

**Synthèse des essais conduits sur les associations
Céréales-Pois – Période 2006 à 2013**



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

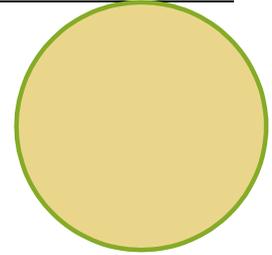
CENTRE REGIONAL DE RECHERCHE ET D'EXPERIMENTATION EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE MIDI-PYRENEES

Tableau 1 : Présentation des essais association de culture de 2006 à 2013

Modalités	2006	2007	2009	2010	2011	2012	2013
Céréale pure 1	BTH (Caphorn)	BTH (renan)	BTH (PR22R58)	BTH (PR22R58)	BTP (Triso)	OH (merle)	BTP (septima)
Association 1	BTH+PP 50-50	BTH+PH 50-50	BTH+PP 50-50	BTH+PH 50-50	BTP+PH 30-100	OH+PH 30-70	BTP+PP 20-80
Association 1 bis			BTH+PP 30-70	BTH+PH 30-70	BTP+PH 50-100	OH+PH 30-100	BTP+PP 20-100
Protéagineux pur 1	PP (Arthur)	PH (Lucy)	PP (Livia)	PH (Enduro)	PH (Enduro)	PH (Isard)	PP (Audit)
Date semis	24-nov	10-nov	6-fév	20-nov	2-déc	2-nov	4-mars
Céréale pure 2			OP (Nevada)	OP (Attraction)			OP (Olympic)
Association 2			OP+PP 50-50	OP+PP 50-50			OP+PP 30-70
Association 2 bis			OP+PP 30-70	OP+PP 30-70			OP+PP 30-100
Protéagineux pur 2			PP (Livia)	PP (Livia)			PP (Audit)
Date semis			6-fév	3-fév			4-mars
Remarques	Semé avec PH, dégâts pigeon. Re-semis PP (26-janv)	Destruction des pois par l'antracnose	Association BTH prévue avec PH semée PP		Prévu BTH mais gel coléoptile, re-semis BTP (21-janv)		Décalage de semis du fait des conditions climatiques

Légende : BTH = Blé tendre hiver ; BTP = Blé tendre de printemps ; OH = Orge hiver ; OP = Orge printemps ; PH = Pois hiver ; PP = Pois printemps.

Synthèse des essais conduits sur les associations Céréales-Pois – Période 2006 à 2012



Remerciements : Le CREAB MP tient à remercier chaleureusement Laurent Bedoussac, Maître de conférence ENFA / INRA pour sa relecture et les corrections apportées à cette synthèse.

1. Présentation des essais

Les différents essais sur les associations céréales-pois ayant servis à la réalisation de cette synthèse sont présentés dans le tableau 1 ci-dessus. Ces essais ont été mis en place chaque année depuis la campagne 2005-2006 à l'exception de 2008 où il n'y a pas eu d'essai mais seulement une démonstration sans répétition.

Objectifs des essais :

Selon les divers projets de recherche, les objectifs principaux des associations ont été de :

- 2006-2007 (CASDAR UNIP) : produire du blé panifiable riche en protéines.
- 2008 à 2010 (CASDAR ESA) : produire un mélange pour les éleveurs
- 2011 à 2013 (CASDAR ProtéAB) : produire du pois protéagineux en AB

Tous les essais ont été conduits sans fertilisant et sans désherbage mécanique en végétation.

Semis des essais : le semis a toujours été réalisé en mélangeant à l'avance les deux espèces, qui sont ensuite mis dans la trémie et semées sur le même rang au semoir céréale avec un écartement de 17,5 cm.

Difficultés rencontrés : diverses difficultés ont plus ou moins perturbés les essais selon les années :

- **2005-2006** : le pois d'hiver fut mangé par les pigeons après semis et un pois de printemps fut ressemé ensuite mais son développement fut très limité.
- **2006-2007** : année à très forte pression anthracnose en Midi-Pyrénées, toutes les cultures de pois furent détruites par la maladie, ce fut la seule année où aucun grain de pois ne fut récolté.
- **2008-2009** : le dispositif était prévu avec une association d'hiver (BTH+PH) et une association de printemps. L'automne humide n'as pas permis de semer à la date prévue, le dispositif fut modifié pour l'association d'hiver, le BTH a été maintenu mais en choisissant une variété alternative et le pois d'hiver fut remplacé par un pois de printemps
- **2009-2010** : aucune difficulté particulière
- **2010-2011** : le dispositif fut semé avec un blé d'hiver, mais le blé fut détruit par un épisode de froid après la levée (gel à la sortie du coléoptile). Un blé de printemps fut ressemé. Suite à la sécheresse du printemps 2011, les pois furent matures précocement (fin mai) alors que le blé de printemps ressemé fut mature beaucoup plus tardivement (mi-juillet). Lors des récoltes machines, les pois avaient subis de fortes attaques oiseaux ainsi nous n'avons pas pu mesurer le rendement des pois.

C.R.E.A.B. MIDI-PYRENEES
CENTRE REGIONAL DE RECHERCHE ET D'EXPERIMENTATION EN
AGRICULTURE BIOLOGIQUE MIDI-PYRENEES

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

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

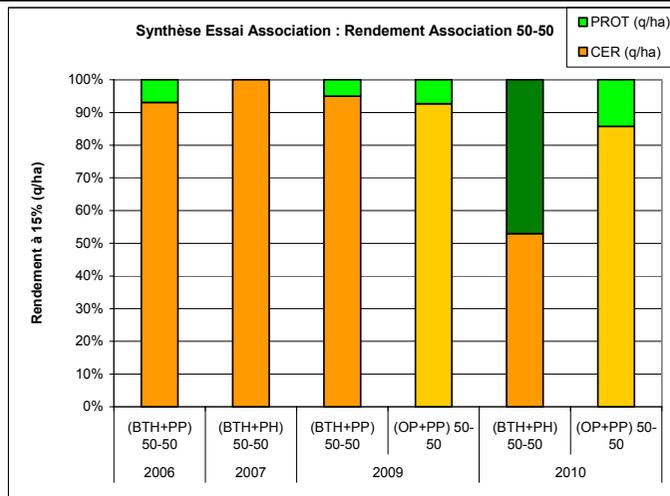
- **2011-2012** : aucune difficulté particulière
- **2012-2013** : le dispositif était prévu avec une association d'hiver (BTH+PP) et une association de printemps a semer mi-décembre. Compte tenu de l'hiver très pluvieux le blé d'hiver fut remplacé par un blé de printemps, et le semis eu lieu le 4 mars.

Remarque : A chaque fois que nous avons du ressemer une culture, que se soit la céréale ou le pois, cette culture présentait un faible rendement du fait de la compétition exercée par la culture ayant bien levé. Ainsi on peut suggérer que si après le semis d'une association l'une des cultures vient à manquer il vaut mieux poursuivre en culture pure plutôt que de tenter de ressemer l'espèce manquante.

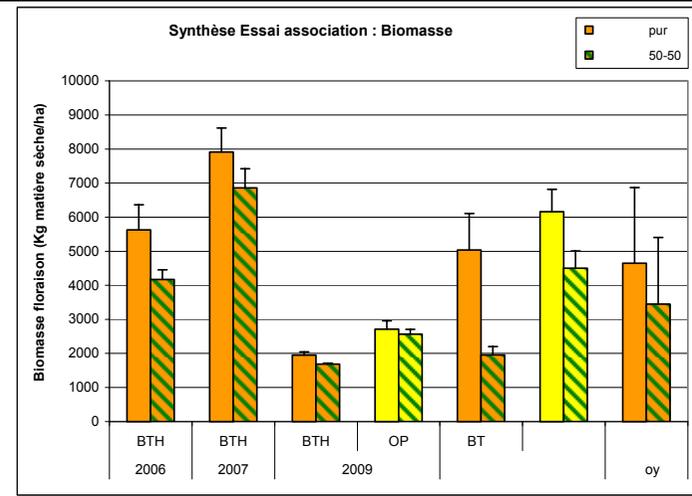
C.R.E.A.B. MIDI-PYRENEES

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

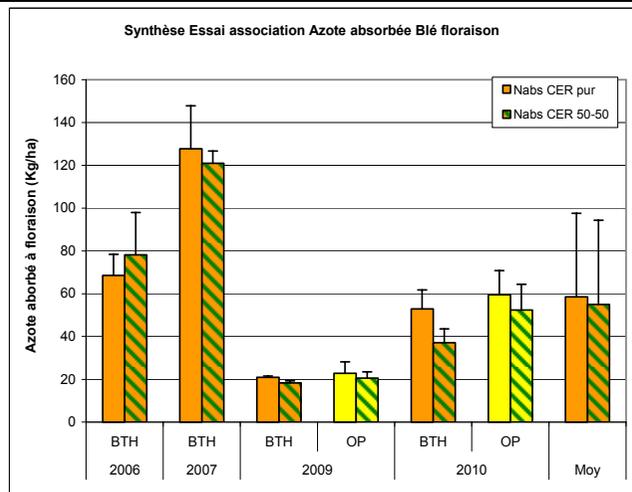
**Graphe n°1 : Rendement (en % du rendement total)
Essais association à 50-50**



