

<p><b>Résultats de l'essai FertiAgriBio</b> <b>Campagne 2004-05</b> <b>Partenariat CREAB – INRA UMR ARCHE Toulouse</b></p>
--

## **1 Présentation générale de l'essai**

Cet essai s'intègre au programme FertiAgriBio, issu d'une réponse à un appel d'offre de l'ITAB sur la fertilisation et la fertilité en AB, auquel a répondu favorablement le Comité Interne Agriculture Biologique (CIAB) de l'INRA. Le CREAB est partenaire de l'unité de Toulouse l'une des équipes partenaire du projet

### **1.1 Objectifs de l'essai**

L'objectif général de cet essai est de connaître et prévoir la dynamique des fournitures du sol en azote après précédents légumineuses et cultures intermédiaires. Cet essai doit permettre :

- D'évaluer la minéralisation en azote en condition *in situ* de l'humus du sol après incorporation des résidus de deux cultures de légumineuses avec ou sans implantation de culture intermédiaire
- De mesurer le coefficient apparent d'utilisation (CAU) de deux fertilisants organiques sur deux variétés distinctes
- De comparer une méthode d'estimation des fournitures en azote du sol et de tester un modèle de culture, avec un dispositif expérimental en plein champ pour permettre, s'ils s'avèrent suffisamment précis, de mettre au point un outil d'aide à la décision pour la fertilisation organique en AB.

### **1.2 Dispositif expérimental**

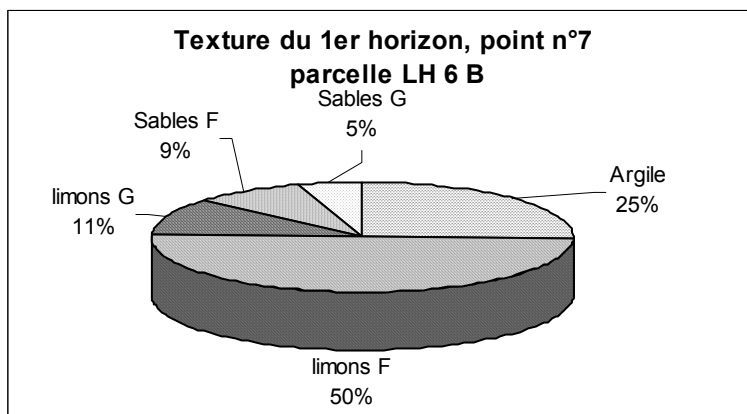
Sur le domaine expérimental de La Hourre (Auch, Gers) deux essais en blocs de Fischer à trois répétitions sont mis en place sur deux précédents différents : une féverole d'hiver et un soja cultivé en sec.

#### **1.2.1 Précédent féverole d'hiver**

Le dispositif est mis en place sur la parcelle LH6 B du type terrefort argilo-calcaire (calcosols peu épais, caillouteux, de marnes et calcaires tendres disloqués). La texture de la parcelle est présentée dans le graphe n°1 ci-dessous.

Sur ce précédent féverole, deux cultures intermédiaires seront implantées : moutarde et vesce-avoine, comparé à un témoin sans cultures intermédiaires. Par la suite un blé d'hiver sera implanté et conduit avec deux niveaux de fertilisation (avec et sans farine de plume)

### Graphe n°1 : texture de la parcelle LH6B – dispositif précédent féverole.

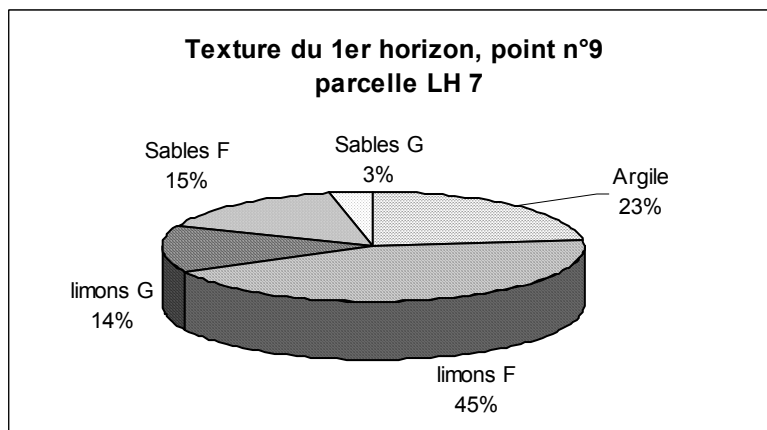


#### 1.2.2 Précédent soja

Le dispositif est mis en place sur la parcelle LH8 de terrefort argilo-calcaire (calcosols moyennement épais à épais, à galets sombres acides, de marnes et calcaires tendres). La texture de la parcelle est présentée dans le graphe n°2 ci-après.

Sur ce dispositif était prévu l'intégration d'un colza. Par la suite deux autres facteurs seront étudiés : la nature du fertilisant (farine de plume et vinasse de betterave) ainsi que l'effet de la variété de blé (Caphorn ou Renan).

