

# C.R.E.A.B. MIDI-PYRENEES

CENTRE REGIONAL DE RECHERCHE ET D'EXPERIMENTATION EN  
AGRICULTURE BIOLOGIQUE MIDI-PYRENEES

---



## SYNTHESE DU SUIVI DES CULTURES SUR LE DOMAINE EXPERIMENTAL DE LA HOURRE CAMPAGNES 2002-2007 – PARTIE II



Photos CREAB MP

**Juin 2009**

### Action réalisée avec le concours financier de :

	<p>Du Conseil Régional de Midi-Pyrénées, du compte d'affectation spéciale « Développement agricole et rural » géré par le Ministère de l'agriculture et de la pêche</p>	
-------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------

CREAB MP, LEGTA Beaulieu, 32020 AUCH Cedex 9. Courriel : [auch.creab@voila.fr](mailto:auch.creab@voila.fr)



### **Remerciements :**

Le suivi de l'évolution de la fertilité à La Hourre n'aurait pu être réalisé sans l'aide conséquente de deux chercheurs de l'INRA Toulouse : Bruno Colomb qui a piloté le suivi du site depuis 1999 et Eric Justes pour son expertise sur la matière organique et les aspects azote, nous les remercions de tout cœur pour leur aide et leur disponibilité.

Depuis 2008 le suivi de La Hourre est compris dans un projet de recherche Cas DAR piloté par l'ITAB sur les rotations en agriculture biologique (Rot AB), nous remercions également Laurence FONTAINE pour son travail de coordination, ainsi que tous les participants du projet pour les échanges fructueux sur les rotations en agriculture biologique.

### **Abréviations utilisées :**

BM = biomasse (exprimé à 0% d'humidité)

BM-G = biomasse grains (ou rendement à 0%)

BM-P = biomasse paille

E1 = stade Epi 1 cm

Fév. = féverole d'hiver

Flo. = stade floraison

N-Min = Azote minérale =  $N-NO_3 + N-NH_4$

Tsol = Tournesol

ZR = zones références

|

|

## **Introduction :**

Cette synthèse fait suite au 1<sup>er</sup> document (synthèse partie I) qui avait pour objectif principal de présenter les résultats technico-économiques de la ferme expérimentale de La Hourre. La présente synthèse a pour objectif de mieux suivre l'évolution de la fertilité du domaine depuis les premiers suivis initiés en mars 2002. Le suivi de l'évolution du domaine est réalisé via le suivi de 12 zones de sol appelées zones références (ou ZR) d'une dimension de 50 m x 50 m et qui ont été géoréférencées. Ces ZR sont représentatives d'un type de sol (texture et profondeur) et de sa localisation (parcelles de coteaux avec versant sud ou nord et parcelles de vallées avec des zones planes), en aucun cas elles ne sont représentatives de la parcelle sur laquelle elles sont positionnées.

Le suivi est réalisé à la fois sur les cultures en places : composantes du rendement, biomasse et teneur en azote et en phosphore à différents stades ; et sur les sols : évolution des quantités d'azote minérale à l'automne, en sortie d'hiver et en post récolte pour les cultures récoltées en juillet, et évolution entre deux dates de prélèvements espacés de cinq années pour les teneurs en carbone et azote total, ainsi que pour les dosages du phosphore.

La présente synthèse ne permettra pas d'étudier l'évolution de la fertilité au sein de chaque ZR car nous n'avons pas encore le recul suffisant, et les cultures n'ont pas encore été suffisamment présentes pour pouvoir réaliser des études précises. Nous étudierons donc l'évolution de la fertilité de l'ensemble du domaine avec toutefois quelques précisions par grands type de sol (coteaux et vallée) concernant les évolutions en carbone, azote et phosphore du sol.

## **Matériel et méthodes**

### **Détermination des composantes du rendement :**

Pour les composantes issues de comptage : plantes/m<sup>2</sup> et épi/m<sup>2</sup> les valeurs sont issues de comptage réalisé sur 9 rangs de 0,5 m de long soit une surface totale de 0,7875 m<sup>2</sup> par ZR pour les cultures semées à 17,5 cm d'écartement et de 2,7 m<sup>2</sup> pour les cultures semées à 60 cm d'écartements.

Ces surfaces sont également utilisées pour réaliser les prélèvements destinés à la mesure de la biomasse et de la teneur en azote dans les plantes aux différents stades.

A la récolte des surfaces équivalentes sont récoltées manuellement. Les échantillons récoltés servent à mesurer les biomasses grains et pailles. L'échantillon de grain sert à calculer le PMG, cette valeur sert ensuite à calculer la densité grains.

Composantes calculées :

Tallage = (épi/m<sup>2</sup>) / (plantes/m<sup>2</sup>)

Grains/épi = (Grains/m<sup>2</sup>) / (épi/m<sup>2</sup>)

Grains/m<sup>2</sup> = [masse des grains récoltés (g) x PMG (g) x 1000] / surface récoltée (m<sup>2</sup>)

### **Analyses réalisées**

Analyses sur plante : les teneurs en azote et phosphore sont réalisés avec la méthode Dumas sur des échantillons étuvés 48 h à 80°C avec ventilation, les analyses sont réalisées au laboratoire du SAS à Ardon. La teneur en huile pour les tournesols est réalisée dans le même laboratoire (teneur en huile RMN, NF EN ISO 10565).

**Remarque** : à chaque fois que nous parlerons de prélèvement d'azote ou de phosphore totaux (ou à la récolte) il s'agit uniquement des quantités présentes dans les parties aériennes, aucun coefficient multiplicateur n'a été appliqué pour estimer les quantités présentes dans les racines.



Analyses de sol : les prélèvements sont réalisés soit à la tarière (profondeur maximale 90 cm et réalisation de 9 sondages par ZR) soit au préleveur hydraulique Géonor (profondeur 120 cm et réalisation de 12 sondages par ZR). Les analyses de l'azote minéral sont réalisées par le laboratoire de l'INRA Toulouse. Les analyses de texture, carbone total, azote total, phosphore et base échangeable ont été réalisées au laboratoire de l'INRA de Laon.

L'étude pédologique a été réalisée par un pédologue de la CACG (Compagnie d'aménagements des coteaux de Gascogne).

Indice de nutrition azotée et phosphorée :

Formule de calcul de la concentration optimal en azote (Nopt) pour le calcul de l'indice de nutrition azoté (INN)

**Tableau 1 : Formule pour le calcul de la teneur en azote critique**

Culture	BM critique (t/ha)	Nopt si BM < BM crit.	Sinon Nopt =
Blé tendre	1,55	4,4 %	5,35 x BM <sup>-0,042</sup>
Orge d'hiver	1,55	4,4 %	5,35 x BM <sup>-0,042</sup>
Féverole	1	5,08 %	5,08 x BM <sup>-0,32</sup>
Soja	1	5,08 %	5,08 x BM <sup>-0,32</sup>
Tournesol	1	4,9%	4,9 x BM <sup>-0,5</sup>

$$\text{Indice de nutrition azoté (INN)} = \%N \text{ mesuré} / \% N \text{ optimum}$$

Pour toutes les cultures l'**indice de nutrition phosphore (INP)** se calcul comme suit :

$$\text{INP} = 0,15 + 0,065 \times \%N \text{ mesuré.}$$

Interprétation : Si INN ou INP > 0,8 alors il n'y a pas de carence, si INN ou INP < 0,8 alors la culture est carencé (la valeur minimale des indices de nutrition est proche de 0,3).

**Restitutions par les cultures**

**Teneur en carbone** : les teneurs en carbone dans les végétaux sont estimées. Les valeurs sont les suivantes : teneur dans les pailles = 42% et teneur dans les pailles + racines = 44%

**Coefficient pour le calcul des restitutions racinaires** : les prélèvement de cultures réalisés permettent de connaître la biomasse et la composition en éléments minéraux dans les parties aériennes. Pour connaître les quantités de biomasse et d'éléments minéraux dans les racines nous utilisons les valeurs des parties aériennes multipliées par un coefficient :

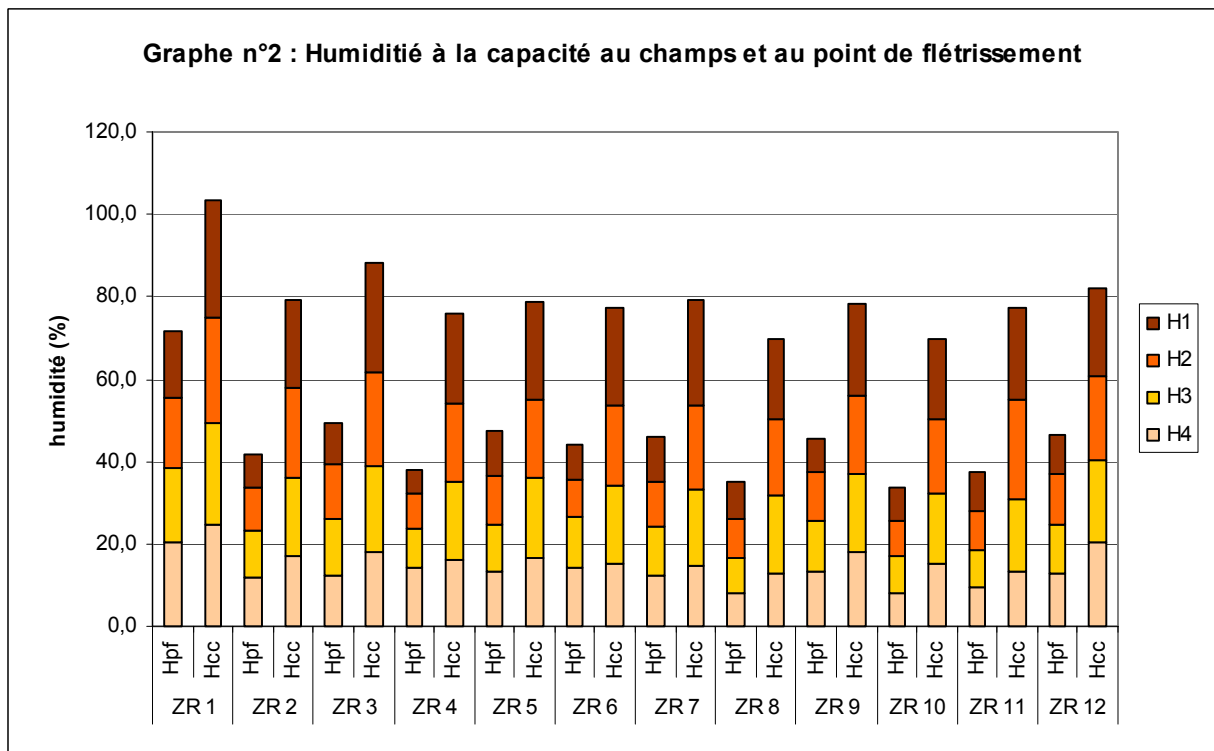
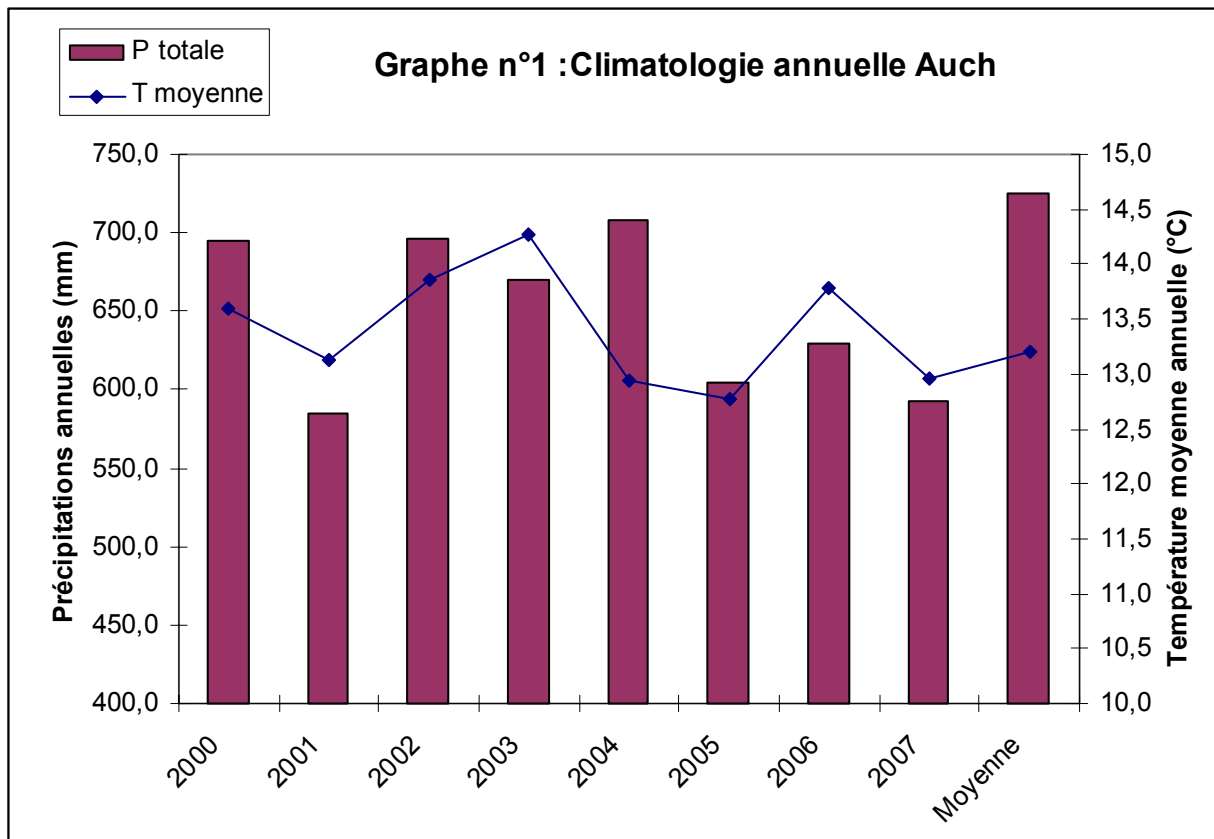
$$\text{Biomasse tige + racine} = \text{biomasse tige} \times 1,25$$

$$\text{Teneur en carbone tige + racine} = (\text{biomasse tige} \times 1,3) \times \%C$$

$$\text{Teneur en azote tige + racine} = (\text{biomasse tige} \times 1,15) \times \%N$$

**Calcul du coefficient de besoin des cultures**

$$\text{Coefficient de besoin (kg d'N/q espéré)} = [(\text{Nabs-Paille} + \text{Nabs Grain}) \times 1,15] / \text{Rendement } 15\% \text{ (q/ha)}$$





## Présentation générale

### 1 La climatologie

Le département du Gers se situe dans une zone d'influence climatique multiple, de tendance océanique à l'ouest puis méditerranéenne à l'Est avec au sud une perturbation liée à la présence de la chaîne des Pyrénées.

Les données météorologiques proviennent du poste d'Auch-Lamothe de Météo France. Sur ce poste nous disposons de relevés depuis 1954 pour les précipitations et depuis 1959 pour les températures.

La température annuelle moyenne sur la période 1959-2007 est de 13,2°C (elle était de 12,9°C sur la période 1959-1999). Les mois les plus froids sont janvier suivi par décembre et février, inversement les mois de juillet et août sont les plus chauds.

Le cumul annuel moyen de précipitation de 1954 à 2007 est de 725,3 mm (738,9 mm de 1954 à 1999). En moyenne les précipitations sont réparties sur l'ensemble des mois de l'année avec un maximum en mai et un minimum en juillet. On remarquera également que le mois de mai est un mois où les précipitations sont fréquentes sous forme orageuse avec des périodes de grêle.

Les fortes chaleurs estivales et les quantités de précipitations plus faibles de l'été font que le déficit hydrique est souvent marqué à partir du mois de juin (Cf. cartes pluviométrie annuelle et précipitation – Evaporation en annexe I).

Sur la période étudiée, les années climatiques sont assez contrastées (Cf. graphe n°1) :

- 2000 et 2002 sont des années assez semblable avec des précipitations proche de la moyenne et une température légèrement supérieure à la moyenne.
- 2001, 2005 et 2007 sont des années plutôt sèche mais sans excès de température
- 2003 présente des précipitations conséquentes mais reste caractérisée par des températures élevées (canicule)
- 2004 est une année plutôt fraîche et humide
- 2006 est une année chaude avec de faibles précipitations.

Globalement par rapport à la moyenne sur plus de 50 ans nous observons une baisse des précipitations et une augmentation des températures. Les diagrammes ombrothermiques des différentes années sont présentées en annexe II.

### 2 La ferme expérimentale et les zones références

La ferme de La Hourre est d'une superficie de 55 ha constituée de 50,5 ha de surface agricole utile le reste étant composé d'un bois situé en haut du domaine et bordant les parcelles LH2-3. Le domaine est situé en périphérie de la ville d'Auch en bordure de la route de Pessan (Cf. carte n°1, en annexe). Les parcelles s'étendent sur un système de coteaux d'orientation Est-Ouest avec présence de pentes moyennes à fortes. Globalement on peut dire que la ferme se situe sur des sols appartenant à la classe des argilo-calcaires (calcosol), les différences entre sols proviendront en grande partie de leurs épaisseurs (Cf. carte n°2, en annexe).

L'ensemble du domaine a été caractérisé par un pédologue de la CACG (Compagnie d'aménagements des Coteaux de Gascogne) pendant l'hiver et le printemps 2000. Sur la même année une culture de tournesol a été semée puis suivi sur l'ensemble du domaine afin d'apprécier les potentialités des sols.

**Tableau 1 : précisions sur les zones références**

ZR	Parcelle	Sol	Profondeur	Topologie	Orientation	Remarque
1	LH7	Calcisol fluviq, argileux en profondeur	Profond	Plat		Zone à fort potentiel
2	LH6 B	Calcisol	Profond	Faiblement pentue (bas de coteau)	Sud	Zone à fort potentiel
3	LH6 B	Calcisol, argileux en profondeur	Profond à hydromorphie temporaire	Plat (bas de coteau)	Sud	Zone à forte présence de moutarde et sanve
4	LH6 B	Rendosol de dépôts mæstrichtiens, riche en fer	Superficiel (haut de coteau)	Pentue	Sud, Sud-Est	Zone à faible potentiel
5	LH6 A1	Calcisol	Superficiel (haut de coteau)	Pentue	Sud	Zone à faible potentiel
6	LH6A2	Calcisol	Intermédiaire	Pentue	Nord	Zone à potentiel moyen
7	LH6 A1	Calcisol	Profond	Faiblement pentue (bas de coteau)	Sud	Zone à fort potentiel
8	LH8	Calcisol fluviq	Intermédiaire à profond	Plat		Zone à potentiel moyen
9	LH4	Calcisol	Intermédiaire	Pentue	Sud	Parcelle très hétérogène
10	LH1	Rendosol caillouteux de marne	Superficiel (haut de coteau)	Plat		Zone à plus faible potentiel
11	LH1	Calcisol	Intermédiaire à profond	Pentue	Nord	Zone à potentiel moyen
12	LH1	Calcisol	Profond	Plat		Zone à fort potentiel

Suite à ces deux travaux, 12 zones de sols appelées zones références (ZR) ont été mise en place selon les types de sols identifiés et leur topologie (parcelles de vallée et parcelle de coteaux orientée au sud ou au nord). Des précisions sur zones références sont données sur la carte n°3, et dans le tableau 1.

### **2.1 Texture des ZR :**

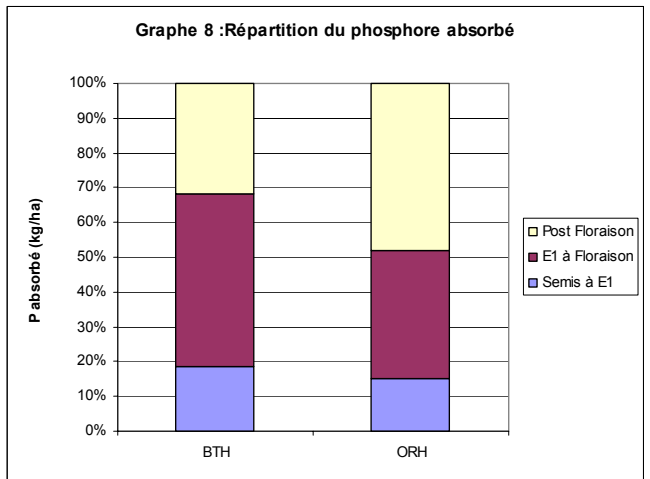
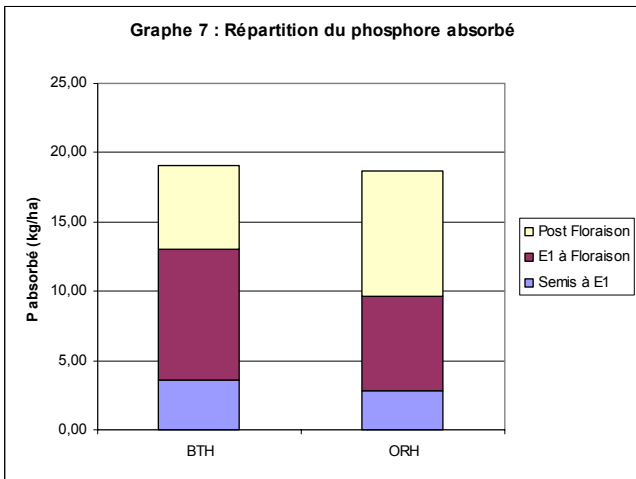
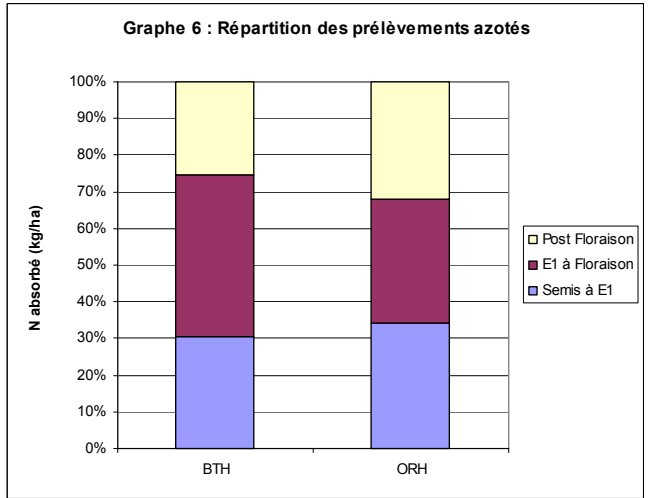
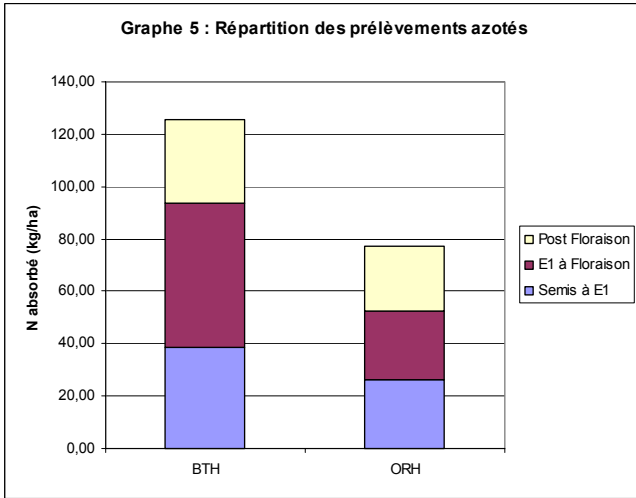
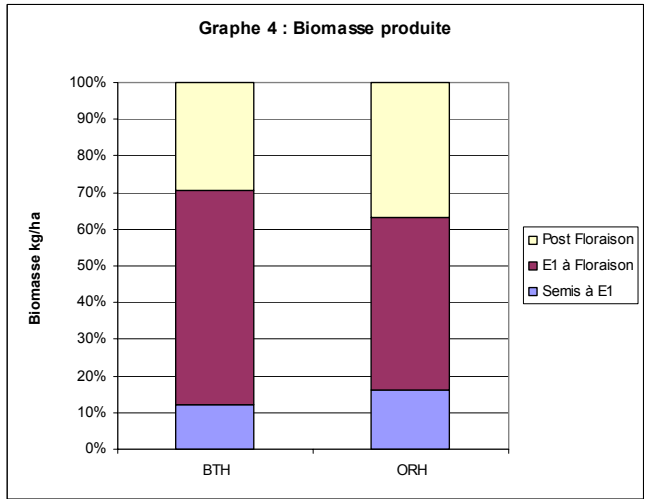
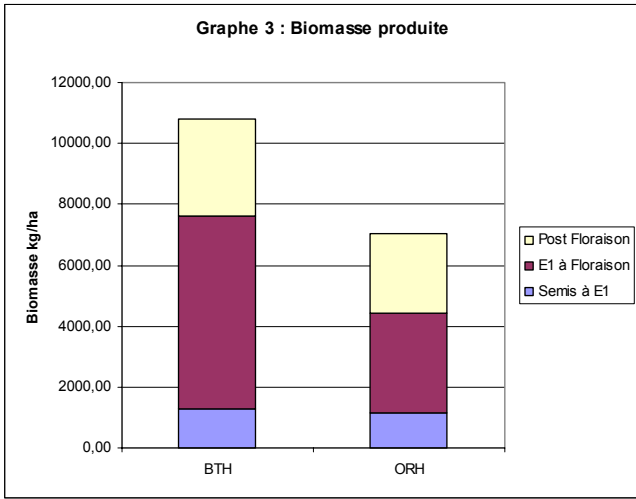
Les analyses de sols réalisées sur les prélèvements de mars 2002 permettent de mieux connaître la texture des différentes ZR (texture réalisée après décarbonatation). Les résultats sur l'horizon 0-60 cm sont présentés en annexe III.

Lors de la réalisation des analyses d'azote minéral, le pourcentage d'humidité de la terre est mesuré. Les valeurs de mars et de juillet, nous apportent des informations sur la réserve en eau des ZR (Cf. graphe n°2).

