilisation de l'indicateur Iphy - 36 -*
*4.5.3 Utilisation de l'indicateur Iener (I énergie) - 39 -*

5 CRITIQUES ET PROLONGEMENTS - 42 -

5.1 CRITIQUES - 42 -
5.2 PROLONGEMENTS - 43 -

CONCLUSION -44-

# INTRODUCTION

L'ensemble des réformes de la Politique Agricole Commune a modifié considérablement le contexte de la production en grande culture à travers la chute des prix, les notions de conditionnalité et de contraintes environnementales. De plus, à cela s'ajoute des variations de certains facteurs de production très importants tel que le carburant. Cela incite donc à réduire les charges opérationnelles et de mécanisation afin de maintenir la rentabilité des productions.

Dans ce nouveau contexte, les systèmes de grande culture devront respecter l'ensemble des contraintes et être capable de s'adapter à de futures évolutions. Les systèmes de culture devront être intégrés et durables : intégrés parce qu'ils seront aptes à satisfaire les besoins de rentabilité, de maintien de la fertilité et de respect de l'environnement ; durables pour être capables de s'adapter dans le temps, fournir une activité suffisamment productive tout en restant transmissible à l'éventuelle succession.

Pour répondre à ces diverses exigences et contraintes, il est nécessaire de concevoir, de tester, et d'évaluer différents systèmes de culture sur le court et long terme. L'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) de Versailles Grignon travaille dans cet objectif depuis un certain temps : Un essai de longue durée (minimum 10 ans) et à grande échelle (8ha) a été mis en place en 1997 sur le site de l'INRA de Versailles.

L'objectif premier de l'essai est de tester la faisabilité de ces différentes conduites de culture sur le long terme. Le second objectif est d'évaluer l'impact de ces différents systèmes sur les plans agronomiques, économiques, environnementaux, car ils ne seront transmissibles à la profession que s'ils répondent à ces conditions.

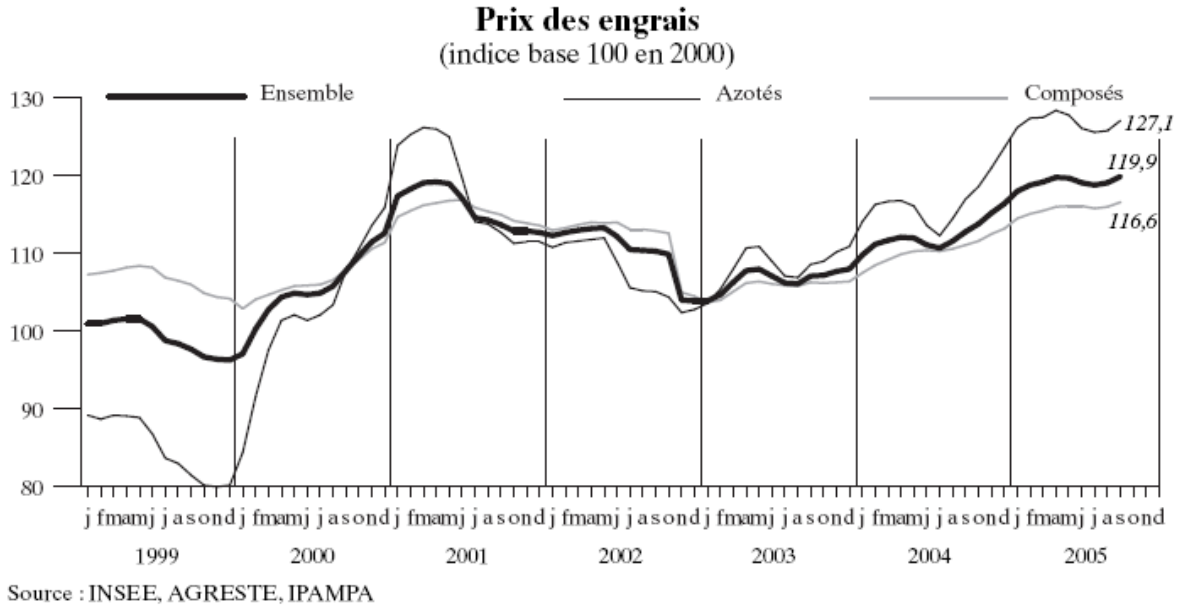
# 1-- Le mode de production actuel est-il toujours en accord avec le contexte ?

Les systèmes dominants jusqu'à présent sont des systèmes productifs voire très productifs, qui ont été mis en place face à des besoins et un contexte économique plutôt attractif. Sont-ils toujours d'actualité ? Les préoccupations sont-elles toujours les mêmes ?

Nous allons voir dans un premier temps que le contexte économique a changé.

## 1.1 Une économie défavorable

La dernière flambée du pétrole courant 2005 est une bonne image de la situation actuelle au niveau économique. En agriculture, les prix de beaucoup de facteurs de production sont indexés sur le prix du pétrole (produits phytosanitaires, fuel, engrais…).



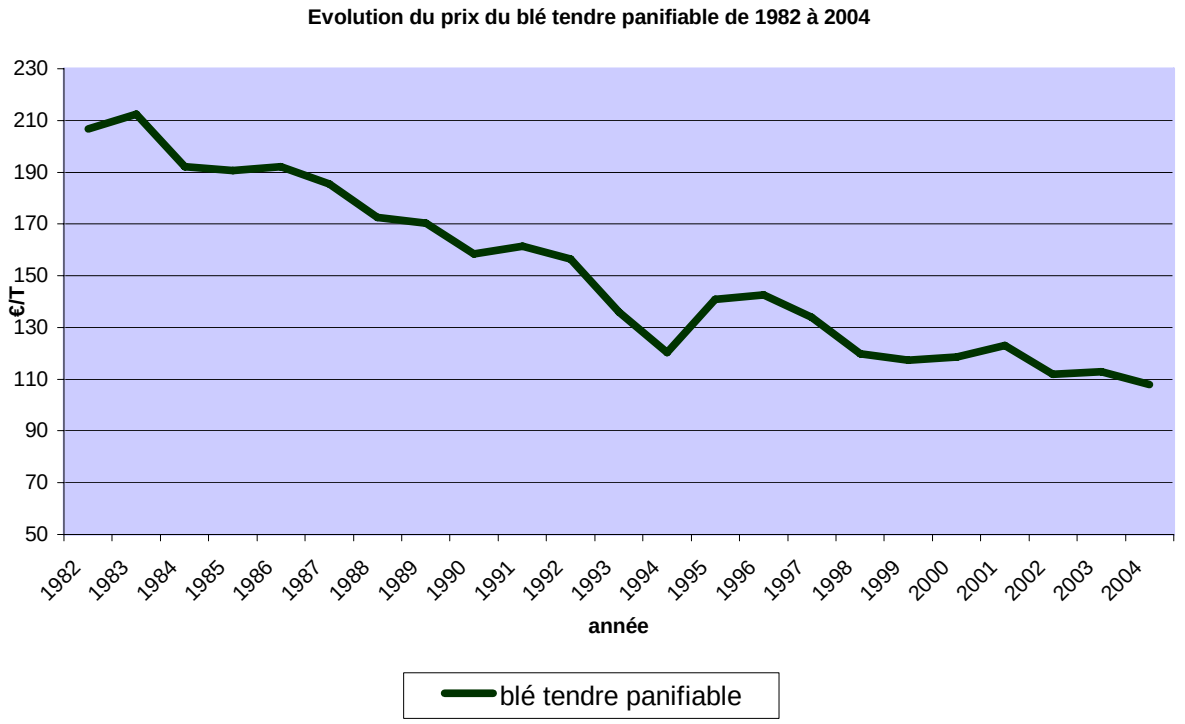

Ce graphique montre l'évolution du prix des engrais depuis 1999 (base 100 en 2000).

En 5 ans, l'augmentation du prix de l'ensemble des engrais a été de quasiment 20% ; L'utilisation d'engrais (entre autres) dans le cadre d'une agriculture productiviste étant inévitable, la hausse des coûts de production est donc parfaitement à l'image de ce graphique.

En parallèle à cette augmentation des coûts de production, on peut voir sur le graphique ci-dessous que le prix du blé n'a pas augmenté pour compenser la hausse des charges. Bien au contraire, en plus de vingt ans, il a diminué de 50%.

Ces deux observations nous permettent de dire que le contexte économique actuel tend à faire diminuer nettement la marge à l'hectare de blé produit. L'agriculteur ne pouvant agir sur le prix du blé (ou peu par ses pratiques), il devra changer ses moyens de production en agissant sur tous les leviers possibles dans le but de diminuer ses charges de production (opérationnelles, mécanisation etc.…).

*Ce graphique ne tient pas compte des mesures de soutien mises en place en 1992, dans le cadre de la signature de la Politique Agricole Commune.*




Le contexte économique ne favorise plus la production comme lors de la mise en place des systèmes de production intensifs que l'on connaît encore aujourd'hui. Les agriculteurs doivent produire tout en maîtrisant au mieux leurs charges.

On va voir maintenant que le régime des surfaces en production face aux aides a changé et qu'il inclut désormais de nouvelles données pour toucher les subventions.

### 1.2 Une politique européenne qui change de donne

Au niveau politique, la situation de l'agriculture a considérablement évolué depuis 40 ans.

Tout commence en **1962** lors de la signature de la première Politique Agricole Commune (PAC). Les objectifs sont alors d'accroître la productivité agricole, d'assurer un niveau de vie équitable à la population agricole, de stabiliser les marchés, de garantir les approvisionnements et enfin d'assurer des prix convenables pour les consommateurs.

**En 1992**, cette politique est réformée et on réoriente les aides : La politique de soutien des prix est remplacée par une politique de soutien des revenus agricoles. Autres éléments importants de cette réforme : La protection de l'environnement et le développement du potentiel naturel des campagnes.

**En 1999**, la réforme de la PAC est engagée à titre préventif dans le cadre financier de l'Agenda 2000 pour mieux faire face aux défis futurs :

- Possibilité de désiquilibres structurels pour certains marchés.
- Elargissement aux pays candidats.
- Nouveau cycle de négociation à l'OMC sur la libéralisation de l'agriculture au niveau mondial.

Ainsi, suite aux Accords de Berlin signés en 1999, la PAC repose sur deux piliers :

- Le 1er pilier concerne les aides à la production et les organisations communes de marché.
- Le 2nd pilier comprend les aides au développement rural et d'autres domaines de l'agriculture (environnement, qualité, installation des jeunes …).

**En 2003**, les Accords du Luxembourg marquent un nouvel aspect de la PAC. Ils reprennent les principes essentiels tout en renforçant certains dispositifs :

- Les aides directes aux productions sont désormais découplées.
- Mise en place des Droits de Paiement Unique (DPU). Celles-ci sont désormais liées entièrement au foncier ; l'agriculteur qui voudra toucher ces aides devra respecter des critères bien spécifiques (écoconditionalité).

Les producteurs font face à un contexte plutôt nouveau puisqu'il inclut les conditions de production pour toucher les aides. Ils doivent donc respecter certaines normes.

On va voir maintenant que l'agriculteur joue le rôle de producteur mais est aussi perçu comme pollueur par la société actuelle et que cela induit des modifications et des contraintes sur ses méthodes de production.

### 1.3 La rôle de l'agriculteur, entre environnement et société

Depuis quelques années, on montre l'agriculture du doigt pour ses impacts sur l'environnement.

Tout d'abord, le premier problème a été l'excès de phosphates retrouvés dans l'eau, en parallèle d'une utilisation importante en agriculture comme engrais.

Le second problème qui est apparu est les nitrates. Il est très bien illustré par la région de Bretagne. Suite à des prélèvements d'eau dépassant la norme de teneur de l'eau potable en nitrates, et l'invasion d'algues nitrophiles de certains milieux aquatiques, la réaction a été vive. La Directive Nitrates a été créée et mise en application en 1994 pour préserver les milieux en dangers et obliger les agriculteurs des régions concernées à des pratiques plus respectueuses vis à vis de l'environnement en terme de fertilisation azotée.

Enfin, le dernier volet est la pollution par les pesticides. Le dernier en date est le cas de l'atrazine retrouvé à faible dose dans l'eau ; le résultat a été l'interdiction totale de l'utilisation d'atrazine en agriculture.

On peut aussi parler des problèmes rencontrés par des localités lors de pluies diluviennes, qui provoquent des coulées de boues ou des inondations. La cause revient souvent à des pratiques agricoles du secteur depuis quelques années.

Tous ces impacts de l'agriculture sur l'environnement ont encouragé l'apparition de pratiques agricoles plus respectueuses de l'environnement sous différentes dénominations (agriculture raisonnée, intégrée…). Globalement, on peut dire que derrière tout ça apparaît une idée d'agriculture durable, plus respectueuse de l'environnement et dont les pratiques permettraient de conserver un milieu sain pour nos générations futures. Cette notion est née à partir en 1992 à la Conférence de Rio.

On voit ainsi que l'agriculteur joue plusieurs rôles dans la société, aussi bien de producteur que de responsable face à la situation environnementale qui lui valent de nouvelles contraintes et méthodes de production.

Nous allons nous rendre compte que la situation agronomique de la France joue aussi un rôle important pour la remise en cause des systèmes actuels.

### 1.4 Un potentiel à préserver

Le potentiel de production en grandes cultures est bien lié principalement au sol. Tout agriculteur a intérêt à chercher à le préserver voire l'améliorer. Or, une récente étude de l'INRA annonce que 6 à 7 millions d'hectares sont déficitaires en matière organique. Cela représente bien un danger potentiel quand on connaît le rôle des matières organiques dans un sol.

Face à ce problème et au contexte économique, de nombreux agriculteurs ont choisi de passer au non labour, notamment depuis 10 ans: Les surfaces non labourées ont été multipliées par 4 en France. Actuellement, environ 25% des préparations de sols sont réalisées sans labour, sous différentes formes : Du semis direct sous couvert, aux techniques d'implantation simplifiées passant par un déchaumage profond ; la diversité des itinéraires envisageables contraste énormément les pratiques et ainsi l'évaluation d'une situation globale.

En revanche la répartition des Techniques Culturales Simplifiées (TCS) peut être une approche intéressante : Un sondage en 2000 montrait que 15% des exploitants agricoles pratiquent des TCS sur plus de la moitié de leur exploitation alors que 6% seulement sur l'intégralité de la surface cultivée. On approcherait ainsi un peu plus de 8% de la SAU française implantée sans labour.

Cette approche non labour peut être une solution au déficit de matière organique : Sur l'essai Arvalis de Boigneville, après 30 années de non labour, une augmentation de 33% par rapport à la teneur initiale en matière organique a été observée sur l'horizon (0-5 cm) en travail superficiel et de 85% en semis direct. En revanche, la dynamique de la matière organique est changée et cette augmentation est moins importante sur l'ensemble du profil.

Cette augmentation à long terme du taux de matière organique s'accompagne de tous les effets de l'augmentation de la taille du Complexe Argilo Humique : Augmentation de la Capacité d'Echange en Cations (CEC), une meilleure structure grâce à une porosité naturelle améliorée ou encore une meilleure alimentation de la plante grâce à une meilleure disponibilité en éléments nutritifs.

Le non labour peut aussi avoir des effets positifs sur l'environnement : Il permet de lutter contre l'érosion ; en effet, on considère que le maintien d'un mulch de surface protège le sol des fortes pluies, et qu'une couverture de 30% du sol en résidus assure la protection contre l'érosion.

Il est cependant à noter que le passage aux TCS est lié plus à des motivations économiques, qu'à des raisons agronomiques.