### Graphe n°2 : texture de la parcelle LH8 dispositif précédent soja



#### 1.2.3 Précisions sur les fertilisants utilisés

Les deux fertilisants utilisés ont été analysés vis-à-vis de leur composition en éléments minéraux. Les résultats sont présentés dans le tableau n° 1 ci-après.

Ces deux fertilisants se différencient au niveau de leur proportion d'azote minérale : 1,4% de l'azote des plumes est sous forme directement assimilable contre 15,9% pour les vinasses.

On notera également les proportions notables de soufre dans les deux fertilisants, mais les quantités apportées restent supérieures pour les vinasses compte tenu des volumes épandus au champ.

**Tableau 1 : résultats de l'analyse des fertilisants**

Analyses	unités	Farine de plumes hydrolysées	Vinasse de betterave
Humidité à 105°C	(g/100g)	5,2	47,5
Matière sèche à 105°C	(g/100g)	94,8	52,5
Matière organique (calcination)	(g/100g)	91,8	30,6
Carbone organique (calcul)	(g/100g)	45,9	15,3
N total par analyseur élémentaire (Dumas)	(g/100g)	13,9	3,3
C/N		3,3	4,6
N ammoniacal (Berthelot)	(g/100g)	0,19	0,4155
N nitrique (Griess)	(g/100g)	<0,002	0,1083
P2O5 total	(g/100g)	0,76	0,28
K2O total	(g/100g)	< 0,424	6,9
Soufre total Ext. Eau dosage ICP(SO3)	(g/100g)	4,1	3,3
Azote réellement apporté	Kg/ha	74	72

## 2 Résultats, dispositif sur précédent féverole

### 2.1 Biomasse et quantité d'azote du précédent et des cultures intermédiaires

L'itinéraire technique de cette parcelle est présenté dans le tableau 2 ci-dessous

**Tableau 2 : itinéraire technique parcelle LH6 B**

Date	Interventions	Outils	Remarques
03/08/04	déchaumage	Déchaumeur à ailettes	Enfouissement tiges
25/08/04	Semis CIPAN	Semoir + herse rotative	Moutarde et vesce/avoine
15/11/04	Labour	charrue	Destruction CIPAN
16/11/04	Reprise	Vibroculteur	
18/11/04	Semis	Semoir + herse rotative	Variété : Renan Densité : 400 grains/m <sup>2</sup>
07/02/05	Désherbage	Herse étrille	
22/03/05	Désherbage	Herse étrille	
07/04/05	Fertilisation	Amazone type DP12	Plume 74 kg d'N/ha
13/04/05	Désherbage	Herse étrille	
13/07/05	Récolte	Moissonneuse	

La féverole d'hiver (variété Castel) eut une production de 2,8 t<sub>MS</sub>/ha de grains exportés + 3,6 t<sub>MS</sub>/ha de tige. La teneur en azote des tiges est de 1,3% soit 47 kg d'N dans les parties aériennes qui furent enfouies.

Afin de favoriser les levées des cultures intermédiaires, le semis a été réalisé au semoir (et non à la volée) afin de préparer un lit de semence affiné. Par contre il n'a pas été roulé

pour ne pas favoriser les levées d'adventices. Les doses de semis furent : moutarde 12 kg/ha et vesce-avoine (30 + 40 kg/ha)

La production des cultures intermédiaires fut en moyenne de 0,5 t<sub>MS</sub>/ha pour la vesce-avoine et de 1,1 t<sub>MS</sub>/ha pour la moutarde avec des variations importantes au sein des répétitions. Les quantités restent assez faibles car les levées eurent lieu un mois après le semis, lors de l'arrivée des pluies. Ces biomasses correspondent à une absorption moyenne de 25 kg d'N/ha pour la vesce-avoine et à 52 kg d'N/ha pour la moutarde (Cf. graphe n°1 et détails dans le tableau 3). Les cultures intermédiaires ont été détruites et enfouies à la charrue sur 20 cm de profondeur le 15 novembre.

## **2.2 Disponibilités en azote au cours du temps.**

A la récolte de la féverole (juillet 2004), le reliquat moyen d'azote minéral (N<sub>min</sub> = N-NO<sub>3</sub> + N-NH<sub>4</sub>) s'élève à 62 kg d'N/ha, avec une variation spatiale non négligeable sur les parcelles où seront implantées les cultures intermédiaires : 64,5 kg d'N/ha sur le témoin sans culture intermédiaire, 56 kg d'N/ha où sera implanté la moutarde et 66 kg d'N/ha où il y aura la vesce-avoine (Cf. graphe n°4).