### **2.2 Les rotations pratiquées**

Du point de vue des rotations pratiquées, le domaine peut être divisé en deux îlots distincts :

- **Parcelles de vallée** LH7 (ZR1) et LH8 (ZR8) situées de chaque côté du ruisseau le Lastran, se sont les deux seules parcelles du domaine pouvant accueillir du soja en sec. Cette culture dégage les marges les plus élevées en AB (Cf. synthèse partie I), aussi sur ces deux parcelles le soja est présent une année sur deux en alternance avec une céréales à pailles. Cette rotation à l'avantage d'alterner chaque année une culture d'hiver et une culture d'été, ainsi que l'alternance légumineuse – non légumineuse. De part cette alternance et aussi du fait que le soja se désherbe aisément, ces deux parcelles présentent de faibles infestations en adventices annuelles.
- **Les parcelles de coteaux** : pour ces parcelles la mise en place de rotation alternant culture d'été et culture d'hiver est difficile à réaliser car les sols ne permettent la mise en place (en conditions sans irrigation) que d'une seule culture d'été : le tournesol. Sur ces parcelles, la rotation intégrera systématiquement trois cultures : féverole, blé et tournesol. La rotation est allongée par la mise en place d'une céréale secondaire : l'orge d'hiver (moins exigeant en azote qu'un blé et plus compétitif vis à vis des adventices) et parfois l'intégration d'une année de jachère avec du trèfle violet (Cf. graphe assolement en annexe IV). Enfin certaines années la féverole fut remplacée par une autre légumineuse comme la lentille.



## **Le suivi des cultures :**

Il est encore un peu tôt pour croiser les résultats des différentes cultures avec les types de sol des ZR, car les cultures ont été présentes au maximum deux années sur une même ZR. Nous regarderons donc le développement moyen des cultures sur l'ensemble des ZR.

### **1 Le blé tendre d'hiver.**

#### ***1.1 Composante du rendement***

Sur la période 2002 à 2007 (année de récolte) la date moyenne du semis est le 12 novembre, ce qui correspond aux préconisations actuelles. La densité moyenne semée est de 352,8 grains/m<sup>2</sup>. Le nombre de plante levée est en moyenne de 287,3 plantes/m<sup>2</sup> correspondant à une perte moyenne de 18,5% ce qui est tout à fait acceptable en AB. Ce résultat est d'autant plus satisfaisant que les semences étaient d'origine fermière à l'exception de deux ZR (ZR9 en 2004 et ZR8 en 2007).

Le nombre moyen d'épis/m<sup>2</sup> s'élève à 395 épis/m<sup>2</sup> valeur qui est considéré comme l'objectif de peuplement épis en AB dans le sud-Ouest de la France (400 épis/m<sup>2</sup>). Cette densité épi correspond à un tallage de 1,39.

La fertilité moyenne est de 29,34 grains/épi ce qui permet d'atteindre une densité grains de 11 904 grains/m<sup>2</sup>, valeur également satisfaisante en AB.

Le PMG moyen (à 0% d'humidité) est de 37,2 g, ainsi la production moyenne de blé tendre sur l'ensemble des ZR s'élève à 45,35 q/ha (à 0% d'humidité, en rendement manuel).

La teneur en protéine moyenne (N Dumas x 5,7) s'élève à 10,95%, avec une plage allant de 9,2% à 12,4 %.

Pour ce qui est des stades de développement, le stade épi 1 cm est apparu en moyenne au 27 mars (pour un semis moyen au 12 novembre), la floraison est apparue le 21 mai et la maturité physiologique au 1<sup>er</sup> juillet.

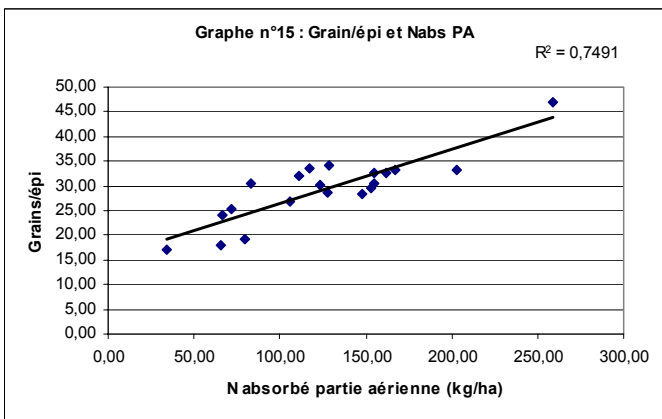
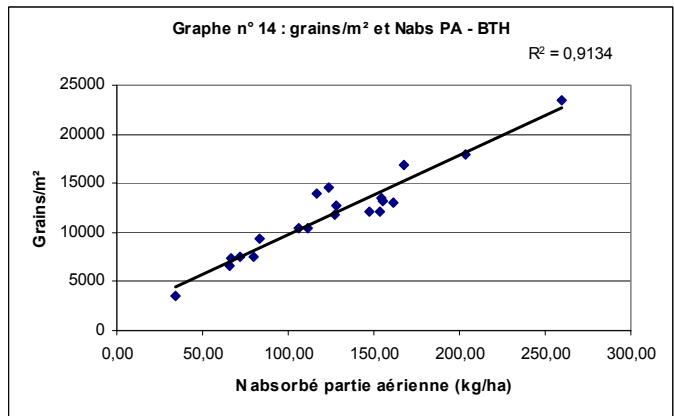
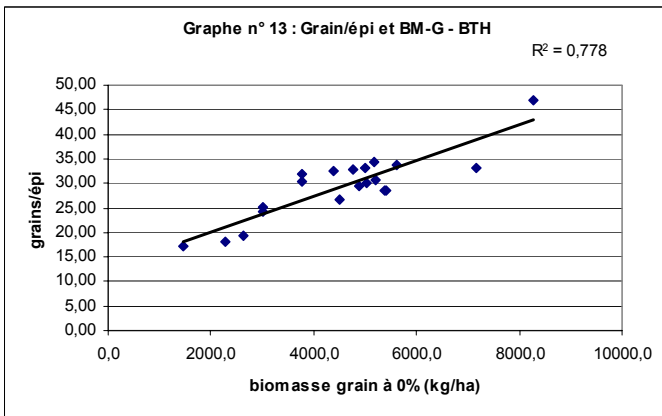
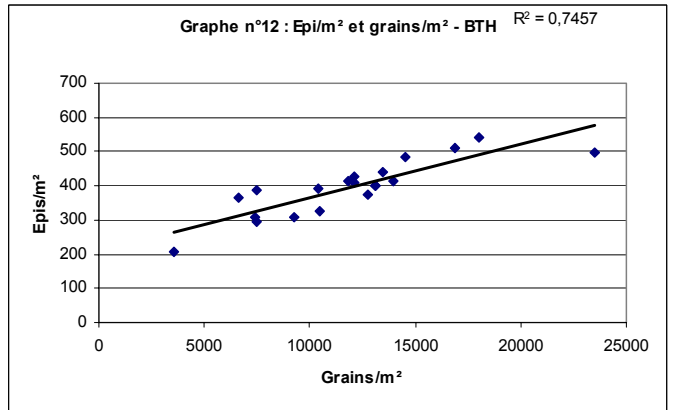
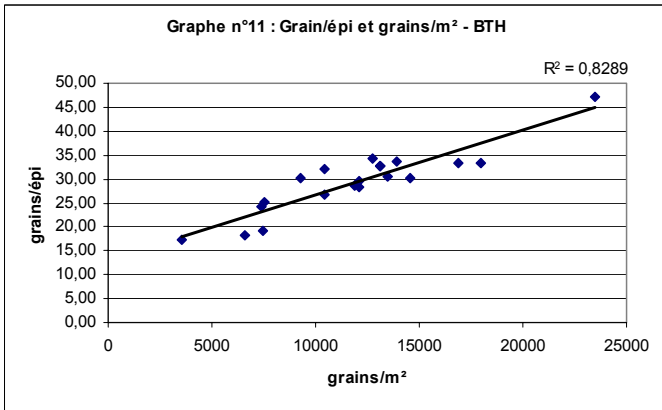
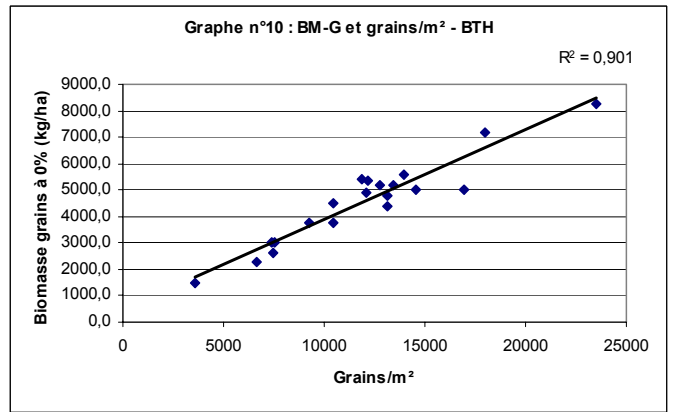
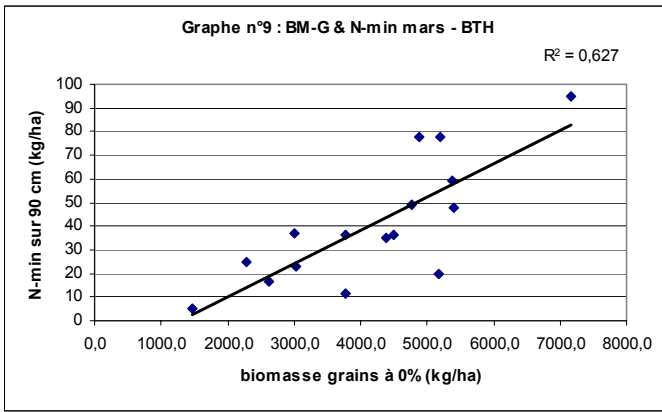
#### ***1.2 Biomasse et nutrition minérale (Cf. graphe n°3 à 8)***

Les cultures de blés ont été suivies à trois stades : épi 1 cm, floraison et récolte avec à chaque fois caractérisation de la biomasse produite, et des teneurs en azote et en phosphore et calcul des quantités d'azote et de phosphore absorbées.

Au stade épi 1 cm, la biomasse moyenne mesurée est de 1,29 t<sub>MS</sub>/ha correspondant à un prélèvement de 38,6 kg d'azote/ha et de 3,56 kg de phosphore/ha (il s'agit ici de l'élément P et non pas du P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Ces valeurs correspondent à un INN de 0,69 et un INP de 0,78. Ces valeurs montrent qu'en système de grandes cultures biologiques les blés sont carencés en azote dès le stade épi 1 cm. L'indice pour le phosphore montre que nous sommes à la limite du seuil de carence.

A la floraison la biomasse moyenne est de 7,63 t<sub>MS</sub>/ha pour des prélèvements de 93,9 kg d'N/ha et de 13,05 kg de P/ha. A ce stade les blés présentent un niveau de carence élevé avec un INN de 0,55. Pour le phosphore nous n'observons pas de carence à ce stade (INP = 0,81) probablement du fait que la carence en azote est nettement plus forte.

A la récolte la biomasse produite est de 10,8 t<sub>MS</sub>/ha qui se répartissent à 42% de grain et 58% de paille soit un indice de récolte de 1,43. Les prélèvements azotés totaux s'élèvent à 125,8 kg d'N/ha dans les parties aériennes qui se répartissent 70,3% dans les grains et 29,7% dans les pailles.



Au cours du cycle cultural, les prélèvements azotés sont de 31% du total jusqu'au stade épi 1 cm, de 44% lors de la montaison (entre épi 1 cm et floraison) et de 25% en post floraison.

Pour le phosphore les prélèvements totaux s'élève à 19,1 kg de P/ha qui se répartissent à 76,4% dans les grains et 23,6% dans les pailles. Les prélèvements sont de 19% entre la levée et le stade épi 1 cm, de 50% pendant la montaison et de 32% en post floraison.

### ***1.3 Rendement et azote du sol (Cf. graphe n°9)***

Chaque année des mesures d'azote minéral (N-N<sub>03</sub> et N-NH<sub>4</sub>) sont réalisées sur 90 cm en novembre et en mars autour du stade épi 1 cm et parfois après récolte. On constate une corrélation entre la quantité d'azote minérale disponible dans le profil en sortie d'hiver et le rendement final des blés (R<sup>2</sup> = 0,63). Quatre points sortent de la corrélation (Cf. graphe n°9). Deux sont situés au dessus de la courbe, il s'agit des ZR 3 et 4 sur le cycle 2004-2005. L'explication provient peut être d'une forte contrainte hydrique présente en mai et juin ayant pu limiter les prélèvements d'azote. Les deux autres points se situent sous la courbe, il s'agit des ZR 11 et 12 en 2005 et 2006, sur cette année il semble y avoir eu du lessivage en mars qui fait que les quantités disponibles lors du prélèvement étaient supérieures à celles réellement disponibles pour les cultures.

Ces résultats montrent que les fournitures du sol seules (les apports de fertilisant ont lieu après le prélèvements de sol) sont un facteur explicatif du rendement final, ce qui tend à prouver l'importance des précédents légumineuse pour le blé tendre en terme de reliquat azotés.

### ***1.4 Approche corrélative simple***

Des approches corrélatives simples (corrélation linéaire) permettent de mieux comprendre le rôle des composantes et de l'alimentation minérale du blé sur le rendement final.

#### **Influence des composantes sur le rendement final (graphes n° 10 à 13)**

Comme cela est régulièrement observé, il existe une corrélation étroite entre la densité grain (grains/m<sup>2</sup>) et le rendement final (R<sup>2</sup> = 0,90). Cette composante de densité grain est elle-même fortement corrélée par le nombre de grains/épi (R<sup>2</sup> = 0,83) et de façon moindre par la densité épi (R<sup>2</sup> = 0,76). Enfin on remarque également une corrélation entre le rendement et la fertilité épi (R<sup>2</sup> = 0,78). Par contre nous n'observons pas de corrélation entre le rendement et la densité de plante levée ni entre le rendement et le PMG.

Ainsi l'ensemble de ces résultats montre que la composante de densité grains est celles influant le plus sur le rendement. Cette composante dépend directement de la fertilité épi et un peu moins de la densité épis.

Ces éléments confirme le fait que la date d'apport des fertilisants doit être raisonné pour que la mise à disposition de l'azote se fasse sur la période de la montaison afin de favoriser le statut azoté du blé à la floraison.

#### **Teneur en protéine**

Pour les teneurs en protéines nous n'observons aucune corrélation linéaire simple, ni avec les composantes du rendement, ni avec les quantités d'azote absorbée, ni avec les quantités d'azote minérales disponibles dans le profil. Les corrélations avec l'indice de nutrition azotée ou les quantités d'azote absorbées à la floraison sont faible (R<sup>2</sup> respectif de 0,39 et 0,38), de même qu'avec les quantités totales d'azote absorbée (R<sup>2</sup> = 0,45).

La non corrélation entre le rendement et la teneur en protéine montrerait qu'il n'y a pas de lien entre les deux critères, mais les valeurs proviennent de variétés différentes, ce qui fausse en partie les résultats car en AB l'obtention de teneur en protéine élevée passe avant tout par le choix variétal.





### **Influence de la nutrition minérale sur les composantes (graphes n°14 et 15)**

La composante de densité grains est fortement corrélée à la quantité totale d'azote absorbée dans les parties aériennes ( $R^2 = 0,91$ ). Les corrélations réalisées avec cette même composante mais avec les quantités d'azote absorbées au stade épi 1 cm et floraison sont moins marquées ( $R^2$  respectif de 0,53 et 0,66). Ainsi c'est bien la quantité totale d'azote qui influe sur la densité grains plus que la période de prélèvement (avant ou après floraison). Cette remarque est confirmée par les corrélations entre cette même composante et les indices de nutrition azoté au stade épi 1 cm ( $R^2 = 0,68$ ) et à la floraison ( $R^2 = 0,54$ ).

Pour la composante de fertilité épi, on observe également une corrélation assez forte avec la quantité totale d'azote absorbé dans les parties aériennes ( $R^2 = 0,75$ ). Les corrélations entre cette composante de grains/épi et les indices de nutrition azotée au stade épi 1 cm et floraison présente un  $R^2$  équivalent de 0,59.

### **1.5 Discussion BTH**

Les résultats présentés ci-dessus montrent que le rendement dépend avant tout de la densité grains. Cette dernière dépend principalement du nombre de grains par épi et de façon moindre de la densité épi.

La quantité d'azote disponible en sortie d'hiver est également corrélée avec le rendement, mais c'est principalement les corrélations avec les quantités totales d'azotes absorbées qui restent les plus précises. Pour les composantes de densité grain et de fertilité on observe de bonne corrélation avec les quantités totales d'azote absorbées. Ces composantes présentent également des corrélations avec les quantités d'azote absorbées à la floraison.

Ainsi la disponibilité en azote semble bien être le premier facteur limitant pour la culture du blé tendre en AB. L'effet azote semble assez marqué car sur la période étudiée on peut considérer que les autres facteurs limitants (adventices et maladies) ont été plutôt bien maîtrisés sur le domaine et sont donc faiblement entrés en concurrence avec le rendement final. Ceci amène une précision, même si les corrélations précitées montrent que l'alimentation azotée et notamment à la période de la floraison agit favorablement sur le rendement, l'objectif n'est en aucun cas de tendre vers des INN supérieur à 0,8 (limite du seuil de carence), car cela risque également de favoriser les autres facteurs limitants qui jusqu'à présent étaient restés peu préjudiciables (adventices et maladies).

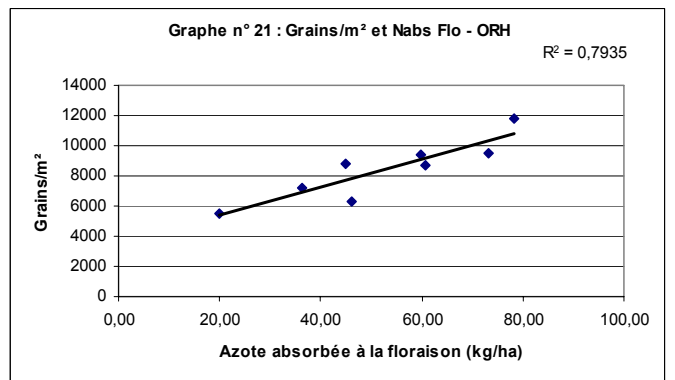
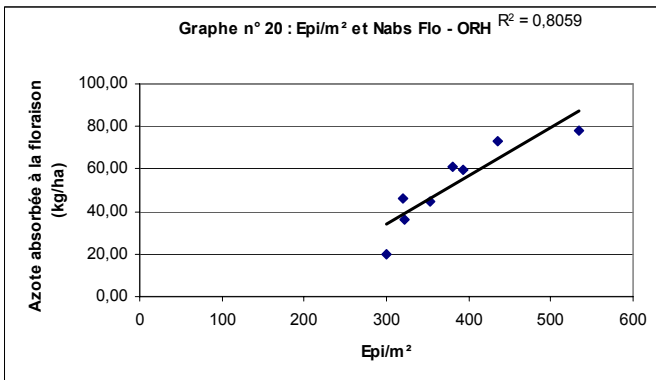
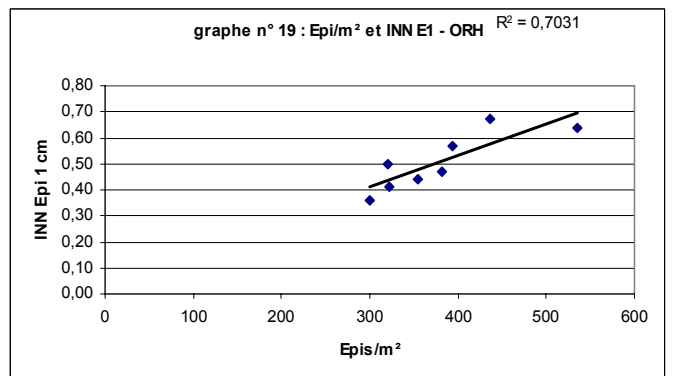
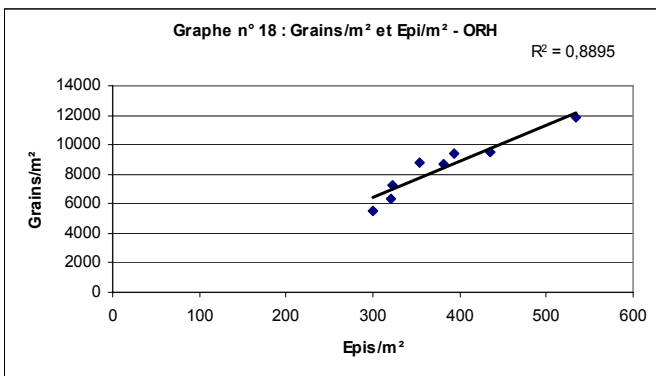
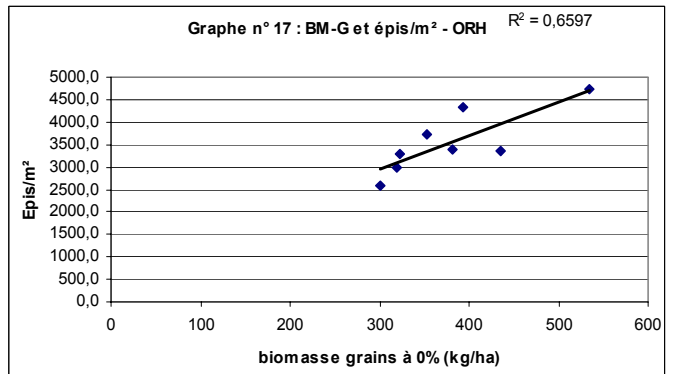
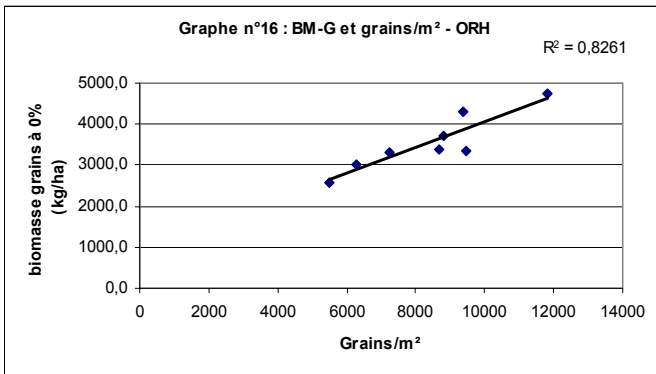
## **2 L'orge d'hiver**

### **2.1 Composantes du rendement**

De 2002 à 2007 la date moyenne de semis de l'orge d'hiver est le 14 novembre. La densité semée moyenne est de 378 grains/m<sup>2</sup> (réalisée avec des semences de ferme chaque année sauf pour les semis 2005), la densité moyenne levée est de 257,5 plantes/m<sup>2</sup> soit une perte moyenne de 32%.

La densité épi moyenne est de 380,1 épi/m<sup>2</sup> ce qui correspond à un tallage de 1,52. Sur l'ensemble de la période étudiée seul des orges à 2 rangs ont été semés, la fertilité moyenne est de 22,0 grains/épi ce qui donne une densité grains moyenne de 8 390 grains/m<sup>2</sup>. Le PMG à 0% d'humidité est de 41,35 g, la production à 0% est de 35,5 q/ha.

Les dates d'apparition des différents stades sont les suivantes : épi 1 cm le 23 mars, floraison le 11 mai et maturité physiologique le 18 juin.



## **2.2 Biomasse et nutrition minérale (Cf. graphe n°16 à 21)**

Au stade épi 1 cm, la biomasse moyenne des orges est de 1,14 t<sub>MS</sub>/ha qui correspond à des prélèvements de 26,2 kg d'N/ha et de 2,8 kg de P/ha. L'INN au stade épi 1 cm est de seulement 0,51 ce qui montre que les orges sont fortement carencés dès le début de leur cycle. A la floraison la biomasse est de 4,45 t<sub>MS</sub>/ha qui correspond à des prélèvements de 52,4 kg/ha d'azote et de 9,7 kg/ha de phosphore. A la floraison l'INN présente une valeur très basse (0,42) mais un INP satisfaisant (1,05).

A la récolte, la biomasse aérienne totale est de 7,04 t<sub>MS</sub>/ha qui se répartisse en 49,6% de paille et 50,4% de grain soit un indice de récolte proche de 1, ce qui diffère du blé tendre (1,43).

A la récolte les orges ont en moyennes prélevées 77 kg d'N/ha et 18,7 kg de P/ha qui se répartisse respectivement en 29,5% dans les pailles et 70,5% dans les grains pour l'azote et 30,9% dans les pailles et 69,1% dans les grains pour le phosphore.

Les orges réalisent leur biomasse principalement courant montaison (47% du total) et pendant la période après la floraison (37%). Par contre l'absorption d'azote est plus répartie dans le temps avec 34% du total avant le stade épi 1cm, 34% courant montaison et 32% en post floraison. Pour le phosphore, les prélèvements sont maximum après la floraison avec 48% du total (37% pendant la montaison et 15% avant le stade épi 1 cm).

## **2.3 Approche corrélative simple**

Comme pour le blé tendre on observe une corrélation étroite entre le rendement et la densité grain ( $R^2 = 0,82$ ), vient ensuite une corrélation entre le rendement et la densité épi ( $R^2 = 0,66$ ) et plus faiblement avec la fertilité épi ( $R^2 = 0,42$ ). Ainsi contrairement aux blés, la composante de densité épis est plus importante que celle de la fertilité pour obtenir du rendement. Si on regarde la composante de densité grain, elle est elle aussi corrélée avec la densité épi ( $R^2 = 0,89$ ) et faiblement avec la fertilité épi ( $R^2 = 0,37$ ).

La composante de densité épi est bien corrélée avec l'INN au stade épi 1 cm ( $r^2 = 0,70$ ) et cette même composante et celle de densité grains sont bien corrélés avec l'INN à la floraison (respectivement  $R^2 = 0,77$  et  $R^2 = 0,75$ ). Ces deux dernières corrélation sont encore plus marquées si on prend les quantités d'azotes absorbées à la floraison ( $R^2 = 0,80$  et  $0,79$ ).

Ainsi pour l'orge, comme pour le blé, la disponibilité en azote est le premier facteur limitant. L'orge pour réaliser du rendement en AB doit donc avoir une mise à disposition de l'azote assez tôt (plus tôt que pour le blé) car elle réalise son rendement principalement via sa densité épi et récupère peu via la fertilité épi. Le blé tendre semble présenter un comportement différent, il récupère plus tardivement via sa fertilité épi. Cette distinction provient surtout du fait que les orges sont à deux rangs et donc qu'ils compensent peu par le nombre de grains/épi.