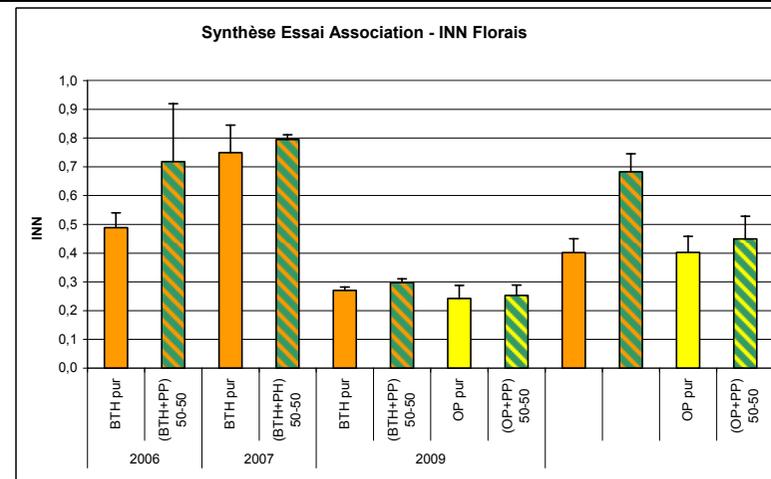
**Graphe n°2 : Biomasse de la céréale à la floraison
Essais association à 50-50**



**Graphe n°3 : Azote absorbé par la céréale à la floraison (Kg N/ha)
Essais association à 50-50**



**Graphe n°4 : INN de la céréale à la floraison
Essais association à 50-50**



2. Principaux résultats :

2.1. Association proportion 50-50

Pour rappel une association 50-50 signifie que chaque espèce a été semée à **50% de la densité en pure**. Ainsi pour un blé pur semé à 400 grains/m² et un pois pur semé à 100 grains/m² l'association 50-50 sera composée de 200 grains/m² de blé et 50 grains/m² de pois, ce qui correspond en nombre de grains à 80% de céréales et 20% de pois.

Nous disposons de 6 essais avec des associations 50-50 dont 4 associations avec du blé tendre (2006, 2007, 2009 et 2010) et 2 associations avec de l'orge de printemps (2009 et 2010).

2.1.1. Proportion des espèces au semis (grains/m²), à la levée (plantes/m²) et à la récolte (q/ha à 15% d'humidité).

En règle générale les proportions entre plantes semées et plantes levées varient peu. La proportion semée en nombre de grains/m² est de 80% de blé et 20% de pois. A la levée les pertes sont souvent plus importantes pour la céréale que pour le pois (tout comme en culture pure) avec *in fine* une proportion des espèces à la levée de 76% de céréale et 24% de pois. Enfin à la récolte (Cf. graphes n°1), le rendement final est composé en moyenne sur 6 ans à 85% de céréale et 15% de pois. Cependant, cette proportion à la récolte varie de 100% de céréale en 2007 de part la destruction du pois par l'antracnose à 53% de blé en 2010.

2.1.2. Biomasse, azote absorbé et INN de la céréale à floraison (graphes n°2 à 4)

Céréales : à la floraison les céréales associées ont très bien compensées leurs plus faibles densités de semis. En effet, la biomasse produite par la céréale associée atteint en moyenne 74% de celle de la culture pure (4,6 t_{MS}/ha en pure contre 3,5 t_{MS}/ha en conduite associée). Au niveau des prélèvements azotés, les céréales associées compensent encore mieux car elles prélèvent en moyenne 94% de la quantité d'azote absorbé par la céréale pure (58,6 kg d'N/ha en pure contre 55 kg/ha en association). Pour l'indice de nutrition azoté (INN, cf. annexe méthodologique) les céréales associées restent en moyenne carencées en azote mais moins que les céréales pures (INN céréales associées = 0,53 contre 0,43 pour les céréales pures).

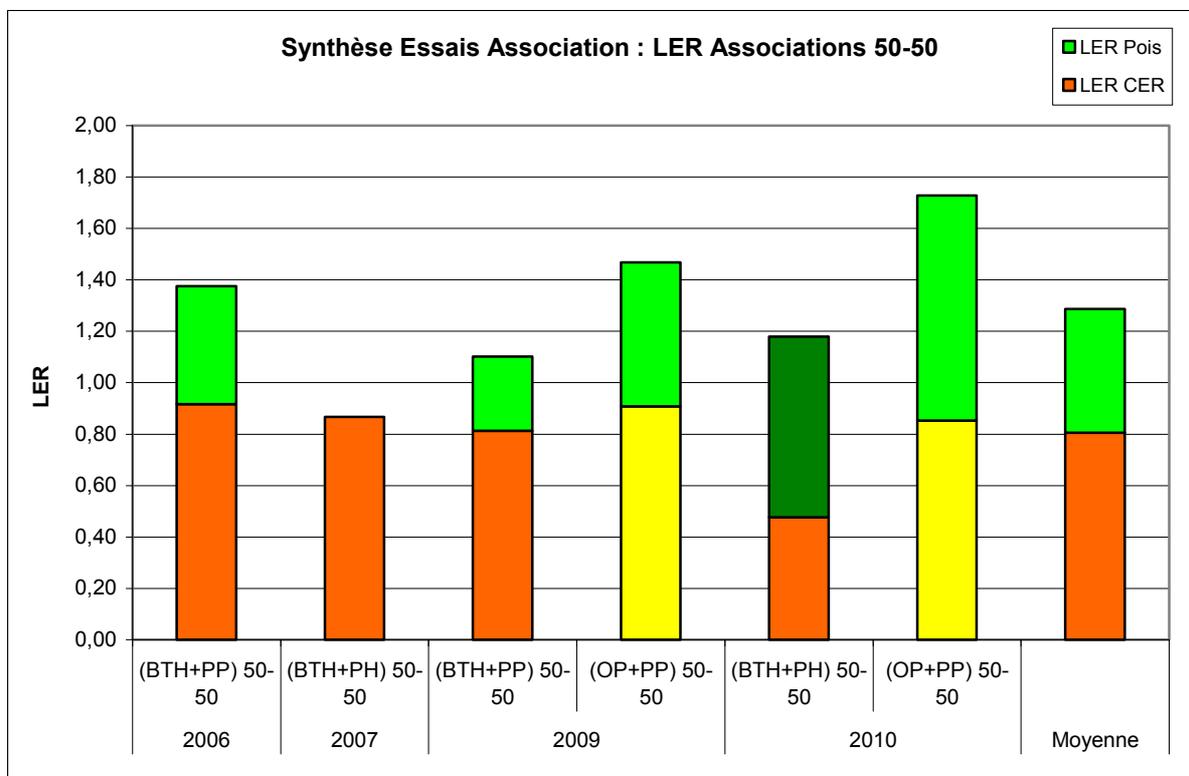
Pois : leur comportement est différent de la céréale. En terme de biomasse ils semblent limités dans l'association car ils ne produisent que 43% de la biomasse atteinte en culture pure (3,7 t_{MS}/ha en pure contre 1,6 t_{MS}/ha en association). Il en va de même pour les prélèvements azotés qui ne représentent que 39% de ceux de la culture pure (85 kg d'N/ha pour le pois pur contre 33 kg d'N/ha en association). Pour l'INN la différence est faible entre les deux conduites (0,67 pour les cultures pures contre 0,71 en cultures associées).

Ainsi pour les associations semées à 50-50, on observe à la floraison de fortes compensations pour la culture de céréale avec une biomasse et des prélèvements azotés favorisés, alors que pour le pois on observe l'effet inverse indiquant que la légumineuse est plus concurrencée au sein de l'association que la céréale. Du point de vue de la carence azotée à la floraison, la conduite en association favorise la nutrition de la céréale et n'a pas d'effet sur celle du pois.