Enfin il est à noter que la signification du sigle TCS a évolué depuis 10 ans : On est passé des Techniques Culturales Simplifiées aux Techniques de Conservation des Sols ; on associe donc clairement l'idée d'agriculture durable à cette technique.

Le sol est un capital indispensable à préserver en agriculture. Certaines techniques peuvent le permettre, voire l'améliorer.

Enfin, on va voir que l'on ne demande plus seulement à l'agriculteur de produire de la quantité, mais également de la qualité, et que cela va jouer un rôle prépondérant sur le prix de vente.

### 1.5 Produire de la qualité

La qualité des produits devient un gage de sécurité pour le prix de vente.

On demande aux agriculteurs de produire du blé respectant des normes minimales, entre autres sur les protéines et les mycotoxines.

La réglementation veut que le blé ait une teneur en protéines d'au moins 10,5% (sur matière sèche), afin de respecter les normes à l'intervention. Si le blé respecte cette norme à l'intervention (encore dit « blé interventionnable »), une réfaction sur le prix peut quand même être appliquée en fonction de sa teneur en protéines.

| **Teneur en %** | **Réfaction** |
|---|---|
| moins de 11,5 à 11 | -2,5 €/tonne |
| moins de 11 à 10,5 | -5 €/tonne |

Un nouvel aspect réglementaire va être appliqué au 1er juillet 2006, il s'agit du règlement mycotoxines.

Ce règlement concernera uniquement les céréales destinées à l'alimentation humaine. Les principales mycotoxines prises en compte dans le règlement pour le blé sont le déoxynivalénol (DON) et la zéaralénone.

| | **Seuils applicables au 01/07/2006** |
|---|---|
| **Limites maximales en DON (ug/ kg)** | 1250 |
| **Limites maximales en zéaralénone (ug/kg)** | 100 |

On a vu dans cette première partie que le contexte global autour de l'agriculture a changé. Les systèmes de production conventionnels atteignent leurs limites faces à des prix moins rémunérateurs. Les charges augmentent tout comme les risques face à l'éligibilité par rapport aux subventions, la place par rapport à l'environnement, le potentiel de production à préserver et qui risque de se dégrader, et la qualité face à la réception des lots.

Face à ce contexte actuel, le personnel de l'INRA s'est attaché à concevoir et tester de nouveaux itinéraires techniques afin de se plier aux nouvelles règles et contraintes de production.

**Mais qu'est ce que l'INRA ?**
L'INRA, Institut National de la Recherche Agronomique, créé en 1946, est un établissement public à caractère scientifique et technologique. Il est sous la tutelle des Ministères chargés de l'Agriculture et de la recherche. L'Inra a pour missions de :

- œuvrer au service de l'intérêt public en maintenant l'équilibre entre les exigences de la recherche et la demande de la société ;
- produire et diffuser les connaissances scientifiques et des innovations, principalement dans les domaines de l'agriculture, de l'alimentation, et de l'environnement ;
- contribuer à l'expertise, à la formation, à la promotion des cultures scientifique et technique, au débat science/société.

L'INRA est divisé en 17 départements de recherche touchant à l'agriculture, l'alimentation et l'environnement. Cela représente près de 21 centres régionaux répartis sur 200 sites en France, soit environ 257 unités de recherche, 80 unités expérimentales, 131 unités d'appui et de services et un budget de 573 millions d'euros en 2002. L'INRA travaille également en collaboration avec des organismes de recherche, l'enseignement supérieur et des acteurs de la vie socio-économique.

**Et plus particulièrement l'Unité Mixte de Recherche (UMR) d'Agronomie de Grignon :**
L'UMR d'Agronomie de Grignon est associée au département Agronomie et Environnement (AGER), de l'Institut National Agronomique de Paris Grignon (INA P-G). Elle a pour vocation de contribuer à améliorer la durabilité des systèmes de culture, principalement en régions à dominante céréalière.
Cinq pôles de recherche structurent les projets et l'animation de l'UMR :

- les effets des systèmes de culture sur les bioagresseurs ;
- les effets des systèmes de culture sur la structure du sol ;
- les effets des systèmes de culture sur l'efficience et le devenir des engrais azotés ;
- le comportement des variétés dans différents systèmes de culture ;
- la conception de nouveaux itinéraires techniques et systèmes de culture.

C'est au sein de l'UMR d'Agronomie (pôle conception de nouveaux itinéraires techniques et systèmes de culture), que s'est déroulé mon stage du 6 juin 2005 au 5 août 2005, et du 28 novembre 2005 au 2 décembre 2005.

Cette unité travaille ainsi sur les systèmes de culture. On va voir qu'elle s'attache depuis quelques années à trouver des systèmes alternatifs aux systèmes productifs actuels, plus économiques et plus respectueux de l'environnement.

# 2-- Construction d'un itinéraire cultural à faible niveau d'intrants

On va voir que les instituts de recherche travaillent depuis longtemps sur l'abaissement du niveau d'intrants à différents stades d'un itinéraire cultural.

Sur tout ce raisonnement, on réfléchira sur une culture de blé tendre d'hiver, étant la culture la plus pratiquée dans les régions de grandes cultures.

Il est possible d'agir sur différents leviers pour diminuer le niveau d'intrants d'un itinéraire cultural.

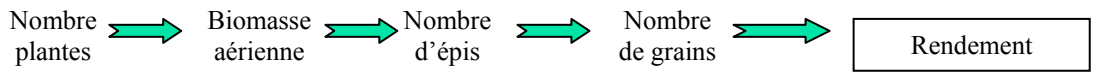
Il est important de prendre conscience que le construction d'un tel itinéraire doit se faire sur sa globalité et non en agissant sur un seul poste.

## 2.1 Comment le construire ?

Pour construire un tel itinéraire, on peut utiliser le principe de base de construction d'un itinéraire technique, à savoir la méthode des composantes de rendement.

### 2.1.1 Méthode des composantes de rendement

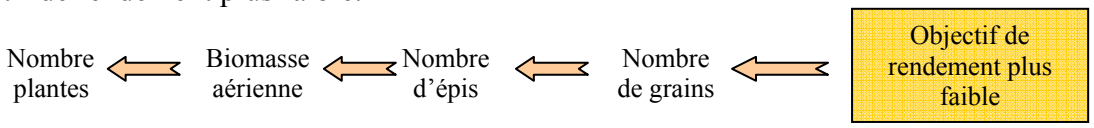
C'est d'après cette méthode que l'agriculteur arrive à déterminer la cause de la réussite ou de la défaillance de sa culture après la moisson. Elle repose sur ce schéma simplifié :




Plusieurs commentaires peuvent ressortir de ce schéma.

Pour atteindre le rendement maximum permis par le sol et le climat, l'agriculteur devra s'assurer que les composantes du rendement ne souffrent d'aucune carence. Pour cela, il sèmera une quantité de grains importante, il apportera suffisamment d'azote pour obtenir une forte biomasse, il appliquera un régulateur de croissance pour éviter la verse, et il traitera ses plantes avec plusieurs fongicides pour éviter des attaques de maladies. Avec une telle conduite, il obtiendra le rendement maximum. Mais l'obtention de ce rendement élevé est très coûteuse en intrants et souvent nuisible pour l'environnement.

Une autre approche sera de prendre ce schéma à contresens. L'agriculteur se fixe alors un objectif de rendement plus faible.




Les objectifs plus faibles de cet itinéraire permettront l'application de moins d'intrants grâce à plusieurs éléments :

- *L'utilisation de variétés plus résistantes aux maladies*, mais généralement moins productives.
- *Une fumure azotée plus faible* donc un risque verse et maladies plus faible.
- *Une densité de semis plus faible* en corrélation avec l'abaissement de l'objectif de rendement, donc un risque verse et maladies cryptogamiques plus faible, ainsi qu'une diminution du stress azoté à certaine périodes.
- *Un semis plus tardif* qui limite les risques parasitaires.

### 2.1.2 Présentation des résultats de l'expérimentation

Sur ces principes, une expérimentation a été réalisée à l'Institut National Agronomique de Paris Grignon (INA- PG) ainsi que par la Chambre Régionale d'Agriculture de Lorraine (1985, 1989). Elle se basait sur la comparaison de deux itinéraires techniques :

- Itinéraire « A » : Il s'agira d'un itinéraire intensif, où l'on visera d'atteindre un rendement maximal. A partir du rendement visé et du nombre de grains/m², on trouvera le nombre de plantes sortie hiver nécessaire et ainsi la dose de semis.
- Itinéraire « B » : Ce sera l'itinéraire à faible niveau d'intrants. On abaisse l'objectif de rendement de 15q/ha, donc le nombre de plantes sortie hiver nécessaire.

Plusieurs conclusions en ont été tirées :

- Le rendement de l'itinéraire B est souvent inférieur à l'itinéraire A mais l'objectif de rendement est atteint plus souvent par l'itinéraire B.
- Les marges brutes restent proches avec un léger avantage pour l'itinéraire B, qui s'accroît avec la baisse du prix du blé.
- La variabilité des rendements n'augmente pas avec la diminution des intrants.
- L'azote est beaucoup mieux valorisé pour l'itinéraire désigné comme extensif.

En poussant l'analyse plus loin, on voit que le poste fongicides est celui qui représente les coûts les plus élevés. La solution pour abaisser les coûts est de réduire ce poste.

On va voir que l'utilisation de mélange de variétés peut répondre à ce problème, et ainsi s'inscrire directement dans la logique d'itinéraires à faible niveau d'intrants.

## *2.2 Utilisation d'un mélange de variétés*

En premier temps, cet aspect a été approché dans les années 90 car seules existaient soit des variétés peu productives et tolérantes aux maladies, soit des variétés très productives et souvent sensibles aux maladies. Cet aspect est moins important depuis grâce aux progrès de la génétique qui a trouvé un équilibre entre la production et la tolérance aux maladies dans les variétés d'aujourd'hui.

### 2.2.1 Pourquoi ?

La culture de variétés en mélange a été largement utilisée, au Danemark par exemple pour les semis d'orge de printemps afin de lutter contre la propagation de l'oïdium, mais elle est aussi utilisée dans des agricultures biologiques, comme par exemple en Suisse.

Si cette technique a été et est toujours utilisée dans le monde, c'est parce qu'elle présente des aspects très intéressants d'un point de vue global à propos de la diminution d'intrants.

Tout d'abord, elle permet la création d'une *diversité génétique* au sein du peuplement. Cette diversité est semblable à la diversité rencontrée dans un écosystème naturel et limite ainsi l'apparition de races surmontant les tolérances variétales.

Ensuite, le mélange de variétés est un *moyen de lutte contre les maladies foliaires* :

- La distance entre plante sensible étant augmentée, la pression fongique se trouve diminuée.
- La variété résistante est une véritable barrière physique pour la maladie.

Puis, l'hypothèse a été émise que la diversité génétique du mélange admet une meilleure utilisation des éléments du milieu (eau, lumière, éléments minéraux) donc une *augmentation du rendement*.

Enfin, chaque variété du mélange réagit différemment aux conditions de l'année, on assiste donc à une régularisation de la production à long terme par rapport à une culture d'une seule variété : *Stabilité du rendement.*

Connaissant les atouts de la technique, nous allons voir sur quels points nous appuyer pour constituer le mélange.

### 2.2.2 Comment le constituer ?

Le point sensible de cette technique est le bon choix des variétés constituant notre mélange.

Voici la liste de points à respecter :

- Leur valeur d'utilisation : Selon la destination du blé produit, on constituera notre mélange avec des variétés destinées à cette qualité de produit ; il est préférable que les variétés du mélange appartiennent au même groupe de qualité (Exemple : Blé Panifiable Supérieur).
- Leur précocité à maturité : Cela correspond à la maturité physiologique et définit ainsi deux paramètres importants pour constituer le mélange :
  - La date de semis afin d'éviter ou de limiter les effets défavorables du climat.
  - La simultanéité des maturités afin de faciliter les récoltes.

Pour cela, on dispose des groupes de précocité à maturité (très tardive, tardive, etc….).

- Leur précocité : Il faut que les variétés aient la même précocité, donc la même sensibilité à la photopériode afin que leur stade de développement reste proche, notamment au stade épi 1cm où les variétés en mélange sont très sensibles à un décalage.
- Leur précocité à montaison : Les variétés choisies doivent être homogènes, sinon il se créée alors une compétition que l'on retrouve à la récolte par une faiblesse du Poids de Mille Grains (PMG).
- La résistance complémentaire aux maladies : Pour obtenir un mélange ayant une tolérance aux maladies assez complète, il faut veiller à ce que les variétés aient des caractéristiques complémentaires. Pour cela, nous disposons du bulletin des variétés du GEVES (Groupe d'Etude Et de contrôle des Variétés Et des Semences) mais aussi des catalogues d'Arvalis Institut du végétal.

Attention, il faudra tenir à jour ces catalogues de variétés car la tolérance aux maladies peut être contournée très rapidement.

### 2.2.3 Présentation des résultats de l'expérimentation

Une expérimentation a été menée sur trois ans à Grignon (Yvelines) par l'Institut National de la Recherche Agronomique afin de comparer deux itinéraires techniques :

- Un itinéraire de type intensif « A », basé sur l'utilisation d'une variété pure (Soissons), où l'on recherche un rendement élevé : 90 q/ha.
- Un itinéraire « B » dans lequel on recherche à réduire de façon cohérente l'ensemble des intrants et de limiter le développement des maladies tout en assurant la meilleure marge financière pour l'agriculteur. On utilise dans cet itinéraire un mélange de trois variétés (Delfi, Soissons, Pactole), mais aussi d'autres moyens pour limiter l'utilisation des produits phytosanitaires : Retarder le semis, diminuer la densité de semis, réduire la fertilisation azotée et éviter un retour trop fréquent de cette culture sur la parcelle. L'objectif de rendement est abaissé de 15 q/ha. Cela correspond alors au système de lutte intégrée dans les systèmes céréaliers.

Les variétés du mélange ont été sélectionnées à partir des principes énoncés ci-dessus.

Tableau récapitulatif des quantités moyennes d'intrants utilisés sur 3 ans :

| **Intrants** | **Itinéraire « A »** | **Itinéraire « B »** |
|---|---|---|
| Semences (kg/ha) | 165 | 106 |
| Fumure Azotée (kg N/ha) | 201 | 156 |
| Nombre de raccourcisseurs | 1,1 | 0 |
| Nombre de fongicides | 1,9 | 0,7 |

On voit bien que la quantité d'intrants utilisée sur l'itinéraire « B » est largement inférieure à celle utilisée sur l'itinéraire « A ». Cela permet d'affirmer que cet itinéraire aura un impact plus faible sur l'environnement.

D'un point de vue économique, l'itinéraire « B » est celui qui obtient la meilleure marge brute avec un faible écart par rapport à l'itinéraire « A » ; en revanche, cet écart s'agrandit de plus en plus en faveur de l'itinéraire « B » lorsque le prix du blé baisse.

L'itinéraire « B » s'avère donc être une bonne façon de réduire la quantité d'intrants sur une culture ; un poste en revanche peut aussi être modifié afin de diminuer les charges de mécanisation et le nombre d'intervention total. On va voir ainsi que le passage au semis direct peut être une solution intéressante dans le cadre de la réalisation d'un tel itinéraire.

## 2.3 Le non labour

Une autre voie pour abaisser les coûts globaux sur l'ensemble de l'itinéraire peut être de chercher à diminuer considérablement les charges de mécanisation par les pratiques de non labour (que ce soit du semis direct au travail simplifié « profond »). En effet, on va voir que cette technique est une réponse assez directe aux préoccupations actuelles.