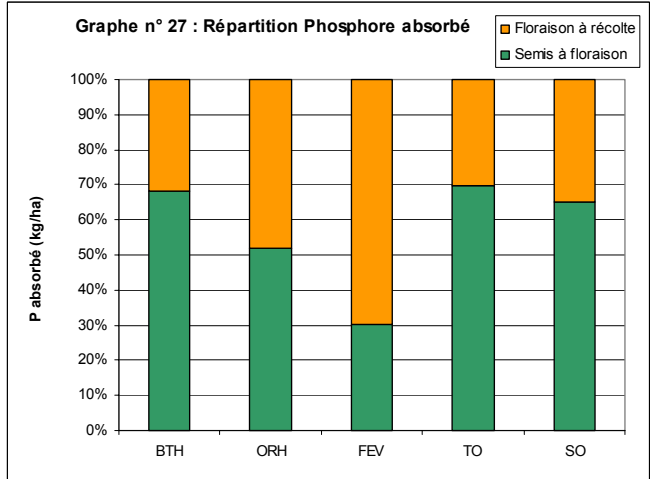
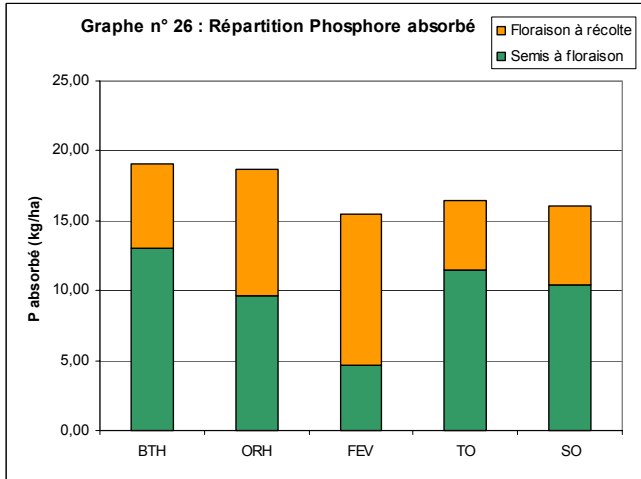
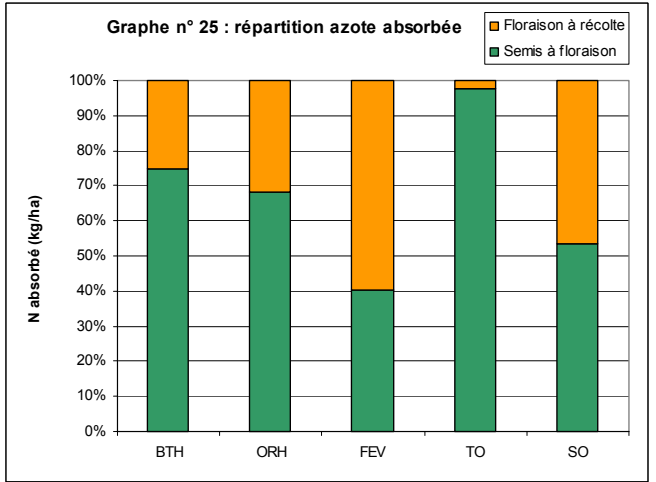
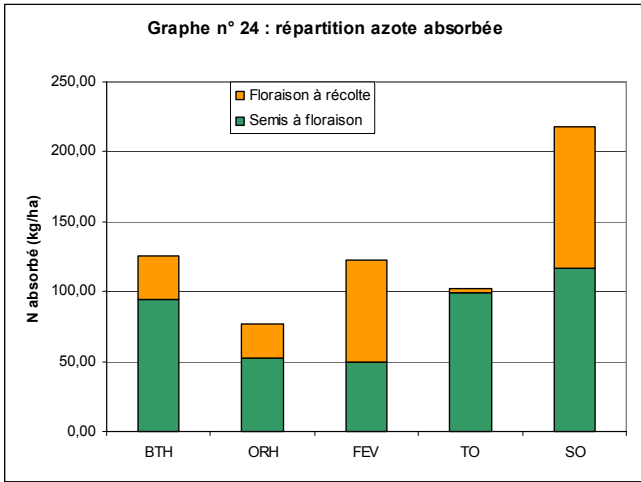
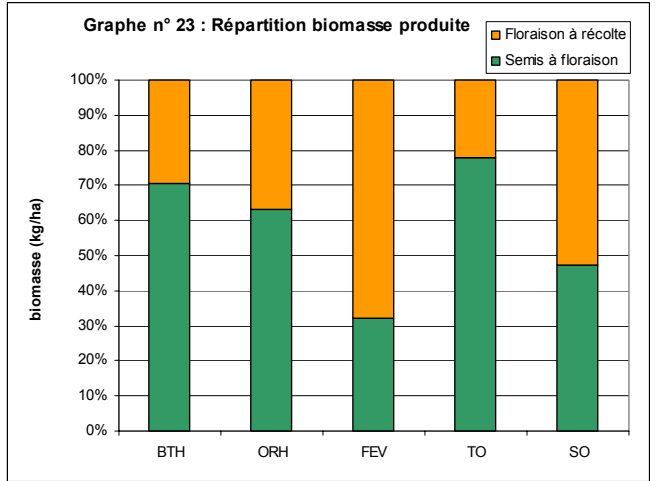
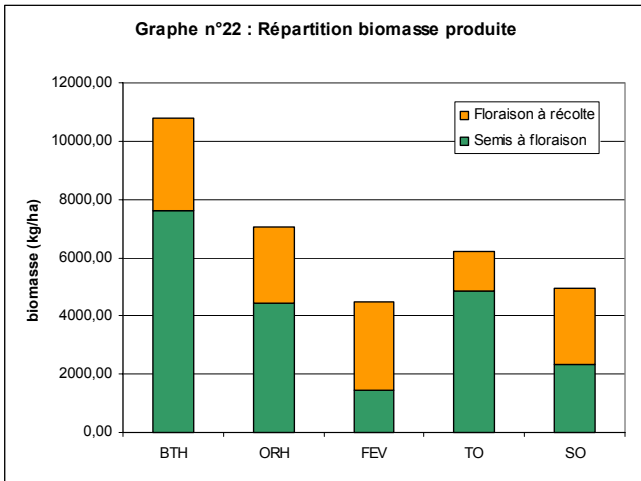
# **3 La féverole d'hiver**

## **3.1 Composantes du rendement**

La féverole d'hiver est semée après les céréales à paille. La date moyenne de réalisation est le 3 décembre à une densité moyenne de 28 grains/m<sup>2</sup>. La densité gousse moyenne est de 188,1 gousses/m<sup>2</sup> avec en moyenne 2,68 grains/gousse ce qui conduit à une densité grains totale de 527,1 grains/m<sup>2</sup>. Le PMG moyen à 0% est de 407,2 g.

La date moyenne à laquelle le prélèvement floraison a été réalisé est le 7 mai pour une maturité physiologique au 30 juin. Le rendement à 0% est de 22,6 q/ha.

La teneur en protéine moyenne est de 27% (%N mesuré x 6,25).



### **3.2 Biomasse et nutrition minérale (Cf. graphes n° 22 à 27)**

A la floraison les féveroles présentent une biomasse moyenne de 1,44 t<sub>MS</sub>/ha qui correspond à des prélèvements de 49,3 kg d'azote/ha et 4,7 kg de phosphore/ha. A ce stade est bien que la féverole soit une légumineuse, l'INN moyen est de 0,77 ce qui montre que les féveroles sont carencées vis-à-vis de l'azote, par contre elles ne semblent pas carencées vis-à-vis du phosphore avec un INP de 0,88. Pour que les féveroles soient carencées en azote deux grandes hypothèses peuvent être étudiées :

- Un défaut au niveau du potentiel de nodulation, cette remarque provient du fait que les nodules ont des besoins en phosphore important qui pourrait ne pas être satisfait sur les sols du domaine compte tenu des pH élevés qui bloque la solubilité du phosphore.
- Un défaut au niveau de l'activité de la nodulation engendré par la pression des sitones, ravageurs régulièrement observés sur le site et entraînant de nombreuses morsures sur feuilles (adultes) et dont les larves se nourrissent des nodules.

A la récolte la biomasse totale est de 4,45 t<sub>MS</sub>/ha qui se répartissent quasiment à moitié moitié entre les tiges et les grains (49,1% de tige et 50,9% de grain). Pour les prélèvements azotés, les quantités présentes dans les parties aériennes sont de 122,9 kg d'N/ha qui se répartissent à 80,8% dans les grains et 19,2% dans les tiges. Pour le phosphore les prélèvements totaux sont de 15,4 kg/ha avec 85,9% dans les grains et 14,1% dans les tiges.

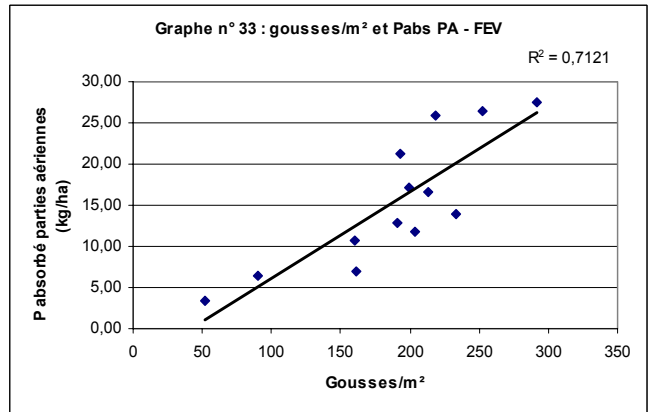
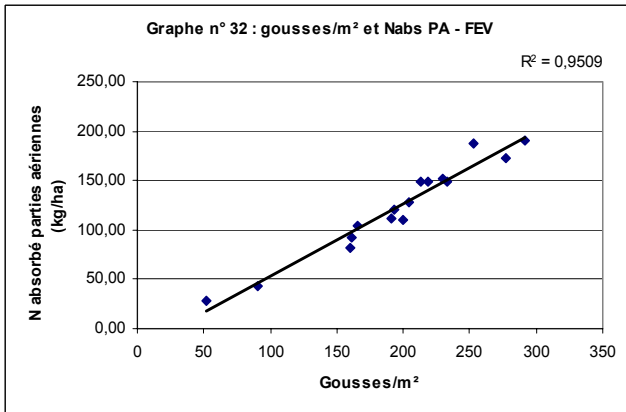
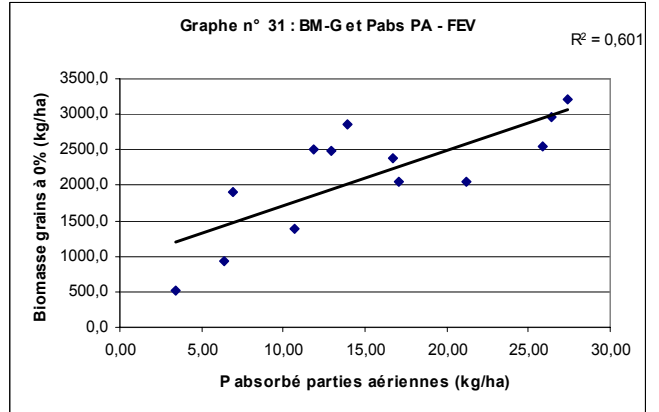
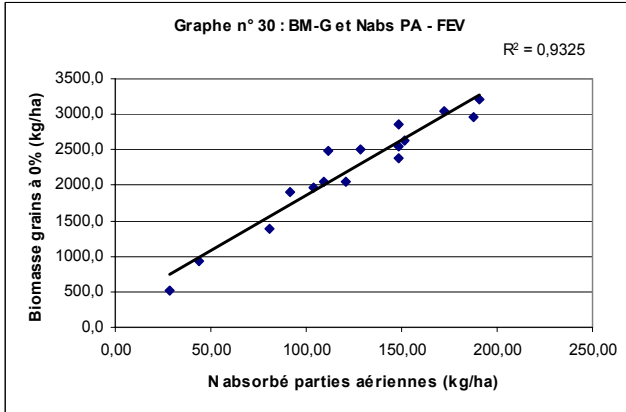
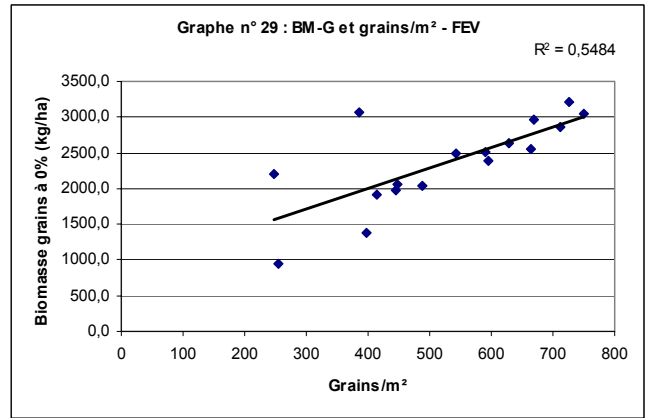
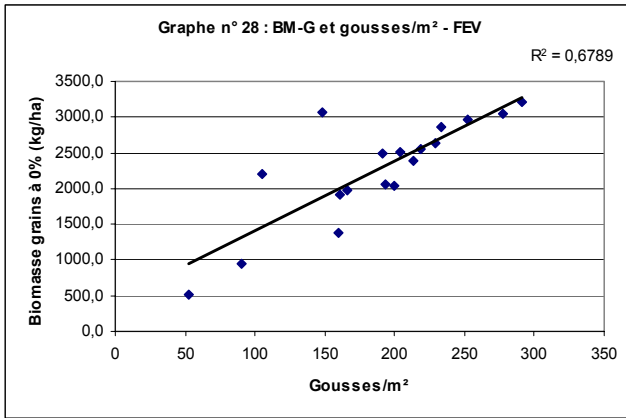
La féverole réalise la majeure partie de sa croissance en fin de cycle, la biomasse totale est réalisée à 68% après la floraison, les prélèvements d'azote sont réalisés à 60% après la floraison et ceux de phosphore à 70%.

### **3.3 Approche corrélative simple (Cf. graphes n° 28 à 33)**

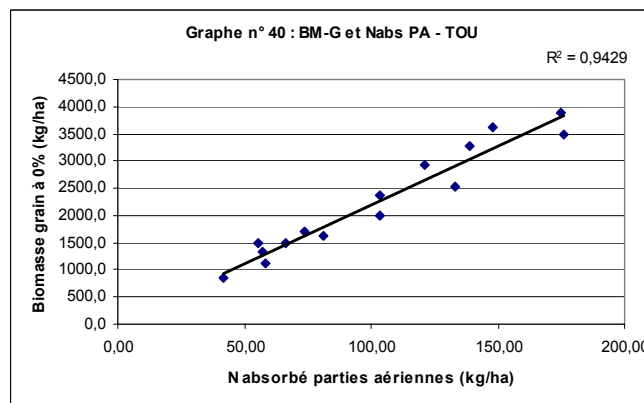
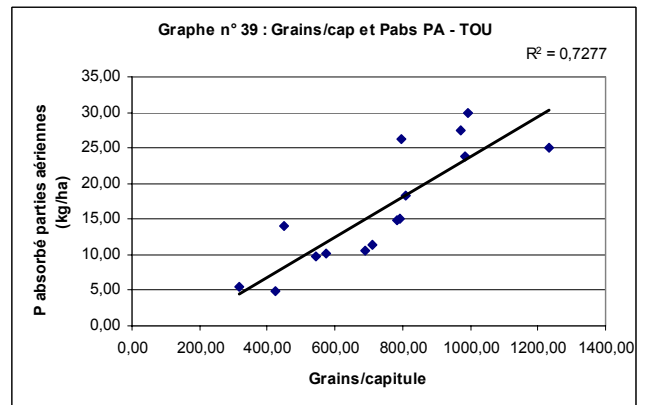
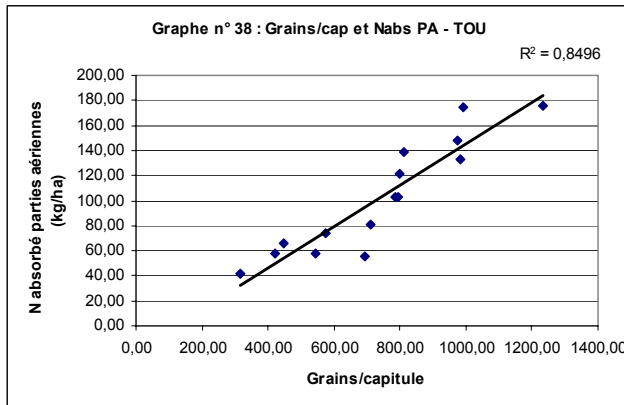
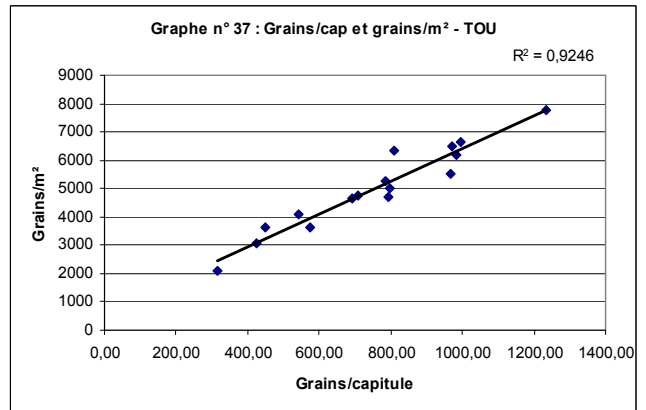
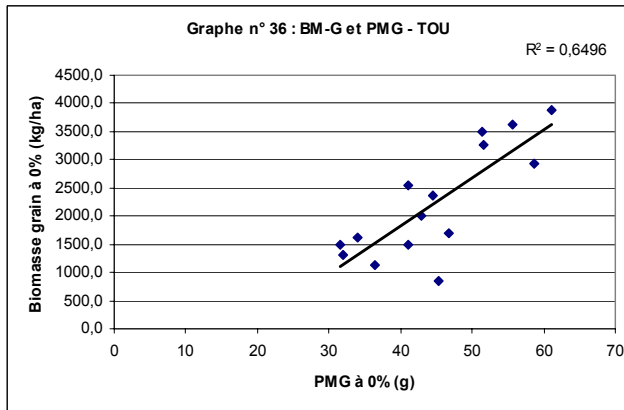
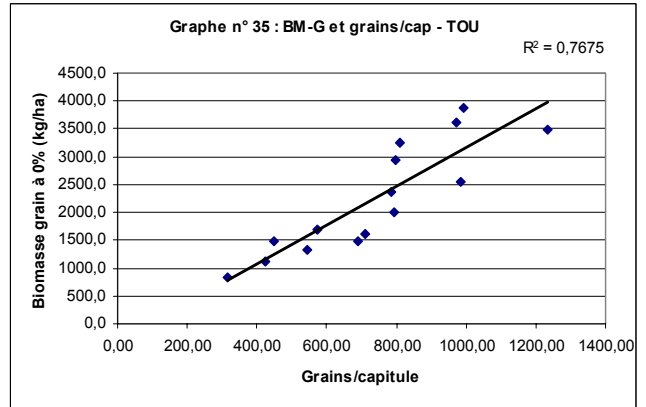
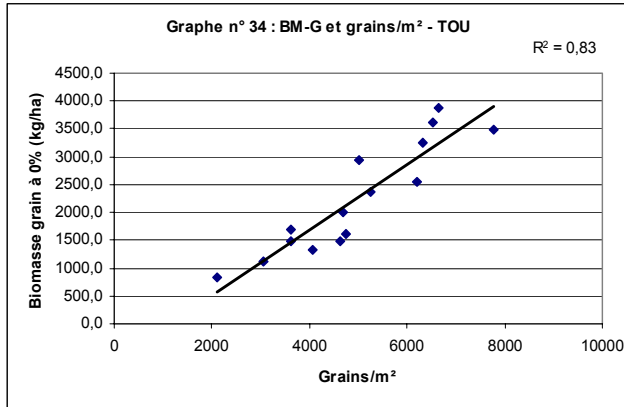
Contrairement aux autres cultures, nous n'observons pas de corrélation nette entre le rendement et les composantes. La plus forte relation observée est entre le rendement et la densité gousse ( $R^2 = 0,68$ ). La corrélation avec la densité grains existe mais reste peu précise ( $R^2 = 0,54$ ). Le nombre de grains par gousse semble être une caractéristique liée à l'espèce ou à la variété car elle reste stable au cours du temps.

Que ce soit pour le rendement ou pour la composante de densité gousse, nous observons des corrélations fortes avec les quantités totales d'azote ( $R^2 = 0,95$ ) et de phosphore ( $R^2 = 0,71$ ) prélevés.

Les féveroles semblent donc être limitées par leur prélèvement azotés, qui eux-mêmes vont limiter le nombre de gousses. Il convient donc pour maximiser le rendement de la féverole de favoriser son alimentation azotée, c'est-à-dire de travailler sur la nodulation soit en jouant sur les teneurs en phosphore si elles sont limitantes, soit en développant des études permettant de mieux lutter (ou d'éviter) les attaques de sitones.









## 4 Le Tournesol

Avant de regarder les données du tournesol, il convient de situer cette culture dans les rotations de La Hourre. Une des bases de l'AB et de la gestion des adventices et la mise en place d'une rotation alternant le plus souvent possible les cultures d'hiver et les cultures d'été (ce qui casse le cycle de développement des adventices). Sur les parcelles de coteaux (toutes les parcelles sauf LH7 et LH8), la seule culture d'été présente est le tournesol, les autres cultures ne peuvent être conduites de part l'absence d'irrigation (maïs, soja). Inversement sur les deux parcelles de vallée (LH7 et LH8) le soja est mis en place régulièrement car il permet de dégager des marges importantes. Ainsi la culture du tournesol se situera toujours sur des zones de coteaux avec des sols hétérogènes et souvent peu profonds. Cette présence du tournesol sur les coteaux explique en partie les faibles rendements mesurés car les potentialités des sols sont également limitées (principalement les hauts de coteaux).

Les tournesols ont été semés à une densité de 75 000 grains/ha à une date moyenne du 11 mai. En moyenne la floraison est atteinte au 23 juillet et la maturité au 16 septembre.

### 4.1 Composantes du rendement

En moyenne les tournesols ont été semés le 11 mai. La densité est de 75 000 grains/ha. Le nombre de tournesol levé est en moyenne de 65 000 plantes/ha ce qui correspond à une perte moyenne de 13%. Cette faible perte provient sans doute du fait que les semis un peu tardifs sont réalisés sur des sols bien réchauffés ce qui favorise la vigueur au départ et limite les attaques de ravageurs du sol y compris les limaces.

La fertilité capitule est en moyenne de 752,6 grains/capitule ce qui correspond à une densité grain de 4 987,8 grains/m<sup>2</sup>. Le PMG à 0% est de 44,6 g avec une teneur en huile élevée (51,4% d'huile en moyenne).

Au niveau des stades de développement, la floraison eue lieu en moyenne le 23 juillet pour une maturité physiologique au 16 septembre.

### 4.2 Biomasse et nutrition minérale (Cf. graphes n° 22 à 27)

A la floraison les tournesols présentent une biomasse moyenne de 4,8 t<sub>MS</sub>/ha, qui correspond à des prélèvements de 99,6 kg d'azote et de 11,5 kg de phosphore par hectare. Ces valeurs correspondent à un INN moyen à la floraison de 0,82 et un INP moyen de 0,88. Ainsi le tournesol est la culture, à l'exception du soja, qui présente les plus faibles carences azotées à la floraison.

A la récolte, la biomasse des tournesols est de 6,2 t<sub>MS</sub>/ha qui se répartissent à 63,8% dans les tiges et 36,2% dans les grains. Les prélèvements azotés totaux sont en moyenne de 102,1 kg/ha qui se répartissent à 38,8% dans les tiges et 61,2% dans les grains. Pour le phosphore les prélèvements totaux sont de 16,45 kg/ha qui se répartissent à 26% dans les tiges et 74% dans les grains.

Au niveau du cycle cultural, le tournesol réalise une forte proportion de sa biomasse (78%) avant la floraison. Pour ce qui est des prélèvements en éléments minéraux, la quasi-totalité de l'azote est absorbé (98%) avant la floraison, le phosphore quant à lui est encore prélevé après la floraison (30%).

### 4.3 Approche corrélative simple (Cf. graphes n° 34 à 40)

La corrélation la plus étroite avec le rendement final est réalisée avec la densité grains ( $R^2 = 0,83$ ). On constate également des liens avec la fertilité capitule ( $R^2 = 0,77$ ) mais aussi avec le PMG ( $R^2 = 0,65$ ). Le nombre de grains/m<sup>2</sup> est défini par le nombre de grain/capitule ( $R^2 = 0,92$ ) et en aucun cas avec le nombre de plantes/m<sup>2</sup>.



Le nombre de grain par capitule n'est pas lié aux nombres de plantes levées, mais est à relier à l'alimentation hydrique et minérale des tournesols.

Les deux composantes de grains/capitule et grains/m<sup>2</sup> sont en règle général peu corrélés avec l'alimentation azotée de la culture, seule la fertilité capitule présente une corrélation avec la quantité totale d'azote absorbée à la récolte ( $R^2 = 0,85$ ).

Enfin le rendement final reste corrélé avec les quantités totale d'azote absorbé ( $R^2 = 0,94$ ).

Le PMG reste faiblement corrélé avec les quantités d'éléments minéraux prélevées ( $R^2 = 0,56$  avec les quantités totales d'azote et  $R^2 = 0,59$  avec les quantités totales de phosphore).

#### **4.4 Discussion sur les tournesols.**

Ainsi le comportement du tournesol semble différent de celui des autres cultures. En effet le facteur azote ne semble pas être ici le premier facteur limitant pour le rendement, même si cet élément reste primordial pour obtenir du rendement. Toutefois, les INN à la floraison peu carencés, le peu de lien avec les quantités d'azote absorbées à la floraison et le faible lien entre rendement et PMG montre que dans le cas présent c'est l'alimentation hydrique qui semble déficitaire et qui limite les rendements. L'azote reste un facteur important pour obtenir une bonne fertilité capitule qui permettra d'atteindre une densité grains satisfaisante, mais la ressource en eau reste primordiale ne serait-ce que pour prélever l'azote. Le fait que les tournesols se situent systématiquement sur un relief de coteau confirme l'hypothèse de la ressource en eau comme 1<sup>er</sup> facteur limitant.

## **5 Le soja**

Le soja est la culture pour laquelle nous disposons du moins de données car elle n'est présente chaque année que sur une seule ZR, les tendances présentées devront donc être confirmées ultérieurement.