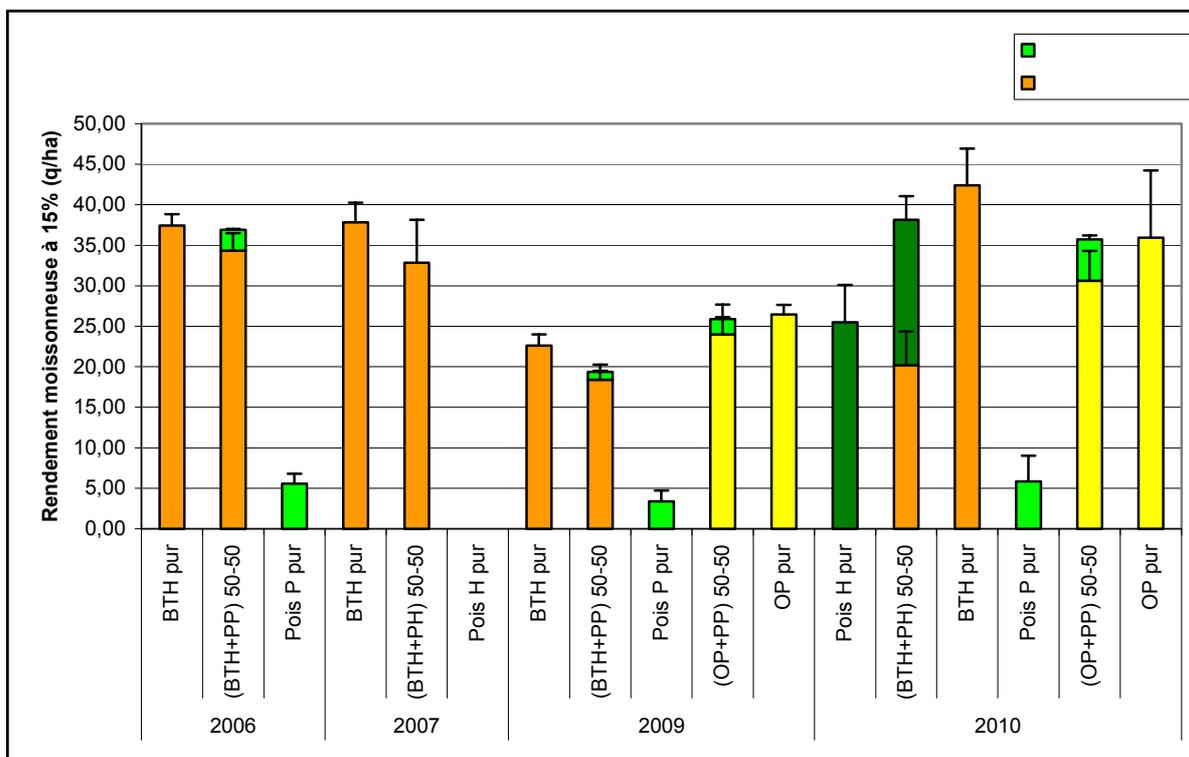
C.R.E.A.B. MIDI-PYRENEES

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

Grappe n°5 : LER des Associations
Essais association à 50-50



Grappe n°6 : Rendement des Associations
Essais association à 50-50



2.1.3. Productivité et teneur en protéine

La performance d'une association par rapport aux cultures pures se mesure à l'aide du LER (Land Equivalent Ratio) qui est un indicateur du rendement relatif calculé de la façon suivante :

$$\text{LER} = \text{LER}_{\text{Légumineuse}} + \text{LER}_{\text{Céréale}}$$

Avec les LER partiels suivants :

$$\text{LER}_{\text{Céréale}} = \text{Rendement Céréale en association} / \text{Rendement Céréale en culture pure}$$

$$\text{LER}_{\text{Légumineuse}} = \text{Rendement Légumineuse en association} / \text{Rendement Légumineuse en culture pure}$$

Du point de vue de l'interprétation trois cas sont possibles :

1. si $\text{LER} < 1$ alors il faut moins d'un hectare de cultures pures pour produire autant et avec la même composition qu'un ha d'association l'association est moins productive que les cultures pures (ce qui ne veut pas dire que le rendement de l'association est plus élevé qu'une des cultures pures où que le rendement moyen des deux cultures pures)
2. si $\text{LER} = 1$ alors il faut un hectare de cultures pures pour produire autant et avec la même composition qu'un ha d'association
3. si $\text{LER} > 1$ alors il faut plus d'un hectare de cultures pures pour produire autant et avec la même composition qu'un ha d'association

Pour les associations à 50-50, sur les six essais retenus le LER moyen est de 1,29 (graphe n°5). Nous n'observons qu'une année avec un LER inférieur à 1 (2007 où l'anthracnose a totalement détruit les cultures de pois à la fois en pur et en association). Le LER partiel moyen de la céréale associée est de 0,81 c'est-à-dire que les céréales semées à 50% de leur dose en pure produisent 81% du rendement atteint par la culture pure. Pour le pois le LER partiel moyen est de 0,58.

Ainsi sur les six années d'essai, en moyenne il faut 1,29 ha de cultures pures (0,58 ha de pois pur et 0.81 ha de céréale pure) pour produire autant et avec la même composition qu'un ha d'association.

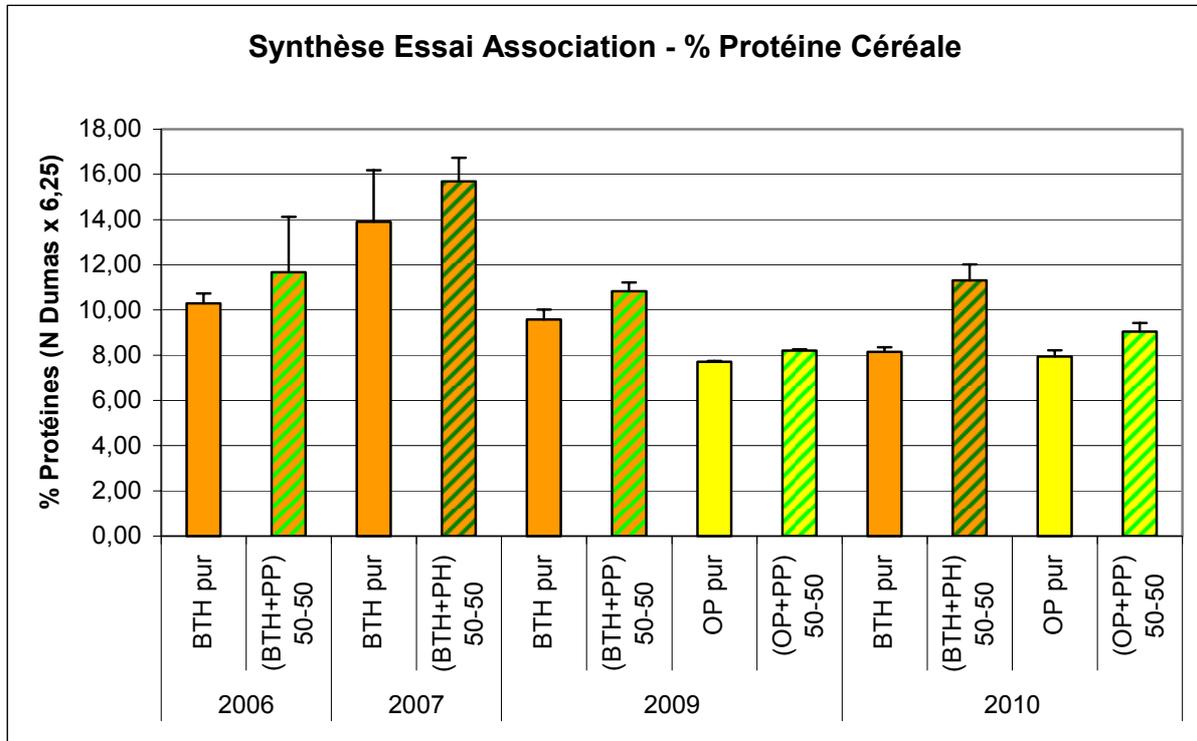
En céréale sans fertilisation le rendement moyen est de 33,4 q/ha en conduite pure (graphe n°6) pour une moyenne de 26,7 q/ha en association. Pour le pois nous obtenons 10,1 q/ha en culture pure pour 4,7 q/ha en association (intégrant 2007 avec un rendement nul).

Les teneurs en protéines de la céréale associée sont fortement augmentées (cf. graphe n°7) par rapport à la céréale seule. Toutes céréales confondues ont obtenu 9,6% de teneur en protéines en pure contre 11,1% en association. Pour le blé les teneurs en pures sont de 10,5% contre 12,4% en association soit un gain moyen de 1,9 point. Pour les pois la teneur en protéines n'est pas modifiée avec en moyenne 25,2% aussi bien en pur qu'en association.