En novembre après destruction des cultures intermédiaires et avant implantation du blé, les reliquats azotés sont en moyenne de : 118 kg d'N/ha sur le témoin sans culture intermédiaire, 64 kg d'N/ha après moutarde et de 91 kg d'N/ha après vesce-avoine (Cf. graphe n°5). Les cultures intermédiaires ont permis de limiter le reliquat azoté en entrée hiver : sur la zone sans culture intermédiaire le reliquat a quasiment doublé (x 1,8) entre juillet et novembre sous l'effet de la minéralisation, après moutarde le reliquat a faiblement augmenté (x 1,1) sous l'effet de la minéralisation moins les prélèvements de la culture, et l'augmentation du reliquat sous vesce-avoine fut légèrement supérieure (x 1,4) probablement par la présence d'une légumineuse. Par contre on constatera de fortes variations au sein des répétitions et des différences importantes sur certaines zones de même précédent culture intermédiaire (Fev-Mout-N80 à un niveau faible et inversement Fev-VA-N80 à un niveau élevé)

En sortie d'hiver (mars 2005), sur les parties cultivées en blé la quantité d'azote disponible dans le sol est supérieure pour les deux zones avec cultures intermédiaires avec presque 100 kg d'N/ha contre 75 kg d'N/ha sur le témoin sans cultures intermédiaires (Cf. graphe n° 6). Cette différence peut provenir de la minéralisation des cultures intermédiaires et/ou de pertes plus importantes en absence de culture intermédiaire.

Les reliquats post récolte mesurés en juillet 2005 restent assez faibles et peu différents sur les différentes zones : 26 kg d'N/ha sur le témoin sans culture intermédiaire, 18 kg d'N/ha après moutarde et 26 kg d'N/ha après vesce-avoine (Cf. graphe n°7).

## **2.3 Résultats de la culture de blé**

L'analyse de variance a été réalisée avec un dispositif à deux facteurs :

- Facteur 1 : la culture intermédiaire x 3 modalités : Témoin sans culture intermédiaire, moutarde, et vesce-avoine
- Facteur 2 la fertilisation x 2 niveaux : témoin non fertilisé et fertilisé à hauteur de 74 kg d'azote par hectare avec des farines de plumes hydrolysées.

### 2.3.1 Composantes du rendement (tableau 4)

La densité levée moyenne est de 252,6 plantes/m<sup>2</sup> soit une moyenne de 37 % de perte à la levée. Les différences entre les trois cultures intermédiaires restent non significatives, de part une variation importante.

La densité épi moyenne est de 331,7 épis/m<sup>2</sup> ce qui correspond à un tallage résiduel de 1,33. L'analyse de variance montre une différence significative en faveur du précédent vesce-avoine (1,5 contre 1,3 et 1,2 pour le témoin et la moutarde) précédent qui présentait la valeur de densité levée moyenne la plus faible.

La composante de densité grain, qui en AB reste fortement corrélé au rendement ( $R^2 = 0,99$  sur ce dispositif), présente une moyenne générale de 8 597 grains/m<sup>2</sup>. Les différences entre traitements font apparaître une différence significative en faveur du précédent vesce-avoine mais ne distingue pas le témoin du précédent moutarde, malgré une différence de 1 144 grains/m<sup>2</sup>. Dans le cadre de cette étude, la fertilisation n'apporte pas de gain significatif au niveau de la densité grain.

Le PMG moyen est de 47g, l'analyse de variance montre une différence significative en faveur du précédent moutarde (48g contre 46g en moyenne pour les autres précédents). Toutefois cette différence semble plus liée à un phénomène de compensation qu'à un effet du précédent.

### 2.3.2 Rendement et teneur en protéines (tableau 5)

Le rendement moyen s'élève à 41,2 q/ha ce qui est une valeur assez élevée (le rendement moyen sur cette parcelle varie de 35 à 40 q/ha quand la totalité est fertilisée).

L'étude statistique montre un rendement significativement plus élevé pour le précédent vesce-avoine (48 q/ha) et ne différencie pas le précédent moutarde et le témoin sans culture intermédiaire. L'effet de la fertilisation sur le rendement est peu marqué, le seul écart significatif se situe sur le précédent vesce-avoine où il permet un gain de 6,5 q/ha.

La teneur en protéine moyenne (calculée à partir de la teneur en azote dans les grains) est également élevée avec 12,1%. L'effet de la fertilisation est significatif et permet un gain moyen de 0,9% de protéines. Pour ce qui est des précédents, le test montre une supériorité du précédent vesce-avoine (12,8%) par rapport à la moutarde (11,5%) et au témoin sans culture intermédiaire (11,9%).

### 2.3.3 Biomasse et quantité d'azote absorbé par les blés (tableau 6)

Au stade épi 1 cm, les biomasses moyennes sont de 970 kg<sub>MS</sub>/ha sans différence significative entre traitements. L'INN est assez élevé avec une moyenne de 0,8 mais les différences entre précédents sont non significatives.

A la floraison, les biomasses sont en moyenne de 8,4 t<sub>MS</sub>/ha et à nouveau les différences entre traitements (cultures intermédiaires et fertilisation) ne sont pas significatives.

L'INN moyen est de 0,63, l'analyse statistique montre que l'INN sur les précédents avec cultures intermédiaires est significativement supérieur à celui sur le témoin sans cultures intermédiaires. De même l'INN est supérieur sur les parties fertilisées que sur celles qui ne le sont pas. Toutefois ces différences restent faibles et l'analyse statistique pour les deux facteurs croisés ne considère que la zone non fertilisée sans cultures intermédiaires comme présentant un INN significativement plus faible que les autres zones.