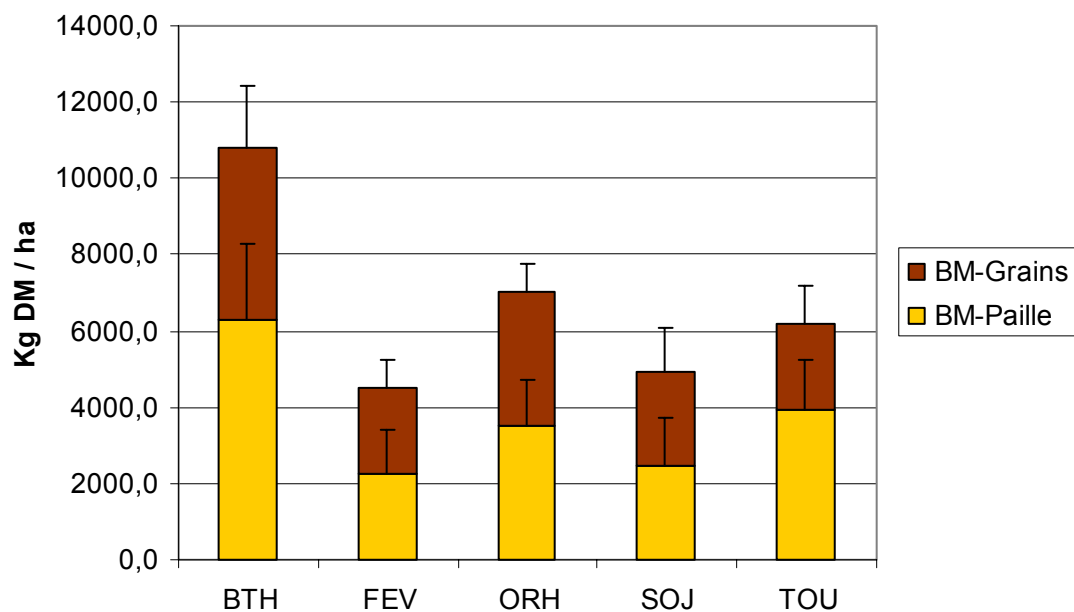
Le soja est semé en moyenne le 12 mai sur le domaine, la date moyenne du prélèvement à la floraison est le 18 juillet et la récolte eue lieu en moyenne le 30 septembre.

Compte tenu des conditions de culture en sec, la densité semée est élevée avec 555 000 grains/ha (maximum permis par le semoir). La densité gousses moyenne est de 723,6 gousses/m<sup>2</sup>, avec en moyenne 2,1 grains/gousse. La densité grains moyenne est de 1 486,9 grains/m<sup>2</sup> et le PMG à 0% est de 165,1 g.

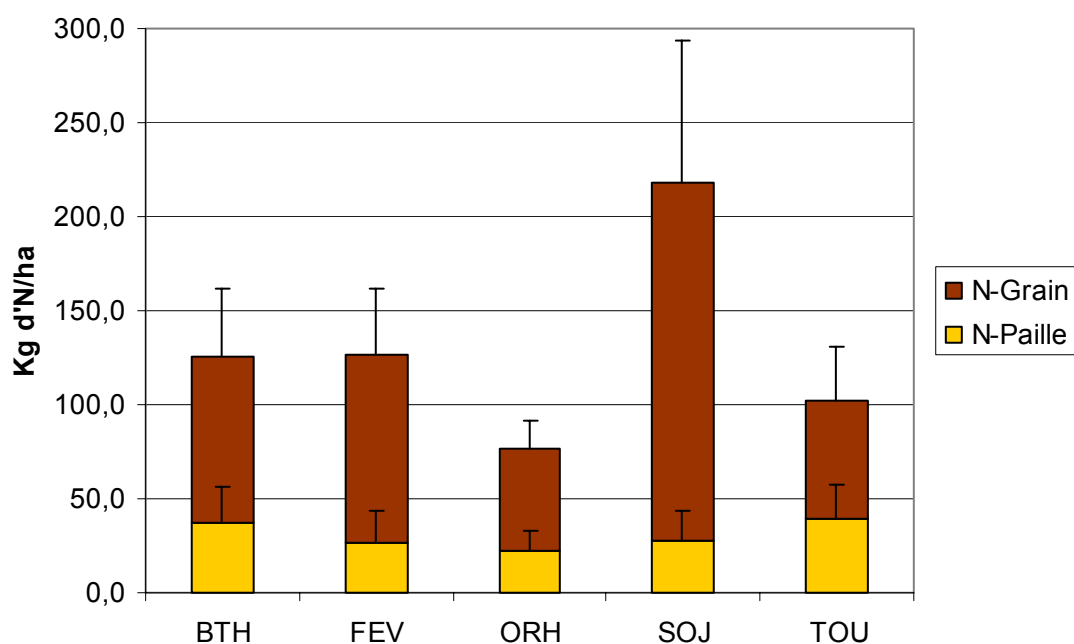
Les sojas présentent une biomasse moyenne à la floraison de 2,3 t<sub>MS</sub>/ha est des absorptions d'azote élevées de 116,4 kg/ha. Les quantités de phosphore absorbées reste du même ordre de grandeur que celle des autres cultures avec 10,4 kg/ha. Si on regarde les deux indices de nutrition (N et P) on constate que le soja est la culture qui présente le moins de carence à la floraison (INN = 0,96 et INP = 0,8). A la récolte, la biomasse totale est de 4,9 t<sub>MS</sub>/ha qui se répartissent à 49,8% dans les tiges et 51,2% dans les grains. Les quantités totales d'azotes absorbées sont élevées avec 217,8 kg d'N/ha qui se répartissent à 22,6% dans les tiges et 77,4% dans les grains. Les prélèvements en phosphore sont plus modestes avec 16 kg de P/ha qui se répartissent à 14,1% dans les tiges et 85,9% dans les grains. Comparativement aux autres cultures, le soja présente une croissance bien répartie sur l'ensemble de son cycle, la biomasse totale est réalisée à 45% avant la floraison et le reste après, les prélèvements d'azote sont réalisés à 53% avant la floraison. Seul le phosphore semble être plus absorbé avant la floraison avec 65% du total.

Les résultats de ces valeurs et les approches corrélatives réalisées ont tendance à montrer que comme pour le tournesol, les sojas ne sont pas limités par l'alimentation azotée mais plutôt par la ressource en eau. Il est d'ailleurs intéressant de constater que les INN du soja à la floraison sont bien supérieurs à celui des féveroles, alors qu'il s'agit de deux cultures de légumineuses. La différence peut provenir du fait que contrairement aux féveroles, les sojas ne subissent pas d'attaques de sitones.

**Graphe n°41 : Biomasse moyenne - Récolte**



**Graphe n°42 : Nabsorbé moyen - Récolte**



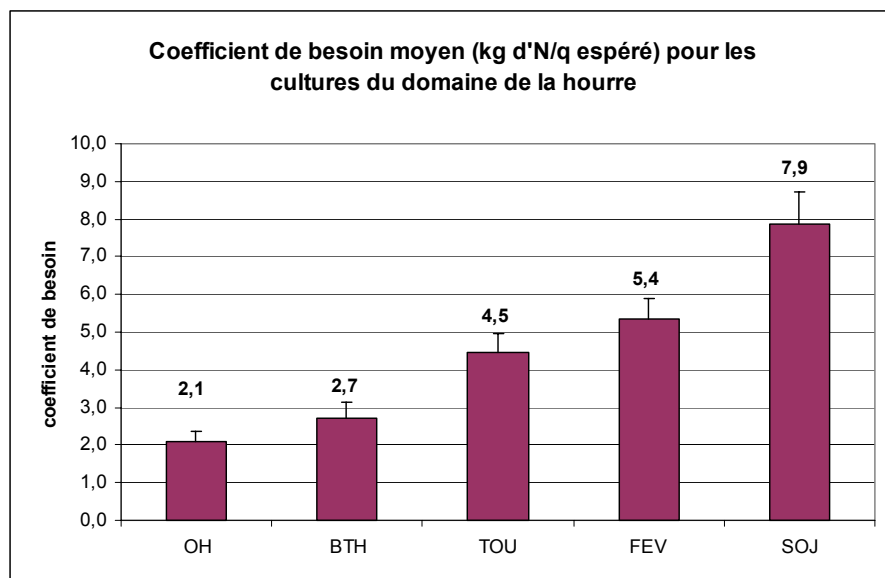
## 6 Coefficient de besoin des cultures

Les suivis réalisés sur les ZR nous permettent de connaître à la fois le rendement des cultures (rendement aux normes exprimé en quintaux par hectare) et les quantités totales d'azote absorbées par les cultures. Avec ces deux valeurs il est possible de calculer le coefficient de besoin des cultures en azote pour le domaine de La Hourre. Les résultats sont présentés dans le graphe ci-dessous :

Les valeurs calculées sont différentes de celles citées dans la bibliographie (calculées pour l'agriculture conventionnelle).

Pour l'orge, le blé et le tournesol (seules cultures pour lesquelles le coefficient de besoin est connues) on constate que les valeurs calculées en AB sont légèrement inférieures à celle de la bibliographie

qui donne en moyenne : blé tendre 3 kg d'N/q espéré ; orge d'hiver 2,5 kg d'N/q espéré et tournesol 5 kg d'N/q espéré.



## 7 Discussion sur les cultures

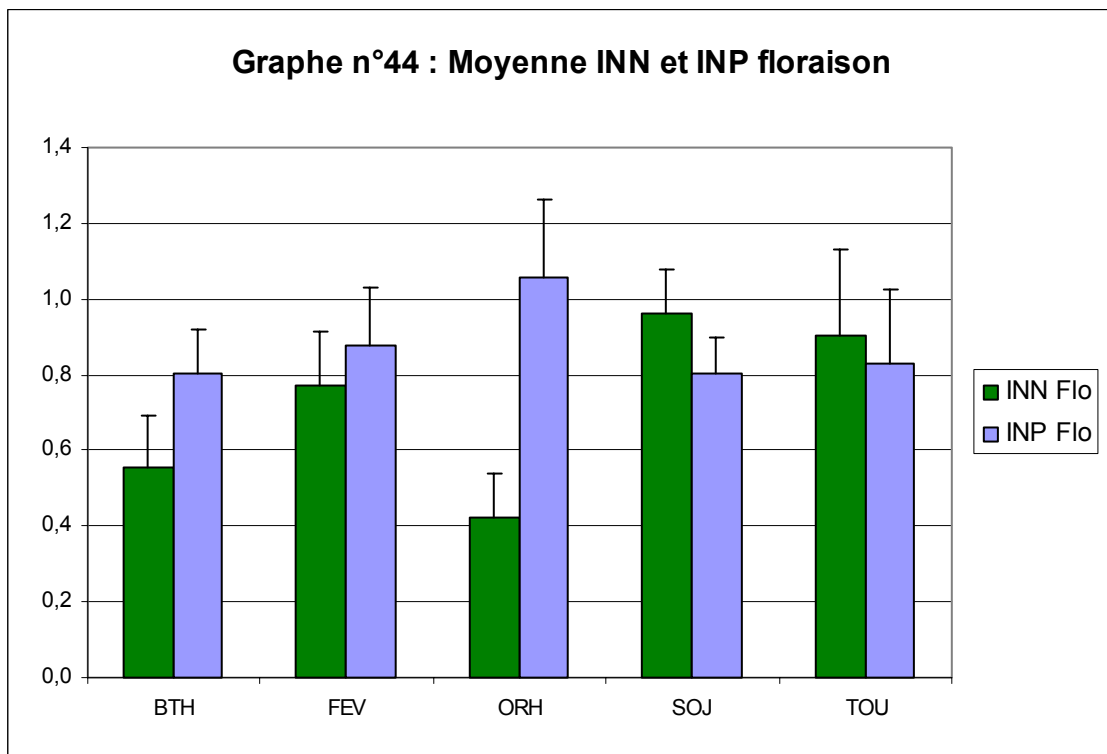
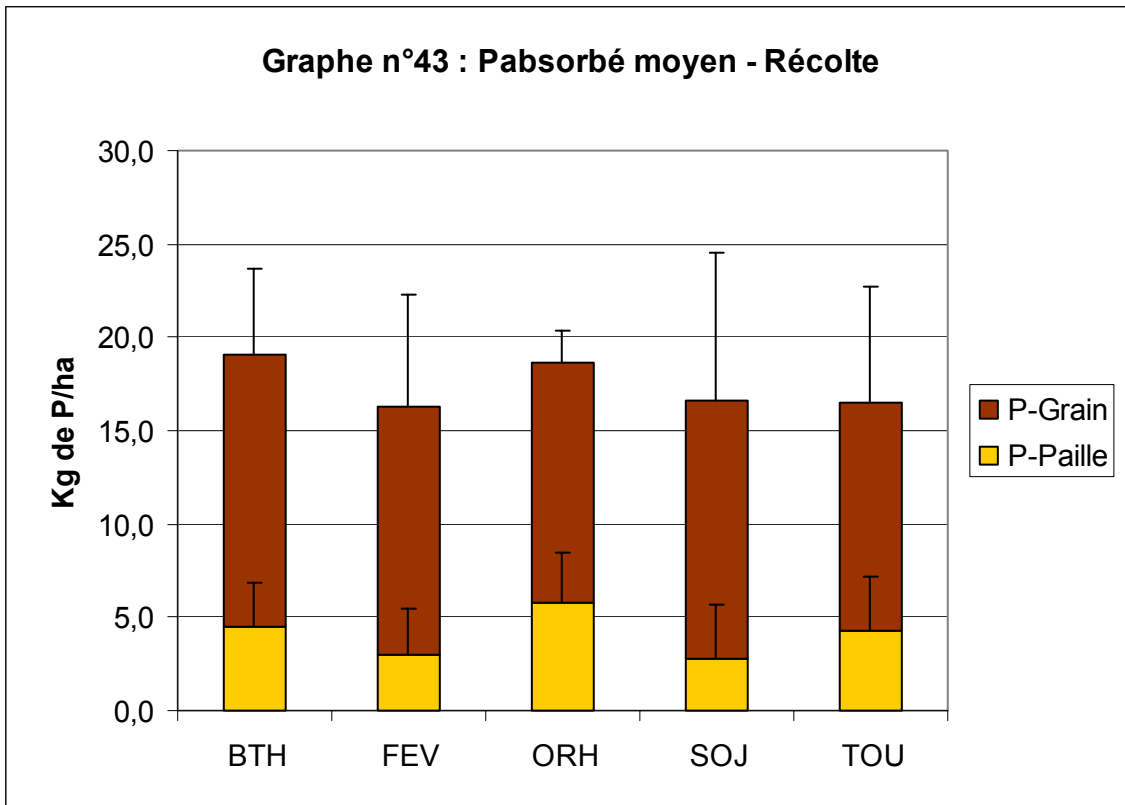
Du point de vue de la biomasse produite par les cultures, le blé tendre se distingue des autres cultures présentent avec une biomasse totale dépassant les 10 t<sub>MS</sub>/ha (Cf. graphe n° 41). Les indices de récolte (poids sec des pailles+rachis / poids sec des grains) sont très proche de 1 pour l'orge d'hiver, la féverole et le soja, il est de 1,4 pour le blé tendre et de 1,9 pour le tournesol.

A l'exception des deux cultures de légumineuses, les cultures réalisent entre 60 et 80% de leur biomasse totale avant la floraison. Le soja réalise quant à lui 55% de sa biomasse après floraison et la féverole 60 % après son début floraison.

Les quantités totales d'azote absorbées sont très différentes selon les cultures (Cf. graphe n°42). L'orge d'hiver est la culture qui prélève le moins d'azote (77 kg/ha), vient ensuite le tournesol avec 102 kg/ha. Les blés et la féverole présentent des quantités d'azote absorbées équivalentes (125 kg/ha) même si l'origine de l'azote est différent (100% issus du sol [et du fertilisant] pour le blé, et selon la bibliographie environ 40% issus du sol et 60% de la fixation symbiotique pour les féveroles). Enfin le soja se distingue fortement avec une absorption de l'ordre de 217 kg d'N/ha. Le tournesol est la culture qui proportionnellement à ces prélèvements totaux immobilise le plus d'azote dans ces tiges (38%), les autres cultures stock l'azote principalement dans les grains, la part présente dans les tiges ou les pailles varie de 15 à 30%.

Du point de vue de l'absorption au cours du temps, on peut distinguer 3 groupes :

- le tournesol qui réalise la quasi-totalité de ces prélèvements (98%) avant la floraison,
- les céréales à pailles qui prélèvent de 60 à 70% de l'azote avant la floraison



- les légumineuses qui prélève les mêmes ordres de grandeur avant et après la floraison. Ces différences sont directement à relier avec la date d'apparition du stade floraison par rapport à l'ensemble du cycle de la culture.

Les quantités de phosphore absorbé sont faibles et comprise entre 15,4 à 19,1 kg/ha (Cf. graphe n° 43) pour l'ensemble des cultures, tout comme pour l'azote, le phosphore se situe majoritairement dans les grains (de 70 à 82%). La répartition de l'absorption du phosphore dans le temps est différente de celle de l'azote. Le blé tendre, le tournesol et les sojas prélèvent majoritairement le phosphore avant la floraison (de 65 à 70%), l'orge prélève autant de phosphore avant qu'après la floraison et la féverole prélève 70% de son phosphore après la floraison.

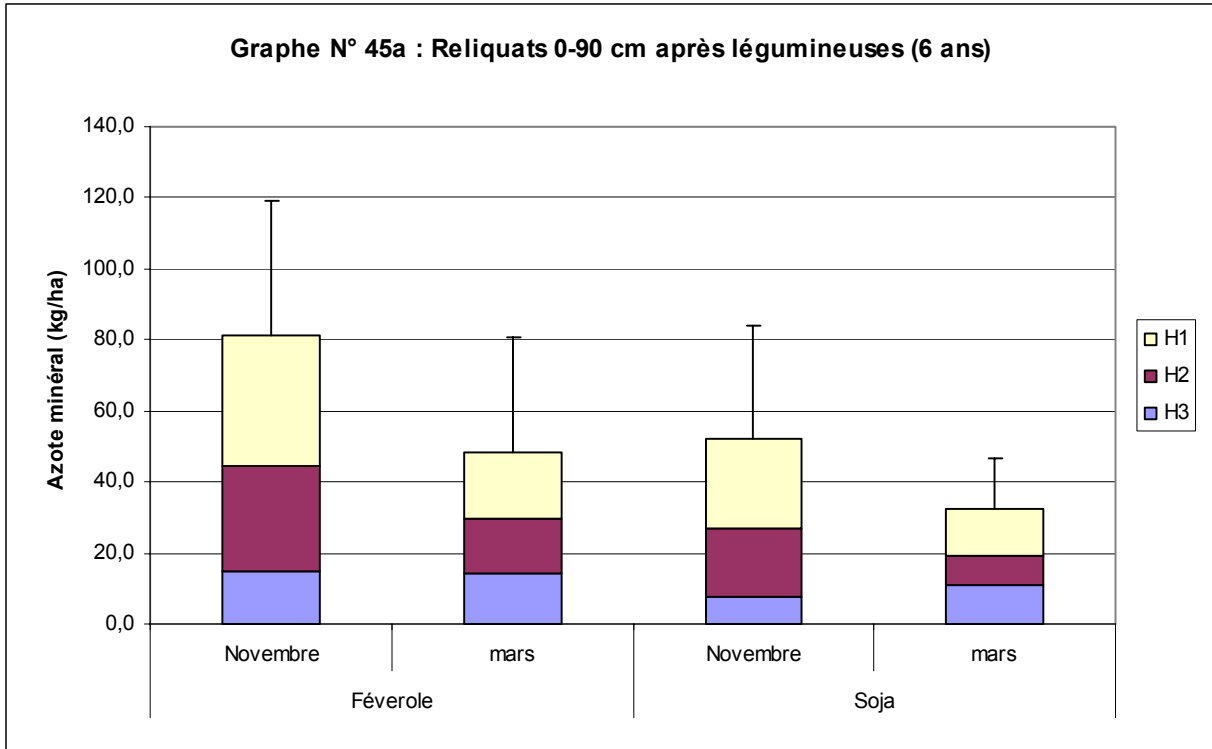
Les indices de nutrition azotés permettent de mieux évaluer la carence des cultures (Cf. graphe n°44). On constate que les deux cultures les plus carencées à la floraison sont les céréales à pailles : orge et blé tendre. Pour ces deux cultures l'azote est le premier facteur limitant pour le rendement. Par contre du point de vue de l'indice de nutrition phosphore nous n'observons aucune carence marquée à la floraison pour toutes les cultures.

Le suivi réalisé ainsi que les résultats des essais analytiques montrent que la façon la plus sûre d'augmenter la disponibilité en azote est de mettre en place les cultures exigeantes derrière un précédent légumineuse (Cf. corrélation rendement et N-minéral en sortie d'hiver). L'usage de fertilisant organique ne sera qu'un complément en cas de lessivage hivernal ou pour améliorer la teneur en protéines des blés.

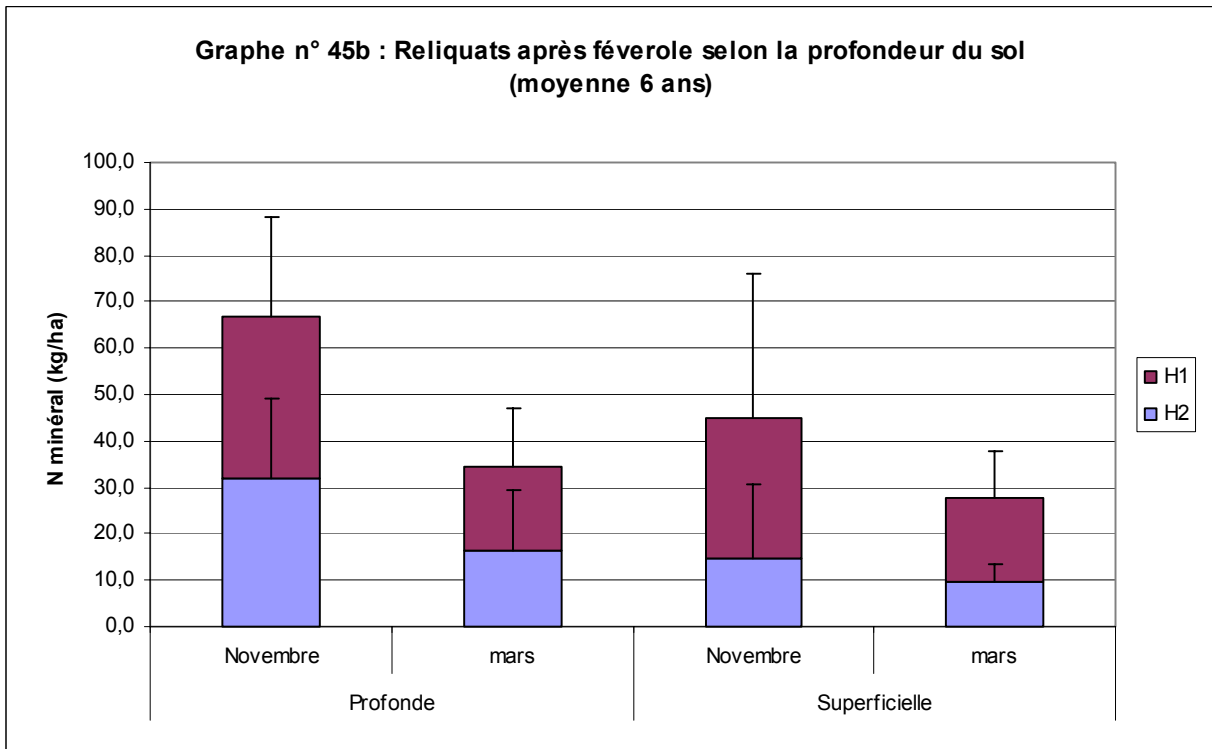
La féverole montre un INN légèrement carencé, qui est probablement à mettre en relation avec les attaques de sitones. Pour la féverole les facteurs limitants sont plus difficile à cerner, la nodulation ou l'activité des nodules ne fonctionne pas au maximum, les sitones et les faibles teneurs en phosphore des sols peuvent expliquer cette faiblesse de la fixation symbiotique. A ce jour nous ne connaissons aucune technique permettant de limiter l'impact des sitones en AB. Toutefois pour cette culture il existe également des facteurs climatiques qui peuvent sévèrement limité le rendement : les coups de chaleurs en mai et juin qui engendre des avortements des fleurs et des jeunes gousses (cas de l'année 2003) et inversement des faibles températures ou des conditions pluvieuses trop abondantes qui engendre également une forte baisse de la composante de densité gousse. La raison de l'absence de nouaison pour ces gousses n'est pas clairement identifiée, il peut s'agir d'un effet direct des conditions climatiques lors de la fécondation ou bien des effets indirects des mauvaises conditions climatiques entraînant une perturbation de l'activité des insectes pollinisateurs (les féveroles nécessite des insectes pollinisateurs [principalement des bourdons] alors que le pois est autogame).

Les soja et tournesols sont les deux cultures à présenter un indice de nutrition azoté non limitant. Pour ces deux cultures, le premier facteur limitant semble être la disponibilité en eau. Une remarque concernant le soja, pour deux années (2005 et 2007) nous avons observés des symptômes particuliers sur les sojas cultivés sur la parcelle LH7 (ZR1). Ces symptômes sont une décoloration jaunâtre des feuilles avec un aspect gaufré du limbe et l'enroulement du bord du limbe. Ces symptômes semblent être ceux d'une carence en potassium, ce qui nous a tout d'abord surpris compte tenu des quantités importantes de potasse présentent dans les sols. Toutefois, il semble qu'il s'agisse bien d'une carence en potassium qui serait induite par une trop forte concentration en magnésium, éléments qui se fixe de façon plus forte que le potassium sur le complexe argilo minéral. Cette carence induite se fait ressentir lorsque le rapport K/Mg est inférieur à 1, sur cette parcelle ce rapport est de 0,47.

**Graphe N° 45a : Reliquats 0-90 cm après légumineuses (6 ans)**



**Graphe n° 45b : Reliquats après féverole selon la profondeur du sol (moyenne 6 ans)**





Il est difficile d'évaluer la pression des autres facteurs limitant. Ce que l'on peut dire c'est que sur la période étudiée (2002 à 2007) les adventices n'ont jamais été considérés comme limitante sur le domaine, à l'exception de la parcelle de soja en 2007 fortement infestés de panic et de renouées. Pour information une liste des adventices rencontrées sur le site est présentée en annexe V.

Les maladies cryptogamiques furent peu présentes voire quasiment inexistantes suite à la sécheresse de 2003 qui fut fatal au cycle des maladies. Depuis 2003 la pression de l'ensemble des maladies régulièrement observées auparavant dans la région fut modérée : rouille brune des céréales et de la féverole, phomopsis du tournesol. D'autres maladies ont été observées régulièrement mais sans effets importants : septoriose sur céréales, botrytis et anthracnose sur féverole.

Enfin en dehors des sitones sur féverole, nous n'observons aucun dégât régulier de ravageurs sur le site.