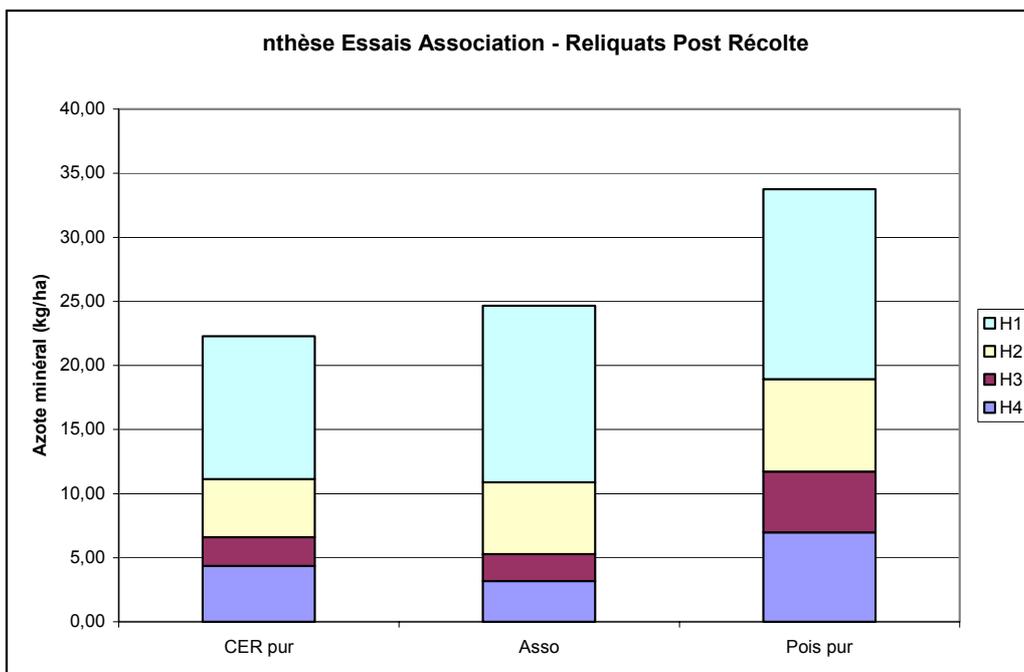
C.R.E.A.B. MIDI-PYRENEES

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

Graphe n°7 : Teneur en protéines de la céréale (% de la MS)
Essais association à 50-50



Graphe n°8 : Reliquats d'azote minéral post-récolte
Essais association à 50-50



2.1.4. Biomasse et azote absorbé à la récolte

A la récolte, la biomasse des parties aériennes des céréales cultivées en pure est de 6,5 t_{MS}/ha contre 4,8 t_{MS}/ha en association. Ainsi pour un semis de céréale à 50% de la dose en pure, à la récolte la biomasse des céréales associées atteint 75% de celles cultivées en pures. Pour les pois on obtient 3,3 t_{MS}/ha en culture pure contre 1,3 t_{MS}/ha en culture associée, donc pour un semis en association à 50% de la culture pure à la récolte le pois associé réalise 40% de la biomasse produite par les pois en purs. Ainsi ces associations semblent favoriser la céréale associée au détriment de la légumineuse en termes de biomasse produite mais aussi de rendement comme nous l'avons vu précédemment.

Si l'on étudie l'indice de récolte (noté IR) qui correspond au poids des grains divisé par la biomasse totale (pailles + grains) on obtient pour la céréale en pure un IR de 0,43 contre 0,42 en association ce qui signifie que la proportion de grain par rapport à la paille est inférieur pour la céréale associée que pour la céréale pure. Pour les pois on obtient l'inverse, à savoir un indice de récolte en culture pure de 0,34 contre 0,42 en association c'est-à-dire que la proportion de grain par rapport à la paille est supérieur en association par rapport à la culture pure.

Pour les prélèvements azotés totaux, les céréales pures ont absorbées en moyenne 64,1 kg d'N/ha et les pois en purs 86,5 kg d'N/ha. En association les céréales ont absorbées 55,7 kg d'N/ha et les pois 33,5 kg d'N/ha ce qui signifie qu'au sein de l'association 62% de l'azote totale absorbé l'est par la céréale contre 38% pour le pois. Ainsi les céréales associées réussissent à absorber 87% de la quantité d'azote absorbée par la céréale en pure ce qui est conséquent compte tenu d'un semis réalisé avec une densité moitié moindre. Pour les pois on observe l'inverse, à savoir que le pois associé absorbe 39% de ce qu'a absorbé la culture pure de légumineuse et ce principalement du fait d'une moindre biomasse.

In fine, la biomasse des parties aériennes à la récolte de l'association dans sa globalité (pois et céréale) est inférieure à celle d'une céréale pure mais supérieure à celle d'un pois pur. Par contre la quantité d'azote absorbée par l'association (pois et céréale) est supérieure au pois pur mais également supérieur à celle de la céréale pure.

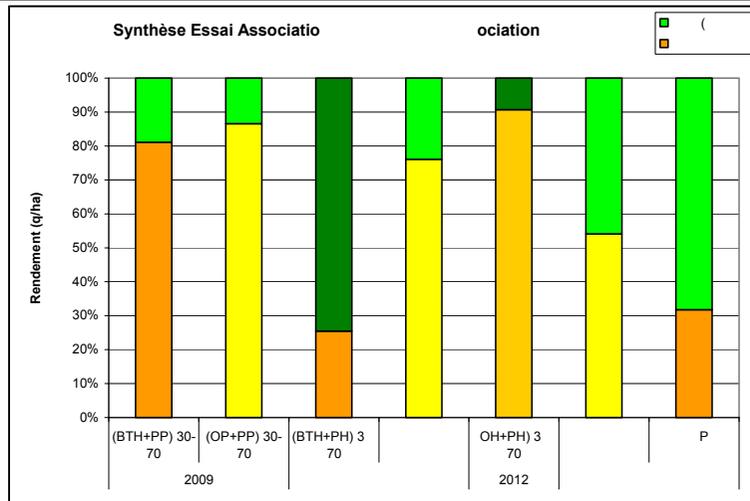
2.1.5. Reliquats azoté post récolte

Les reliquats azotés post récolte sont faibles en règle générale (cf. graphe n°8) et il n'y a pas de différence entre association et céréales à pailles pure (entre 20 et 25 kg d'N/ha) ce qui est légèrement inférieur à la quantité d'azote disponible après le pois en culture pure (34 kg d'N/ha).

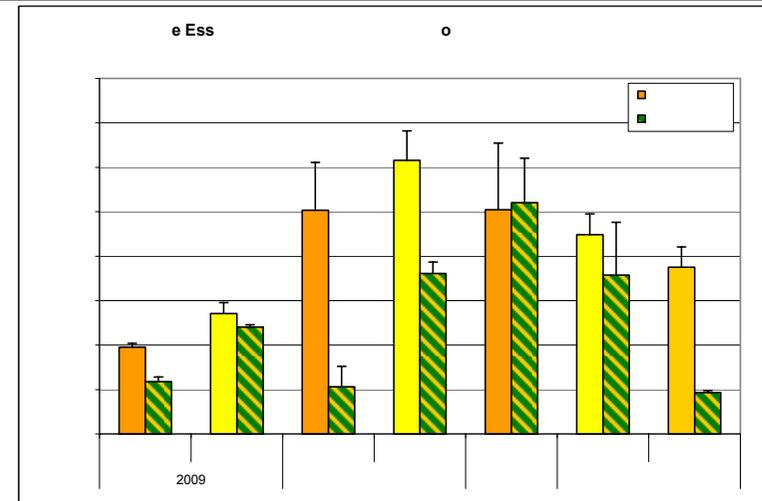
C.R.E.A.B. MIDI-PYRENEES

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

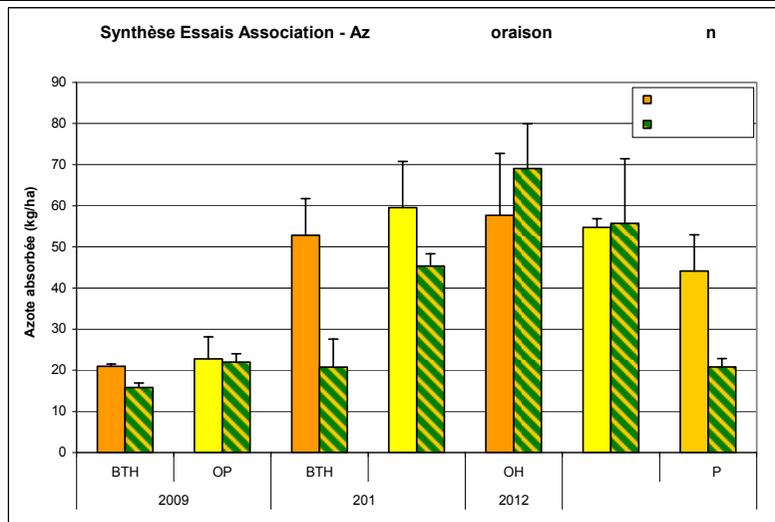
**Graphe n°9 : Rendement (en % du rendement total)
Essais association à 30-70 et 20-80**



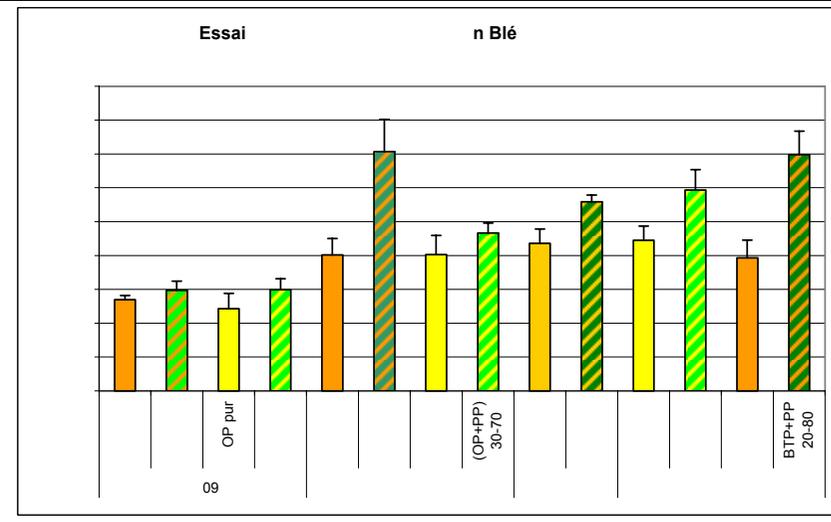
**Graphe n°10 : Biomasse de la céréale à la floraison (kg/ha)
Essais association à 30-70 et 20-80**