Les quantités moyennes d'azote absorbées à la floraison sont presque de 111 kg/ha. Pour cette donnée l'analyse de variance ne distingue pas d'effet au niveau des cultures intermédiaires. La fertilisation permet un léger gain significatif de la quantité d'azote absorbé (107 kg d'N/ha sur les zones fertilisée contre 115 sur celles fertilisées). Mais à nouveau seul la zone non fertilisée sans cultures intermédiaires semble réellement à un niveau plus bas.

A la récolte, les quantités d'azote dans les grains sont sensiblement plus importantes pour le précédent vesce-avoine, la différence entre le témoin et le précédent moutarde reste non significative. Par contre à ce stade l'effet de la fertilisation est clairement marquée et permet un gain significatif de presque 10 kg d'N/ha. On retrouve les mêmes effets pour la quantité d'azote dans les pailles et la quantité d'azote totale prélevée.

### **2.3.4 Discussion**

Sur ce dispositif où les reliquats azotés furent important tout au long de l'année, l'effet de la fertilisation fut quasiment nulle sur le rendement des cultures (comme sur les différentes composantes). Par contre la fertilisation a permis un gain au niveau des teneurs en protéines de l'ordre de 0,9%.

En ce qui concerne l'effet des cultures intermédiaires, les résultats sont difficiles à interpréter compte tenu des fortes variations des quantités d'azote disponible au sein d'un même traitement. On peut dire que les cultures intermédiaires permettent de limiter le reliquat en entrée d'hiver et de le maximiser en sortie d'hiver par rapport au témoin sans culture intermédiaire. Toutefois pour le blé en sortie d'hiver (stade épi 1 cm) il n'y pas de différence entre traitements aussi bien pour les biomasses produites que pour les quantités d'azote absorbées.

Par la suite les différences observées semblent plus liées à des hétérogénéités de sol (et de quantités d'azote disponible) qu'à un effet des cultures intermédiaires. En effet la zone avec moutarde et blé fertilisé à hauteur de 80 unités se situe toujours à un niveau inférieur au blé issu du même précédent et non fertilisé. Inversement, l'étude statistique montre souvent un effet plus favorable du précédent vesce-avoine, mais celui-ci effet est plus liée à une disponibilité en azote supérieure dès le début du dispositif, principalement sur la partie fertilisée.

## **3 Résultats dispositif sur précédent soja**

### **3.1 Biomasse et quantité d'azote du précédent et des cultures intermédiaires**

L'itinéraire technique de cette parcelle est présenté dans le tableau 7 ci-après.

Le soja cultivé en sec (variété Paoki) eut une production de 2 t<sub>MS</sub>/ha de grains exportés + 1,7 t<sub>MS</sub>/ha de tige. La teneur en azote des tiges est de 1,1% ce qui correspond à une quantité de 19 kg d'N/ha dans les parties aériennes qui furent enfouies.

Sur cette parcelle il était prévu d'intégrer une culture intermédiaire de colza. Ce dernier a été semé (5 kg/ha) au granulateur à la volée dans le soja au stade sénescence (majorité des feuilles tombées au sol). Toutefois compte tenu des faibles précipitations et de l'absence de façon culturale avant semis, le colza n'a pas levé. Le suivi fut donc réalisé uniquement après un soja sans cultures intermédiaires.

**Tableau 7 : itinéraire technique parcelle LH8**

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

### **3.2 Disponibilités en azote au cours du temps/ha**

En novembre 2004, le reliquat moyen après soja est de 60 kg d'N/ha, avec de faibles variations entre les zones ou les répétitions (Cf. graphe n°5).

En sortie d'hiver (mars 2005, Cf. graphe n°6) les reliquats restent faibles avec à peine 50 kg d'N/ha. Ainsi sur ce précédent, et contrairement au précédent fêverole, le reliquat a diminué entre novembre et mars, probablement parce qu'ici les prélèvements par la culture ont été supérieurs à la minéralisation.

Après la récolte (graphe n°7), le reliquat est faible avec 24,5 kg d'N/ha ce qui correspond aux valeurs mesurées sur le précédent fêverole. Ainsi les quantités d'azote disponible sont très différentes selon la nature du précédent, la fêverole d'hiver permet de libérer des quantités d'azote largement supérieur à celle du soja.

### **3.3 Résultats de la culture de blé**

L'analyse de variance a été réalisée avec un dispositif à deux facteurs :

- Facteur 1 : la fertilisation x 3 niveaux : non fertilisé, fertilisé avec des farines de plumes et fertilisé avec des vinasses de betterave
- Facteur 2 : la variété, Renan ou Caphorn

#### **3.3.1 Composantes du rendement (tableau 8)**

La densité levée moyenne est de 323,6 plantes/m<sup>2</sup> soit une perte à la levée moyenne de 19% ce qui est beaucoup plus faible que sur l'autre précédent. Les différences entre zones restent faibles et non significatives.

La densité épi moyenne est de 349 épis/m<sup>2</sup> ce qui correspond à un tallage résiduel de 1,1. Pour cette composante la fertilisation ne semble pas avoir eu d'effet, par contre Renan présente une densité épi supérieure à Caphorn (378 épis/m<sup>2</sup> pour Renan contre 320 épis/m<sup>2</sup> pour Caphorn).