## Suivi sol

Les zones références ont été mise en place au printemps 2002, sur des zones de sols distinctes en terme : texture, composition et profondeur ; et de topographie (parcelle de coteau avec deux orientations possibles et parcelles de vallée). Les zones références sont matérialisés avec des fanions disposés aux quatre coins, ces fanions sont géo référencés et repositionner chaque année avec une précision de  $\pm 50$  cm.

### 1 Le suivi de l'azote minéral du sol.

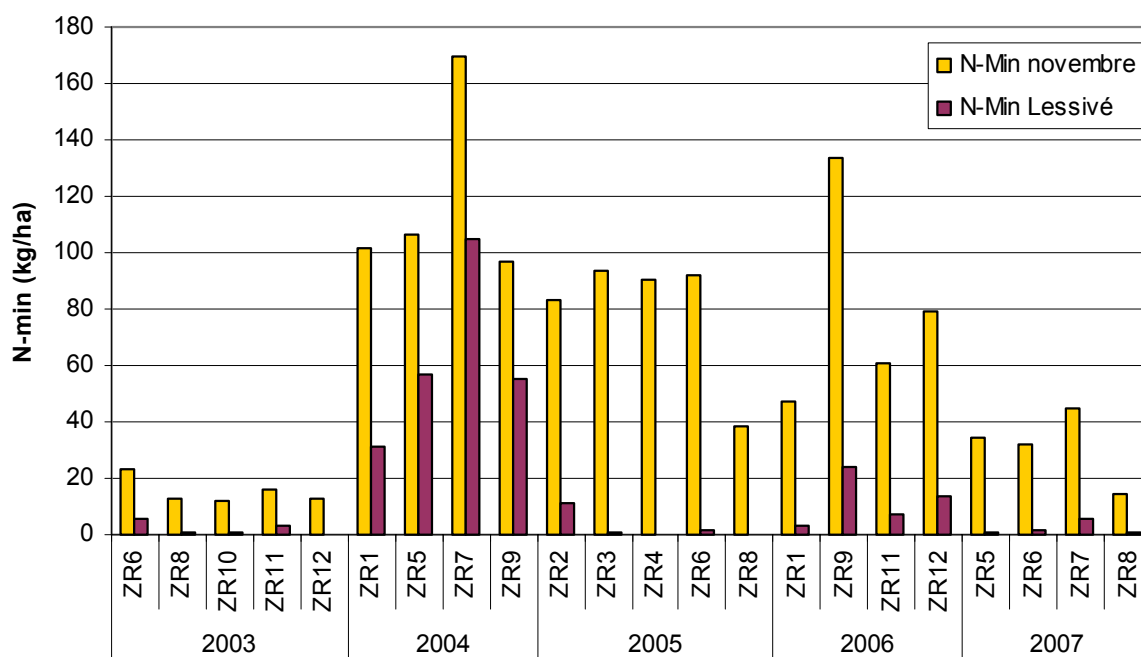
Depuis novembre 2002, des prélèvements de sol ont été réalisés au moins deux fois par an (novembre et mars), parfois complétés par des prélèvements post récolte pour les cultures récolté en juin et juillet. Sur ces prélèvements, seule la teneur en eau et la quantité d'azote minérale (N-NO<sub>3</sub> et N-NH<sub>4</sub>) ont été mesurées.

#### 1.1 *Mesure au champ des reliquats azotés après légumineuses*

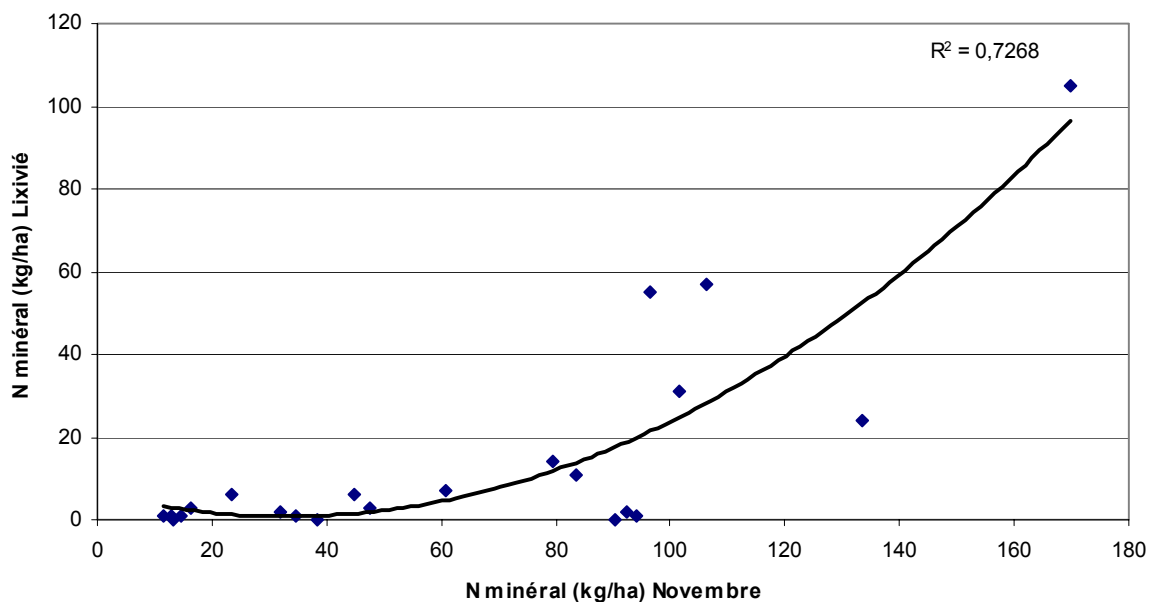
Les mesures permettent de réaliser des moyennes de quantités d'azote disponibles après différents précédents légumineuses sur une profondeur de 90 cm. Les résultats sont présentés dans le graphe n°45a.

- Les féveroles d'hiver : il s'agit du précédent pour lequel nous disposons du plus de valeurs. En moyenne sont disponibles sur 90 cm : 70 kg d'azote/ha en novembre et 47 kg/ha en mars. Ces valeurs présentent une variation importante (64%), qui peut s'expliquer à la fois par un effet année et par un effet sol. L'effet lié au sol dépend principalement de sa profondeur, plus les sols sont profonds et plus le reliquat est élevé, cette différence n'est pas uniquement liée à une profondeur de prélèvement différente mais également à une concentration moindre pour des mêmes horizons (Cf. graphe n°45b). Les variations annuelles des quantités d'azote disponible restent difficiles à expliquer, les gammes de valeur varient de 34 à 170 kg d'azote minéral disponible en automne et de 22 à 130 kg d'azote disponible en mars.

**Graphe n°46a : Lessivage hivernal de l'azote sous blé tendre après précédent légumineuses**



**Graphe n° 46b : N-Min lixivié en fonction du reliquat en novembre**



- Le soja : nous disposons également d'un nombre de valeur suffisant pour obtenir une moyenne. En novembre après soja nous disposons en moyenne de 50 kg d'N/ha, et de l'ordre de 30 kg d'N/ha fin mars. La variation est également importante (71%) mais s'explique principalement par un effet année car les deux ZR sur lesquelles se situe de soja sont de profondeur proche. Les valeurs varient de 14 à 100 kg d'N disponible en novembre et de 16 à 53 kg d'N disponible par hectare fin mars. La différence de reliquat entre le soja et la féverole ne provient pas uniquement d'une différence liée à l'espèce mais est aussi liée au cycle de la culture, pour des prélèvements réalisés en novembre nous avons beaucoup plus de chance d'observer l'effet de la minéralisation des résidus de féverole enfouis en juillet que ceux du soja enfouis en octobre.
- Trèfle violet : les valeurs disponibles pour le trèfle violet sont à prendre avec précaution car nous ne disposons que de deux années de références. Le trèfle violet permet des reliquats de l'ordre de 60 kg d'azote disponible en novembre (juste après sa destruction), et de 53 kg d'azote fin mars. Compte tenu d'une destruction de trèfle peu de temps avant le semis du blé, ce dernier semble continué à minéralisé

Comme nous venons de le voir, les précédents légumineuses permettent une entrée importante d'azote au sein du système de culture. Toutefois les quantités d'azote disponibles pour une culture de blé vont dépendre du cycle organisation / minéralisation lui-même dépendant des conditions d'humidité et de température du sol. Les années où l'été est bien arrosé, sans excès de température la minéralisation peu débuter tôt et les risques de perte d'azote par lixiviation (souvent appelé lessivage) avant semis sont réels. Les outils actuels ne nous permettent d'estimer précisément ce risque de minéralisation et de lixiviation automnale. Par contre le modèle de simulation *Stics* permet avec une précision acceptable de simuler les transferts d'azote sur la période de culture. Nous avons donc réalisé des simulations pour étudier la lixiviation hivernale après les précédent légumineuses.

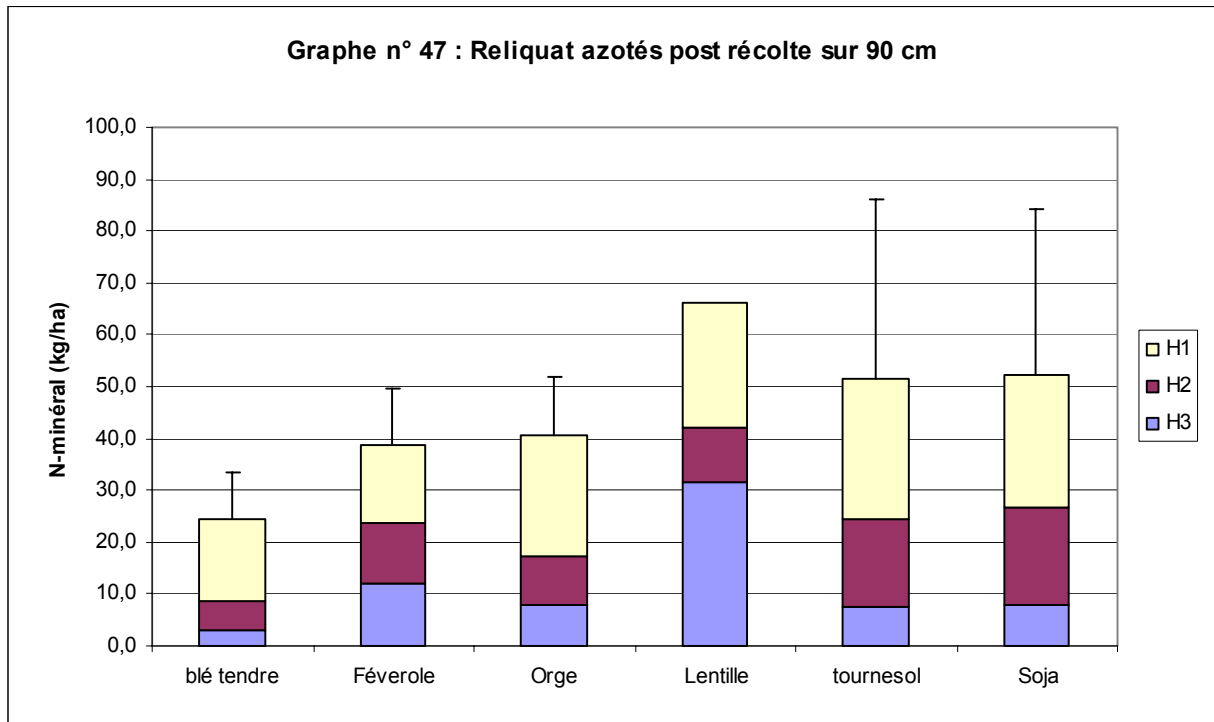
## ***1.2 Lessivage hivernal sous culture de blé.***

Remarque : les valeurs de lixiviation de l'azote présentées ci-après sont issues d'un calcul réalisé par le modèle STICS, il ne s'agit pas de mesures directes. Les études préliminaires et notamment le projet FertiagriBio réalisé en 2005 ont permis de montrer la validité du modèle pour les aspects sols.

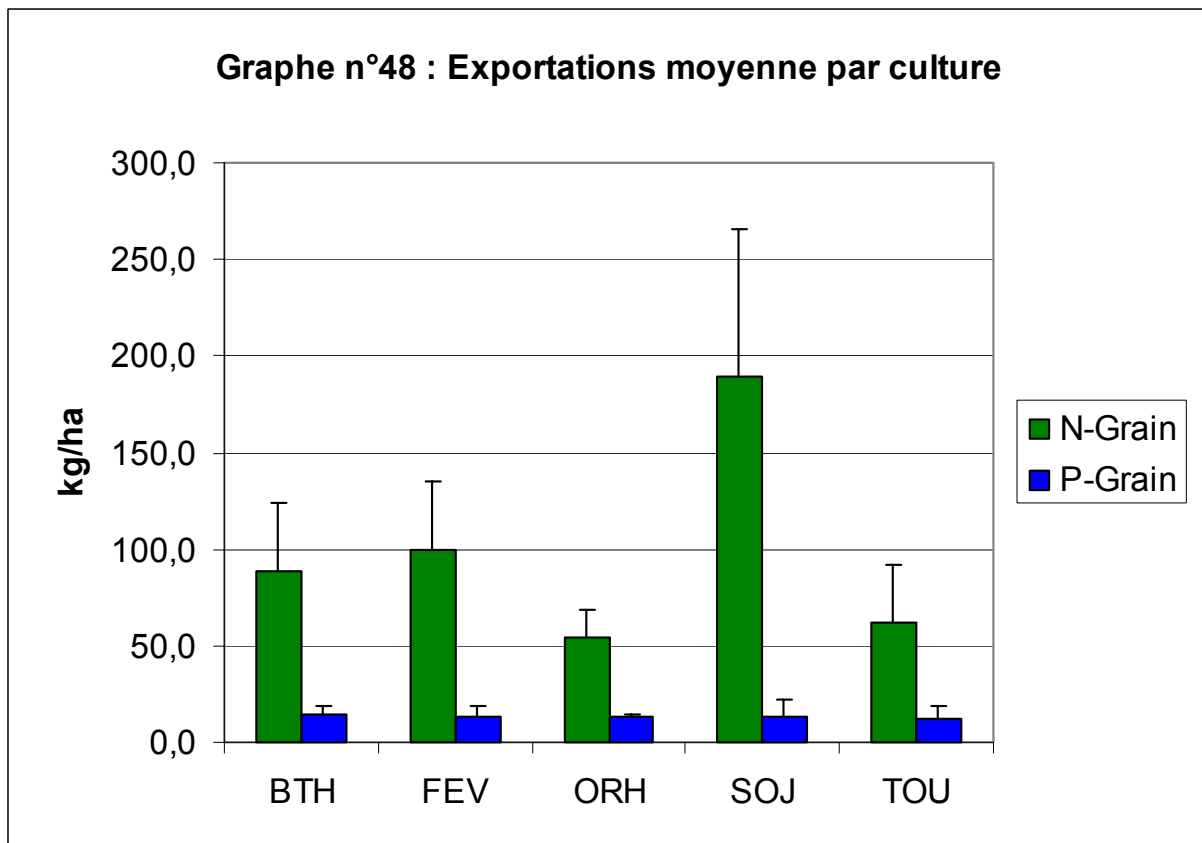
Pour les cinq années étudiées (hiver 2002-03 à 2006-07, cf. graphe n°46a) nous observons des pertes importantes par lessivage sur une année : l'hiver 2003-04. Deux facteurs principaux vont influencer sur les pertes par lessivage : les quantités d'azote présentent en novembre et les précipitations hivernales. En 2002 le modèle simule un faible lessivage qui est directement à relier avec les faibles quantités disponibles dans le profil en novembre.

En 2003-04 après la canicule qui a bloqué la minéralisation estivale, il y eu probablement un pic de minéralisation en automne qui explique les quantités élevées présentent dans le profil. Les précipitations abondantes de janvier 2004 (135 mm) ont engendré ce lessivage important (de 55 à 105 kg d'N/ha selon la profondeur des ZR, soit une perte de 50 à 60% de l'azote présent en novembre) alors que les blés encore jeunes prélevaient que très peu d'azote (en moyenne 39 kg d'N/ha prélevé au stade épi 1 cm qui apparaît fin mars). Pour les autres années la faiblesse des précipitations hivernales explique les très faibles pertes estimées.

Graphe n° 47 : Reliquat azotés post récolte sur 90 cm



Graphe n°48 : Exportations moyenne par culture



Le graphe n° 46b montre que les risques de lixiviation à La Hourre apparaissent principalement lorsque les quantités d'azote disponible sont supérieures à 80 kg/ha.

L'ensemble de ces résultats plaide pour une plus grande intégration des cultures intermédiaires pièges à nitrates (CIPAN) en AB telles qu'elles ont été étudiées sur le site depuis l'année 2005 (Cf. résultats des essais analytiques du CREAB MP, et programme Ferti Agri Bio).

### ***1.3 Les reliquats post récolte (Cf. graphe n°47)***

Les reliquats post récolte varient de 25 à 66 kg d'N/ha. Toutefois ces valeurs doivent être resituées dans leur contexte. Le blé tendre laisse peu de reliquats après récolte avec 25 kg d'N/ha. La féverole et l'orge présentent des valeurs légèrement supérieures avec 40 kg d'N/ha. Pour ces trois cultures la majeure partie de l'azote se situe dans l'horizon superficiel, ainsi les quantités mesurées intègrent déjà une partie de minéralisation des feuilles des cultures. La féverole et l'orge présentent des valeurs supérieures car la sénescence des feuilles est également plus précoce.

Nous observons le même phénomène pour le tournesol et le soja qui laisse de l'ordre de 50 kg d'N/ha, car il y a un décalage entre la date de récolte et la date du prélèvement (les prélèvements post récolte sont les valeurs du mois de novembre). On peut donc supposer que l'ensemble des cultures utilise la quasi-totalité de l'azote minérale disponible dans le sol.

Enfin la lentille semble laisser des reliquats dans le 3<sup>ème</sup> horizon ce qui laisse sous entendre que cette culture réalise peu de prélèvement dans les horizons profonds.

## **2 Les exportations par les cultures**

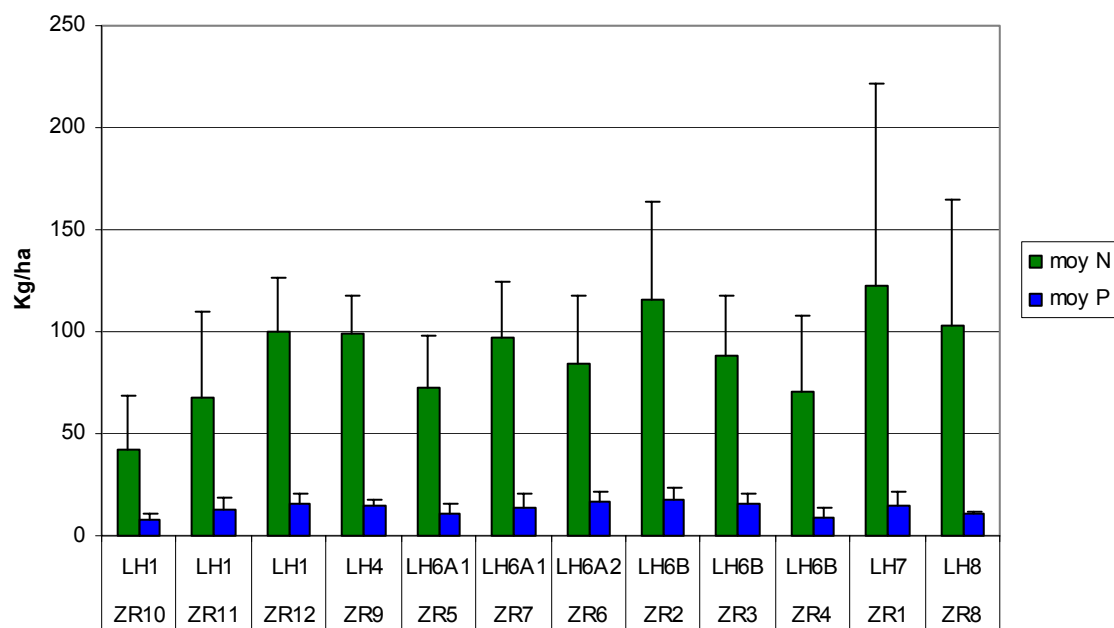
Les exportations correspondent aux quantités d'azote et de phosphore présentes dans les grains (partie exportée), car chaque année la totalité des tiges ou pailles ont été enfouies.

Les exportations sont différentes selon les cultures (Cf. graphe n°48) : le soja est la culture qui exporte le plus d'azote avec en moyenne 190 kg/ha d'N exportée. Vient ensuite la féverole avec de l'ordre de 100 kg d'N exporté par hectare puis le blé avec 90 kg d'N/ha exporté. L'orge et le tournesol sont les deux cultures exportant le moins d'azote avec des valeurs de l'ordre de 55 à 60 kg d'N/ha. Par contre les exportations en phosphore sont quasi équivalentes pour toutes les cultures avec des valeurs comprises entre 12 et 15 kg de P/ha.

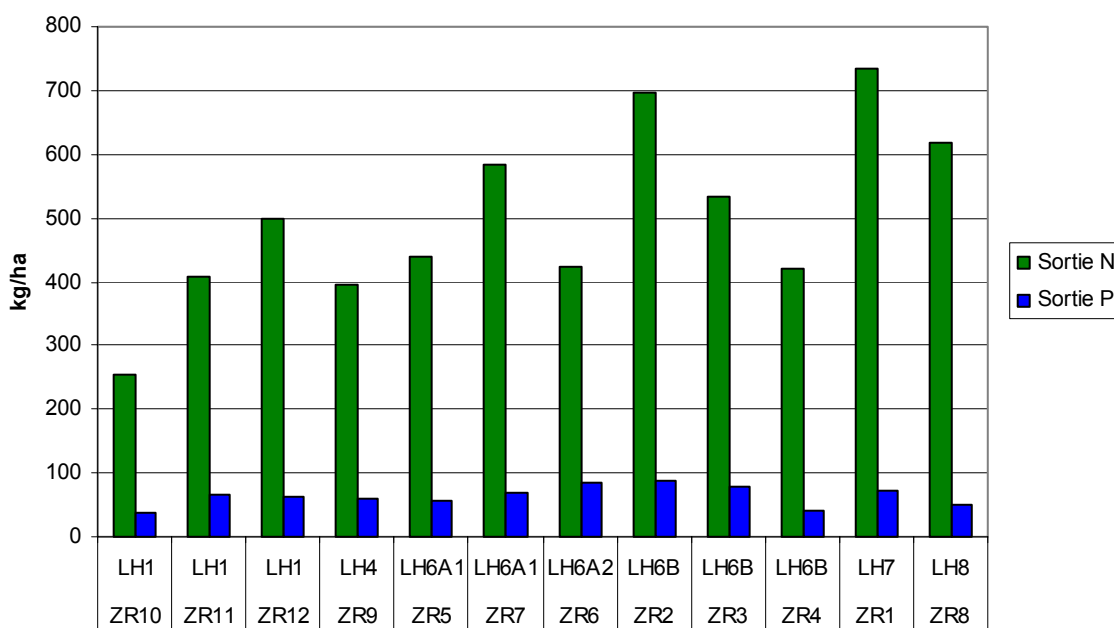
Les exportations vont également dépendre du potentiel de production des ZR, qui est directement lié avec leur profondeur. Les exportations moyennes par ZR (Cf. graphe n°49) reflètent assez bien leur potentiel. Attention toutefois car les ZR 7 et 8 présentent des valeurs maximales car elles ne reçoivent que deux cultures (blé ou soja) qui font partie des cultures les plus exportatrices en azote.

Les exportations cumulées par ZR (Cf. graphe n°50) vont donc être dépendantes à la fois de la culture en place et de la profondeur du sol. Ces deux facteurs font que les variations sont très importantes avec des valeurs qui vont du simple à presque le triple (de 255 kg d'N/ha exporté en 6 ans sur la ZR 10 à 734 kg d'N/ha sur la ZR 1). Pour le phosphore les variations sont un peu plus faibles et varient d'une quarantaine de kilos (ZR 10 ou ZR4) à 87 kg de P/ha exporté sur la ZR6.

Graphe n°49 : Exportation moyenne (6 ans)



Graphe n°50 : Exportation N et P cumulée (6 ans)



## 3 Evolution des teneurs en éléments organiques minéraux du sol

### 3.1 Introduction

Les deux campagnes de prélèvement de sol (2002 et 2007) permettant de suivre l'évolution de la fertilité des sols ne sont espacées que de 5 ans, ce qui est un pas de temps court. De plus les analyses réalisées ont une précision qui est à la limite des différences observées entre les deux années. Ainsi pour cette première synthèse de La Hourre nous traiterons de l'évolution de la fertilité sur les deux grands type de sol du domaine : les parcelles de coteaux argilo-calcaire avec une rotation de l'ordre de 3 à 4 ans et les parcelles de vallée avec la rotation courte blé / soja.

### 3.2 Evolution de la matière organique

La matière organique sera étudiée via l'évolution des teneurs ; en carbone (C) ; en azote (N) ; et du rapport Carbone / Azote (C/N). Pour mémoire lors de la réalisation d'une analyse de sol au laboratoire, la teneur en matière organique fournie est issue du dosage du carbone ( $MO = \%C \times 1,72$ ).