**Graphe n°11 : Azote absorbée par la céréale à la floraison (Kg N/ha)
Essais association à 30-70 et 20-80**



**Graphe n°12 : INN de la céréale à la floraison
Essais association à 30-70 et 20-80**



2.2. Association proportion 30-70 et 20-80

Pour ces associations, nous disposons de 7 essais dont 2 conduits avec du blé tendre d'hiver (2009 et 2010), 1 conduit avec du blé tendre de printemps (2013), 3 conduits avec de l'orge de printemps (2009, 2010 et 2013) et 1 conduit avec de l'orge d'hiver (2012). Toutes ces associations ont été semées en 30-70 à l'exception de l'association blé tendre de printemps-pois protéagineux de printemps de 2013 semée à 20-80.

2.2.1. Proportion des espèces : semées (grains/m²), levées (plantes/m²) et récoltées (q/ha à 15% d'humidité).

Comme précédemment on observe peu de différence entre les plantes semées et les plantes levées. Pour ces associations les proportions semées (en nombre de grains/m²) sont de 61% de céréale et 39% de pois. Les pertes à la levée restent un peu plus élevées pour la céréale avec in fine une proportion de plantes levées/m² correspondant à 55% de céréales et 45% de pois. A la récolte la céréale représente 66% du rendement final et le pois 34% alors que pour les associations à 50-50 on obtenait 84% de céréale et 16% de pois.

Les proportions à la récolte (cf. graphe n°9) sont très différentes d'une année sur l'autre avec des proportions allant de 91% d'orge en 2012 à 25% de blé en 2010. Par rapport aux associations semées à 50-50, on observe que sur 2 essais nous obtenons plus de grains de pois que de grains de céréale dans l'association.

2.2.2. Biomasse, azote absorbé et INN de la céréale à floraison (graphes n°10 à 12)

Céréales : on constate à nouveau que les céréales ont fortement compensé leurs faibles densités de semis, car à la floraison la biomasse des céréales conduites en association représente 62% de la biomasse des céréales conduites en pures (4,2 t_{MS}/ha en pure contre 2,6 t_{MS}/ha en association). Pour les prélèvements azotés, les compensations sont encore plus fortes car les céréales associées ont absorbé 80% de la quantité d'azote absorbée par les céréales pures (44,7 kg d'N/ha en pur contre 35,7 kg d'N/ha en association). En 2012 et en 2013 on observe même que l'orge associée a prélevé plus d'azote que la culture pure. Au niveau de l'indice de nutrition azoté, les écarts sont très importants entre céréales pures et céréales associées avec un INN de 0,37 en culture pure soulignant une forte carence en azote alors qu'en association la carence est moins marquée avec un INN de 0,52.

Pois : pour les pois on constate qu'à la floraison des céréales, la biomasse des pois associés correspond à 78% de celle des pois cultivés en pur ce qui est proche des 70% correspondant à la densité de semis de la culture pure. Ainsi, chaque plant de pois a en association produit légèrement plus de biomasse qu'en culture pure. Pour ce qui est de l'absorption d'azote, les pois associés ont absorbé 66% de la quantité absorbée par les pois purs indiquant la encore qu'il n'y a pas de différence entre une plante de pois cultivée seule et une plante de pois cultivée dans une association 30-70. Au niveau de l'indice de nutrition azoté on observe là encore une très faible différence avec un INN de 0,67 en culture associée contre 0,73 en culture pure.

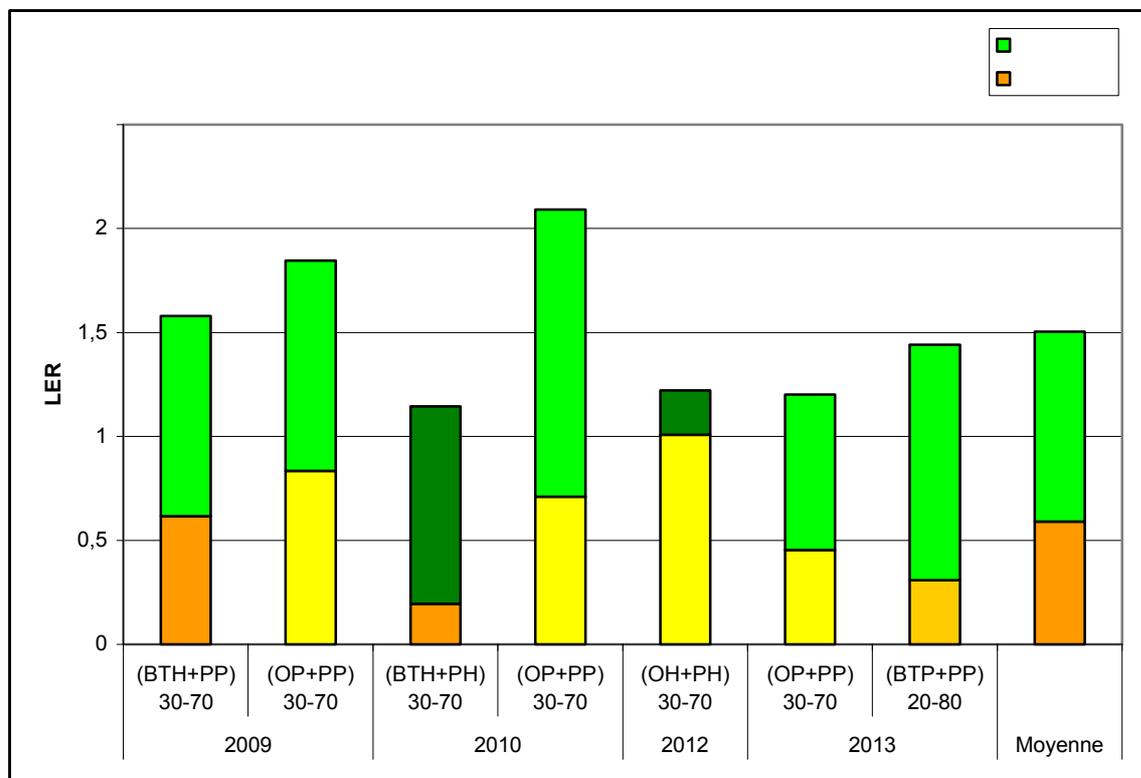
2.2.3. Productivité et teneur en protéine

Ces associations sont particulièrement productives car chaque année les LER sont supérieurs à 1 avec une moyenne de 1,5 ce qui signifie qu'il il faudrait en moyenne 1,5 ha de cultures pures (cf. graphe n°13) pour produire le même rendement et avec la même composition qu'un ha de culture associée. Le LER partiel des céréales est de 0,59 ce qui veut dire que les céréales ont produit 59% du rendement des céréales en pures ce qui est élevé compte tenu de la faiblesse des densités de semis (30% de la densité en culture pure).