La densité grains moyenne est de 9 358 grains/m<sup>2</sup> ce qui est supérieur à la valeur obtenue sur le précédent fêverole. Sur ce dispositif on retrouve la corrélation étroite entre la densité grain et le rendement final, cette corrélation est très précise lorsqu'on distingue les deux variétés ( $R^2$  pour les 2 variétés = 0,78 ;  $R^2$  Renan = 0,99 et  $R^2$  Caphorn = 0,99 cf. annexe 2).

L'étude statistique montre que la fertilisation permet un gain au niveau de la densité grain, et les vinasses permettent un gain significativement plus important que les farines de plumes. Du point de vue des variétés, Caphorn présente une densité grain plus élevée que Renan.

La fertilité épi moyenne est de 28 grains/épi avec une différence variétale importante et significative (22,5 grains/épi pour Renan et 33,4 grains/épi pour Caphorn). Pour cette composante l'approche statistique confirme l'effet favorable de la fertilisation, mais ne distingue pas les plumes des vinasses.

En ce qui concerne le PMG, on constate une différence variétale en faveur de Renan (46,6 g contre 38,5 g pour Caphorn), par contre la fertilisation et la nature du fertilisant n'influe pas sur le PMG.

### **3.3.2 Rendement et teneur en protéines (tableau 9)**

Le rendement moyen sur ce dispositif est de 39,5 q/ha (41,2 q/ha en moyenne sur le précédent féverole). L'étude statistique ne distingue pas d'effet variétal (rendement Renan = 39,4 q/ha et Caphorn = 39,6 q/ha). Par contre la fertilisation et la nature du fertilisant ont des effets significatifs sur le rendement. Le témoin non fertilisé est à 31 q/ha, les parcelles fertilisées avec des plumes à 40,2 q/ha et celles fertilisées avec des vinasses à 47,3q/ha.

Sur ce dispositif la teneur en protéines moyenne est beaucoup plus faible que sur le précédent féverole avec 10,7%. L'étude statistique ne distingue pas d'effet de la fertilisation sur la teneur en protéines : Plumes (10,9%) = vinasses (10,9%) = témoin non fertilisé (10,4%). Par contre la variété et donc le potentiel génétique est différents, Renan permet d'atteindre des niveaux de protéines plus élevées que Caphorn (11% pour Renan contre 10,4% pour Caphorn).

### **3.3.3 Biomasse et quantité d'azote absorbé par les blés (tableau 10)**

Au stade épi 1 cm, les biomasses moyennes sont de 1,3 t<sub>MS</sub>/ha sans différences significatives entre traitements. L'INN moyen à ce stade est de 0,6 sans différences significatives non plus entre traitements.

A la floraison les quantités de matières sèches produites sont en moyenne de 6,6 t<sub>MS</sub>/ha. La variation est assez importante et ne permet de mettre en évidence des différences significatives entre traitements. A ce stade l'INN moyen est de 0,45. La fertilisation permet l'acquisition d'un INN plus élevé que sur le témoin, mais la nature du produit n'engendre pas de différences significatives. Par contre Caphorn présente un INN significativement plus élevé que Renan. Cette distinction variétale est particulièrement vrai sur les zones fertilisées, sur le témoin non fertilisé les INN de Renan et Caphorn reste identique.

En ce qui concerne les quantités d'azote absorbées à la floraison, la moyenne s'élève à 69 kg d'N/ha. La fertilisation et la nature du fertilisant influe sur cette donnée, les vinasses permettent la plus forte absorption d'azote, suivi par les plumes puis le témoin non fertilisé. La différenciation des quantités d'azote absorbées entre variétés est significative en faveur de Caphorn pour les traitements vinasses, mais avec les plumes ces quantités sont identiques pour les deux variétés.

A la récolte la matière sèche produite dans les parties aériennes est de 8 t/ha en moyenne. L'analyse statistique permet de distinguer à la fois l'effet de la fertilisation (vinasses > plumes > témoin) et un effet variétal (Renan > Caphorn). Ces différences restent les mêmes lorsqu'on regarde les quantités d'azote absorbées dans les grains, dans les pailles ou dans la plante entière.



### 3.3.4 Discussion

Sur ce dispositif où les quantités d'azote disponibles en sortie d'hiver étaient bien plus faibles que sur l'autre précédent (47 kg d'N/ha après soja contre 119 kg d'N/ha après féverole), l'effet du fertilisant fut beaucoup plus marqué. Son effet sur les composantes du rendement fut significatif pour la fertilité épi et pour la densité grain. Elle eut un effet significatif sur le rendement, mais pas sur la teneur en protéine finale. Par contre cette dernière est influencée par le génotype, Renan étant d'un niveau supérieur à Caphorn.

## 3.4 Résultats des CAU (Cf. graphes n°8 à 10)

### 3.4.1 CAU sur les différents dispositifs

Le coefficient apparent d'utilisation de l'engrais (CAU) a été calculé sur les deux dispositifs par soustraction des valeurs du témoin non fertilisé (correspondant aux fournitures du sol).