Il est à souligner en premier temps que la plupart des agriculteurs pratiquant des techniques de non labour de nos jours, ont été motivés par l'économie réalisée par ces pratiques. En effet, le non labour permet des économies non négligeables. Par exemple, la consommation de carburant moyenne liée au travail du sol diminue de 35% en faveur du semis direct face au labour, et de 25% en travail simplifié face au labour. Les économies réalisées sur le poste carburant sont donc plus qu'attractives face au contexte économique actuel.

Egalement, le non labour permet aussi de diminuer considérablement le temps de travail lié aux travaux de traction à l'hectare ; on considère que l'on passe 0,5h/ha en semis direct et 1,3h/ha en travail simplifié contre 2,6h/ha en système conventionnel (labour). L'économie engendrée sur le poste main d'œuvre, s'inscrit donc toujours dans la diminution des coûts de production.

Ensuite, les techniques de non labour engendrent des phénomènes agronomiques tout à fait intéressants pour les agriculteurs. L'augmentation d'activité biologique, notamment de lombrics, liée au fait que l'on ne bouleverse plus le sol par le labour, permet une meilleure perméabilité des sols ; la photo ci-dessous démontre bien cet intérêt sur une culture de betteraves.

*>Comparaison semis direct (à gauche) et labour (à droite)*

Source : http://www.agriculture-de-conservation.com

Le non labour améliore globalement l'état structural des sols sous deux aspects. La structure de surface est améliorée par la création d'un mulch qui limite l'érosion, l'évaporation et aussi la battance. La structure sur les différents horizons est aussi plus homogène au bout de 2 à 5 ans avec un réseau de fissures et galeries très fonctionnelles, et l'absence de ruptures (semelle de labour par exemple); on a ainsi une meilleure exploration par les racines et une meilleure valorisation des éléments nutritifs disponibles ainsi que de l'eau du sol.

Du point de vue environnemental, le non labour engendre une diminution du temps de traction, donc une diminution des rejets de dioxyde de carbone par les engins. Aussi, le non labour stimulant la fabrication d'humus au détriment de la minéralisation, favorise le stockage du carbone dans le sol.

Enfin, le non labour diminue l'impact des précipitations sur le sol, grâce à la concentration de matière organique en surface, et limite ainsi les ruissellements et les problèmes de battance.

Cependant, il est à retenir qu'il existe de nombreuses techniques de non labour, du travail simplifié profond au semis direct sous couvert, et que ces différents techniques ont chacune leurs impacts sur le système de culture ; les impacts positifs augmentent en général avec le degré de simplification.

Il faut prendre garde aux avantages économiques du non labour ; le passage au non labour sur une exploitation agricole peut engendrer aussi des pertes économiques si l'agriculteur décide de garder son matériel conventionnel (charrue), et d'acheter à côté du matériel de non labour.

On a vu dans cette partie que la recherche a déjà énormément travaillé sur les différentes possibilités pour abaisser le niveau d'intrants d'un itinéraire cultural.

L'UMR d'Agronomie de Grignon dispose ainsi de références importantes afin de concevoir de nouveaux itinéraires.

En vue de valider toutes ces techniques et d'en tester de nouvelles à l'échelle du système de culture, le personnel de cette unité a mis en place une expérimentation de longue durée (10 ans) en 1997, pour ***tester quatre itinéraires techniques sur un long terme afin de connaître leur impact économique, agronomique et environnemental.***

# 3-- L'expérimentation « La Cage »

## 3.1 Présentation

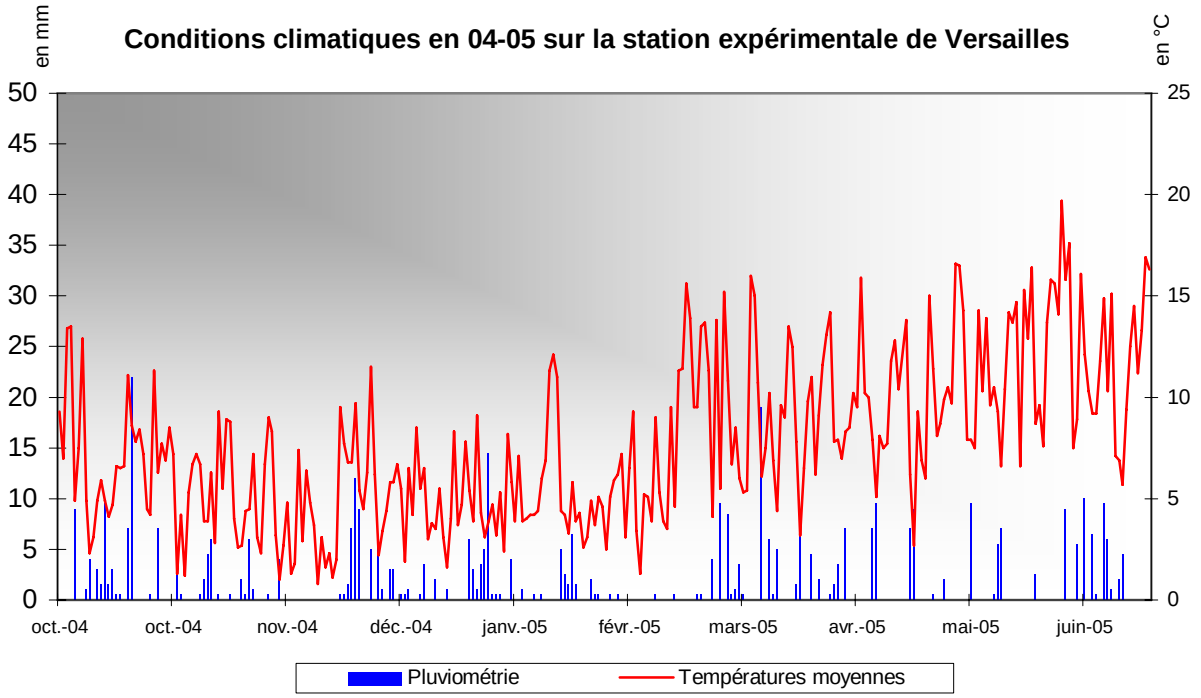
Cet essai a été mis en place pour une durée de fonctionnement minimale de 10 ans. Il est implanté sur une parcelle nommée « la Cage » se trouvant sur le site de l'INRA de Versailles. Cette parcelle est entourée aux trois quarts de bois et s'étend sur une superficie de 12 ha. Cependant, pour éviter les phénomènes de proximité, elle est entourée d'une bande enherbée de 8 mètres.

### Contexte pédologique de la parcelle

Le sol est un sol de limons profonds, à fort potentiel hydrique, mais qui est assez sensible à la battance avec un indice de battance de 1,7. Le taux de matière organique est d'environ 1,7%, ce qui peut être considéré comme correct et assez représentatif de la région.
Le pH s'élève en moyenne a 7,3, ce qui est très correct et qui permet une bonne assimilabilité des éléments minéraux présents en quantité suffisante dans le sol.

Il s'agit d'une parcelle à haut potentiel sans irrigation, c'est-à-dire 90 q/ha en blé tendre d'hiver et 100 q/ha en maïs grain.

### Conditions météorologiques de la station de Versailles




Voici les données météorologiques sur la période octobre 2004 au 15 juillet 2005 sous forme d'un diagramme ombrothermique. On peut voir que la saison a été globalement correcte d'un point de vue fournitures hydriques. Cependant les périodes de sortie hiver (février) et fin juin ont été très sèches avec des températures relativement élevées pour la saison. Le cumul de pluviométrie sur cette période s'élève à 423 mm et la température moyenne est d'environ 8°C.

## 3.2 Dispositif expérimental

L'essai est en place sur 8 ha. Il est divisé en deux blocs (bloc I et bloc II), eux-mêmes subdivisés en quatre parcelles de 1 ha. Chaque parcelle de 1 ha correspond à un traitement.

Le traitement étudié sur cette expérimentation est le système de culture, il permet ainsi d'en étudier quatre : Système productif, intégré, non travail du sol (ou NTS), et biologique.
**(Voir plan en annexe 1)**

### 3.2.1 Présentation des systèmes de culture

Ces systèmes de culture ont été adaptés au contexte d'un système céréalier. En effet, ils sont de type production végétale sans animaux ; ils sont orientés vers une production de blé meunier à hauteur de 50% si bien que cette culture est présente une année sur deux dans la rotation.
Par conséquent toute l'étude de ce rapport portera sur la culture du blé tendre d'hiver.

- **Système de culture productif**

L'objectif est ici d'atteindre la production potentielle permise par l'ensemble pédoclimatique.
L'objectif de rendement s'élève à 86 q/ha (rendement atteint au moins 2 années sur 10 sur le site de Versailles).
Pour atteindre cet objectif, on utilisera les produits les plus performants pour réduire au minimum les facteurs limitants au rendement.
Une variété réputée comme l'une des plus régulièrement productives en Ile de France sera choisie, elle devra avoir une bonne valeur boulangère.
Au niveau travail du sol, on cherchera à avoir la structure la plus favorable au bon développement et fonctionnement du système racinaire. Un labour systématique sera réalisé sauf derrière la culture du pois si le sol est suffisamment exploitable.
La rotation choisie permettra d'atteindre l'objectif de rendement en blé de 86 q/ha, c'est-à-dire la rotation suivante : Blé / pois / blé / colza. Il s'agit d'une rotation représentative des systèmes de grandes cultures du Bassin Parisien.
Aussi, on cherchera à réduire les nuisances environnementales dès que cela restera compatible avec les objectifs économiques.

- **Système de culture intégré**

Les objectifs sont de limiter au maximum les nuisances environnementales, en particulier en réduisant les intrants sur l'ensemble du cycle, et de dégager des marges directes proches du productif, voire supérieures.
Dans l'objectif de limiter les intrants, on visera un rendement objectif de 68 q/ha (rendement atteint au moins 8 années sur 10 sur le site de Versailles).
On interviendra contre tout parasite si les seuils d'intervention sont atteints; de plus, le choix du produit sera basé sur ses propriétés à respecter l'environnement.
Le choix de variétés s'orientera vers une variété parmi des plus résistantes aux principales maladies, ou vers un mélange de variétés. Ce choix possèdera une bonne valeur boulangère.
La rotation est la même que le système productif.

Pour le travail du sol, la structure devra être la plus favorable à l'activité des racines et les interventions seront choisies pour limiter le risque parasitaire. Un labour sera effectué une année sur deux.

Dans ce système, les chercheurs de l'INRA intégreront les innovations techniques et les outils d'aide à la décision.

- **Système de culture non travail du sol avec couverture permanente (NTS)**

Pour ce système, les objectifs sont les mêmes que pour le système intégré hormis l'approche travail du sol : Ce système est conduit en effectuant aucun travail du sol tout en maintenant un couvert permanent pour protéger le sol.

Le rendement objectif est donc de 68 q/ha.

La marge directe après coûts de mécanisation devra être supérieure au système intégré, au vu des coûts d'utilisation du matériel réduits.

- **Système de culture biologique**

Ce système doit respecter le cahier des charges de l'agriculture biologique : Aucun intrant chimique (engrais minéral ou produits phytosanitaires) n'est utilisé.

Le rendement objectif est de 45 q/ha.

La rotation repose sur les mêmes principes que les autres systèmes.

La protection des maladies repose sur l'utilisation de variétés tolérantes et rustiques, déjà utilisées en agriculture biologique.

Le désherbage est basé sur le travail du sol (binage, hersage…).

On y étudie aussi l'implantation d'une légumineuse de couverture à différents moments de la rotation, ce qui permettrait d'obtenir un bilan azoté équilibré.

Un déficit azoté pourrait aussi être comblé par l'apport de fientes de Guano.

### 3.2.2 Un dispositif « ouvert »

En plus de l'objectif cité plus haut, cet essai permet d'accueillir différentes équipes de chercheurs qui peuvent ainsi étudier des aspects intéressants du milieu liés aux changements de système :

- Etude des maladies, fusarioses et mycotoxines. (Jean-François Fourbet ; Grignon)
- Evolution de la matière organique (Sciences du sol ; Versailles)
- Le colza en système biologique et bioagresseurs (Muriel Valantin-Morison ; Grignon)

*Nous avons vu que l'objectif principal de l'essai était d'être capable de mener à bien sous différentes approches (économique, environnementale et agronomique) ces différents systèmes à long terme ; ces systèmes, au sein de l'expérimentation, sont gérés par un ensemble de règles de décision, cohérentes sur la globalité de l'itinéraire, définies avant l'implantation de la culture.*

*Nous allons découvrir la composition de ces règles de décision.*

### 3.2.3 Les règles de décision

Les règles de décision sont des réflexions logiques, liées les unes aux autres, et qui sont composées chacune de :

- *Un objectif fixé => But à atteindre*
- **Une solution : Manière qu'on utilisera pour l'atteindre.**

Une évaluation : C'est l'aboutissement de la règle de décision ; elle nous dira si l'objectif a été réellement atteint, son système sera décrit dans le prochain paragraphe.

| **Systèmes de culture** | **Productif** | **Intégré** | **Non Travail du Sol** | **Biologique** |
|---|---|---|---|---|
| Objectif de rendement | *86 q/ha* | *68 q/ha* | *68 q/ha* | *45 q/ha* |
| Antéprécédent | Blé | Blé | Blé | Luzerne |
| Précédent | Colza | Colza | Maïs | Luzerne |
| Labour | Labour 3 ans/4 | Labour 1 an/2 | Aucun | Labour 1 an/2 |
| Choix variétal | *Productivité régulière* **Charger** | *Résistante aux maladies, puis productivité* **VMAC (*)** | *Rustique* **VMAC (*)** | *Panifiable supérieur* **Apache, Renan** |
| Traitement de semence | *Maîtrise tous les risques, notamment ceux liés aux semis précoces* | *Utiliser les actions systémiques pour limiter les actions foliaires* | *Utiliser les actions systémiques pour limiter les actions foliaires* | **néant** |
| Date de semis | *Favoriser la productivité* **Semis précoce (à partir du 01/10)** | *Limiter le développement maladif* **Semis non précoce (à partir du 20/10)** | *Limiter les risques de tout ordre* **Semis non précoce (à partir du 20/10)** | *Limiter les risques de tout ordre* **Semis tardif (à partir du 01/11)** |
| Densité semis | **Densité élevée 260gr/m²** | **Densité faible 165 gr/m²** | **Densité faible 220 gr/m²** | **Densité élevée 450 gr/m²** |
| Limaces | *Ne pas pénaliser le rendement* | *Intervention au seuil de nuisibilité* | *Ne pas pénaliser le rendement* **Avertissements agricoles** | *Néant* |
| Désherbage | *Maîtrise complète de tous les risques* **Post levée + rattrapage possible** | *Suivant les adventices observées* **Après observation** | *Maîtrise par le couvert permanent* **Après observation** | *Limiter les adventices* **Hersages réguliers et inter rang plus grand** |