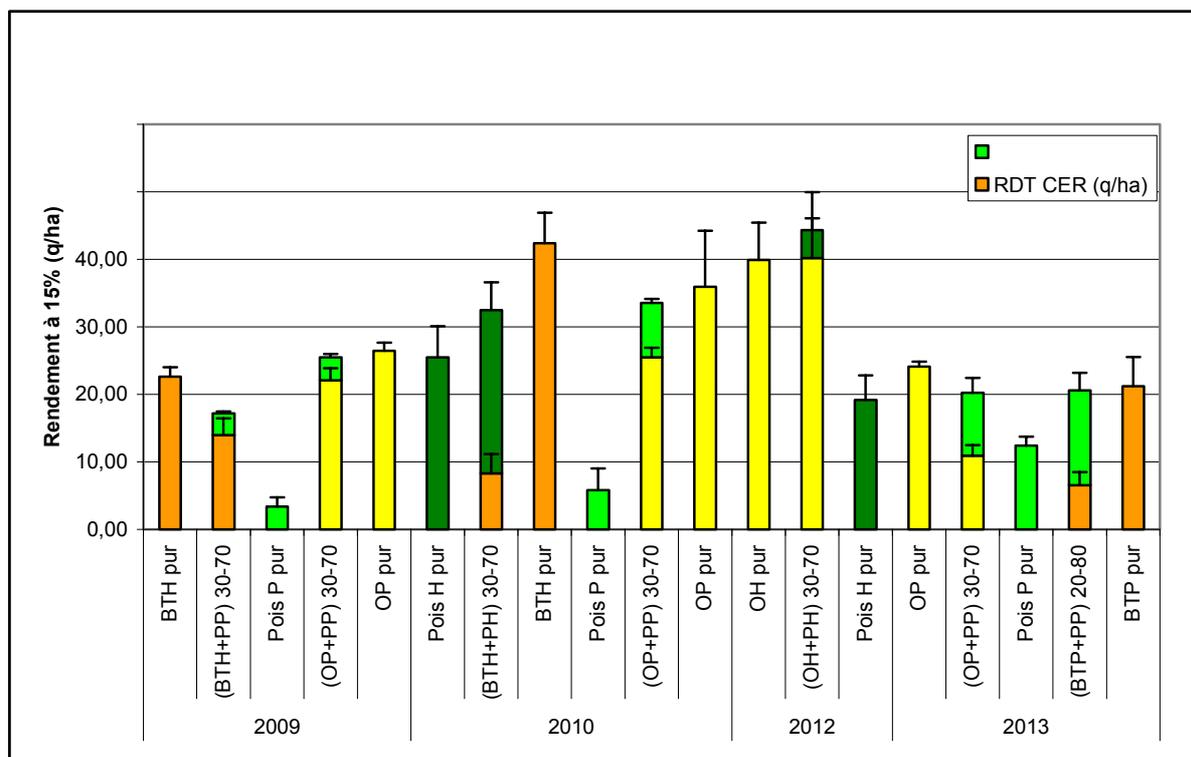
C.R.E.A.B. MIDI-PYRENEES

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

Graphe n°13 : LER
Essais associations 30-70 et 20-80



Graphe n°14 : Rendement à 15% en q/ha
Essais associations 30-70 et 20-80



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

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

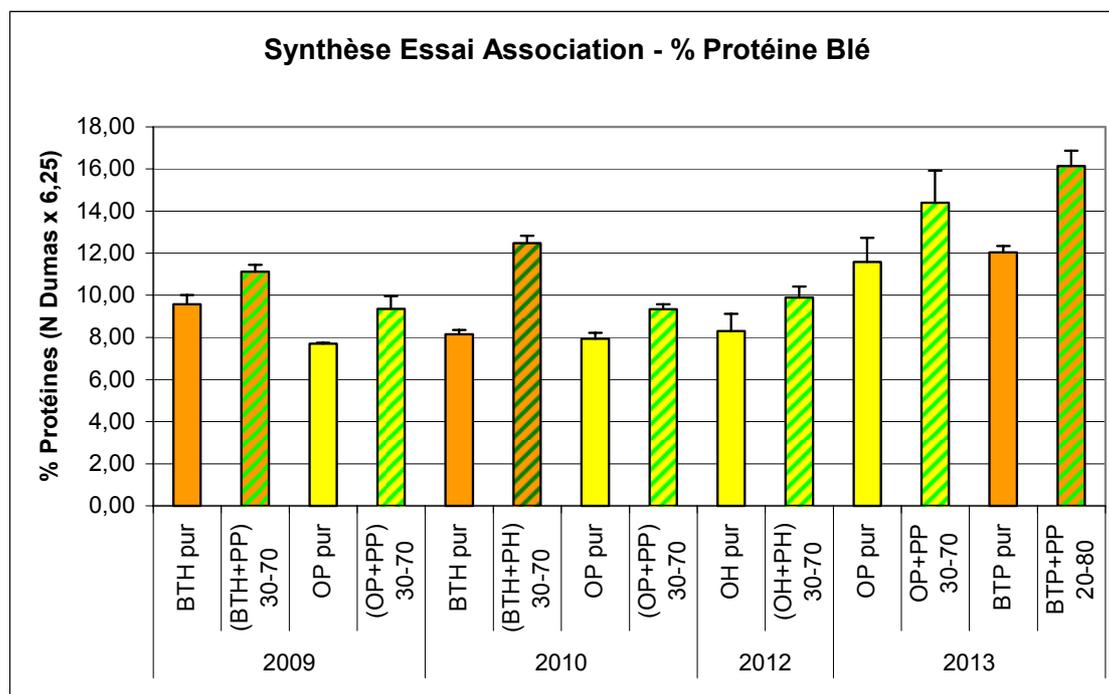
Pour les pois le LER partiel est de 0,91 ce qui veut dire que le pois associé a produit presque autant que le pois en pur avec seulement 70% de la densité en pure. Pour ces associations, contrairement à celles semées à 50-50, la plus forte performance est ici liée à la productivité du pois qui approche régulièrement celle de la culture pure voir qui la dépasse comme en 2009 et 2010 avec l'orge de printemps et en 2013 avec le blé de printemps.

Les rendements obtenus (graphe n°14) sont en moyenne pour la céréale conduite seule de 31 q/ha (toujours sans aucune fertilisation organique) et pour le pois seul de 13,3 q/ha alors qu'en association nous obtenons en moyenne un rendement de céréale de 18,2 q/ha auxquels s'ajoutent 9,5 q/ha de pois.

Pour les teneurs en protéines, on constate à nouveau une très forte augmentation de la teneur en protéines de la céréale associée (graphe n°15). Toutes céréales confondues ont obtenu une teneur moyenne en conduite pure de 9,3% contre 11,8% en association. A noter que pour les blés les gains sont très importants avec en moyenne +3,4 points en conduite associée (9,9% en pure contre 13,3% en association) alors que le gain est plus faible pour l'orge avec de l'ordre de 1,9 point en moyenne.

Pour la teneur en protéines des pois on n'observe pas de différence significative sur la valeur moyenne (25,1% en pur contre 24,1% en association).

**Grappe n°15 : Teneur en protéines des grains de céréales (% MS)
Essais associations 30-70 et 20-80**



2.2.4. Biomasse et azote absorbé à la récolte

Les céréales cultivées en association ont produit 3,4 t_{MS}/ha dans leurs parties aériennes contre 5,3 t_{MS}/ha pour les céréales pures. En d'autres termes, le blé associé produit une biomasse égale à 64% de celle produite en culture pure mais avec une densité de semis de seulement 30% (ou 20% pour les associations 20-80) ce qui montre une forte compensation de la céréale. Les pois en purs produisent quant à eux 4,4 t_{MS}/ha contre 2,6 t_{MS}/ha en conduite associée ce qui représente seulement 59% de la production en pure alors que la densité de semis est de 70%. Ces résultats confirment à nouveau que la céréale compense fortement sa biomasse en association alors que les pois sont concurrencés.

C.R.E.A.B. MIDI-PYRENEES
CENTRE REGIONAL DE RECHERCHE ET D'EXPERIMENTATION EN
AGRICULTURE BIOLOGIQUE MIDI-PYRENEES

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

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

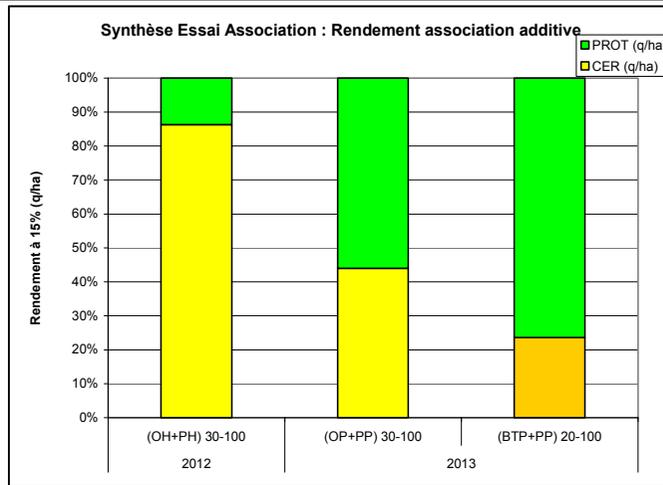
Pour les prélèvements azotés, les céréales pures ont en moyennes absorbées 48,1 kg d'N/ha dans leurs parties aériennes contre 36,2 kg d'N/ha en association soit 75% de l'azote acquis en céréale pure ce qui représente à nouveau une forte compensation. Pour les pois purs l'absorption d'azote dans les parties aériennes est de 107,9 kg d'N/ha contre 74,5 kg d'N/ha en association soit 69% du pois pur ce qui est du même ordre de grandeur que le semis qui est de 70% de la dose en pure soulignant la capacité de la légumineuse à compenser l'absorption azotée en association.

En moyenne au sein des associations 30-70 et 20-80 la quantité totale d'azote absorbée dans les parties aériennes provient à 33% de la céréale et 67% du pois ce qui est très proche des densités de semis alors que pour les associations 50-50 la quantité totale d'azote absorbée dans les parties aériennes provenait à 62% de la céréale. Cela indique que les associations 30-70 et 20-80 permettent d'équilibrer les compétitions pour l'N contrairement aux associations 50-50 où la céréale tend à prendre le dessus sur le pois.