- Sur le précédent féverole d'hiver (farines de plumes uniquement) : les CAU sont faibles en moyenne (17%) et varient fortement en fonction des répétitions et des précédents cultures intermédiaires. Sur le précédent sans cultures intermédiaires le CAU moyen est de 32%, il chute à 4,2% sur le précédent moutarde et est à 14,9% sur le précédent vesce-avoine.
- Sur le précédent soja, les variations entre répétitions restent plus faibles, les plumes présentent un CAU moyen de 32,9% et les vinasses de 66,4%. Ces différences se retrouvent quelle que soit la variété utilisée.

### 3.4.2 Discussion sur les CAU

Sur le précédent féverole les CAU sont faibles et varient fortement. Ce type de résultats a déjà été observé lorsque les niveaux d'azote minéral sont élevés en sortie d'hiver, comme cette année. Dans ces conditions le fertilisant a en général un effet peu marqué, ce que nous retrouvons ici aussi bien au niveau du CAU que des variations de rendements qui restent faibles sur ce dispositif. Malgré des différences de valeurs entre cultures intermédiaires et le témoin, la réponse du fertilisant sur les résultats du blé fut identique sur l'ensemble des traitements.

Sur le précédent soja, les niveaux d'azote en sortie d'hiver sont plus faibles que pour l'autre précédent, et le CAU des plumes est ici plus élevé même s'il reste assez faible avec 33%. Par contre les vinasses de betteraves, avantagées à la fois par leur proportion plus importantes d'azote minéral et par leur conditionnement liquide, permettent une meilleure valorisation avec un CAU de 66%.

Comme cela s'observe souvent en AB, les CAU varient de façon importantes selon de nombreux facteurs : disponibilité initiale en azote, nature du sol (texture et matière organique), proportion de perte par volatilisation, période d'épandage ...

Toutefois, les vinasses de betteraves montrent une meilleure valorisation que les farines de plumes dans les conditions climatiques de l'année.

## 4 Suivi de l'azote sol en sol nu et modélisation

### 4.1 Suivi sol nu

Sur chaque dispositif et après chaque sous-précédents cultures intermédiaires a été laissé une bande en sol nu. Sur ces zones de sol nu des prélèvements de sol ont été réalisés régulièrement pour suivre la disponibilité en azote minérale au cours du temps. Ainsi ces zones permettent de quantifier la minéralisation issue des précédents culturaux (avec ou sans cultures intermédiaires) en l'absence de tout prélèvement par les cultures.

#### 4.1.1 Précédent féverole d'hiver (Cf. graphe n°11)

Après enfouissement du précédent féverole, les reliquats sont du même ordre de grandeur sur les 3 zones et proches des 60 kg d'N/ha. En septembre, les reliquats sont peu différents sur les 3 zones et du même ordre de grandeur qu'en juillet (moyenne septembre 2004 = 58 kg d'N/ha). Ce résultat résulte de l'antagonisme entre la minéralisation des résidus de féverole génératrice d'azote et l'organisation de l'azote minérale sous l'effet de l'enfouissement de débris végétaux riche en carbone, consommatrice d'azote. Puis de septembre à novembre, la quantité d'azote disponible augmente sous l'effet de la minéralisation.

En novembre, les quantités d'azote disponible sont différentes selon l'implantation des cultures intermédiaires : 113,5 kg d'N/ha sur le témoin sans cultures intermédiaires ; 67 kg d'N/ha sur le précédent moutarde et 86 kg d'N/ha sous le précédent vesce-avoine. Ainsi l'implantation de cultures intermédiaires permet de limiter le reliquat azoté en entrée d'hiver.

Par la suite les quantités d'azote continuent d'augmenter jusqu'en janvier du fait :

- De la minéralisation du précédent, avec ou sans cultures intermédiaires
- De l'absence de prélèvements par les cultures
- D'une quasi-absence de lessivage hivernal du fait des faibles précipitations.

En sortie d'hiver (mars 2005) les quantités d'azote sont élevées, et plus importantes sur la zone sans culture intermédiaire (133 kg d'N/ha) que sur celles avec cultures intermédiaires (112 kg d'N/ha en moyenne). Cette différence provient surtout d'une absence de lessivage hivernal sur la zone sans cultures intermédiaires.

Les quantités d'azote disponibles diminuent entre mars et mai sous l'effet des précipitations entraînant de la lixiviation (77 mm reçus en avril), puis elles augmentent à nouveau après le mois de mai car la minéralisation se poursuit et les pertes par lessivage s'amenuisent.

#### 4.1.2 Précédent soja

Sur le précédent soja, les variations dans le temps restent plus faibles que pour le précédent féverole et surtout l'état initial débute à un niveau bien plus bas que sur le précédent féverole. Le reliquat augmente entre octobre et novembre (de 38 à 59 kg d'N/ha) puis il se stabilise jusqu'en mai sous l'effet conjugué de la minéralisation et des pertes par lessivage. A partir de mai, la minéralisation devient supérieure aux pertes et les quantités d'azote augmentent dans le profil.