#### 3.2.1 Evolution des teneurs en carbone :

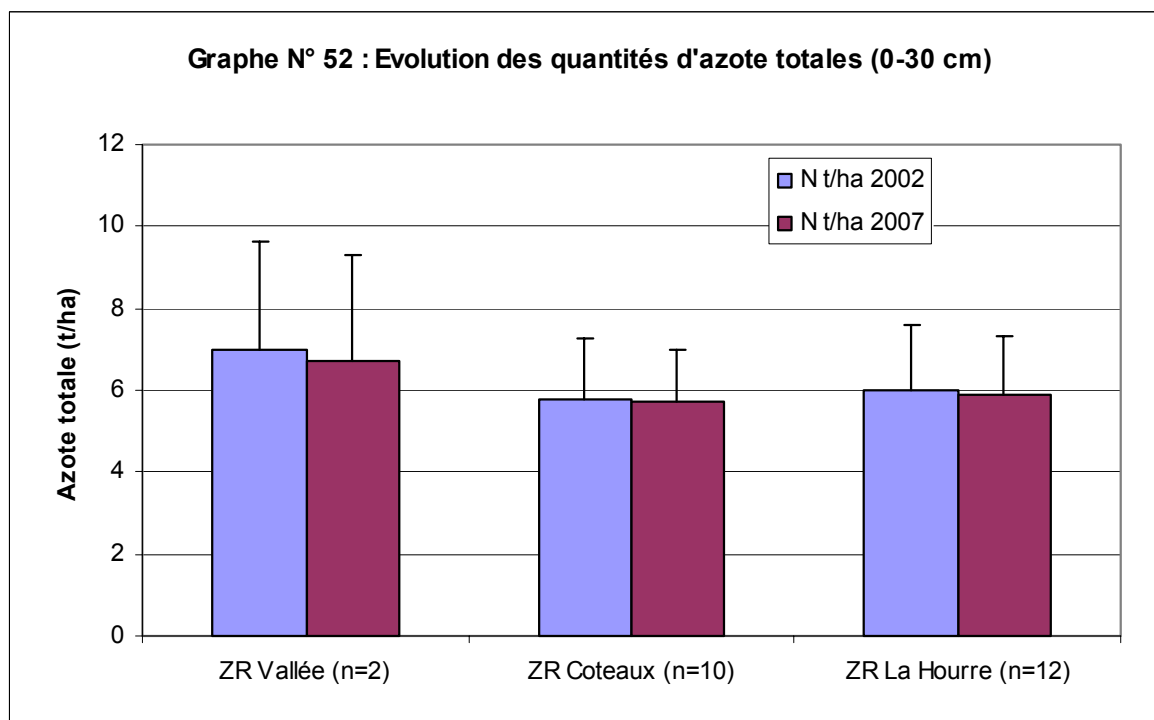
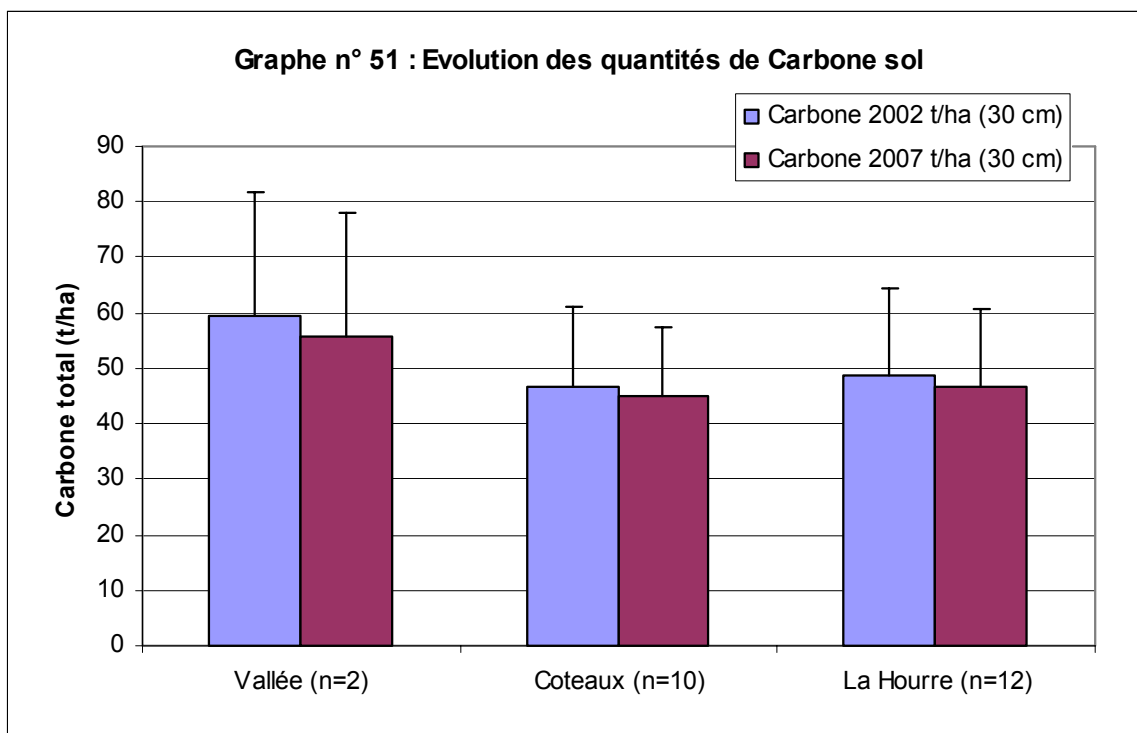
Au niveau d'une parcelle agricole, les entrées de carbone sont les suivantes :

- Restitution par les cultures (tiges et racines ; mais également engrais vert et CIPAN). Les quantités apportées au sol proviennent du carbone fixé par la photosynthèse, et vont être dégradées par les micro-organismes ; à l'échéance d'une année environ 60% de ce qui est apporté est perdue sous forme de  $CO_2$  (respiration des micro-organismes)
- Apport par les composts, fumiers et autres effluents d'élevage (matière organique exogène), aucun de ces produits ne fut apporté à La Hourre
- Apport par les fertilisants du commerce : les fertilisants vont présenter des teneurs en carbone différentes selon leurs origines. Les plumes présentent de l'ordre de 43% de C ; les farines d'os de l'ordre de 30,5% et les vinasses de betterave seulement 15%. Toutefois ces quantités restent très faibles par rapport aux restitutions des cultures. Ainsi en moyenne sur La Hourre un blé tendre restitue 3,6 t de carbone/ha. Si on compare avec les apports de fertilisants à hauteur de 770 kg/ha (soit 100 kg d'azote apporté/ha avec des plumes à 13%) nous apportons 330 kg/ha de carbone sur cultures fertilisées soit 9% de ce qui est apporté avec les résidus de culture.

Sur une parcelle les pertes de carbone proviennent :

- De la minéralisation de la matière organique par les micro-organismes. En règle générale on considère que le stock d'humus se minéralise de 1 à 3% par an, et pour les résidus de culture 60% du carbone est perdue lors de leur dégradation. Le carbone est perdu sous forme de  $CO_2$  lié à la respiration des micro-organismes.

Sur le dispositif de La Hourre, les teneurs en carbone ont en moyenne baissé de 4,4% soit une perte moyenne de 2,1 t de carbone ce qui correspond à une minéralisation annuelle de 420 kg de carbone/an. Il s'agit d'une valeur relativement élevée qui montre que les sols de La Hourre minéralisent fortement. Par contre ces résultats montrent également que les restitutions par les cultures ne permettent pas de compenser les pertes mesurées. A titre indicatif, pour compenser la perte de 420 kg/ha annuel de carbone il faudrait intégrer de l'ordre de  $420 / 40\% = 1050$  kg de carbone par an soit de l'ordre d'une tonne.





**Parcelles de vallée :** il s'agit des parcelles LH7 (ZR1) et LH8 (ZR8) ayant une rotation alternant blé tendre d'hiver et soja (à l'exception d'une année où le blé fut remplacé par une orge d'hiver)

C'est sur ces deux parcelles que nous observons les évolutions les plus fortes. Les quantités de carbone présentent une diminution de l'ordre de 6,3% entre 2002 et 2007 ce qui correspond à une perte de 3,8 t de carbone soit une minéralisation annuelle moyenne de 750 kg de carbone par an.

Les restitutions de carbone cumulées sont en moyenne sur ces deux parcelles de 12,0 t/ha de carbone. Si on enlève 60% de perte sous forme de CO<sub>2</sub>, les restitutions au sol sont de l'ordre 4,8 t/ha sur les cinq années.

**Parcelles de coteaux :** sur ces parcelles, l'évolution des teneurs en carbone est nettement plus faible. Les quantités présentent une diminution moyenne de l'ordre de 3,9% soit une perte cumulée de 1,8 t de carbone (soit une minéralisation de 360 kg de C/an).

Sur ces parcelles les restitutions cumulées de carbone par les cultures sont de 13,0 t/ha. Cette valeur correspond à des entrées de carbone dans le sol de l'ordre de 5,2 t/ha sur les cinq années.

### 3.2.2 Evolution des teneurs en azote :

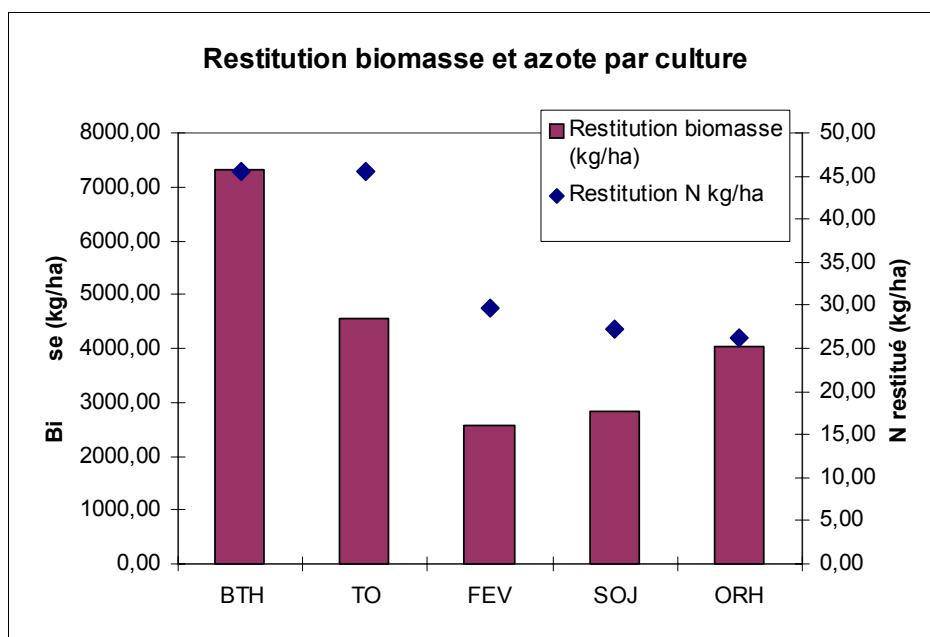
Sur l'ensemble du domaine (Cf. graphe N°52), les sols ont perdus 119 kg d'N/ha soit une perte de l'ordre de 2% (ce qui correspond à la limite de précision à la fois pour l'échantillonnage et le dosage).

Les variations des teneurs en azote sont assez marquées selon les deux groupes de parcelles. Sur les parcelles de coteaux la perte fut relativement faible avec une chute de 86 kg d'N/ha (soit une baisse de 1,5%) alors que sur les parcelles de vallée, la perte est double avec une diminution de 270 kg d'N/ha soit une baisse de 3,9%.

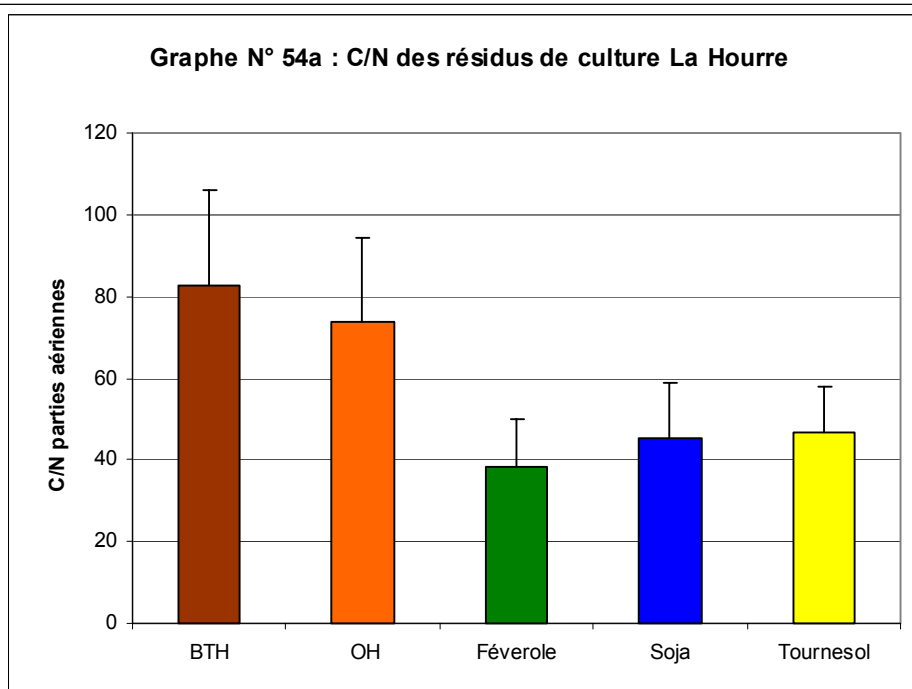
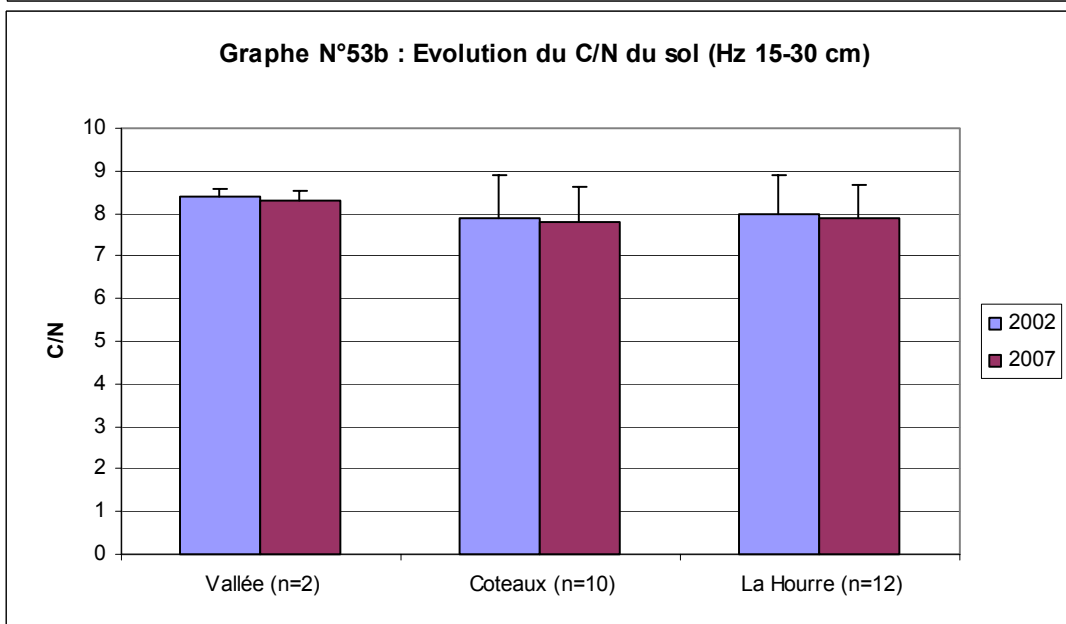
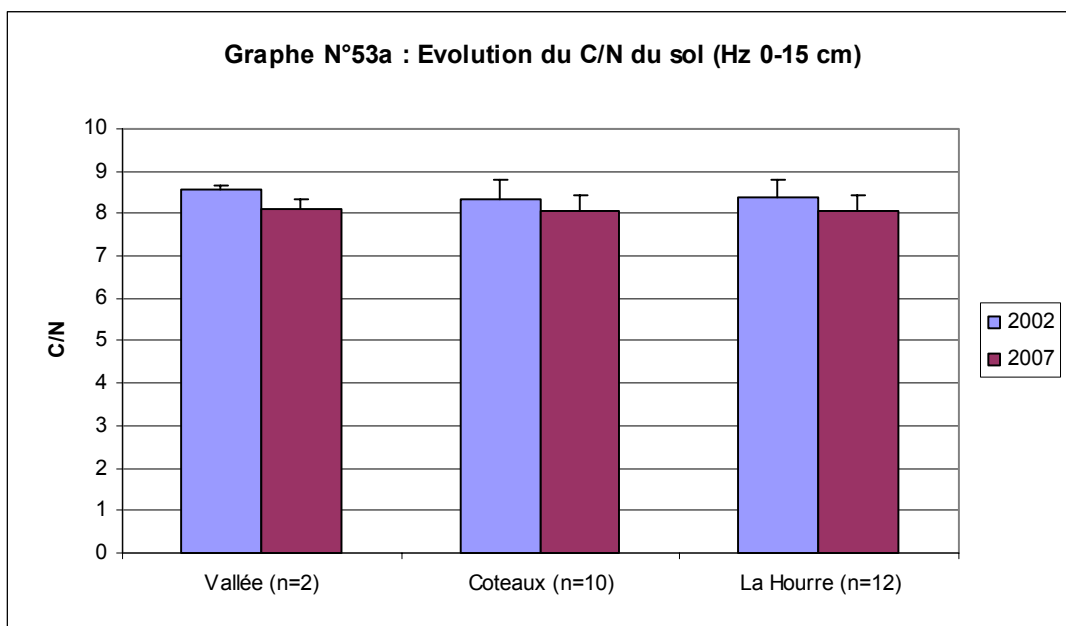
Au niveau des restitutions azotées, les valeurs sont de l'ordre de 220 kg d'N/ha restitué sur 5 ans pour les parcelles de coteaux et de 170,0 kg/ha d'N pour les parcelles de vallée.

Ces différences sont liées aux cultures présentes qui ont des restitutions différentes en termes de biomasse et d'azote.

Le blé tendre et le tournesol sont les cultures qui présentent les plus fortes restitutions azotées (de l'ordre de 45 kg d'N/ha et par an, Cf. graphe ci-contre), alors que les féveroles, le soja et l'orge ont des restitutions nettement plus faible de l'ordre de 25 à 30 kg d'N/ha et par an. Toutefois les valeurs pour la féverole et le soja sont sous estimées car lors de la



réalisation des prélèvements la biomasse des feuilles tombées au sol n'est pas prise en compte, mais peut atteindre de l'ordre de 20 à 30 kg d'N/ha supplémentaire.



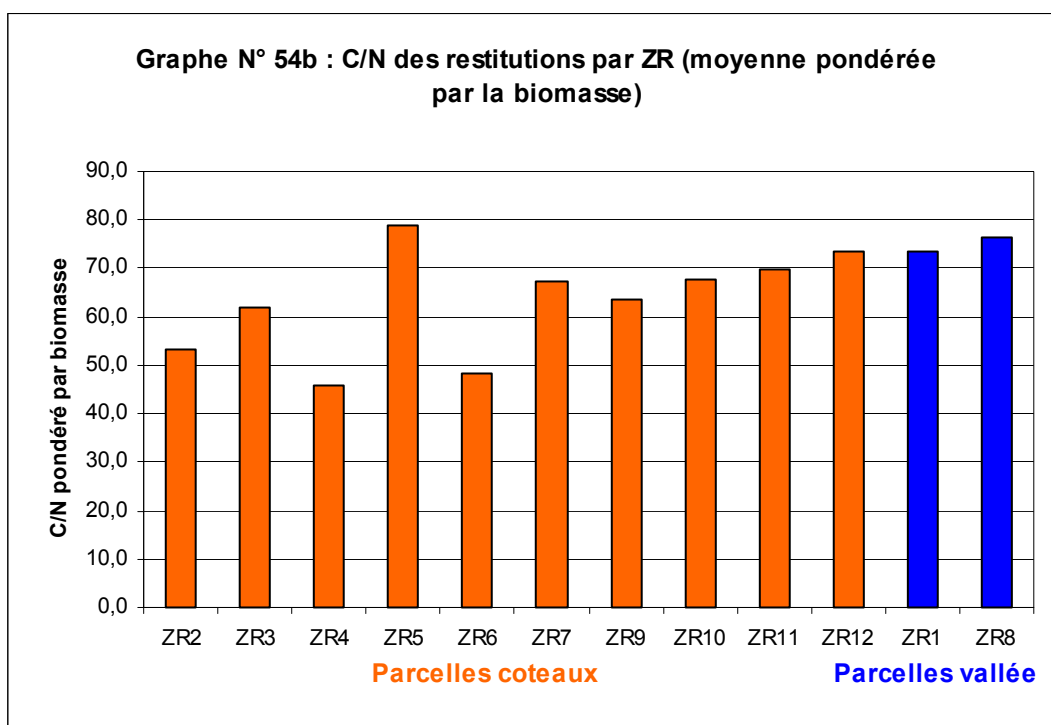
Remarque : les résultats présentés ici sont en partie incomplets, car ils ne tiennent pas compte des entrées d'azote réalisé par les cultures de trèfle violet utilisées en engrais vert en dérobé ou en jachère. En effet bien souvent les trèfles furent broyés plusieurs fois dans l'année, et l'azote restitué au sol ne peut être calculé en réalisant le cumul de l'azote absorbé par les différentes coupes (après une coupe, la biomasse minéralise et le trèfle prélève dans le sol de l'azote minéralisé suite à cette coupe).

Actuellement il ne nous est pas possible de réaliser des bilans de l'azote sur les parcelles car le calcul est fortement perturbé par la présence régulière de légumineuses dans la rotation, pour lesquelles il est difficile de séparer la part d'azote issue des prélèvements du sol et celle issue de la fixation symbiotique (en règle générale on considère que 60% du total de l'azote absorbé provient de la fixation symbiotique et 40% du sol, toutefois la disponibilité en azote du sol va influencer sur la répartition de ces prélèvements, et les problèmes de sitone vont également perturber la fixation symbiotique en AB).

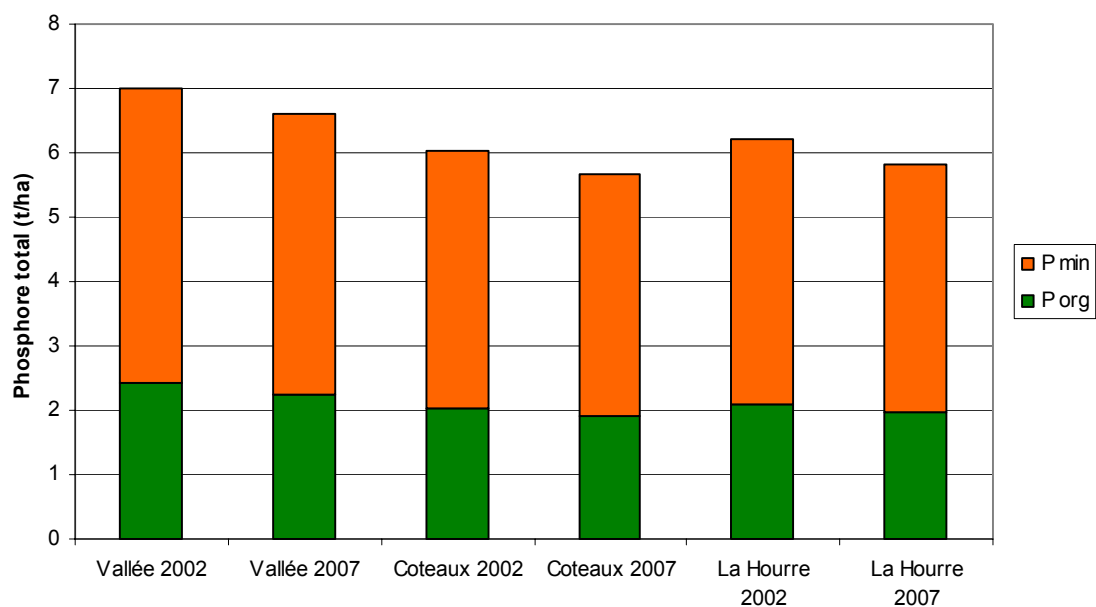
### 3.2.3 Evolution du C/N du sol :

Sur l'ensemble du domaine nous observons une diminution du rapport C/N de la matière organique du sol. Cette différence s'observe principalement dans le 1<sup>er</sup> horizon de 15 cm, et reste très minime dans le deuxième horizon (Cf. graphes N°53a et b). Compte tenu de ce qui a été vu précédemment (baisse du carbone de l'ordre de 4,4% et de l'azote de l'ordre de 2%) il n'est pas surprenant de voir une baisse du rapport C/N.

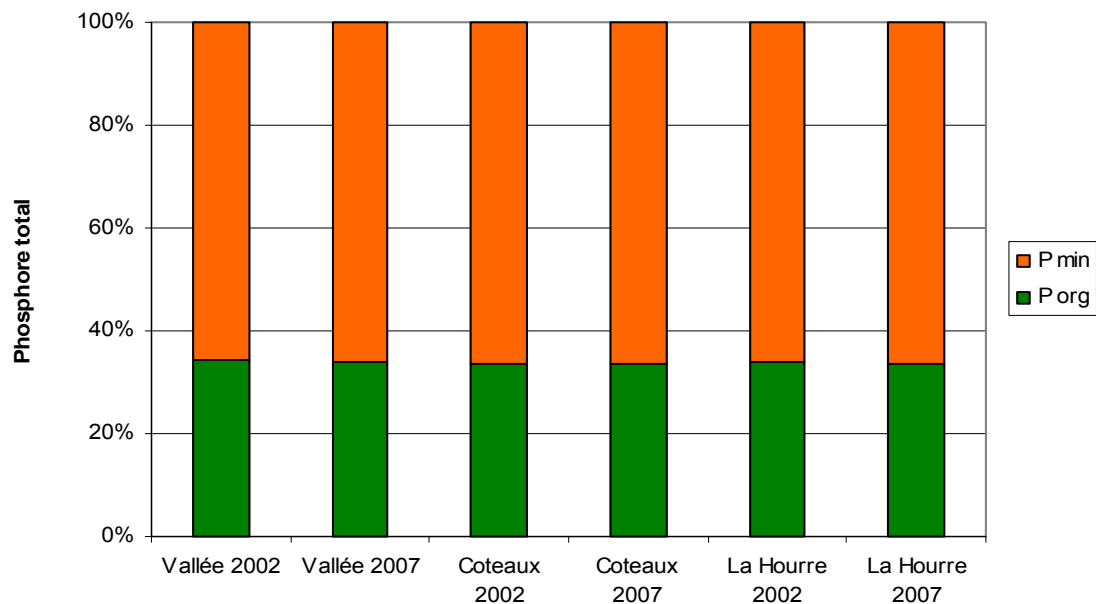
L'évolution du rapport C/N du sol peut en partie s'expliquer par les assolements propres à l'agrobiologie. En effet les assolements en AB intègre une part importante de légumineuses qui présentent toutes des restitutions ayant un C/N faible (Cf. graphe n° 54a). Toutefois, si on réalise un C/N des restitutions pondérées par la biomasse (graphe N°54 b, ci-dessous) on constate que les quantités de résidus restitués présente des C/N du même ordre de grandeur (à l'exception des ZR 4 et 6) ainsi les variations observées entre les parcelles de coteaux et de vallée ne pas s'expliquer uniquement par une différence de C/N des résidus.