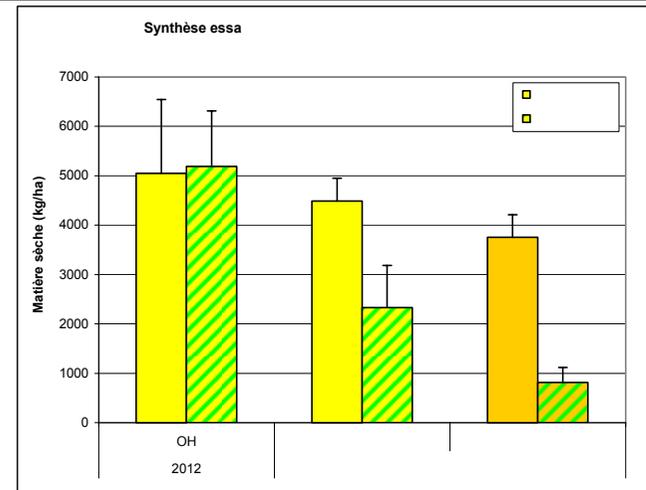
C.R.E.A.B. MIDI-PYRENEES

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

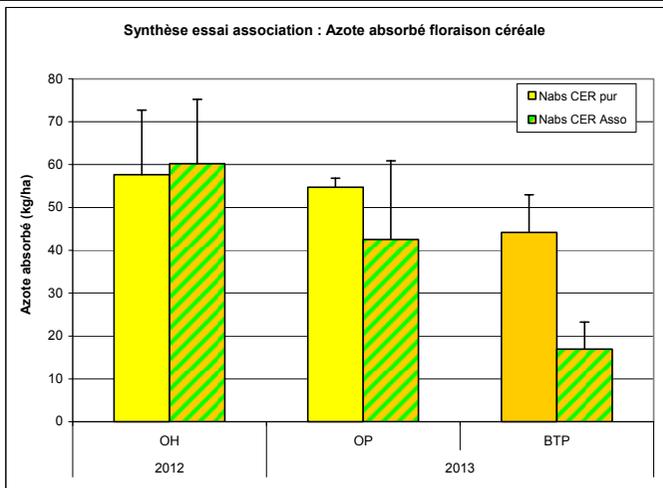
**Graphe n°16 : Rendement (en % du rendement total)
Essais association additive**



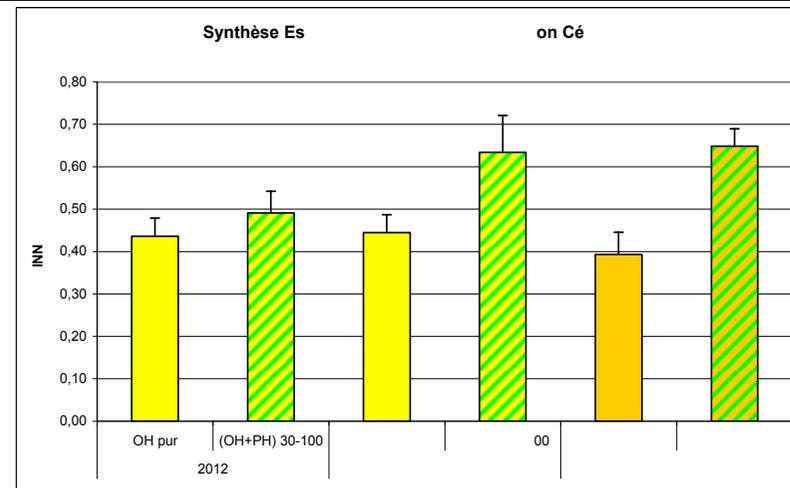
**Graphe n°17 : Biomasse de la céréale à la floraison (q/ha)
Essais association additive**



**Graphe n°18 : Azote absorbée par la céréale à la floraison (kg N/ha)
Essais association additive**



**Graphe n°19 : INN de la céréale à la floraison
Essais association additive**



2.3. Association additive (30-100 ou 20-100)

Les associations additives sont des associations où la somme des densités semées de chaque espèce de l'association par rapport aux cultures pures dépasse les 100%. Le CREAB MP a testé des associations additives où le pois est semé à même dose que la culture pure (100%) avec un semis de céréale allant de 50% à 20% de la dose de semis la céréale pure.

Pour ces associations nous disposons des résultats de 2011 (associations 30-100 et 50-100), de 2012 (OH+PH 30-100) et de 2013 (BTP+PP 20-100 et OP+PP 30-100). Les résultats de 2011 ne seront pas intégrés car suite au gel du coléoptile nous avons dû ressemer tardivement un blé de printemps. De plus, la sécheresse du printemps 2011 a fait que les pois étaient matures dès fin mai alors que les blés étaient matures mi-juillet. De part cet écart de maturité les associations (uniquement présentes en essais analytiques sur de petites surfaces) ont connues de forts dégâts d'oiseaux qui ne nous ont pas permis de mesurer le rendement des pois.

2.3.1. Proportion des espèces au semis (grains/m²), à la levée (plantes/m²) et à la récolte (q/ha à 15% d'humidité).

Pour les 3 associations considérées, les proportions moyennes de semis sont de : 52% de grains de céréales et 48% de grains de pois. A la levée les pertes restent toujours un peu plus importantes en céréales, nous obtenons à la levée 49% de céréale et 51% de pois.

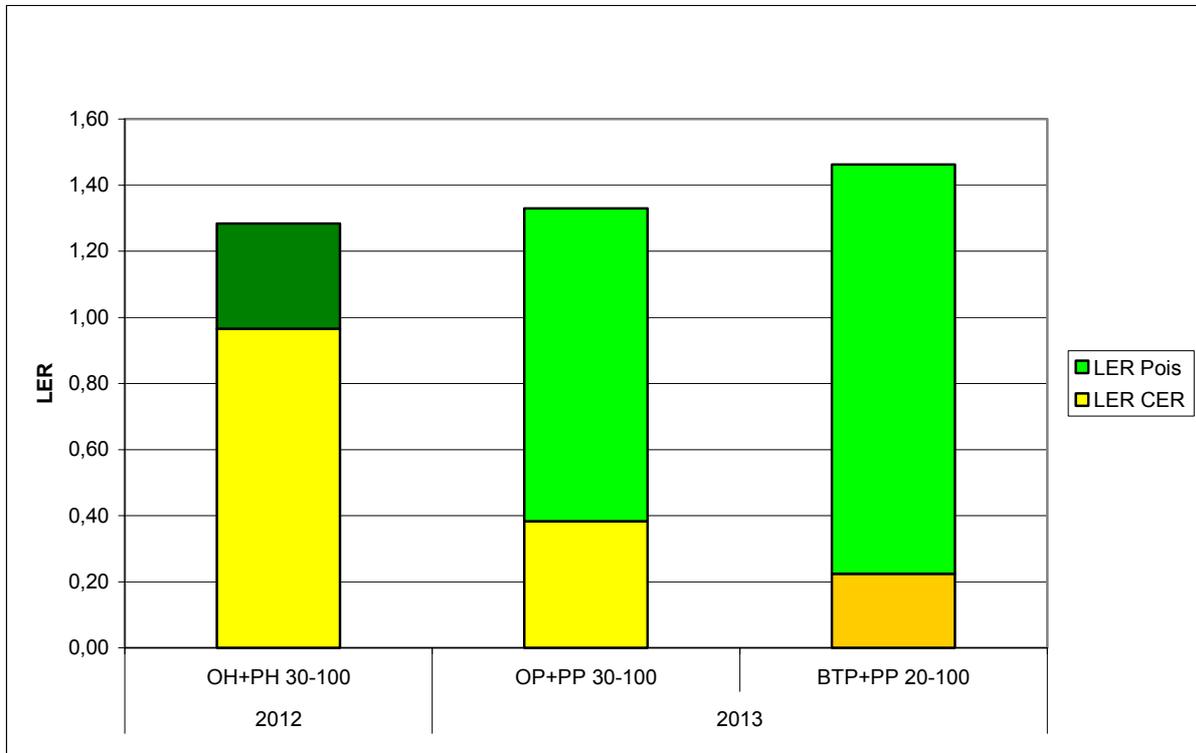
A la récolte on obtient en moyenne 63% de céréale et 37% de pois. Toutefois, la variation sur les trois ans est très importante comme le montre le graphique n°16. En 2012 l'association orge d'hiver-pois d'hiver présente un rendement final avec 86% d'orge et 14% de pois, alors qu'en 2013 l'association orge de printemps-pois de printemps est composée à 44% de céréale et 56% de pois et celle à base de blé de printemps de 24% de céréale et 76% de pois. Il existe donc une variation importante des proportions de chacune des espèces à la récolte.