Ces différents suivis permettent de suivre la dynamique de disponibilité en azote au cours du temps en fonction de deux précédents (avec ou sans incorporation de cultures intermédiaires) et ceux en l'absence de tout prélèvement par les cultures.

Ces suivis permettent également de tester un **modèle de calcul de la minéralisation en sol nu (modèle *Lixim*)** dans les conditions de l'agriculture biologique. Ce modèle simule les différents paramètres du sol : humidité, lessivage, teneur des différentes formes d'azote en fonction des paramètres entrés dans le modèle : biomasse des précédents et cultures intermédiaires, teneur en azote de ces derniers, nature du sol [texture, MO, N totale], itinéraire technique et climatologie. Il permet donc de simuler l'ensemble des flux d'azote en sol nu (minéralisation, organisation et lixiviation).

Le test de ce modèle sera réalisé en comparant les valeurs calculées par le modèle à partir des paramètres entrés correspondant à la réalité, et les mesures réalisées au champ.

#### **4.1.3 Modélisation disponibilités en azote sur sol nu (effet précédent et cultures intermédiaires)**

Le graphe n°12 présente le résultat des simulations réalisées pour les quatre horizons avec comparaisons des valeurs d'azote sol mesurées sur le précédent soja.

On constate que le modèle arrive relativement bien à estimer la disponibilités en azote des différents horizons, et donc de prévoir les quantités d'azote disponibles à différentes périodes en l'absence de tout prélèvement par les cultures.

Ce modèle permet également d'estimer la minéralisation nette du sol en fonction des différents précédents (sans effet des cultures intermédiaires, Cf. graphe n°13). Sur ce graphe nous constatons tout d'abord que les vitesses de minéralisation sont très différentes en fonction des précédents, le précédent féverole minéralise beaucoup plus vite que le précédent soja (1,04 kg d'N/ha/j après féverole contre 0,4 kg d'N/ha/j pour le précédent soja). Ainsi le précédent féverole arrivera à re-larguer plus et plus rapidement de l'azote que le précédent soja. Les différences de vitesse de minéralisation observées proviennent de la nature du précédent enfouis (féverole ou soja) mais également du type de sol.

Sur ce graphe nous observons également de l'organisation nette après enfouissement du précédent féverole suivi d'une phase de minéralisation intense. Ces deux effets ne s'observent pas sur le précédent soja.

Le modèle permet également de calculer la minéralisation nette provenant des 2 cultures intermédiaires mise en place sur le précédent féverole (Cf. graphe n° 14). Sur ce graphe on constate que la minéralisation des cultures intermédiaires a lieu très rapidement, dès l'enfouissement des cultures, avec une vitesse un peu plus rapide au départ pour les moutardes par rapport à la vesce avoine.

#### **4.1.4 Modélisation du développement du blé**

Les résultats issus des différents dispositifs ont également permis de tester un modèle différent appelé STICS. Ce dernier est **un modèle de simulation** (et non de calcul comme *Lixim*) qui simule le fonctionnement de la **plante et du sol**.

Le modèle a été testé sur les différents précédents avec ou sans fertilisation. Ce modèle permet de simuler à la fois le fonctionnement du sol (humidité et azote disponible) et de la plante (biomasse et rendement, quantités d'azote absorbé). Comme précédent le test du modèle sera réalisé en comparant les valeurs calculées à celles mesurées sur le terrain.

##### **4.1.4.1 Aspect sol, dispositif précédent soja en sol nu**

Une 1<sup>ère</sup> validation du modèle a été réalisée avec l'humidité du sol (Cf. graphe n° 15). Sur ce graphe nous constatons que la simulation de l'humidité du sol est satisfaisante (courbe = modèle ; point = mesure).

Pour ce qui concerne la quantité d'azote dans le sol, le graphe n°16 montre les résultats de la simulation et des différents points de mesure. On constate que le modèle arrive bien à simuler les quantités d'azote présentes dans le sol jusqu'à la sortie de l'hiver. Par la suite le modèle surestime la minéralisation printanière.

#### **4.1.4.2 Aspect plante et sol, blé non fertilisé**

Pour le précédent féverole, (graphe n°17) on constate que le modèle surestime : la matière sèche aérienne à la récolte (MSA), le rendement ainsi que la quantité d'azote absorbé dans les parties aériennes. Par contre la simulation reste correcte pour simuler l'état hydrique du sol et l'azote minéral du sol.

Sur ce précédent soja (graphe n°18), on constate que le modèle arrive beaucoup mieux à prévoir l'ensemble des paramètres étudiés qu'ils proviennent du sol ou des plantes.

#### **4.1.4.3 Aspect plante et sol, blé fertilisé**

Sur le précédent soja, les résultats des simulations pour le blé fertilisé avec des vinasses sont présentées dans le graphe n°19. Les simulations semblent relativement bien correspondre à la réalité pour les quatre facteurs étudiés.