(*)VMAC : Mélange de variétés Virtuose Malacca Apache Charger

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Engrais objectif | *Ne pas pénaliser le rendement* **Méthode des bilans** | *Limiter le développement maladif et la verse* **Témoin couleur** | *Limiter les risques de tout ordre* **Témoin couleur** | **Néant** |
| 1er apport | **70 U** | **50 U** (au plus tard épi 1 cm) | **50 U** (au plus tard épi 1 cm) | |
| 2ème apport | **Bilan – 40 U** | **Bilan – 40 U** (au plus tard 2 nœuds) | **Bilan – 40 U** (au plus tard 2 nœuds) | |
| 3ème apport | **Jubil** | **Jubil à 2 nœuds** | **Jubil à 2 nœuds** | |
| Régulateur de croissance | **OUI** | **NON** | **NON** | **NON** |
| Insecticides | *Eviter diminution du PMG* **Avertissements agricoles et observations** | *Intervention au seuil de nuisibilité* **Observations** | *Eviter diminution du PMG* **Observations** | **Purin d'ortie** |
| Fongicide « pied » | *Maîtrise complète de tous les risques sauf témoin* **Avertissements agricoles** | *Intervention au seuil de nuisibilité* **Observations** | *Intervention au seuil de nuisibilité* **Observations** | **Néant** |
| Fongicides foliaires | *Maîtrise complète de tous les risques sauf témoin* **Avertissements agricoles** | *Intervention au seuil de nuisibilité* **Observations** | *Intervention au seuil de nuisibilité* **Observations** | **Possibilité de traitement à base d'une spécialité à base de soufre** |
| Interculture | **Travail superficiel** | **Travail superficiel** | **Néant** | **Travail superficiel** |

### 3.2.4 Mesures et notations effectuées sur le blé en 2005

L'ensemble des mesures et notations figurant dans le tableau ci-dessous sont réalisées sur tous les systèmes de culture.

| | Date/Stade | Prélèvements | Mesures | Notations |
|---|---|---|---|---|
| Date de levée | | Aucun | Visuelle lorsque les lignes de semis sont visibles (≅ 50% de plantes levées) | |
| Nombre de pieds à la levée | 1 à 2 feuilles | Aucun | 6 fois 1 ligne de 1m/bloc | Analyse laboratoire |
| Notation des adventices | Entrée hiver<br>Après floraison<br>Avant récolte<br>Après récolte | Aucun | Visuelle sur 4 sous parcelle (parcelle divisée en 4 zones égales) | Identification<br>Estimation du recouvrement<br>Stade de développement<br>Vigueur<br>Abondance<br>Hétérogénéité de la présence d'adventices |
| Reliquats d'azote sortie hiver | Début février | 6 trous (2X3) par parcelle sur chaque bloc | 3 profondeurs 0 - 30 cm. 30 - 60 cm. 60 - 90 cm | Analyse laboratoire |
| Date du stade épi 1cm | | 30 plantes prises au hasard par parcelle | 10 plantes mesurées sous lampe binoculaire | |
| Biomasse aérienne, azote absorbé | Epi 1cm | 4 placettes de 2 lignes de 0,75 m sur les 2 blocs | Azote absorbé par la plante<br>Matière sèche | Azote absorbé par la plante<br>Pesée : Matière sèche |
| Notation piétin verse | Epi 1cm – 1 noeud | 50 plantes par parcelle | Notations sur le maître brin des 40 premières plantes | 0 = Absence de nécroses<br>1 = Présence de nécroses |
| Notation maladies | 1 fois par semaine à partir de 1 noeud | Aucun | Visuelle sur 40 plantes par parcelle en variété pure, 40 fois 4 plantes successives en mélange à 4 composantes. | Notation de présence ou absence de maladie.<br>Notation du type de maladie<br>Etage foliaire atteint par la maladie. |
| Notation des stades épiaison et floraison | | Aucun | Visuelle des stades à 50% atteints | |
| Biomasse aérienne et azote absorbé et inn à la floraison | 50% des plantes fleuries | 4 placettes de 2 lignes de 0.75 m sur les 2 blocs | Azote absorbé par la plante<br>Nombre de plantes<br>Matière sèche | Azote absorbé par la plante<br>Nombre de plantes<br>Pesée : Matière sèche |
| Profils culturaux (si problème de développement) | Autour de la floraison | Aucun | Perpendiculaire au travail du sol, 30-40cm de profondeur minimum | |
| Notations maladies sur feuille 1 et 2 | 300° jour après floraison | Aucun | Visuelle sur place avec 8 points d'observation par parcelle | Présence de maladies<br>Feuilles encore vertes |
| Piétin verse et échaudage, fusariose, rhizoctone | Grains laiteux | 30 plantes par parcelle | Visuelle sur le maître brin | 0= absence de nécroses<br>3= Nécroses >2/3 |
| Prélèvements pour récolte manuelle | Maturité physiologique (30% d'humidité) | 4 placettes de 0,75m de long par parcelle sur les deux blocs | Matière sèche<br>Azote de la plante<br>Poids de mille grains (PMG)<br>Rendement | Pesée : matière sèche<br>Poids de 1000 grains<br>Azote de la plante<br>Rendement |
| Récolte machine | Maturité (<15% d'humidité) | 4 bandes sur la longueur des parcelles | | Rendement,Humidité,PMG |
| Reliquats azote à la récolte | 8 jours suivant la récolte | 6 trous par parcelle | 3 profondeurs 0 - 30 cm. 30 - 60 cm. 60 - 90 cm | Analyse laboratoire |

En dernier temps, nous allons voir l'impact que peut avoir chaque système de culture. On aura différentes approches, à savoir une approche agronomique grâce à l'étude des rendements complétée par une analyse de variance, une approche économique par l'étude des marges brutes et marges nettes et de leur analyse de variance, et enfin une approche environnementale à travers les résultats du logiciel Indigo.

# 4-- Analyse des résultats

Nous allons premièrement voir sur quels principes va reposer notre analyse statistique.

## 4.1 Présentation de l'analyse de variance

L'analyse de variance est une méthode statistique qui permet de tester l'hypothèse d'homogénéité de l'ensemble des moyennes d'un essai. Lorsqu'on réalise cette analyse, on teste si les effets traitements sont identiques ou non, en effet on cherche à savoir si l'effet traitement est significatif ou non.

Si l'effet traitement est significatif, on cherche à connaître les traitements qui ont des effets différents. On réalise alors un test de comparaison de moyenne.

## 4.2 Déroulement de l'analyse

### 4.2.1 Vérification des hypothèses de l'analyse de variance sur les résidus

Lorsque l'on met un essai en place, c'est que l'on a une idée à priori sur le phénomène. Alors, plus ou moins implicitement on choisit un modèle.

Ce modèle est par définition additif ; par exemple, les rendements sont le résultat de l'addition d'un effet système de culture, d'un effet bloc (avec un plus un effet moyen de cet essai) et des résidus :

Rendement = Effet moyen de l'essai + Effet du système de culture + Effet bloc + Résidus

Les résidus : C'est l'écart entre les rendements théoriques et les rendements obtenus.

- Que contiennent-ils ?
  - Les erreurs aléatoires.
  - Les erreurs de mesures.
  - Les erreurs dues à un mauvais choix du modèle.

- Les hypothèses faites sur ces résidus sont :
  - En moyennes, ils doivent être nuls.
  - Ils doivent être distribués normalement.
  - Ils doivent être indépendants.
  - Les erreurs doivent être de même ordre de grandeur.

L'analyse de variance commencera sur la distribution des résidus.

- *Les écarts types des résidus intra-traitements et intra-blocs*

Ils permettent de vérifier que les résidus ont la même dispersion dans tous les traitements et dans les blocs.

Si la probabilité du test KHI2 des écarts types intra traitement est supérieur à 0,05, la distribution des résidus est homogène.

- *L'histogramme des résidus*

Il permet de vérifier la normalité des résidus et permet aussi de détecter des résidus suspects.

L'évaluation de la distribution des résidus se fait visuellement en comparant l'histogramme des résidus obtenu avec la courbe de Gauss.

En suite, on s'intéresse aux indices de normalité qui sont les coefficients de symétrie et d'aplatissement de K. PEARSON. Leurs valeurs idéales théoriques doivent être proche de 0 et 3. Plus la probabilité est faible, plus les écarts seront considérés comme importants.

- *Cartographie des résidus*

Elle représente les résidus sur le plan de l'essai. Celle-ci permet de vérifier l'indépendance des erreurs et la bonne dispersion des résidus.

### 4.2.2 Tableau d'analyse de variance

#### La précision des résultats

- *L'écart type résiduel : pour connaître la précision des résultats*

C'est le premier paramètre à prendre en compte pour l'analyse des résultats. Il permet d'évaluer la précision des résultats et ainsi de faire une estimation globale de l'erreur.

- *Le coefficient de variation (CV)*

CV= 100 x (écart type résiduel / moyenne générale)

#### Des différences entre les traitements : hypothèses de départ et probabilité

Lorsqu'on effectue une analyse de variance, on suppose au départ que tous les traitements sont identiques. On cherche alors à valider ou non l'hypothèse nulle « H0 ». Les conditions pour valider H0 sont que :

- Les variances soient égales entre elles.
- Les moyennes soient égales entre elles.

Pour déterminer si le facteur étudié est significatif ou non, il faut s'intéresser à la probabilité d'obtenir l'hypothèse H0 :

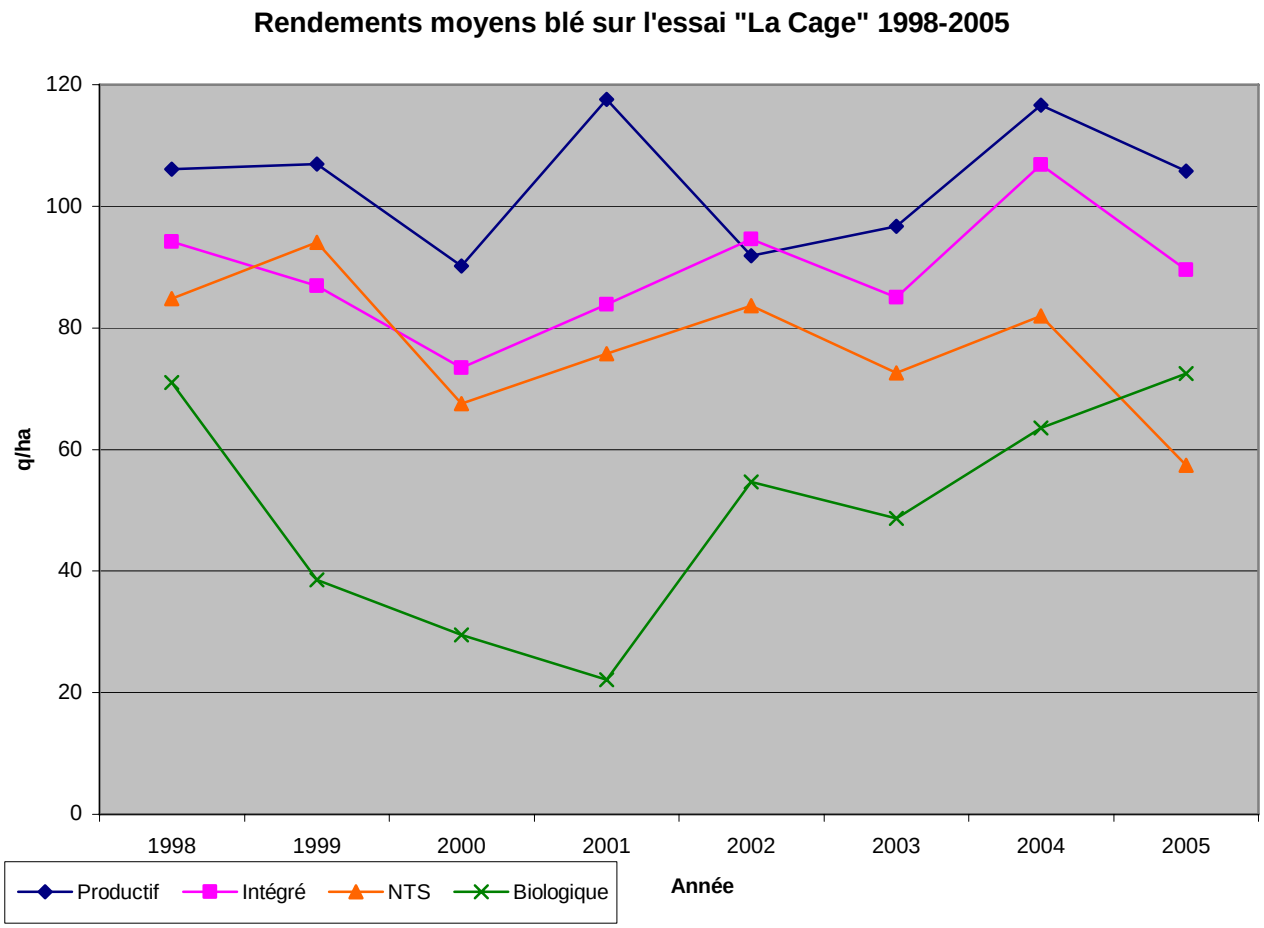
- Si la probabilité d'obtenir H0 > au risque $\alpha = 0{,}05$, alors on accepte H0, ce qui veut dire que le facteur étudié a un effet non significatif.
- Si risque $\alpha = 0{,}01$ < probabilité d'obtenir H0 < au risque $\alpha = 0{,}05$, alors on rejette H0, ce qui veut dire que le facteur étudié a un effet significatif.
- Si la probabilité d'obtenir H0 < au risque $\alpha = 0{,}01$, alors on rejette H0 et on dit que le facteur a un effet hautement significatif.

### Comparaison de moyennes avec le test de NEWMAN KEULS

Ce test permet de constituer des groupes homogènes en comparant leurs moyennes respectives. La constitution de ces groupes se fait à partir des plus petites amplitudes significatives. Les traitements appartenant à un même groupe (repéré par la même lettre) sont considérés comme non différents au risque α = 5%.

## 4.3 Résultats agronomiques

### 4.3.1 Etude des rendements depuis le début de l'essai




Voici une représentation graphique des rendements en blé de l'essai depuis sa mise en place, comprenant les rendements observés sur l'année 2005, année de mon stage.

On peut ainsi apprécier l'évolution des rendements depuis le début de l'expérimentation et le comportement des différents systèmes de culture par rapport à leur objectif de rendement.

On constate que le système productif atteint toujours son objectif de 86 q/ha, tout comme le système intégré qui dépasse toujours les 68 q/ha. Cependant, le système biologique n'atteint pas systématiquement son objectif de 45 q/ha et on observe une grande variabilité dans le temps ; cela s'explique par les contraintes plus nombreuses dans ce système. Enfin, le système NTS a toujours atteint son objectif de 68 q/ha sauf pour l'année 2005.

Ce graphique nous montre que le système productif atteint des rendements toujours bien supérieurs à son objectif. Ce système répond donc à ses attentes avec une productivité maximale permise par les règles de décisions qui lui sont attribuées, c'est-à-dire des traitements systématiques afin de limiter au maximum les facteurs limitants (maladies, adventices, azote…).

Le système de culture intégré obtient un rendement respectant aussi l'objectif fixé de 68 q/ha. Le rendement est certes plus faible qu'en productif mais il est réaliste par rapport à l'objectif. Cela est permis grâce à des apports azotés adaptés en fonction du développement de la plante et non pas en fonction d'un stade fixe, et apporté au meilleur moment grâce aux bandes double densité. On ne maximise ainsi pas le rendement, mais on vise un objectif à atteindre. Le mélange variétal utilisé (VMAC) permet aussi de maintenir un rendement correct tout en minimisant la lutte fongique : En effet, la complémentarité des quatre variétés est en elle-même une barrière au développement de maladies.
Le rendement plus faible que le système productif s'explique par le retardement de la date de semis qui permet cependant de participer à la lutte contre le développement fongique, d'éviter les attaques d'insectes à l'automne et de limiter l'infestation en mauvaises herbes à l'automne.