Graphe n° 55a : Evolution des teneurs en Phosphore



Graphe n° 55b : Evolution des teneurs en Phosphore



## ***Evolution des teneurs en Phosphore et en Potassium***

### **3.2.4 Analyses phosphore réalisées**

Pour le phosphore différentes analyses ont été réalisées :

- Teneur en phosphore total (THF) : il s'agit d'un dosage très destructif qui va doser la totalité de l'élément P présent qu'il soit minéral ou organique, soluble ou insoluble.
- Teneur phosphore minéral : il s'agit d'un dosage à l'acide sulfurique réalisé sur un sol non calciné.
- Teneur phosphore minéral et organique : il s'agit du même dosage que précédemment mais réalisé sur un échantillon de sol calciné, ce qui permet de doser le phosphore contenu dans la matière organique (phosphore organique)
- Teneur en phosphore organique : il s'agit de la différence entre les deux dosages précédents réalisés à l'acide sulfurique sur sol calciné (P minéral + P organique) et sur sol non calciné (P minéral).
- Teneur en phosphore assimilable : la méthode Olsen est la méthode actuelle qui permet le mieux d'estimer les quantités de phosphore disponible pour les cultures.

Pour le bilan du phosphore, aucune entrée ne peut être comptabilisée [aucun apport réalisé] sur la période de 5 ans suivie. Pour les sorties il s'agit uniquement des quantités exportées par les grains.

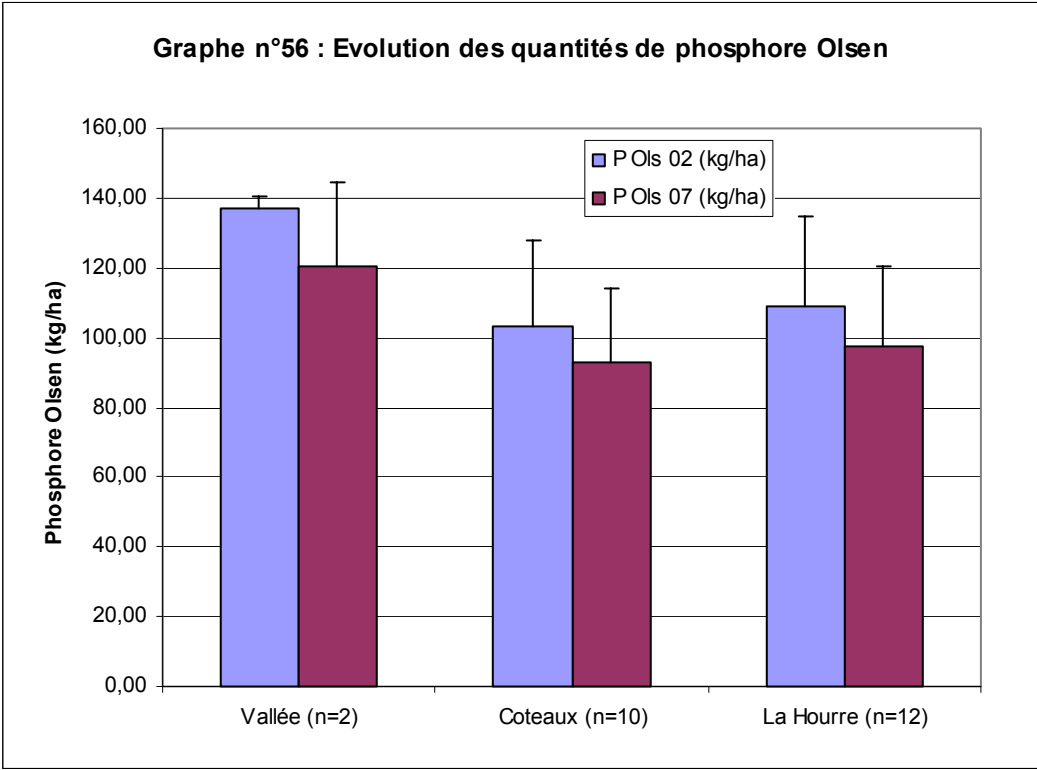
### **3.2.5 Evolution des teneurs en Phosphore**

Tout d'abord nous constatons (Cf. graphe n°55b) que le phosphore présent dans les sols de La Hourre se trouve en moyenne à 34% sous forme organique, et que cette proportion n'a pas évolué au cours du temps. Par contre si l'on regarde les différences de quantités totales on constate une légère baisse des quantités de phosphore total (Cf. graphe n° 55a).

Les différences de quantités de phosphore totale entre 2002 et 2007 sont du même ordre de grandeur que se soit pour les parcelles de vallées ou de coteaux. Les pertes correspondent à environ 380 kg de phosphore sur 5 ans.

Pour le phosphore Olsen (Cf. graphe N°56), on constate tout d'abord un ordre de grandeur très différents entre les valeurs de phosphore soluble (P Olsen de l'ordre de 70 à 100 kg/ha disponible sur 30 cm) et les valeurs de phosphore total (Phosphore THF de l'ordre de 5 à 7 t/ha). Cette différence montre bien les problèmes de disponibilités en phosphore rencontrés dans les sols calcaires.

Les différences de phosphore soluble sont de l'ordre de 17 kg/ha de perte sur les parcelles de vallée et de 10,6 kg/ha sur les parcelles de coteaux. Ces résultats sont à rapprocher avec les exportations par les cultures : 61,4 kg/ha de P ont été exportés par les cultures sur les parcelles de vallée et 64,6 kg/ha sur les parcelles de coteaux. La minéralisation de la matière organique a sans doute permis de libérer du phosphore organique limitant la baisse du phosphore Olsen.



### 3.2.6 Evolution des teneurs en Potassium

Sur l'ensemble du domaine les quantités de potasse ont diminué de 6,7% soit une perte moyenne de l'ordre de 55 kg/ha. Les différences entre zones (Cf. graphe n° 57) sont également assez marquées avec une perte plus importante sur les parcelles de vallées (perte de 9% de la potasse soit 61 kg/ha) que sur celles de coteaux (perte de 6,3% soit 55 kg/ha).

Il n'est pas possible de relier ces pertes avec les exportations des cultures, car nous n'avons pas analysé la teneur en potasse des cultures. Par contre il faut noter que sur les parcelles de vallée et notamment sur la parcelle LH7 (ZR 1) nous observons régulièrement des carences en potasse sur soja. Ces carences sont en fait des carences induites par une forte concentration de magnésium car l'ion  $Mg^{2+}$  se fixe de façon plus forte sur le complexe argilo-humique et prend la place de la potasse (Cf. ci-avant).

## 4 Discussion, conclusion et perspectives

Tout d'abord il convient de rappeler qu'un laps de temps de 5 ans reste un minimum pour pouvoir observer des évolutions au niveau des teneurs en carbone, azote et phosphore. De plus les résultats des analyses peuvent présenter un léger biais car les prélèvements de 2002 et 2007 n'ont pas été réalisés de la même manière. En 2002 les prélèvements furent réalisés à la tarière manuelle et en 2007 à l'aide d'un préleveur hydraulique. Le préleveur hydraulique à l'avantage d'être plus précis sur les profondeurs de chaque horizon, et n'entraîne pas de contamination des horizons profonds (avec la tarière de la terre de surface tombe régulièrement dans le trou de prélèvement et pollue légèrement les échantillons sous jacents).

Les évolutions observées sont globalement explicables et pas forcément négatives :

Les baisses de teneur en carbone sont à mettre en relation avec 3 éléments :

- Les restitutions de carbone en AB sont moindres qu'en conventionnelle (les rendements ne sont pas les mêmes ni les quantités de pailles et tiges restituées)
- La modification des rotations, avant 1999 la rotation était basé sur la succession blé / tournesol avec intégration de colza quelques années. La mise en place de culture de légumineuse ayant de faible restitution limite les entrées de carbone par rapport à la situation précédente.
- Les sols de La Hourre semblent montrer une activité biologique qui entraîne une minéralisation importante de carbone et d'azote. Cette minéralisation favorable à court terme (fourniture d'éléments minéraux) va se traduire dans le temps par une diminution notamment des teneurs en carbone

Pour ce qui est de l'évolution de l'azote, on note avant tout que les variations sont très faibles et d'un ordre de grandeur proche de l'erreur lié à l'échantillonnage et à l'analyse. La plus faible baisse des teneurs en azote par rapport au carbone s'explique principalement par la modification des rotations, la présence régulière de culture de légumineuse ayant un C/N des résidus plus faibles que celui d'un blé à tendance à enrichir le sol en azote.

Enfin au niveau du phosphore, il semble que la minéralisation de la matière organique permet de fournir des quantités de phosphore organique suffisantes pour ne pas épuiser le stock du sol. Actuellement la biodisponibilité en phosphore (dosage Olsen) reste suffisante sur l'exploitation.

Le travail de suivi de l'évolution de la fertilité de La Hourre ne va pas s'arrêter après cette synthèse. Tout d'abord il convient de rappeler que les données issues de ces 5 premières

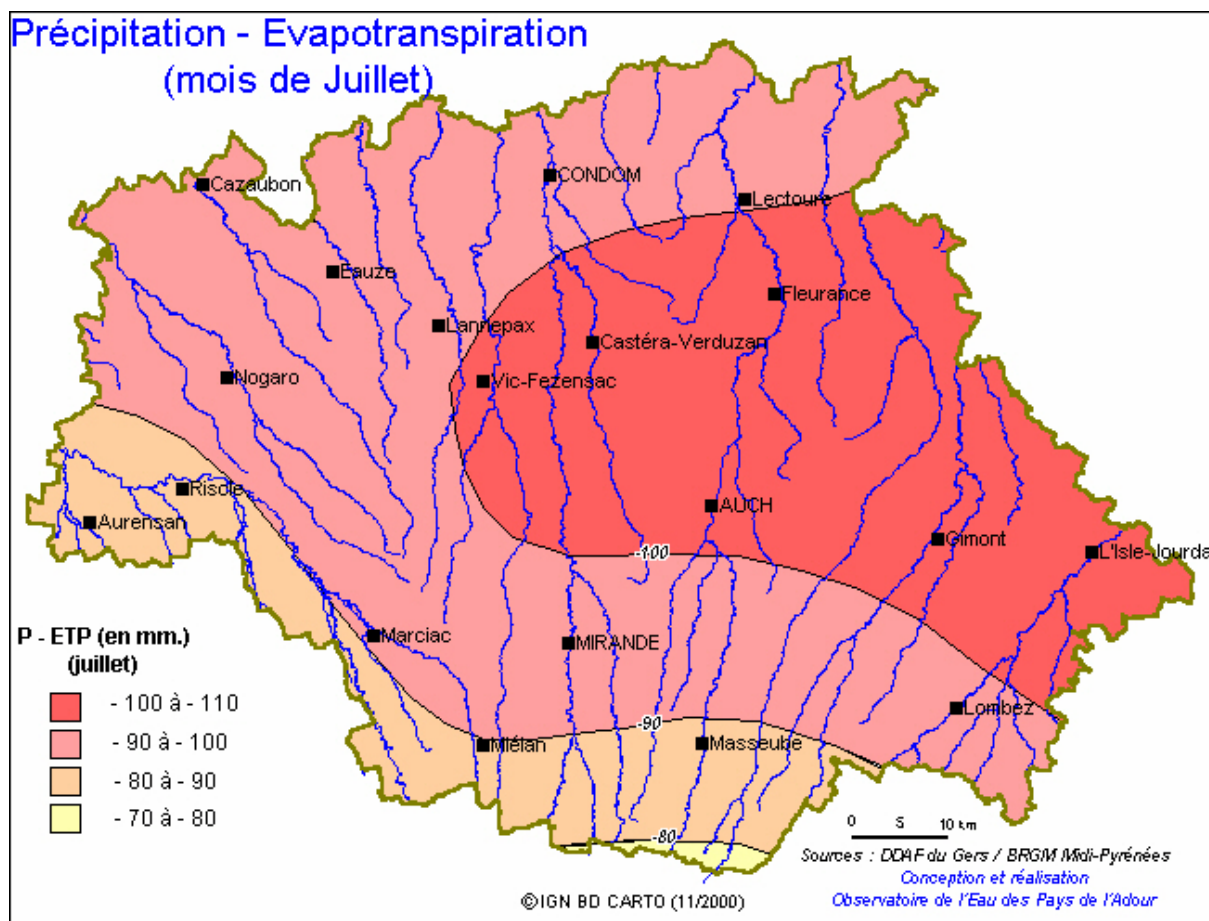
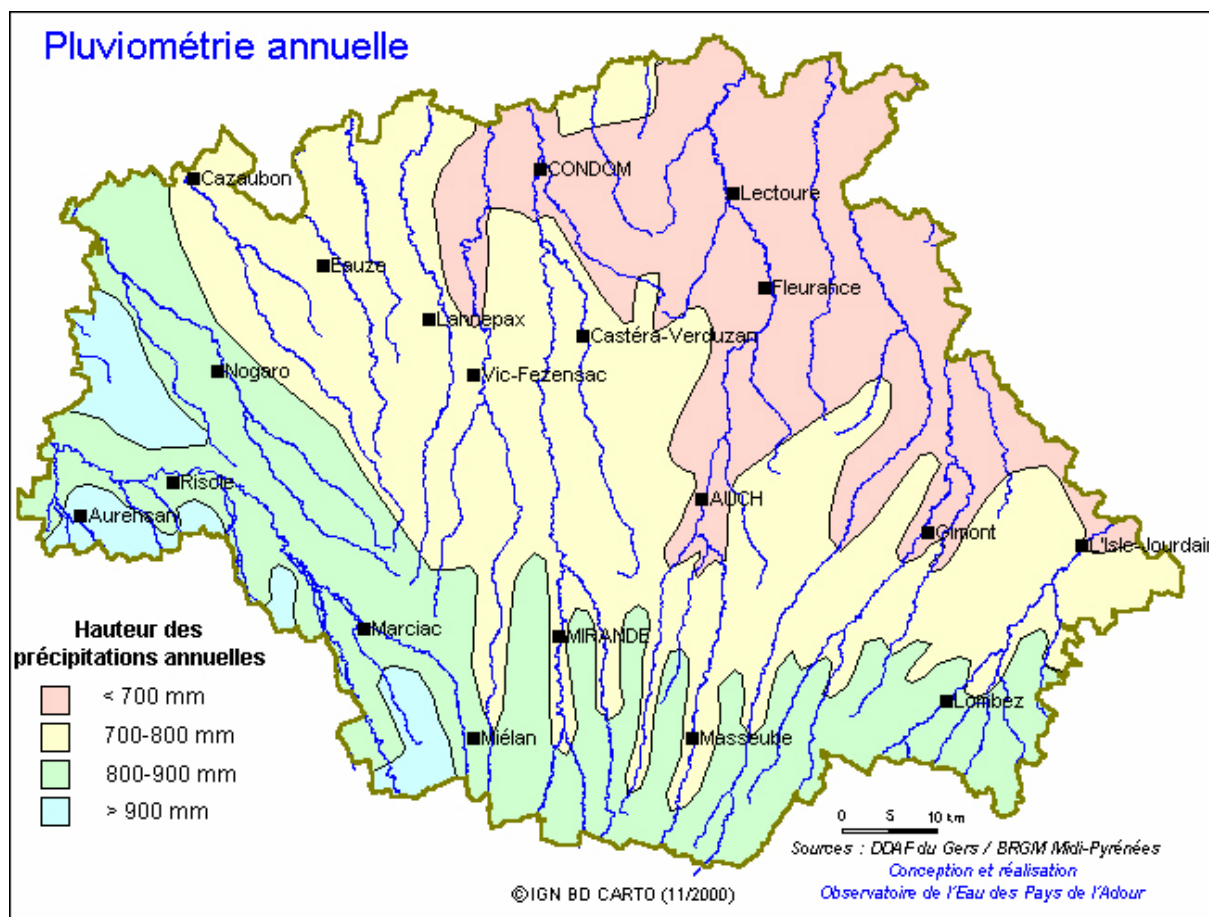
années vont être utilisée dans le cadre du projet RotAB pour : avancer sur le dispositif de la Hourre mais aussi pour créer une base de données nationale avec les autres sites réalisant des suivis à long terme en agrobiologie (Station Etoile dans la Drôme, Ferme de La Motte dans le Val d'Oise, station d'Archigny en Poitou Charente et station Arvalis de Boigneville). Dans le cadre de ce projet nous essayerons également de réaliser un bilan des éléments minéraux suivis.

Au niveau du CREAB Midi-Pyrénées ce travail va également se poursuivre avec le travail d'un stagiaire ingénieur. Ce stage aura pour but de tester un modèle de simulation sur les données de La Hourre. La comparaison entre les données mesurées aux champs et celles simulées devrait permettre de mieux caler le modèle. Une fois le modèle calé, ce dernier nous permettra de tester différents scénarios pour étudier leur effet sur le carbone, l'azote et le phosphore (exemple de scénario : diminution profondeur de labour, intégration de CIPAN, modification des rotations ...).

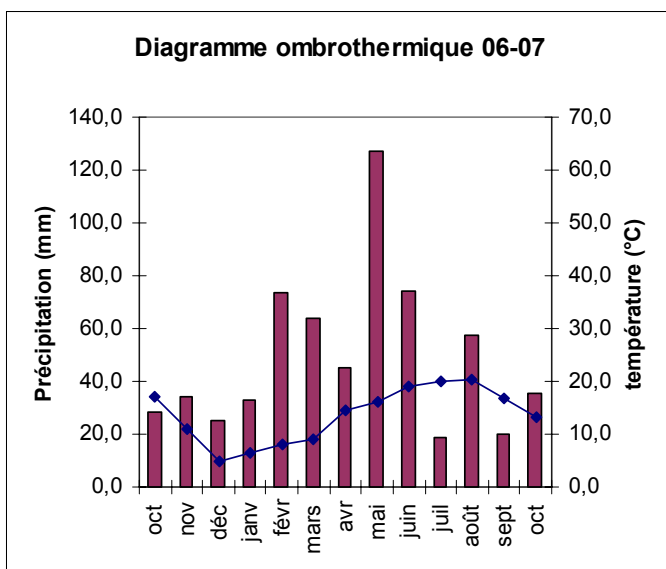
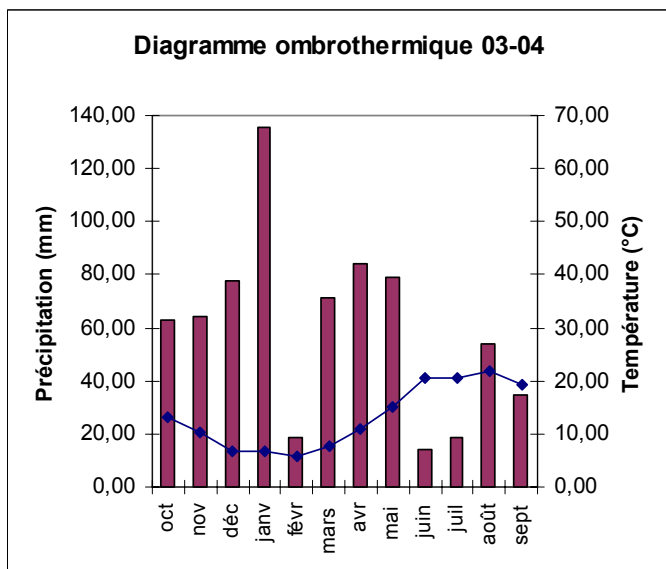
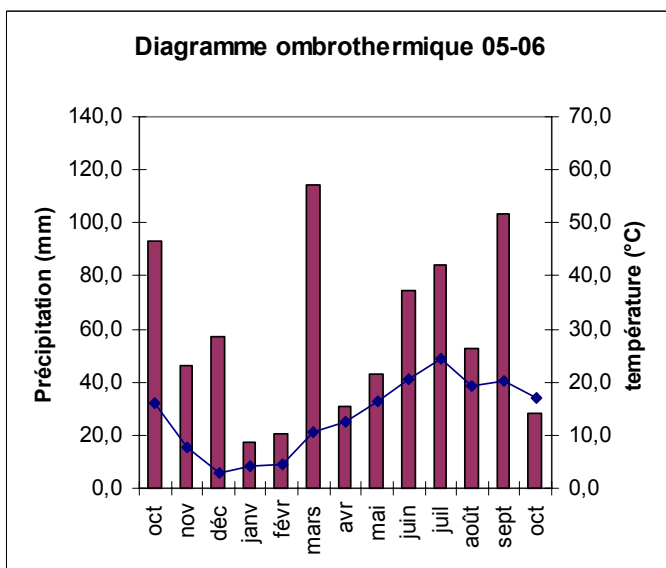
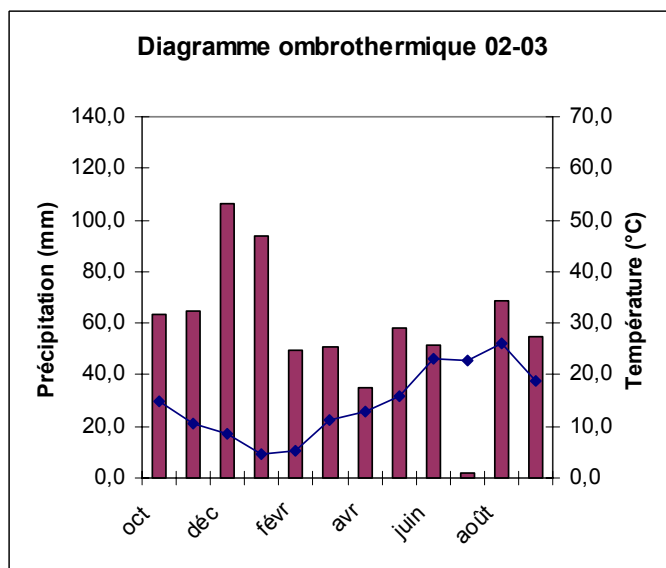
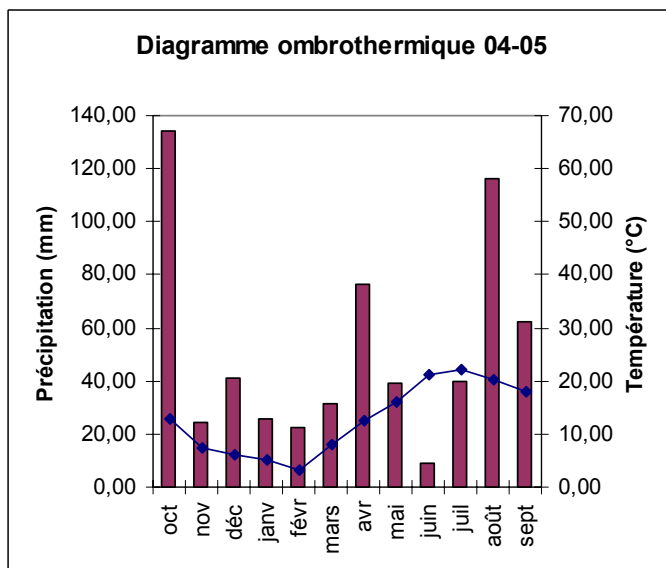
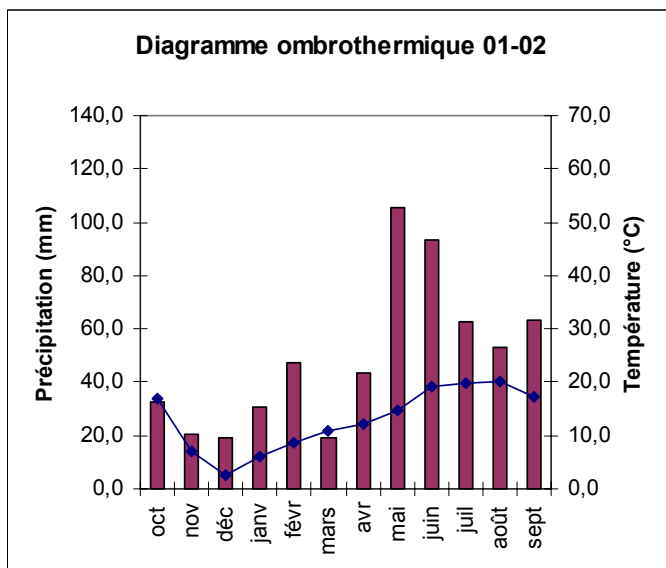