Par contre les simulations réalisées avec les farines de plumes s'avèrent être peu précises avec les deux précédents. Dans le cas de la fertilisation avec les farines de plumes, le modèle n'arrive pas à intégrer l'effet du fertilisant qu'il surestime systématiquement. Ce résultat n'est pas dénué de sens, les mesures réalisées sur le terrain montrent que le CAU des farines de plumes est en moyenne faible voire très faible sur le précédent féverole. C'est ce point avant tout (CAU et/ou perte d'azote par volatilisation) que le modèle n'arrive pas à intégrer de façon satisfaisante.

## **5 Conclusion**

### **5.1 Conclusion effet précédent et cultures intermédiaires**

Le résultat de l'implantation des cultures intermédiaires est mitigé. Le dispositif a été pénalisé par des précipitations déficitaires qui ont fortement décalé la levée des cultures et donc leur production et leur assimilation d'azote. Les cultures ont levé à partir du 17 septembre et furent détruites un mois plus tard. Malgré cette courte durée, les moutarde ont produit de l'ordre de 1 t<sub>MS</sub>/ha ce qui correspond à 52 kg d'N/ha prélevé dans les parties aériennes. Les résultats de vesce-avoine sont moitié moindre.

Du point de vue de la disponibilité en azote, les cultures intermédiaires ont permis de limiter les reliquats en entrée d'hiver (novembre) et de les maximiser en sortie d'hiver par rapport aux zones sans culture intermédiaire. Toutefois cette plus forte disponibilité en azote en mars après cultures intermédiaires ne se retrouve pas au niveau des résultats du blé.

Les cultures intermédiaires ont donc réalisé leur rôle de pièges à nitrates pendant la phase hivernale, les faibles différences observées entre les zones avec et sans cultures intermédiaires proviennent des faibles pertes par lessivage de l'année.

À la récolte, les reliquats sont du même ordre de grandeur sur les deux dispositifs et quelles que soient les modalités étudiées, ce qui montrerait que les blés ont prélevé la quasi-totalité de l'azote disponible sur chacune des zones.

En ce qui concerne l'effet précédent, les quantités d'azote disponible en entrée d'hiver sont très différentes selon le précédent légumineuse : 60 kg d'N/ha après soja contre 118 kg d'N/ha après féverole (sans culture intermédiaire). De plus les vitesses de minéralisation sont différentes pour les deux précédents, nettement plus rapide pour la féverole. Ainsi les quantités d'azote relarguées au cours du temps sont très différentes : moyennes et évoluant peu pour le précédent soja, et élevée et augmentant dans le temps pour le précédent féverole.

Enfin pour les cultures intermédiaires, ces dernières minéralisent très rapidement, dès leur enfouissement et n'engendrent pas d'effet dépressif par la suite.

## **5.2 Conclusion culture du blé tendre**

Selon le précédent et les quantités d'azote disponibles dans le sol, les résultats du blé tendre sont différents selon les dispositifs. Les résultats du blé non fertilisé sont de 40,6 q/ha pour 11,7% de protéine sur le précédent féverole, contre 31,1 q/ha pour 10,4% de protéines sur le précédent soja.

L'effet de la fertilisation sur le rendement fut très différent selon les précédents, quasi nul sur le précédent féverole, et significatifs sur le précédent soja (en moyenne + 12,7 q/ha en moyenne). Ces résultats sont inversés pour les teneurs en protéines.

Sur le précédent soja, une forte différence d'efficacité a pu être montrée entre les deux produits fertilisants, les vinasses ont un CAU moyen 2 fois supérieur à celui des plumes hydrolysées. Toutefois on constatera des variations importantes du CAU au sein des mêmes traitements, ce qui reflète la forte variabilité de ce paramètre.

En ce qui concerne le facteur variété, les résultats en terme de rendement sont équivalents pour les deux variétés testées, par contre Renan permet d'atteindre des quantités d'azote absorbées à la récolte et des teneurs en protéines plus élevées que Caphorn.

## **5.3 Conclusion sur les modélisations**

Le modèle *Lixim*, permettant de calculer les flux d'azotes selon les caractéristiques d'une parcelle en sol nu, s'avère satisfaisant vis à vis de la prédiction des quantités d'azote disponibles. Ce résultat est plus précis pour le précédent soja où les disponibilités initiales étaient moindres que sur le précédent féverole.

En ce qui concerne *STICS* modèle de simulation du fonctionnement sol et plante, les résultats de la simulation restent satisfaisants pour les zones fertilisées, et à nouveau plus précis sur le précédent soja que féverole. Par contre en condition de blé fertilisé le modèle n'arrive pas bien à estimer les fournitures en azote issues du fertilisant. Cette estimation est assez satisfaisante pour les vinasses de betterave, mais peu précise avec les farines de plumes. A nouveau les fortes variations du CAU des fertilisants perturbent la prédiction du modèle, ce dernier ayant du mal à estimer la part du fertilisant non assimilé (ou perdu par volatilisation).

A ce jour ces modèles s'avèrent être pertinents pour estimer les fournitures du sol en sortie d'hiver principalement pour le précédent soja, par contre les simulations avec la culture de blé fertilisées nécessitent une meilleure connaissance du devenir des engrais organiques au champ.