Le système de culture NTS obtient une courbe de rendements moyens sensiblement parallèle au système de culture Intégré, cela est dû à la même date de semis, la gestion similaire de la gestion azotée, et des traitements. On remarque cependant que les rendements sont légèrement plus faibles dans ce système de culture notamment pour la dernière année 2005. Cela peut s'expliquer par la présence jusqu'en 2004 d'un couvert végétal permanent qui peut concurrencer la culture dans son alimentation (eau, azote…), mais aussi par une contrainte plus importante sur la structure du sol par l'absence totale de travail depuis 8 ans. Aussi, le résultat inférieur à l'objectif en 2005 s'explique par une année sèche en fin de cycle et l'apparition d'une mauvaise herbe envahissante (presle), et de problèmes de phytotoxicité.

Enfin, le système de culture biologique obtient cette année un rendement plus que satisfaisant avec un rendement moyen de 72 q/ha. Ceci s'explique principalement par le précédent luzerne. Cependant et sur 8 ans, on observe une grande variabilité dans les rendements avec une chute à environ 20 q/ha en 2001. Cette variabilité s'explique principalement par la sensibilité de ce système aux aléas climatiques, l'absence de fertilisation azotée, l'utilisation de variétés très rustiques à potentiel limité. Le choix de ce type de variétés est inévitable en voulant suivre le cahier des charges de l'agriculture biologique, c'est-à-dire de ne pas utiliser de produits de synthèse. L'effet année a donc un grand impact sur le rendement dans ce système de culture.

La date d'implantation est plus tardive dans ce système de culture afin de limiter les attaques précoces de parasites, ce qui limite aussi le rendement.

### 4.3.2 Etude des rendements machine pour l'année 2005

#### 4.3.2.1 Données brutes

| Système | Bloc | Rendement à 15% |
|---|---|---|
| Productif | 1 | 108,10 |
| | 2 | 103,40 |
| Intégré | 1 | 89,60 |
| | 2 | 89,40 |
| NTS | 1 | 58,80 |
| | 2 | 56,00 |
| Biologique | 1 | 75,60 |
| | 2 | 69,40 |

Les rendements les plus élevés sont obtenus dans le système productif. Le système intégré est en seconde place suivi du système biologique. Le système NTS obtient donc les rendements les plus faibles.

#### 4.3.2.2 Vérification des hypothèses de l'analyse de variance sur les résidus

- *Tableau des écarts type des résidus du facteur système de culture*

| 1 (Productif) | 2 (Intégré) | 3 (NTS) | 4 (Biologique) |
|---|---|---|---|
| 0,866 | 2,316 | 0,477 | 1,927 |

**PROB = 0.63279 > 0,05** ; les résidus ont une distribution homogène pour le facteur système de culture

**KHI2 = 1.738 > 0,05** ; la dispersion des résidus est homogène.

- *Tableau des écarts type des résidus des blocs*

| 1 (Bloc I) | 2 (Bloc II) |
|---|---|
| 1,294 | 1,294 |

**PROB =0.99 > 0,05** ; les résidus ont une distribution homogène entre les blocs.

- *Interaction traitement * blocs*

**PROBA = 0.96999 > 0,05** ; pas d'interaction traitement * blocs.

- *Histogramme des résidus : vérification de la normalité des résidus*

```
2          42     31     32     41
1          21     12     11     22

EFFECTIF 2        2      2      2

BORNES     -1.638-.819 0      .819
           à      à      à      à
           -.819 0       .819   1.637
```

Minimum -1,638 Maximum 1,637 Intervalle 0,819

**Indices de normalité (coefficients de K.PEARSON)**
Symétrie (valeur idéale théorique = 0) : BETA 1 = 0.0 PROB : 0.9999
Aplatissement (valeur idéale théorique = 3) : BETA 2 = 1.708 PROBA : 0.38295

La distribution des résidus est différente de la courbe de Gauss, elle ne semble pas être normale.

Les probabilités des indices de normalité sont supérieures à 5%. Cela nous permet d'assimiler la distribution des résidus à une distribution normale.

- *Cartographie des résidus : vérification de l'indépendance des résidus*

| | | |
|---|---|---|
| | Biologique b2 | Productif b2 |
| | NTS b2 | Intégré b2 |
| | Productif b1 | Biologique b1 |
| | Intégré b1 | NTS b1 |

< -.8149371 < 0 < .8149371 < 999999

On a 25% de chaque couleur, il y a donc indépendance des résidus.

#### 4.3.2.3 Le tableau de l'analyse de variance

| | S.C.E | DDL | C.M. | TEST F | PROBA | E.T. | C.V. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| VAR.TOTALE | 2661,588 | 7 | 380,227 | | | | |
| VAR.FACTEUR 1 | 2627,383 | 3 | 875,794 | 261,316 | 0,00036 | | |
| VAR.BLOCS | 24,151 | 1 | 24,151 | 7,206 | 0,07365 | | |
| VAR.RESIDUELLE 1 | 10,054 | 3 | 3,351 | | | 1,831 | 2,25% |

**PROBA facteur 1 (système de culture) = 0,00036 < 0,01**

Dans les conditions expérimentales, au risque α = 5%, il y a un effet hautement significatif du facteur étudié.

- *Ecart type résiduel*

E.T. = 1,831

- *Coefficient de variation*

C.V. = 2,25%

Le coefficient de variation n'est pas sensiblement différent des autres années, et inférieur à 5%, on a une bonne précision de l'essai.

**Etude de l'effet bloc :**

- *Tableau des moyennes des rendements des blocs*

| 1 (bloc I) | 2 (bloc II) |
|---|---|
| 83,025 | 79,55 |

On constate que les moyennes des rendements du bloc I sont supérieures aux moyennes du bloc II.

**PROBA blocs = 0,07365 > 0,05** ; Dans les conditions expérimentales, au risque α = 5% il n'y a pas d'effet significatif du dispositif bloc.

#### 4.3.2.4 Comparaison de moyennes

**Test de NEWMAN-KEULS – seuil = 5% pour le facteur rendement**

| F1 | LIBELLES | MOYENNES | GROUPES HOMOGENES | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | |
| 1.0 | Productif | 105,75 | A | | | |
| 2.0 | Intégré | 89,5 | | B | | |
| 4.0 | Biologique | 72,5 | | | C | |
| 3.0 | NTS | 57,4 | | | | D |

Pour le facteur rendement, le test de NEWMAN-KEULS est significatif. Il a permis de distinguer 4 groupes homogènes :

- Le groupe A : Il contient le système productif, celui-ci a donc le rendement le plus élevé.
- Le groupe B : Composé du système intégré ; celui – ci obtient le second rendement le plus élevé.
- Le groupe C : Le système biologique est le troisième système le plus intéressant du point de vue rendement.
- Le groupe D : Composé du système NTS. Il obtient le rendement le moins élevé.

On obtient donc 4 groupes statistiquement différents.

**Conclusion :**

L'étude statistique permet de dire, que sur une année de référence (2005), le système productif est le plus intéressant d'un point de vue productivité suivi par le système intégré, qui obtient un rendement de quasiment 20q/ha plus faible. Résultat intéressant, le système biologique se classe troisième devant le système NTS, qui est alors le moins productif.

## 4.4 Résultats économiques

L'étude économique des quatre systèmes de culture va se baser sur l'étude des marges brutes puis l'étude des marges nettes.

### 4.4.1 Etude des marges brutes

#### 4.4.1.1 Données brutes

Les marges brutes sont obtenues en appliquant cette formule :

Marge brute= (Produit brut + Primes PAC) – (Charges semences + Charges Phytosanitaires + Charges Engrais)

**Tableau :** ***Marges brutes blé de l'année 2005 (€/ha)***

| | **Productif** | | **Intégré** | | **NTS** | | **Biologique** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *(en €/ha)* | **B I** | **B II** | **B I** | **B II** | **B I** | **B II** | **B I** | **B II** |
| Produit brut | 927 | 889 | 771 | 769 | 506 | 482 | 1814 | 1666 |
| Charges opérationnelles | 600 | 600 | 353 | 353 | 431 | 431 | 109 | 109 |
| **Marge brute** | 722 | 681 | 809 | 808 | 467 | 443 | 2097 | 1949 |

La marge brute la plus intéressante est réalisée en biologique ; ceci s'explique par le prix de vente plus élevé en agriculture biologique, et le faible poste charges opérationnelles dont le seul coût est composé des semences. Aussi, le rendement atteint cette année est permis en grande partie grâce au précédent luzerne et permet d'atteindre un produit brut très élevé.

Le système Intégré le suit en seconde place. Il est intéressant de le comparer au système productif qui arrive en troisième position. En effet, le système Intégré a un produit brut inférieur d'environ 200 €/ha, mais des charges opérationnelles inférieures d'environ 250 €/ha. Cela s'explique par la diminution importante des intrants pour le système Intégré et l'obtention d'un rendement en accord avec les règles de décision. L'objectif de diminuer les intrants et d'obtenir une marge brute au moins égale au système productif est atteint.

Enfin, le système NTS obtient la marge brute la moins intéressante ; cela peut s'expliquer par le rendement assez faible cette année.

#### 4.4.1.2 Vérification des hypothèses de l'analyse de variance sur les résidus

- *Tableau des écarts type des résidus du facteur système de culture*

| 1 (Productif) | 2 (Intégré) | 3 (NTS) | 4 (Biologique) |
|---|---|---|---|
| 9,429 | 36,794 | 20,983 | 67,207 |

**PROB = 0.50866 > 0,05**; les résidus ont une distribution homogène pour le facteur système de culture

**KHI2 = 2.336> 0,05** ; la dispersion des résidus est homogène.

- *Tableau des écarts type des résidus des blocs*

| 1 (Bloc I) | 2 (Bloc II) |
|---|---|
| 32,659 | 32,659 |

**PROB =0.99 > 0,05** ; les résidus ont une distribution homogène entre les blocs.

- *Interaction traitement * blocs*

**PROBA = 0.069816 > 0,05** ; pas d'interaction traitement * blocs.

- *Histogramme des résidus : vérification de la normalité des résidus*

```
2          42    31    32    41
1          21    11    12    22

EFFECTIF 2      2     2     2

BORNES   -47.52-23.760      23.761
         à     à     à     à
         -23.760     23.76147.522
```

Minimum -47,522 Maximum 47,522 Intervalle 23,761

**Indices de normalité (coefficients de K.PEARSON)**
Symétrie (valeur idéale théorique = 0) : BETA 1 = 0.0 PROB : 0.9999
Aplatissement (valeur idéale théorique = 3) : BETA 2 = 2.191 PROBA : 0.58492

La distribution des résidus est différente de la courbe de Gauss, elle ne semble pas être normale.

Les probabilités des indices de normalité sont supérieures à 5%. Cela nous permet d'assimiler la distribution des résidus à une distribution normale.

- *Cartographie des résidus : vérification de l'indépendance des résidus*

| | | |
|---|---|---|
| | Biologique b2 | Productif b2 |
| | NTS b2 | Intégré b2 |
| | Productif b1 | Biologique b1 |
| | Intégré b1 | NTS b1 |

< - 20.56093 < 0 < 20.56093 < 999999

On a 25% de chaque couleur, il y a donc indépendance des résidus.

#### 4.4.1.3 Le tableau de l'analyse de variance

| | S.C.E | DDL | C.M. | TEST F | PROBA | E.T. | C.V. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| VAR.TOTALE | 2951346 | 7 | 421620,9 | | | | |
| VAR.FACTEUR 1 | 2939167 | 3 | 979722,4 | 459,263 | 0,00017 | | |
| VAR.BLOCS | 5779,25 | 1 | 5779,25 | 2,709 | 0,19792 | | |
| VAR.RESIDUELLE 1 | 6399,75 | 3 | 2133,25 | | | 46,187 | 4,63% |

**PROBA facteur 1 (système de culture) = 0,00017 < 0,01**

Dans les conditions expérimentales, au risque α = 5%, il y a un effet hautement significatif du facteur étudié.

- *Ecart type résiduel*

E.T. = 46,187

- *Coefficient de variation*

C.V. = 4,63%

Le coefficient de variation n'est pas sensiblement différent des autres années, et inférieur à 5%, on a une bonne précision de l'essai.

**Etude de l'effet bloc :**

- *Tableau des moyennes des rendements des blocs*

| 1 (bloc I) | 2 (bloc II) |
|---|---|
| 1023,775 | 970,02 |

On constate que les moyennes des marges brutes du bloc I sont supérieures aux moyennes du bloc II.

**PROBA blocs = 0,19792 > 0,05** ; Dans les conditions expérimentales, au risque α = 5% il n'y a pas d'effet significatif du dispositif bloc.

#### 4.4.1.4 Comparaison de moyennes

**Test de NEWMAN-KEULS – seuil = 5% pour le facteur rendement**

| F1 | LIBELLES | MOYENNES | GROUPES HOMOGENES | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |
| 4.0 | Biologique | 2023 | A | | |
| 2.0 | Intégré | 808,36 | | B | |
| 1.0 | Productif | 701,39 | | B | |
| 3.0 | NTS | 454,84 | | | C |

Pour le facteur marge brute, le test de NEWMAN-KEULS est significatif. Il a permis de distinguer trois groupes homogènes :

- Le groupe A : Le biologique est différent des autres systèmes. Donc, c'est le système le plus rentable.
- Le groupe B : L'intégré, et le productif sont comparables entre eux. En comparant les données brutes, on observe des différences. Cependant, statistiquement il n'y a pas de différence.
- Le groupe C : Le NTS est différent des autres des trois autres systèmes. C'est le système le moins rentable.

**Conclusion :**

D'après l'étude statistique, on peut dire que le système biologique est le plus rentable en terme de marge brute.

Les systèmes productif et intégré ne sont statistiquement pas différents et se classent en seconde place. Ceci est très intéressant puisque le produit réalisé en productif est nettement supérieur, mais la diminution d'intrants permet d'avoir un système plus rentable en intégré, malgré un rendement plus faible de presque 20q/ha.

Enfin, sur les marges brutes, le système NTS est le moins rentable.

Les coûts de production ne se limitent pas seulement aux intrants directement appliqués aux cultures mais se composent aussi des charges de mécanisation.

### 4.4.2 Etude des marges nettes

#### 4.4.2.1 Données brutes

***Etude des marges nettes 2005***

Nous allons donc apprécier les marges nettes par système afin de voir quel système est réellement le plus rentable.
Voici la formule pour calculer les marges nettes :

Marge nette = Marge Brute – Charges de Mécanisation

*Les charges de mécanisation ont été calculées d'après les coûts d'utilisation trouvés dans la France Agricole du 24 février 2006. Ils tiennent compte de tous les frais (carburant, entretien…)*

**Tableau :** ***Marges nettes (en €/ha) des blés pour l'année 2005***

| | **Productif** | | **Intégré** | | **NTS** | | **Biologique** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *(en €/ha)* | **B I** | **B II** | **B I** | **B II** | **B I** | **B II** | **B I** | **B II** |
| Marge brute | 722 | 681 | 809 | 808 | 467 | 443 | 2097 | 1949 |
| Charges de mécanisation | 209 | 209 | 164 | 164 | 133 | 133 | 212 | 185 |
| **Marge nette** | 512 | 471 | 646 | 644 | 334 | 310 | 1886 | 1764 |

On conserve le même classement qu'avec les marges brutes.

Le système biologique reste le plus intéressant, cependant avec les charges de mécanisation quasiment les plus importantes, car il exige des passages plus fréquents.

Le système intégré est toujours en seconde place avec des charges de mécanisation assez intéressantes puisqu'elles sont les deuxièmes moins chères de l'essai.

Le système productif le suit avec des charges de mécanisation très élevées. Cela peut s'expliquer principalement par le labour.