# **Annexes**

## Annexe I



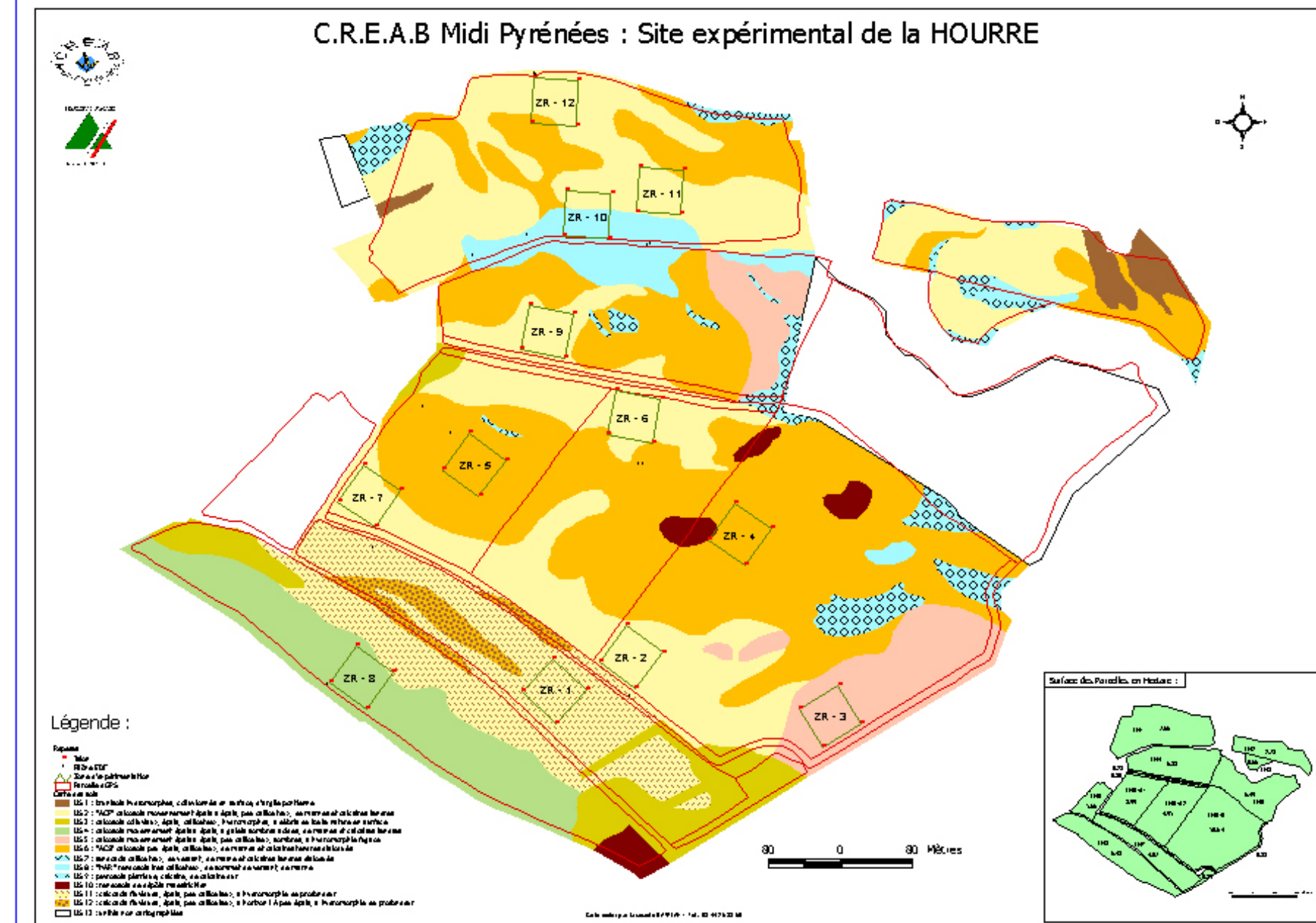
## Annexe II



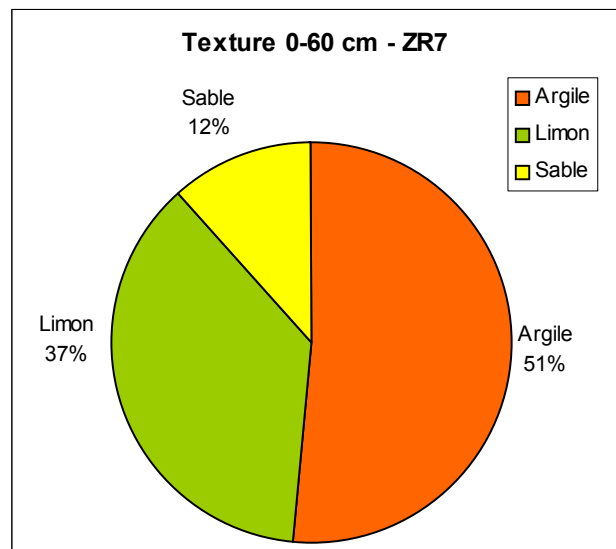
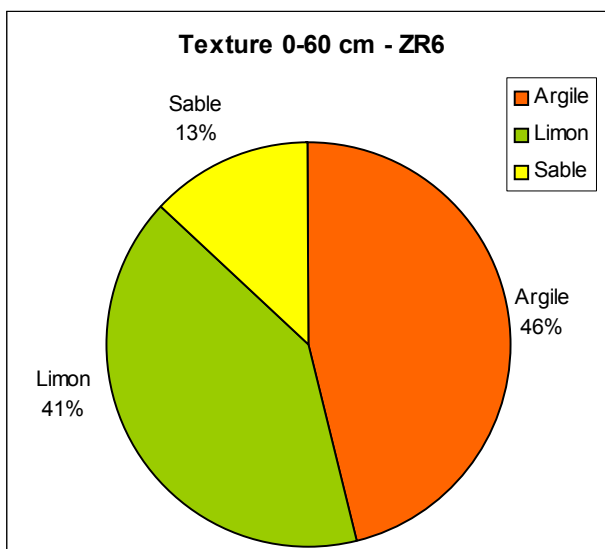
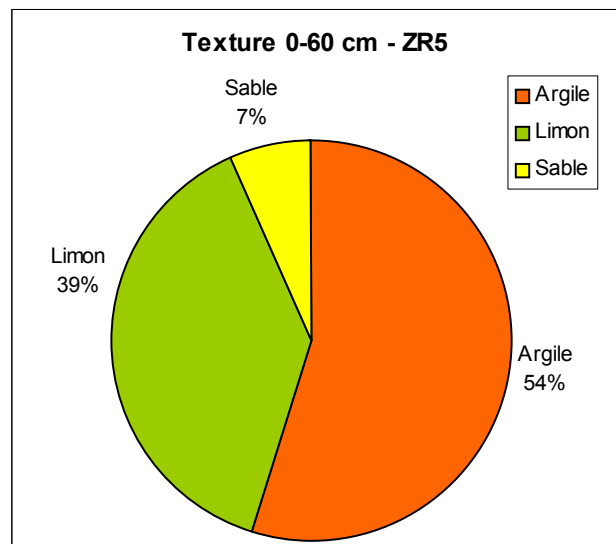
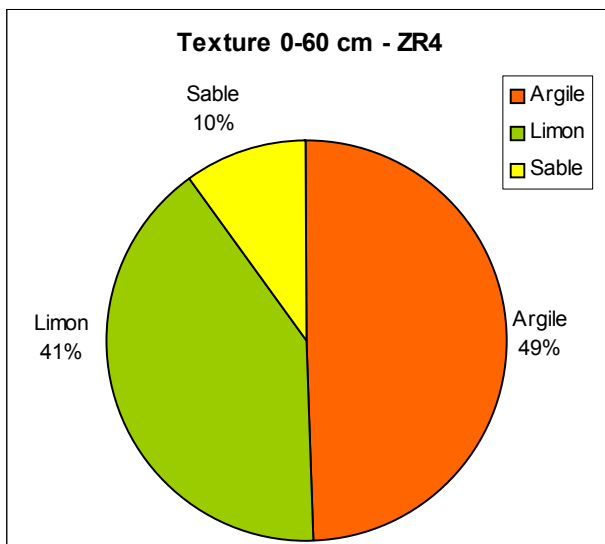
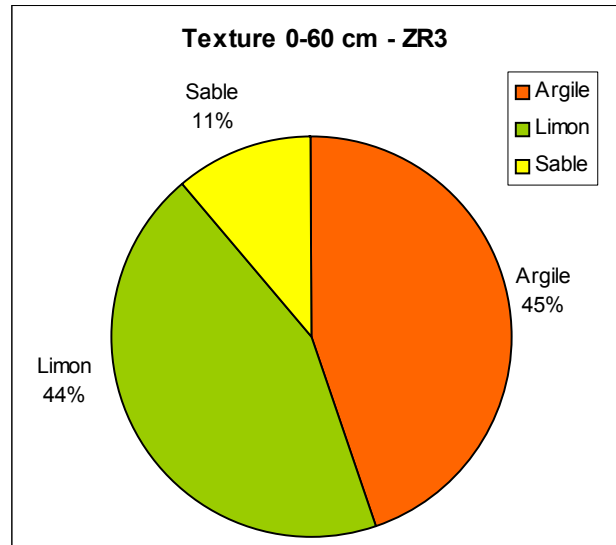
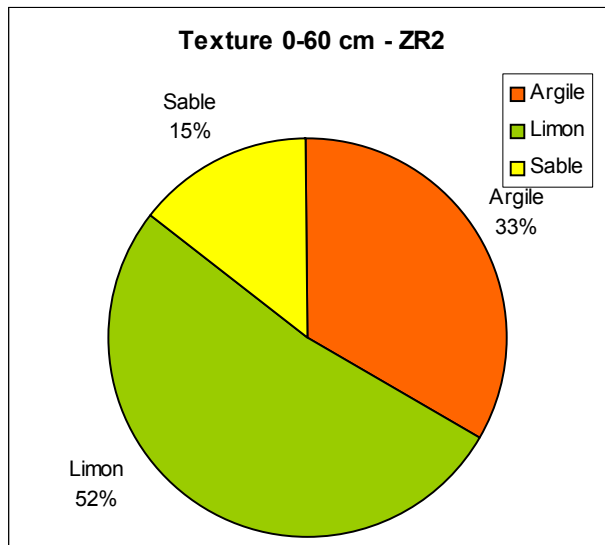


## Carte N° 2 : Résultats de l'étude pédologique

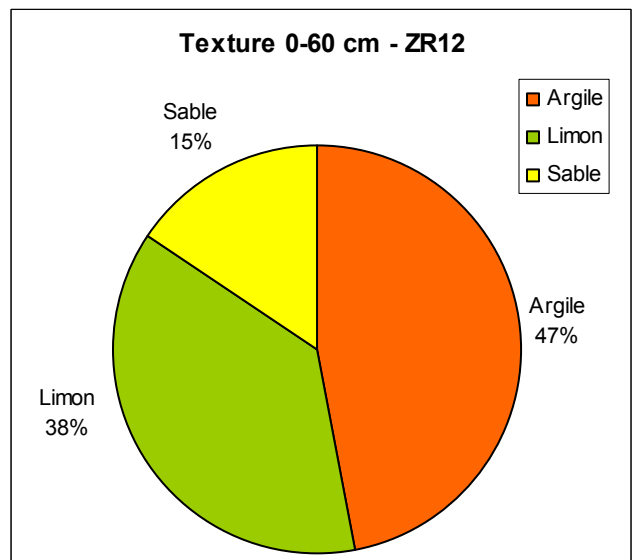
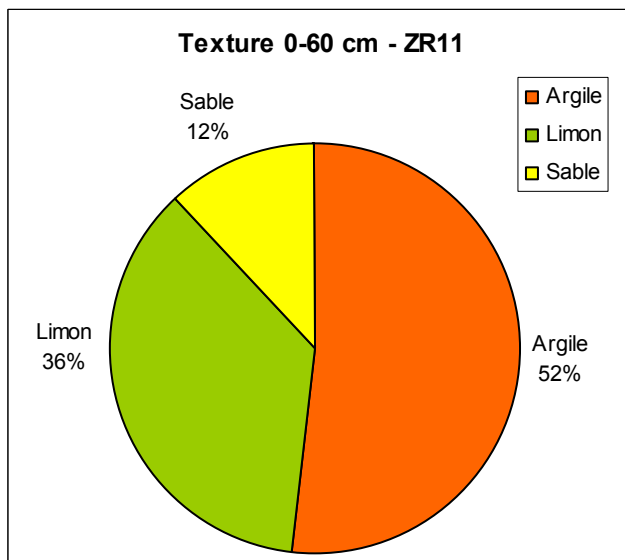
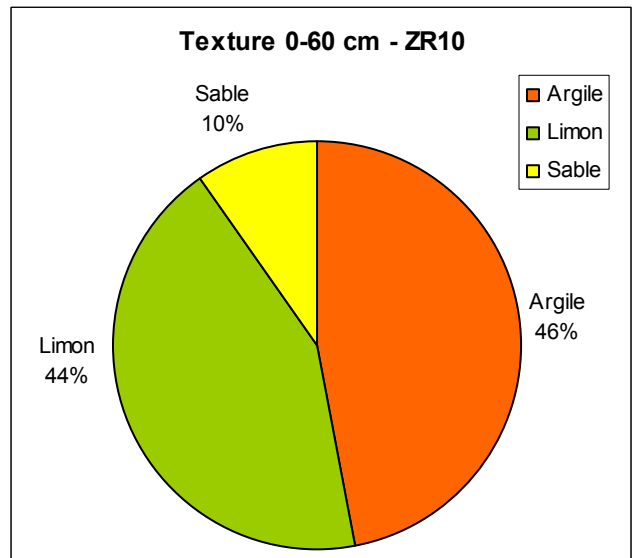
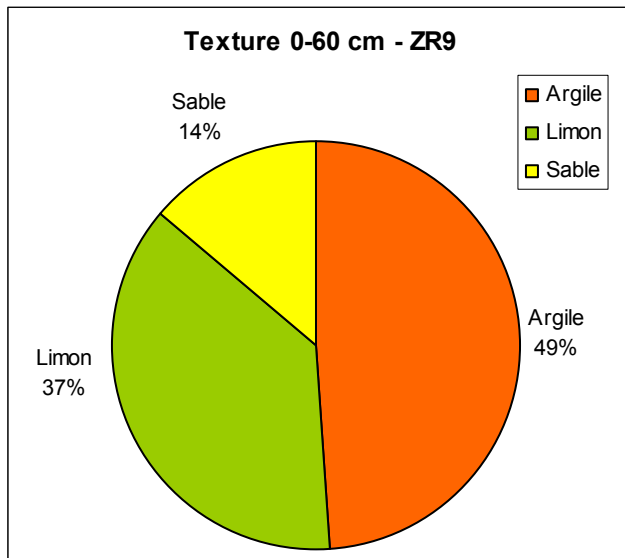
### C.R.E.A.B Midi Pyrénées : Site expérimental de la HOURRE



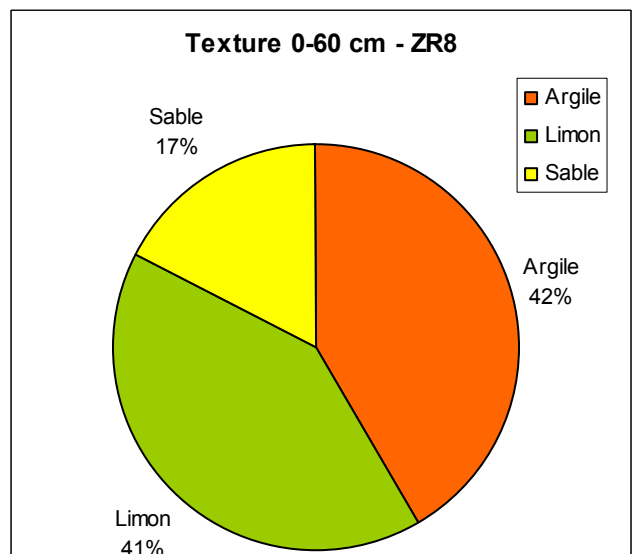
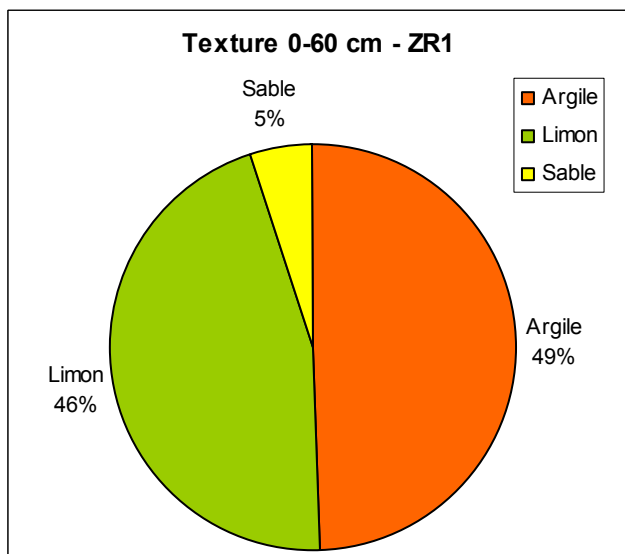
### Annexe III Parcelles de coteaux



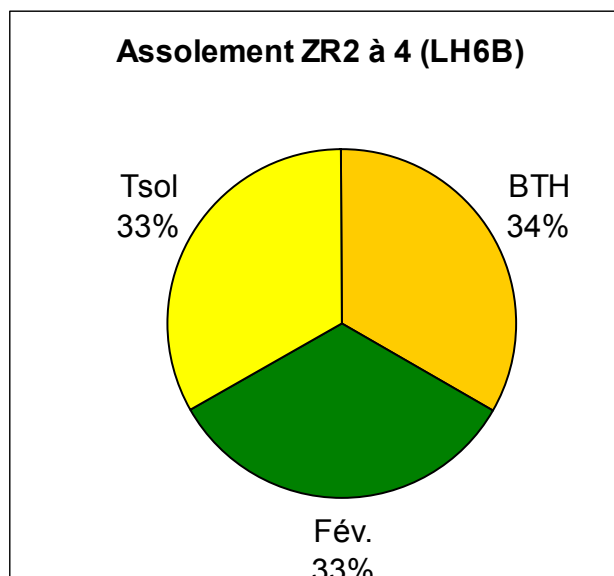
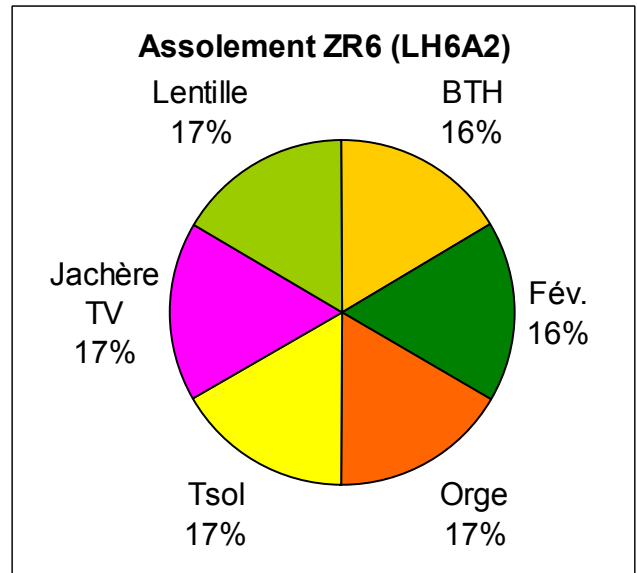
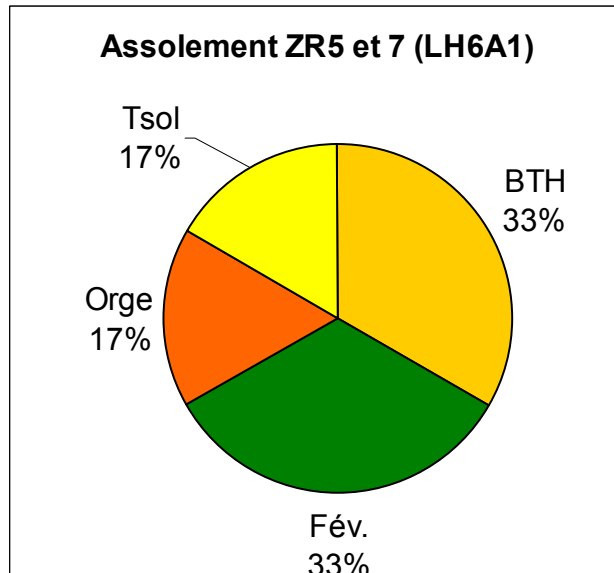
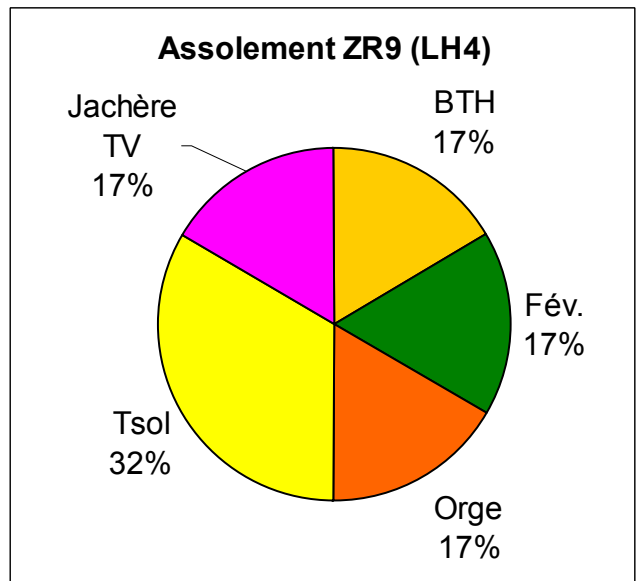
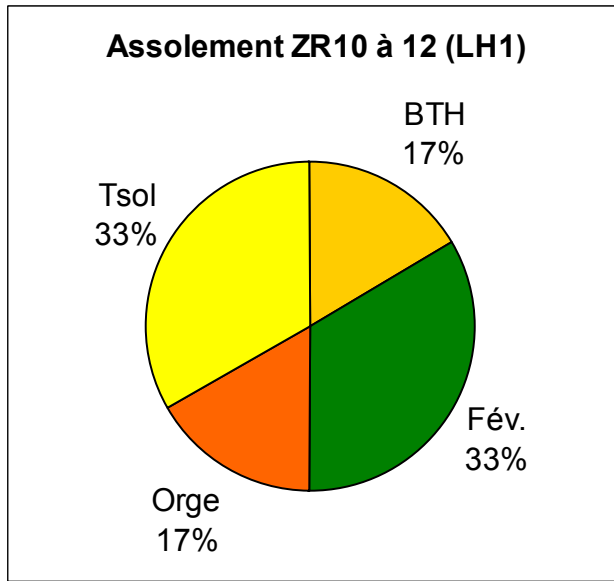
**Annexe III (suite)  
Parcelles de coteaux**



**Parcelles de vallée**

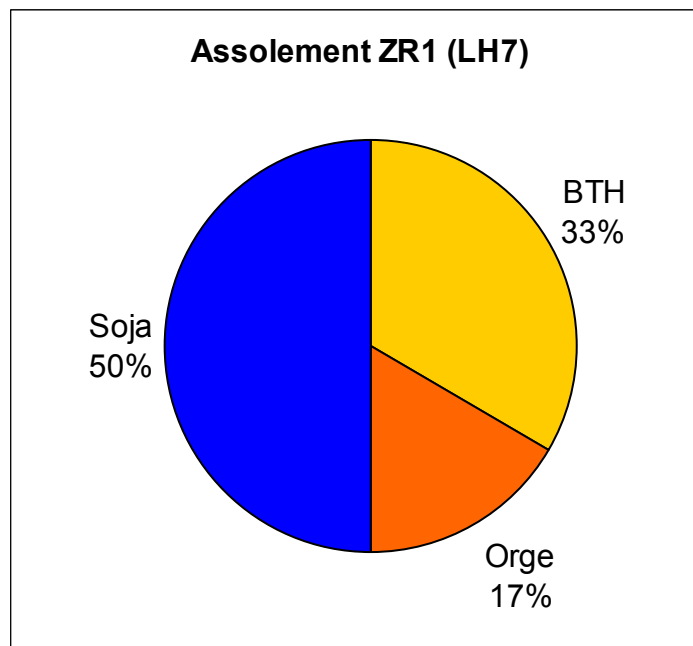
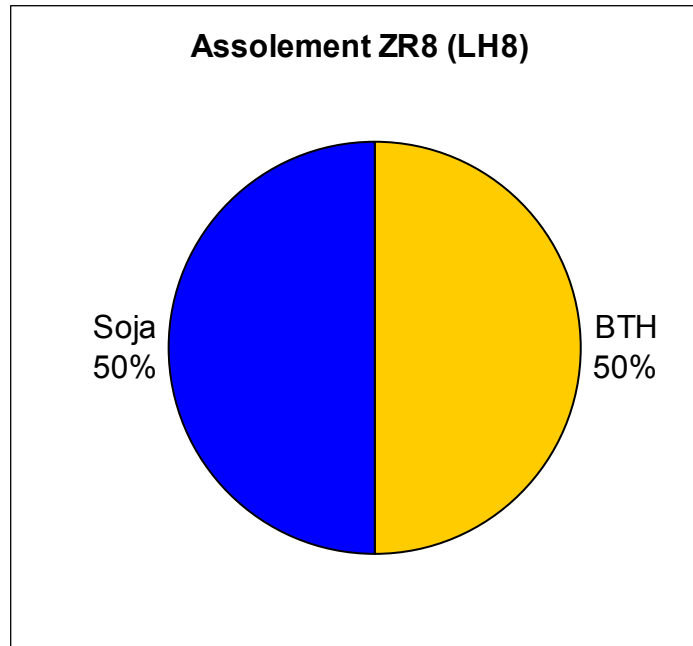


**Annexe IV  
Parcelles de coteaux**





**Annexe IV (suite)**  
**Parcelles de vallée**



## Annexe V : Adventices présentes sur la ferme

Nom français	Nom latin	Présence
Alchémille des champs	Aphanes arvensis	Occasionnel
Amarante réfléchie	Amaranthus retroflexus	Fréquent
Anthémis cotule	Anthemis cotula	Fréquent
Anthémis élevée	Anthemis altissima	Occasionnel
Avoine folle	Avena fatua	Occasionnel
Cardamine	Cardamine hirsuta	Fréquent
Chardons des champs	Cirsium arvense	Fréquent
Chénopode blanc	Chenopodium album	Fréquent
Coquelicot	Papaver rhoeas	Fréquent
Epiaire annuelle	Stachys annua	Occasionnel
Euphorbe exiguë	Euphorbia exigua	Rare
Euphorbe reveil matin	Euphorbia helioscopia	Occasionnel
Fumeterre officinale	Fumaria officinalis	Fréquent
Gaillet grateron	Galium aparine	Fréquent
Galeopsis à feuilles étroites	Galeopsis angustifolia	Rare
Geranium colombin	Geranium columbinum	Occasionnel
Gesse sans feuille	Lathyrus aphaca	Occasionnel
Grémil des champs	Buglossoides arvense	Rare
Helminthie fausse vipérine	Picris echioides	Fréquent
Laiteron rude	Sonchus asper	Occasionnel
Laitue scarole	Lactuca scariola	Occasionnel
Lamier pourpre	Lamium purpureum	Occasionnel
Lampourde à gros fruit	Xanthium strumarium	Rare
Lampsane commune	Lapsana communis	Occasionnel
Linaire batarde	Kickxia spuria	Fréquent
Linaire mineure	Chaenorrhinum minus	Occasionnel
Liseron des champs	Convolvulus arvensis	Occasionnel
Lychnis dioïque	Silene latifolia	Occasionnel
Mauve sylvestre	Malva sylvestris	Occasionnel
Mercuriale annuelle	Mercurialis annua	Fréquent
Mouron bleu	Anagallis foemina	Fréquent
Mouron rouge	Anagallis arvensis	Fréquent
Moutarde des champs	Sinapsis arvensis	Fréquent
Myosotis des champs	Myosotis arvensis	Rare
Panic pied de coq	Echinochloa crus-galli	Occasionnel
Paturin commun	Poa annua	Occasionnel
Picris fausse epervière	Picris hieracioides	Occasionnel
Rapistre rugueux	Rapistrum rugosum	Fréquent
Renoncule des champs	Ranunculus arvensis	Occasionnel
Renouée à feuille de patience	Polygonum lapathifolium	Rare
Renouée des oiseaux	Polygonum aviculare	Fréquent
Renouée liseron	Fallopia convolvulus	Fréquent
Renouée persicaire	Polygonum persicaria	Fréquent
Rumex crépu	Rumex crispus	Occasionnel
Séneçon vulgaire	Senecio vulgaris	Occasionnel
Sétaire verte	Setaria viridis	Occasionnel
Stellaire intermédiaire	Stellaria media	Occasionnel
Torilis des champs	Torilis arvensis	Occasionnel
Véronique à feuille de lierre	Veronica hederifolia	Occasionnel
Véronique de perse	Veronica persica	Fréquent
Véronique des champs	Veronica arvensis	Fréquent
Verveine officinale	Verbena officinalis	Fréquent
Vulpin des champs	Alopecurus myosuroides	Rare