Enfin, le système NTS est le moins intéressant puisqu'il a les marges nettes les plus faibles de l'essai. En revanche, l'aspect recherché principalement par les règles de décision , à savoir l'abaissement des charges de mécanisation, est atteint car c'est lui qui a les charges de mécanisation les plus faibles de l'essai pour l'année 2005.

#### 4.4.2.2 Vérification des hypothèses de l'analyse de variance sur les résidus

- *Tableau des écarts type des résidus du facteur système de culture*

| 1 (Productif) | 2 (Intégré) | 3 (NTS) | 4 (Biologique) |
|---|---|---|---|
| 4,635 | 32 | 16,189 | 52,824 |

**PROB =0.39537 > 0,05** ; les résidus ont une distribution homogène pour le facteur système de culture

**KHI2 = 2.983 > 0,05** ; la dispersion des résidus est homogène.

- *Tableau des écarts type des résidus des blocs*

| 1 (bloc I) | 2 (bloc II) |
|---|---|
| 26,134 | 26,134 |

**PROB =0.99 > 0,05** ; les résidus ont une distribution homogène entre les blocs.

- *Interaction traitement * blocs*

**PROBA = 0.096823 > 0,05** ; pas d'interaction traitement * blocs.

- *Histogramme des résidus : vérification de la normalité des résidus*

```
2          42     31     32     41
1          21     11     12     22

EFFECTIF 2       2      2      2

BORNES    -37.35-18.670      18.676
          à      à      à      à
          -18.670      18.67637.353
```

Minimum -37,352 Maximum 37,353 Intervalle 18,676

**Indices de normalité (coefficients de K.PEARSON)**
SYMETRIE (valeur idéale théorique = 0) : BETA 1 = 0.0 PROB : 0.9999
APLATISSEMENT (valeur idéale théorique = 3) : BETA 2 = 2.121 PROBA : 0.55273

La distribution des résidus est différente de la courbe de Gauss, elle ne semble pas être normale.

Les probabilités des indices de normalité sont supérieures à 5%. Cela nous permet d'assimiler la distribution des résidus à une distribution normale.

- *Cartographie des résidus : vérification de l'indépendance des résidus*

| | | |
|---|---|---|
| | Bio b2 | Prod b2 |
| | NTS b2 | Int b2 |
| | Prod b1 | Bio b1 |
| | Int b1 | NTS b1 |

< - 16.45302 < 0 < 16.45302 < 999999

On a 25% de chaque couleur, il y a donc indépendance des résidus.

#### 4.4.2.3 Le tableau de l'analyse de variance

| | S.C.E | DDL | C.M. | TEST F | PROBA | E.T. | C.V. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| VAR.TOTALE | 2799270 | 7 | 399895,7 | | | | |
| VAR.FACTEUR 1 | 2790758 | 3 | 930252,8 | 680,963 | 0,0001 | | |
| VAR.BLOCS | 4413 | 1 | 4413 | 3,23 | 0,16956 | | |
| VAR.RESIDUELLE 1 | 4098,25 | 3 | 1366,083 | | | 36,961 | 4,50% |

**PROBA facteur 1 (système de culture) = 0,0001 < 0,01**

Dans les conditions expérimentales, au risque α = 5%, il y a un effet hautement significatif du facteur étudié.

- *Ecart type résiduel*

E.T. = 36,961

- *Coefficient de variation*

C.V. = 4,50%

Le coefficient de variation n'est pas sensiblement différent des autres années, et inférieur à 5%, on a une bonne précision de l'essai.

**Etude de l'effet bloc :**

- *Tableau des moyennes des rendements des blocs*

| 1 (bloc II) | 2 (bloc II) |
|---|---|
| 844,445 | 797,471 |

On constate que les moyennes des marges brutes du bloc I sont supérieures aux moyennes du bloc II.

**PROBA blocs = 0,16956 > 0,05** ; Dans les conditions expérimentales, au risque α = 5% il n'y a pas d'effet significatif du dispositif bloc.

#### 4.4.2.4 Comparaison de moyennes

**Test de NEWMAN-KEULS – seuil = 5% pour le facteur rendement**

| F1 | LIBELLES | MOYENNES | GROUPES HOMOGENES | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | |
| 4.0 | Biologique | 1824,71 | A | | | |
| 2.0 | Intégré | 644,688 | | B | | |
| 1.0 | Productif | 492,148 | | | C | |
| 3.0 | NTS | 322,286 | | | | D |

Pour le facteur marge brute, le test de NEWMAN-KEULS est significatif. Il a permis de distinguer trois groupes homogènes :

- Le groupe A : C'est le système biologique. Il est statistiquement différent des trois autres. Il est donc le plus intéressant au niveau économique.
- Le groupe B : Il contient le système intégré. C'est le second système le plus rentable .Il est également différent des autres.
- Le groupe C : Le système productif se différencie des autres. Il se classe en troisième position.
- Le groupe D : Le système NTS se différencie des trois autres en obtenant la plus faible marge nette.

**Conclusion :**

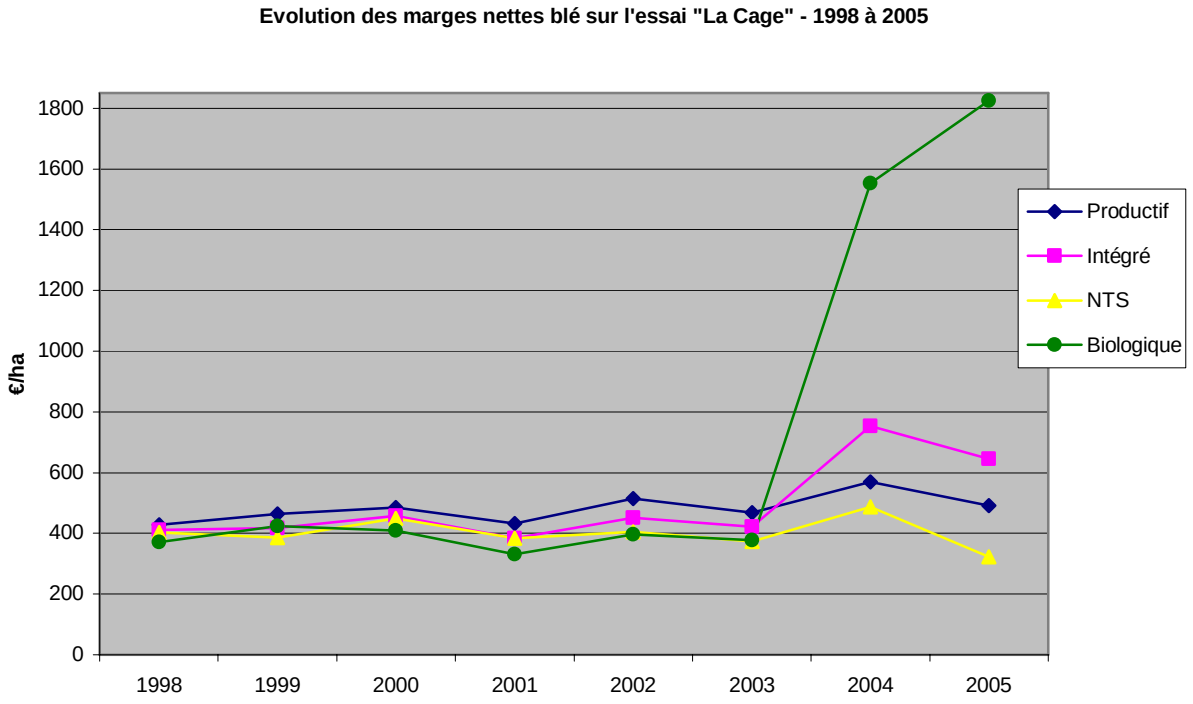
L'analyse statistique sur les marges nettes 2005 permet de confirmer que le système biologique est le plus rentable.

Le calcul des marges nettes et leur analyse statistique ont permis par rapport aux marges brutes, de différencier les systèmes intégré et productif. L'intégré, avec des charges de mécanisation moins importantes (pas de labour) se classe devant le système productif.

Enfin, le système NTS est le moins rentable en terme de marge nette.

Une étude sur plusieurs années (1998-2005) des marges nettes de la culture du blé, considérée comme « traceur » car présent tous les ans, va nous permettre de connaître l'effet de l'année 2005.

### *Etude des marges nettes blé - 1998 à 2005*




On observe très nettement l'ascension du système biologique depuis 2004 ; cela montre bien que la notion de système se raisonne sur la rotation. En effet, c'est bien le précédent luzerne qui permet d'atteindre des rendements importants qui, combinés à des prix très attractifs, en font le système le plus intéressant économiquement.

Ensuite, le système productif conserve globalement une place intéressante au niveau économique. Ses marges sont assez stables et restent au-dessus des autres systèmes jusqu'en 2003. Cependant, cela est à modérer avec la baisse du prix du blé où l'on retrouve l'intérêt du système intégré avec ses itinéraires à faibles intrants.

Le système intégré suit de près le système productif et reprend alors le dessus lorsque le prix du blé chute.

Enfin, le système Non Travail du Sol n'est pas à oublier car il atteint des marges nettes, supérieures au système biologique, et équivalentes au système intégré sur certaines années. Cependant, ses marges restent faibles depuis le début de l'essai.

L'année 2005 a été très favorable au système biologique du à son précédent luzerne. Les trois autres systèmes ne montrent pas de différence importante par rapport aux autres années. Ceci démontre que ces systèmes sont viables sur une longue période.

## 4.5 Approche environnementale

Nous allons maintenant évaluer l'impact environnemental de chaque système de culture. Cette évaluation va être réalisée à l'aide du logiciel INDIGO.

### 4.5.1 Présentation du logiciel INDIGO

Indigo est une méthode scientifique d'évaluation de l'impact environnemental des pratiques agricoles sur l'air, le sol, l'eau de surface et l'eau souterraine.

Elle a été mise au point par l'INRA, aux centres de Colmar et de Nancy, en collaboration avec l'Association pour la Relance Agronomique en Alsace (ARAA).

Couplé à une application informatique, Indigo est un outil de diagnostic et d'aide à la décision.

Grâce à une série de dix indicateurs, spécifiques de chaque type de culture, la méthode d'évaluation Indigo permet de faire un diagnostic des pratiques agricoles à partir de leurs risques potentiels de pollution de l'air, du sol, de l'eau de surface et de l'eau souterraine. Les indicateurs Indigo recensent l'utilisation de l'azote, du phosphore, des produits phytosanitaires, de l'eau, de la matière organique, des ressources énergétiques non renouvelables, la gestion de la rotation des cultures et l'assolement.

Moyennant quelques adaptations d'échelle, il est utilisé dans le cadre du suivi de l'essai « La Cage » de Versailles.

Afin d'évaluer les systèmes de culture de l'essai, et de déterminer celui ou ceux qui ont l'impact le moins marqué sur l'environnement, j'utiliserai deux indicateurs du logiciel Indigo, l'indicateur phytosanitaire (Iphy) et l'indicateur énergie (Iener).

Ceux-ci contiennent une notion de durabilité, car que ce soit l'impact de l'utilisation de ressources énergétiques ou de produits phytosanitaires, il s'agit pleinement d'évaluer la viabilité du système à long terme.

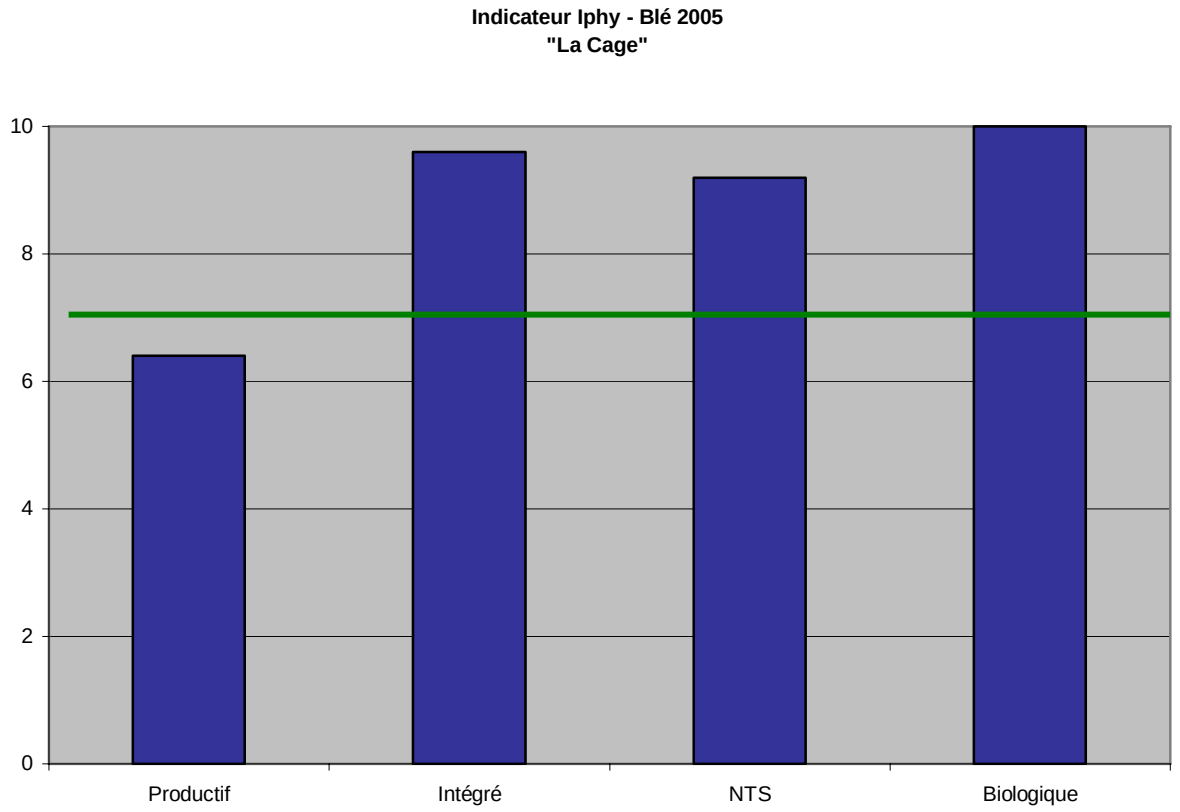
### 4.5.2 Utilisation de l'indicateur Iphy

Cet indicateur a pour objectif de déterminer les risques de fuite et de toxicité (transferts) envers l'environnement des différentes matières actives utilisées dans les itinéraires techniques de l'essai. Ce risque est évalué sur l'échelle de notation Indigo, à savoir 0 la note la plus basse donc le risque le plus élevé. Cette notion de risque concerne aussi bien l'homme que l'environnement.

L'indicateur se base sur 4 modules de risques :

- Risques eaux profondes.
- Risques eaux de surface.
- Risque air.
- Dose utilisée (quantité de matière active).

Voici les notes obtenues sur l'année 2005, en blé sur l'essai « La Cage » après saisie des données.

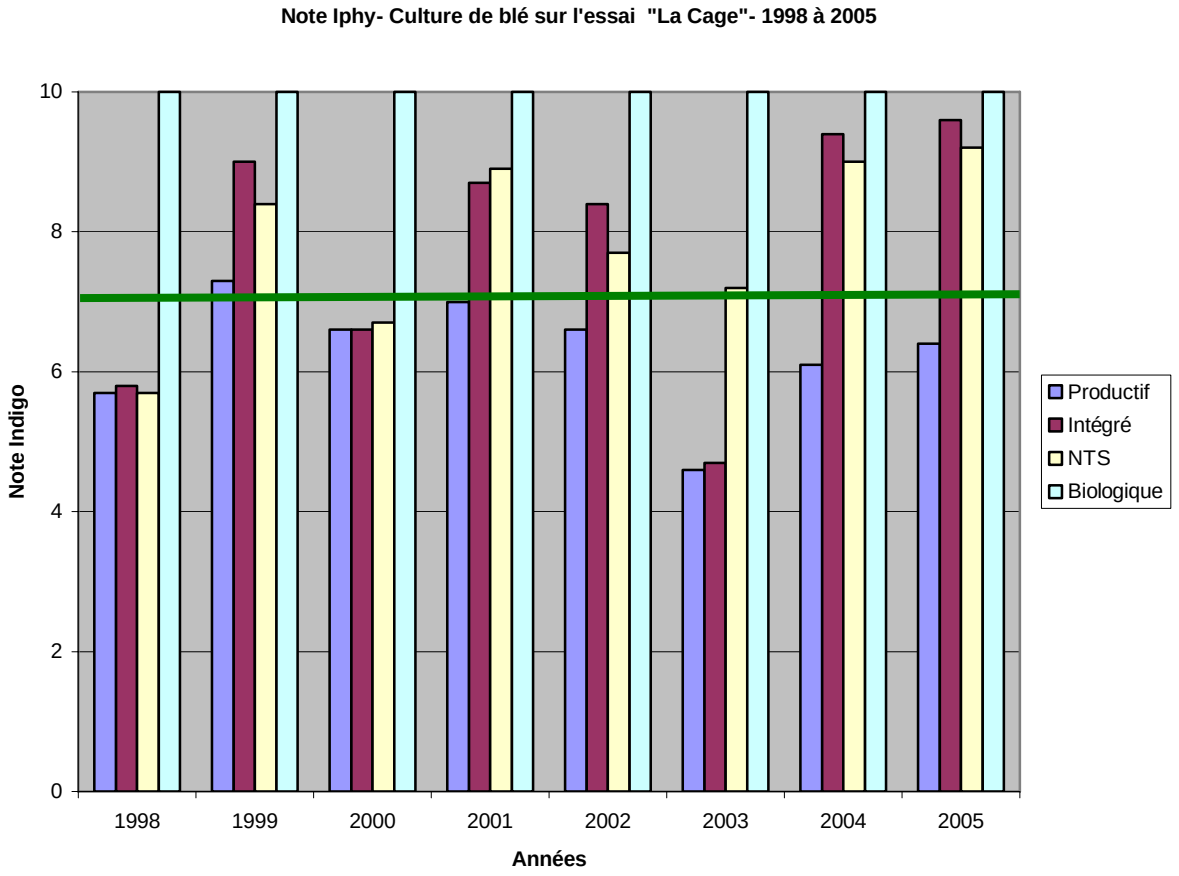



On peut voir que le système productif obtient la note la plus faible (6,4) et est le seul système se situant en dessous de la barre de référence (note 7). Cela est principalement du à l'application d'Opus Team qui représente un risque pour l'environnement et qui contient une dose élevée de matière active à risque.

Les systèmes de culture Intégré et NTS obtiennent une note quasiment similaire, très élevée et au-dessus de la référence. Cela respecte la logique puisque leurs règles de décisions sont quasiment les mêmes hormis les conditions spéciales du système NTS. La note plus faible du système NTS s'explique par l'application en post semis d'un herbicide (Allié) pour tuer le couvert et qui présente un risque pour les eaux profondes.

Quant au système biologique, il obtient la note optimale en toute logique, puisqu'il ne fait l'œuvre d'aucune application phytosanitaire, comme le veut le cahier des charges de l'agriculture biologique.

Nous allons maintenant évaluer les différents systèmes depuis le début de l'essai afin d'apprécier la viabilité de chacun à plus long terme, et de limiter l'effet année.




Voici une représentation des notes Iphy qu'obtient chaque système par année en culture de blé.

La première observation porte sur le système productif : Il atteint la note de référence (7) seulement une année sur huit. Cela est dû aux règles de décision qui lui sont appliquées. Cela montre bien la limite et le risque que peut représenter un tel système de production sur l'environnement.

Les systèmes Intégré et NTS obtiennent des notes toujours quasiment identiques. Le système NTS voit sa note un peu limitée à cause de l'utilisation d'herbicides afin de maîtriser le couvert. Le système Intégré et le système NTS atteignent une note supérieure à la référence cinq années sur huit ce qui montre bien une utilisation moindre de produits phytosanitaires comme le dictent les règles de décision.

Malgré les règles de décision, les notes Iphy peuvent être biaisées par l'application de produits qui font preuve de risques importants pour l'environnement, même si l'intervention est raisonnée.

Enfin, le système biologique atteint toujours la note optimale de 10 permise par l'application d'aucun produit phytosanitaire. Il est donc optimal d'un point de vue respect de l'environnement par rapport à l'impact de l'utilisation de produits de synthèses pour la protection des plantes.

### 4.5.3 Utilisation de l'indicateur Iener (I énergie)

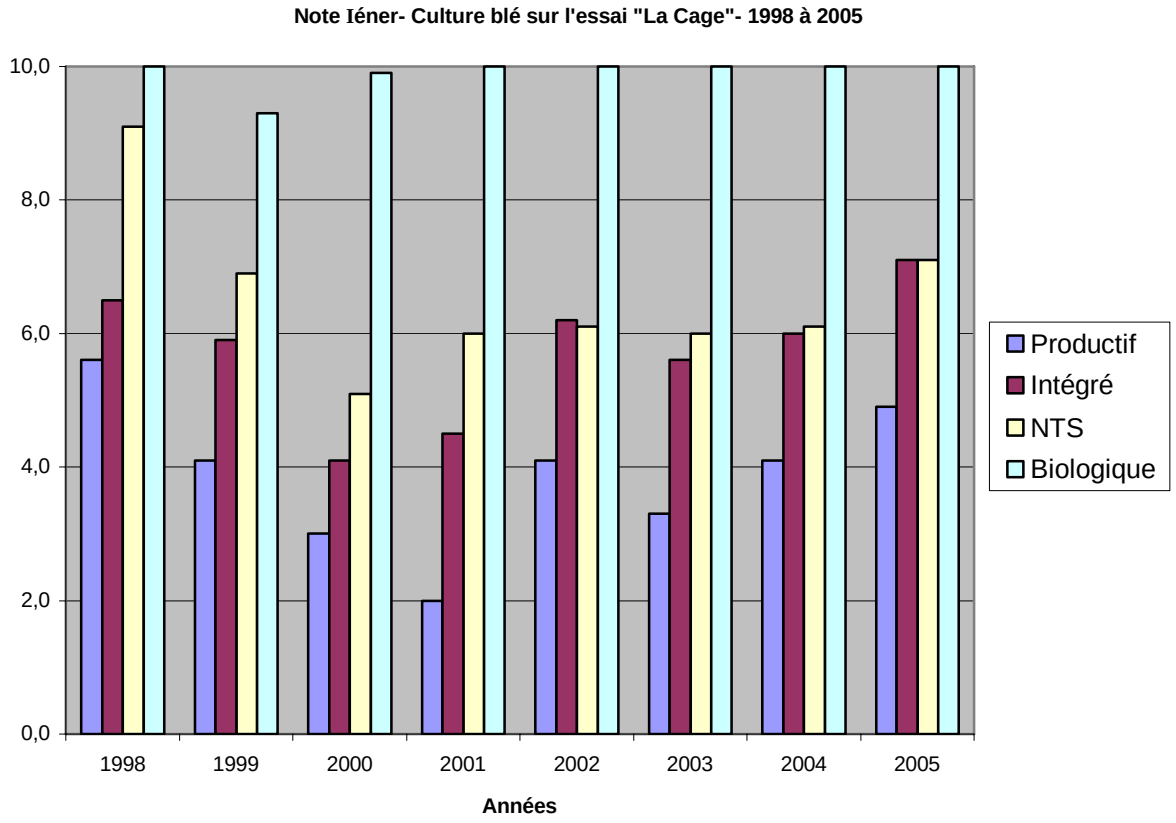
Cet indicateur a pour but de chiffrer la consommation d'énergie totale, à la fois des coûts de production des produits employés et de toutes les interventions réalisées et ainsi la durabilité du système d'un point de vue énergétique.

Cette consommation se décompose en 3 postes :

- Pesticides ou produits phytosanitaires : Ils représentent un quantité importante d'énergie pour les fabriquer mais aussi pour les constituer (hydrocarbures).
- Engrais : Idem, quantité importante d'énergie utilisée pour leur fabrication.
- Machinisme : Chaque passage d'engin engendre une consommation de carburants.

L'indicateur quantifie donc toutes les interventions en MJ/ha. Il s'agit alors de comparer l'ensemble de nos résultats.

Voici une représentation graphique récapitulative des notes Iener, sur les cultures de blé des différents systèmes depuis le début de l'essai.



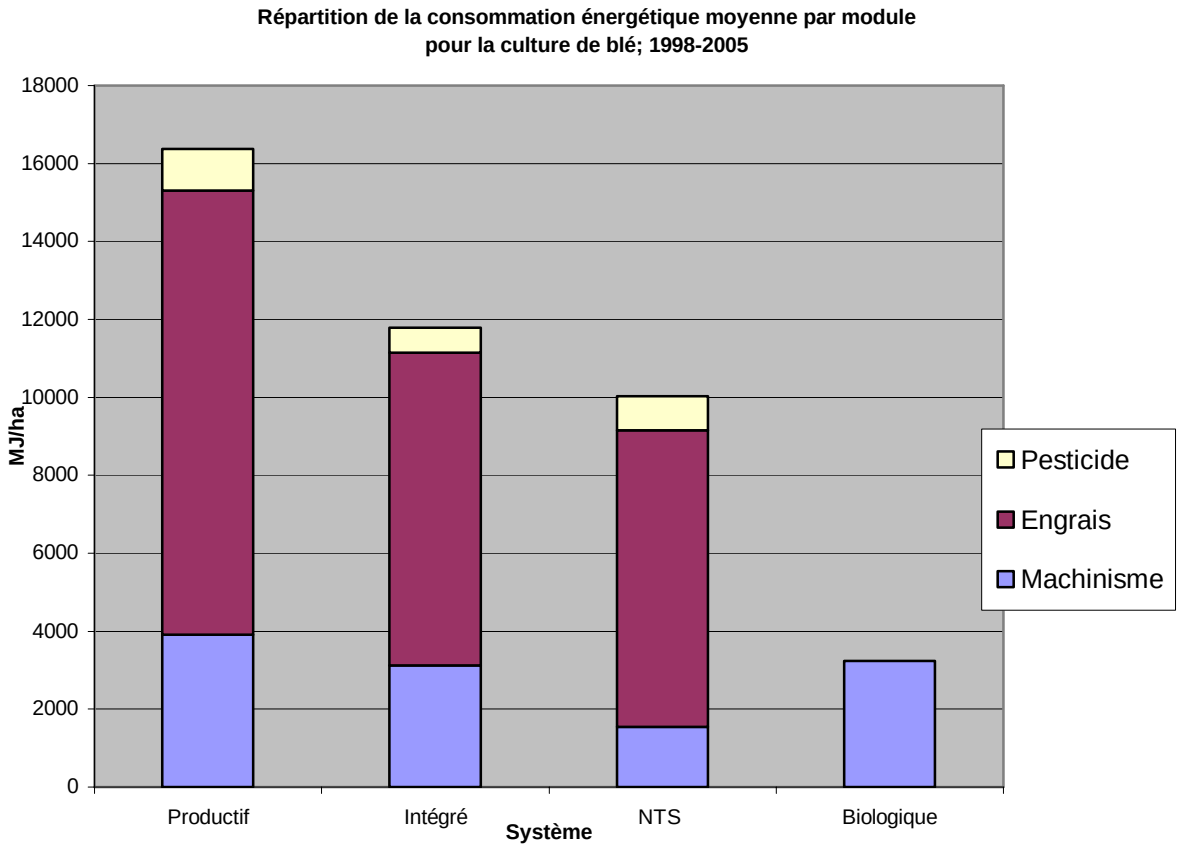

En premier lieu, on voit que le système biologique obtient la meilleure note, c'est donc celui qui demande le moins d'énergie par hectare cultivé.

On voit ensuite que le système NTS serait le deuxième mieux placé ; cela suit la logique de ce système, puisqu'il se repose sur le non travail du sol. Il y a donc des économies énormes de réalisées au sein du poste carburant.

Le système intégré suit avec un écart quelque peu régulier le système NTS ; cela s'explique par le fait que les mêmes règles de décision sont appliquées, mais le système Intégré demande un temps de traction plus élevé, donc un consommation d'énergie plus importante.

Enfin, depuis le début de l'essai, le système productif obtient toujours la note la plus faible.

Nous allons maintenant approfondir cette évaluation énergétique en étudiant l'importance des trois postes sur la consommation totale.




Globalement on observe le même classement sur le graphique précédent, le système biologique demande le moins d'énergie à l'hectare. Cette consommation est engendrée uniquement par l'utilisation d'engins.

Le système productif est le plus demandeur en énergie ; c'est lui qui a les trois postes les plus élevés. Cela rejoint les règles de décision, puisque c'est le système qui consomme le plus d'engrais au niveau énergétique, le plus de produits phytosanitaires et qui engendre la plus grosse consommation de carburant.

Le système intégré est moins demandeur d'énergie que le système productif. Les économies les plus importantes sont réalisées sur les postes engrais et pesticide. Cela s'explique par les règles de décision qui engendrent une plus faible consommation d'intrants. On retrouve aussi une consommation plus faible sur le poste machinisme, cela peut s'expliquer par le labour seulement une année sur deux.

Enfin, le système NTS obtient le deuxième meilleur résultat. Il atteint quasiment les mêmes quantités d'énergie consommées en poste pesticide et engrais que le système intégré ; en revanche le poste machinisme est nettement plus faible ce qui s'explique par le non travail du sol donc la diminution de l'utilisation de carburant à l'hectare.

Après utilisation du logiciel Indigo, il est intéressant d'avoir une vue globale de l'essai.

On peut dire que le système biologique est le plus viable à long terme vis-à-vis de l'impact des systèmes sur l'environnement.

Le système productif est le moins viable, c'est celui qui demande le plus d'énergie à l'hectare et qui entraîne le plus de risques pour l'environnement à cause de l'utilisation importante de produits phytosanitaires

Les systèmes NTS et Intégré obtiennent des résultats tout à fait satisfaisants et qui se rejoignent à peu de choses près. Le système NTS se démarque par l'utilisation plus faible de carburants, mais est légèrement pénalisé par l'utilisation plus régulière d'herbicides pour limiter le développement du couvert.

# 5-- Critiques et prolongements

## 5.1 Critiques

- Cet essai est complexe à gérer car il comporte une gestion différente pour chacun des systèmes. Il ne s'agit pas d'une comparaison par rapport à un témoin. La complexité est surtout liée à la taille des parcelles et la gestion des règles de décision. Cependant, c'est grâce à ces éléments qu'il se rapproche au plus près d'une situation à laquelle les agriculteurs peuvent faire face.

- Les résultats analysés statistiquement sont intéressants mais difficiles à différencier. En effet, le plan expérimental ne comporte que deux blocs, et on ne peut pas compter sur l'effet répétition pour confirmer certaines mesures.

- Dans mes résultats, j'ai utilisé des données du logiciel Indigo pour l'approche environnementale. Deux indicateurs m'ont fortement intéressé, à savoir l'indicateur phytosanitaire et l'indicateur énergétique. Dans le contexte actuel, on peut reprocher à ce logiciel de ne pas comporter des indicateurs sur l'érosion ou encore le stockage du carbone qui donneraient des résultats intéressants sur le système non travail du sol.

- On peut considérer que les résultats du système non travail du sol ne sont pas stabilisés dans le temps car la plante de couverture a changé plusieurs fois depuis la mise en place du dispositif expérimental, car sa croissance est très difficile à gérer.

- Les règles de décision sont les mêmes globalement depuis la mise en place de l'essai, c'est-à-dire 8 ans. On peut se demander si elles sont toujours d'actualité par rapport à ce qui se fait sur le terrain.

- Dans le cadre d'une approche système, on peut critiquer l'orientation très céréalière des systèmes étudiés. L'introduction de cultures fourragères, souvent réputées pour leur aspect positif sur la durabilité des systèmes de production, apporterait un nouvel aspect intéressant qui ne concernerait plus uniquement les exploitations de type céréalier.

## 5.2 Prolongements

D'après l'ensemble des résultats obtenus, on peut dire que les objectifs de l'expérimentation ont été atteints. En effet, l'UMR d'agronomie de Grignon nous a démontré qu'il était possible de conduire des systèmes de cultures durables et intégrés basés sur des règles de décisions prédéfinies. Cependant, le dispositif est maintenu encore quelques années afin de faire face à diverses évolutions et confirmer des tendances.

- L'expérimentation a montré qu'il était possible d'appliquer le cahier des charges de l'agriculture biologique tout en dégageant des marges très intéressantes. Il est maintenant nécessaire d'obtenir de tels résultats sur l'ensemble des cultures de la rotation.

- Le système non travail du sol avec couvert végétal est actuellement peu répandu en France. Ces modes de culture répondent parfaitement à des contraintes spécifiques des pays du sud (Brésil…) telles que des sols fragiles, un climat agressif… En France, ces surfaces sont de plus en plus importantes ; ce système peut donc apporter des éléments de réponse à ces problèmes.
  La principale difficulté rencontrée sur l'essai est de trouver une plante de couverture qui corresponde au blé, au pois et au maïs. Les résultats d'un essai, mené en parallèle à Grignon, ont montré que le lotier donnait des résultats intéressants. Le lotier a donc été choisi comme plante de couverture cette année sur le système non travail du sol sous couvert.

- Depuis deux ans, le système intégré remplit son objectif de protéger l'environnement tout en ayant une marge brute proche du productif. Les règles de décision sont donc satisfaisantes. L'écart entre les deux systèmes reste faible. Il est donc nécessaire de continuer l'essai afin de creuser un plus grand écart. Cela ne pourrait qu'encourager les agriculteurs, qui actuellement hésitent, à aller dans cette voie.

- Une expérimentation sur les lombrics menée en parallèle sur l'essai a déjà permis de dégager des résultats intéressants en faveur des itinéraires à faible niveau d'intrants. Il serait intéressant de poursuivre cette étude sur un plus long terme. Certains effets sont perceptibles qu'à longue échéance surtout avec des systèmes tel que le non travail du sol sous couvert.

# CONCLUSION

Dans le contexte actuel, l'idée de se diriger vers une agriculture durable se profile comme inévitable. Les pouvoirs publics ont pour objectif de diminuer le montant des aides accordées aux agriculteurs, et la société souhaite désormais disposer de produits de qualité.

Les agriculteurs sont donc dans l'obligation de modifier leurs pratiques culturales : Gérer au mieux les systèmes en diminuant le niveau d'intrants, ce qui permet de maximiser les marges brutes, tout en produisant de la qualité sans bouleverser le milieu.

Il est difficile de concilier dans un système de culture à la fois l'environnement, l'agronomie, l'économie et la qualité des produits.

L'expérimentation « La Cage » menée à Versailles nous apporte des informations intéressantes concernant ces critères.

On observe que le système productif remplit son rôle de productivité maximale, mais qu'il déçoit beaucoup du point de vue environnement ; il n'atteint pas la note de référence du logiciel Indigo jugée comme étant respectueuse de l'environnement, et au niveau énergie, c'est un système très consommateur.

Le système intégré est très proche du système productif au niveau économique. Côté environnement, les notes Indigo sont bien supérieures au système productif ; concernant l'énergie, on arrive à des économies sensibles.

Le système non travail du sol sous couvert est globalement intéressant pour l'environnement et très intéressant du point de vue consommation en énergie dans la section machinisme. Au niveau économique, rendement et rentabilité, ce système n'est pour l'instant pas performant. Mais ce système est en cours de construction, il existe très peu de références, ce qui explique qu'il est en constante évolution.

Le système biologique a une productivité en blé nettement inférieure à un système productif ou intégré. Ses résultats économiques montrent qu'il dégage des marges très intéressantes qui sont en partie liées au prix de vente du blé biologique. Au niveau environnement, il obtient la note maximum ; il consomme aussi très peu d'énergie par rapport aux trois autres systèmes. Résultats tout aussi intéressants, en 2004 et 2005, avec un précédent luzerne, il exprime un potentiel maximum.

Selon cet essai, deux pistes conciliant agronomie, économie et environnement semblent intéressantes : Le système intégré et le système biologique présentent à la fois des résultats agronomiques, économiques et environnementaux très intéressants, et qui correspondent aux attentes de la société actuelle.

Dans un avenir plus lointain, le système non travail du sol sous couvert pourrait s'affirmer.

Mon rapport a porté sur la culture du blé parce qu'elle est présente tous les ans mais il serait intéressant dans les années à venir de suivre et de confirmer ces résultats sur plusieurs rotations de cultures.

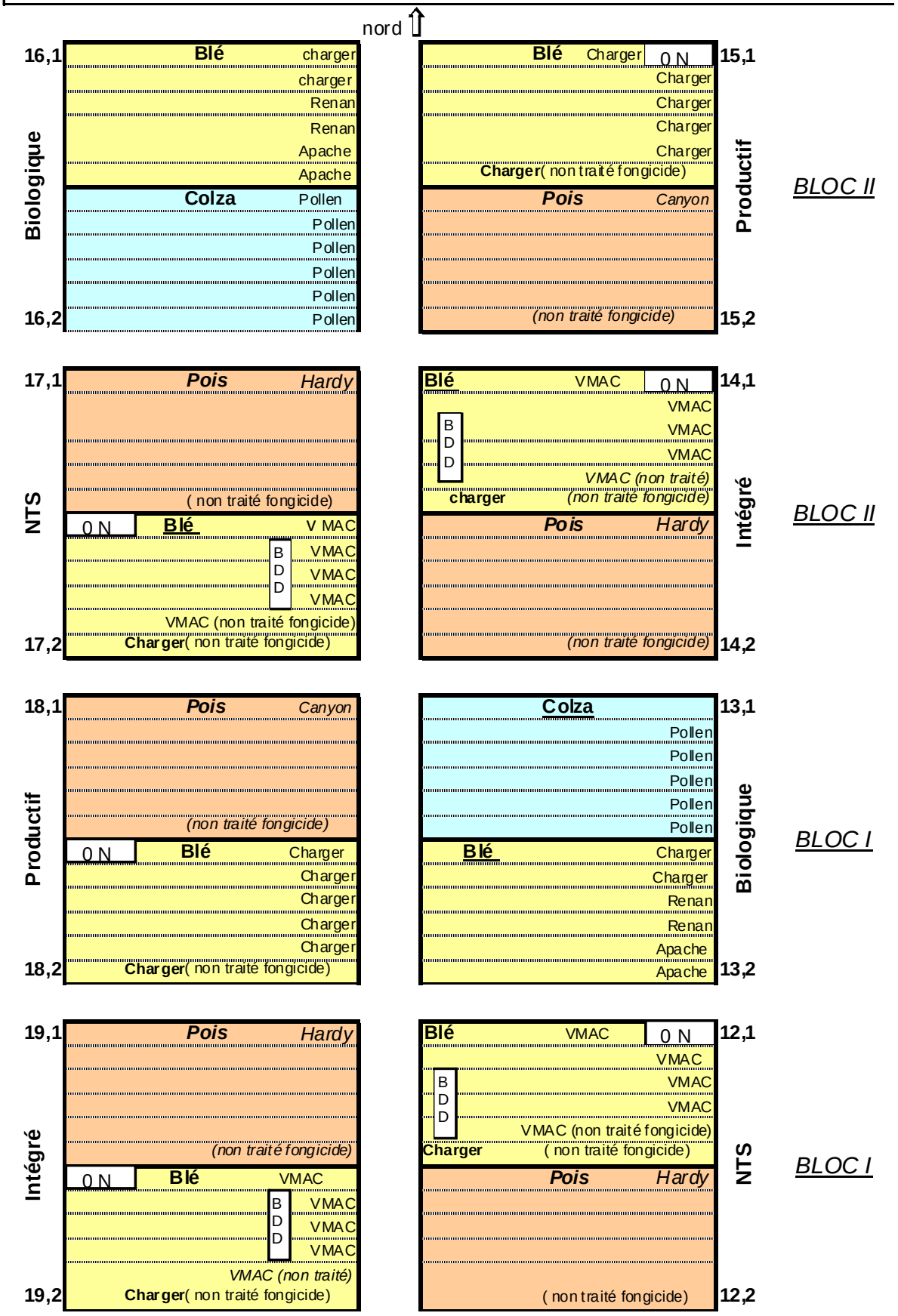
# Annexes

**Annexe 1 : "La Cage" Plan de l'essai 2005**

**Annexe 2 : « La Cage » Successions culturales**

**Annexe 3 : « La Cage », Itinéraires techniques des différents systèmes en blé 2005**

## Annexe 1: "La Cage" Plan de l'essai 2005




*(Non traité)* = non traité fongicide

## Annexe 2 : « La Cage » Successions culturales

| | 5.2.1.1.1.1 Productif | | Intégré | | Travail minimum Couvert Permanent | | Biologique | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| parcelles | 18.1-15.2 | 18.2-15.1 | 19.1-14.2 | 19.2-14.1 | 12.2-17.1 | 12.1-17.2 | 13.2-16.1 | 13.1-16.2 |
| *1995* | *essais Pois et Orge "homogène"* | | | | | | | |
| *1996* | *Avoine "homogène"* | | | | | | | |
| **1997** | **Pois** | *Colza* | **Pois** | *Colza* | **Pois** | *Colza* | **Pois** | *Colza* |
| **1998** | **Blé** | **Pois** | **Blé** | **Pois** | **Blé** | **Pois** | **Blé** | **Soja** |
| **1999** | **Colza** | **Blé** | **Colza** | **Blé** | **Maïs** | **Blé** | **Colza p.** | **Blé** |
| **2000** | **Blé** | **Colza** | **Blé** | **Colza** | **Blé** | **Maïs** | **Blé** | **Lupin** |
| **2001** | **Pois** | **Blé** | **Pois** | **Blé** | **Pois** | **Blé** | **Pois** | **Blé** |
| **2002** | **Blé** | **Pois** | **Blé** | **Pois** | **Blé** | **Pois** | **Blé** | **Luzerne** |
| **2003** | **Colza** | **Blé** | **Colza** | **Blé** | **Maïs** | **Blé** | **Luzerne** | **Blé** |
| **2004** | **Blé** | **Colza** | **Blé** | **Colza** | **Blé** | **Maïs** | **Luzerne** | **Blé** |
| **2005** | **Pois** | **Blé** | **Pois** | **Blé** | **Pois** | **Blé** | **Blé** | **Colza** |
| **2006** | **Blé** | **Pois** | **Blé** | **Pois** | **Blé** | **Pois** | **Colza** | **Blé** |
| **2007** | **Colza** | **Blé** | **Colza** | **Blé** | **Maïs** | **Blé** | **Blé** | **Pois** |

## Annexe 3 : « La Cage », Itinéraires techniques des différents systèmes en blé 2005

| Productif | | Intégré | | Non Travail du Sol sous Couvert | | Biologique | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Précédent Colza* | | *Précédent Colza* | | *Précédent Maïs* | | *Précédent Luzerne* | |
| 12 août | Broyage | 12 août | Broyage | 27 oct | Semis<br>122 kg/ha VMAC | 26 août | Déchaumage |
| 8 octobre | Broyage | 6 sept | Déchaumage | 17 mars | 30 g/ha Allié | 6 sept | Déchaumage |
| 11 oct | Labour | 16 sept | Déchaumage | 25 mars | 0,5 kg/ha Atlantis WG + 1 l/ha Actirob B | 16 sept | Déchaumage |
| 11 oct | Semis<br>119 kg/ha Charger | 18 oct | Semis<br>85 kg/ha VMAC | 1 avril | 335 kg/ha d'ammonitrate (112U) | 21 mars | Herse étrille |
| 12 oct | 2,4 l/ha Quartz | 25 mars | 0,1 l/ha Primus + 0,4 kg/ha Atlantis WG + 1 l/ha Actirob B | 18 mai | 120 kg/ha d'ammonitrate (40U) | 28 oct | Semis<br>235 kg/ha Renan |
| 25 nov | 3,5 kg/ha Fluxol | 1 avril | 250 kg/ha d'ammonitrate (84U) | 27 mai | 0,6 l/ha Soleil | 21 juillet | Récolte |
| 18 février | 200 kg/ha d'ammonitrate (67U) | 18 mai | 120 kg/ha d'ammonitrate (40U) | 21 juillet | Récolte | | |
| 6 avril | 220 kg/ha d'ammonitrate (74U) | 27 mai | 0,6 l/ha Soleil | | | | |
| 19 avril | 0,5l/ha Moddus | 21 juillet | Récolte | | | | |
| 28 avril | 1,2 l/ha Opus Team | | | | | | |
| 18 mai | 120 kg/ha d'ammonitrate (40U) | | | | | | |
| 27 mai | 0,6 l/ha Soleil + 0,5 l/ha Amistar | | | | | | |
| 2 juin | 0,6 l/ha Soleil + 0,5 l/ha Amistar | | | | | | |
| 21 juillet | Récolte | | | | | | |

| | |
|---|---|
| | Semis |
| | Herbicide |
| | Fertilisation azotée |
| | Fongicide |
| | Raccourcisseur |

## BIBLIOGRAPHIE


- LAJOUX Pierre, LABREUCHE Jérôme, LONGCHAMPS Jean-Yves et al. Le Guide des Techniques Culturales Simplifiées. Kuhn Huard SA, 2004, 39p.

- HENIN Frederic. Le coût indicatif des façons culturales. La France Agricole, 24 février 2006, n°3123, p 68-71

- ESCOFFIER Isabelle, Des sols déficitaires en matière organique. La France Agricole. 13 septembre 2002

- SAULAS Patrick, Mise au point de la technique de mélange de variétés, pour une conduite du blé d'hiver à faible niveau d'intrants. 1993, 100 p.

- THOMAS Frédéric, Introduction. Techniques Culturales Simplifiées, janvier/février 2004, n° 26, p 3

- Arvalis Institut du Végétal .Le point sur les mycotoxines : Réglementation et gestion du risque [en ligne]. http://www.arvalisinstitutduvegetal.fr/fr/com_detail.asp?id=246. (consulté le 28/11/2005)

- MOUQUET Laurence. La matière organique des sols n'inquiète pas les spécialistes. Réussir Céréales Grandes Cultures, 10/2004, n°174, p. 22-24.

- DESWARTES Grégoire, CHEVRIER Alix, BARBIER Sylvain et al. 1er rapport annuel de l'étude économique sur un référentiel d'exploitations en Techniques Culturales simplifiées en France. APAD, INRA, 2001.

- MEYNARD, Jean-Marc. Conception d'itinéraires techniques pour la conduite du blé d'hiver. Thèse doct. 1985, 258 pages