2.3.2. Biomasse, azote absorbé et INN de la céréale à floraison (graphes n°17 à 19)

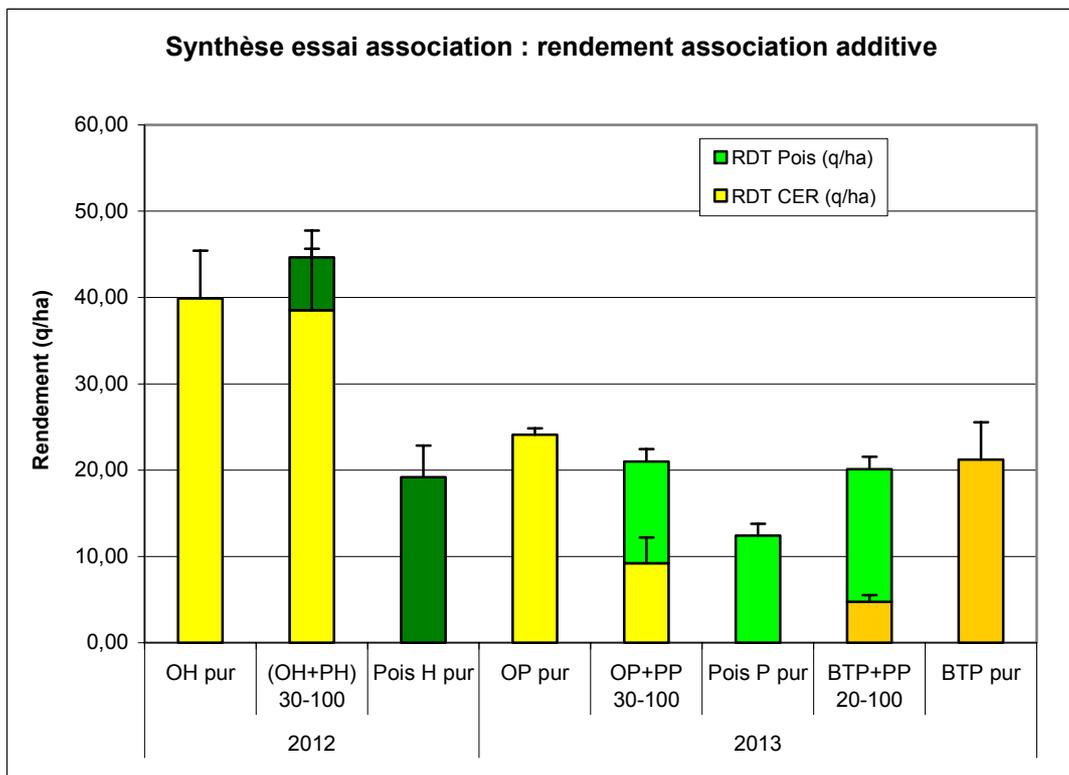
Céréale : Sur les trois années étudiées, on observe des différences très importantes du point de vue de la biomasse produite à la floraison de la céréale. En 2012 l'orge d'hiver semé à 30% de la dose en pure et associé avec un pois d'hiver arrive à produire autant que la culture pure. En 2013 au sein des associations avec du pois de printemps l'orge de printemps atteint 52% de la biomasse de la culture pure alors que le blé de printemps ne produit que 22% de la biomasse de la culture pure. Pour les quantités d'azote absorbées, l'orge d'hiver de 2012 a absorbé autant d'azote que la culture pure, alors qu'en 2013 l'orge de printemps a absorbé 78% de la culture pure et le blé de printemps 39%. Ainsi les céréales associées absorbent plus d'azote en proportion de la biomasse produite que les céréales en pures. Ceci s'observe via l'indice de nutrition azotée qui est de 0,42 en culture pure contre 0,59 en culture associée avec un effet très fort en 2013 sur le blé de printemps pour lequel l'INN était de 0,39 en culture pure contre 0,65 en culture associée.

Protéagineux : en 2012 où l'orge produit autant à la floraison en conduite pure et associée, le pois d'hiver semé à la même dose qu'en culture pure produit moitié moins de biomasse (47%). Par contre en 2013 le pois de printemps en association produit 88% de la biomasse de la culture pure quand il est associé avec l'orge et 104% quand il est associé avec le blé de printemps.

Graphe n°20 : LER
Essai association additive



Graphe n°21 : Rendement (q/ha)
Essai association additive



Au niveau des quantités d'azote absorbées en 2012 le pois d'hiver a absorbé 44% de la quantité d'azote absorbée par la culture pure soit un niveau équivalent à la baisse de production. En 2013 pour les deux associations le pois associé a absorbé 88% de la quantité d'azote absorbée par la culture pure. Au niveau de l'INN du pois on observe que la carence en azote pour les pois est faible avec une petite différence entre la culture pure (INN de 0,81) et la culture associée (INN de 0,87).

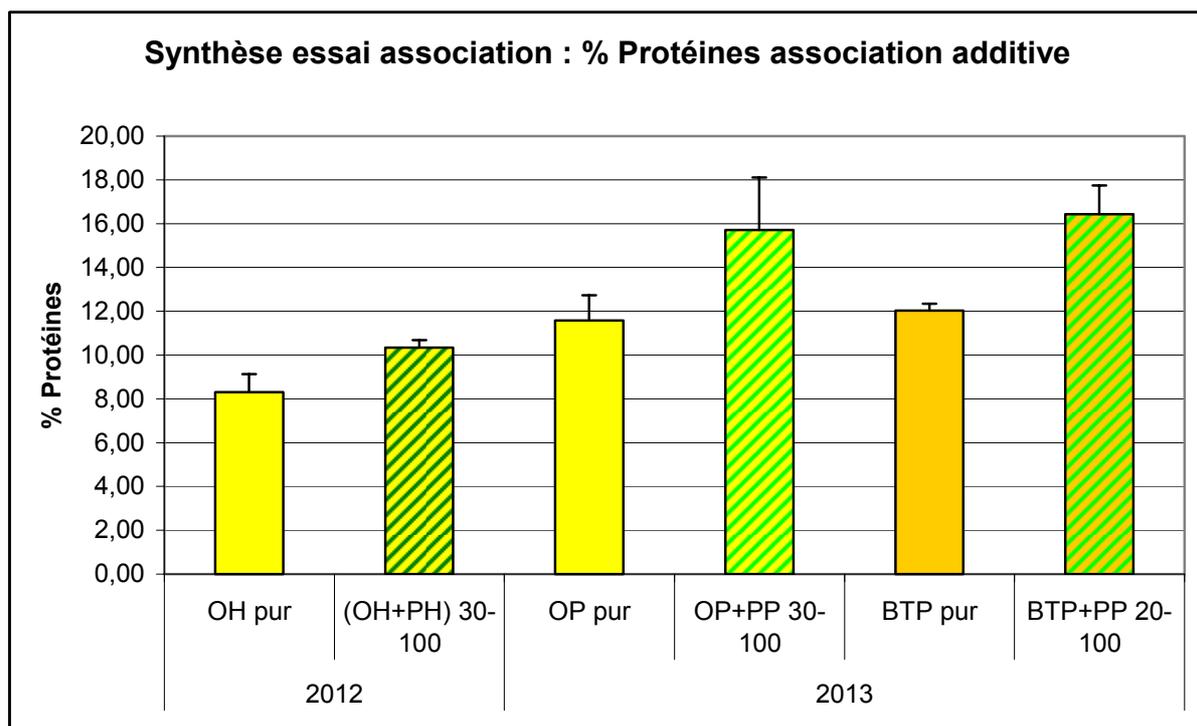
2.3.3. Productivité et teneur en protéine

Sur les trois années d'essai les LER des associations sont assez proches avec une valeur moyenne de 1,36 (graphe n°20). En 2012 c'est l'orge d'hiver qui présente un LER partiel élevé expliquant la meilleure performance de l'association alors qu'en 2013 c'est le pois qui présente le meilleur LER partiel.

En 2012 avec l'orge d'hiver ont obtenu un rendement (graphe n°21) quasi équivalent en conduite pure (39,9 q/ha) et en association (38,6 q/ha), par contre malgré un semis réalisé dans les mêmes proportions pour le pois d'hiver en culture pure et en culture associée les écarts sont importants avec 19,2 q/ha en culture pure contre 6,1 q/ha en association. Pour 2013 les rendements des céréales sont cette fois plus faibles en conduite associée avec 9 q/ha pour l'orge associé contre 24,1 q/ha en culture pure et 4,8 q/ha pour le blé de printemps associée contre 21,2 q/ha en culture pure. A contrario, les pois produisent quasi autant en pur et en association avec 11,8 q/ha dans l'association avec l'orge de printemps et 15,4 q/ha dans celle avec le BTP contre 12,4 q/ha en culture pure.

Pour les teneurs en protéines avec ce type d'association les gains sont très importants (graphe n°22), en moyenne en céréale pure ont obtenu 10,6% de protéines contre 14,2% en association soit un gain de 3,5 points de protéines. Pour les pois les teneurs restent proches avec 24,3% de protéines en culture pure contre 23,2% en association.

**Grappe n°22 : Teneur en protéines de la céréale (% MS)
Association additive**



2.3.4. Biomasse et azote à la récolte

A la récolte, la biomasse des parties aériennes des céréales cultivées en pure est de 5,3 t_{MS}/ha contre 3,4 t_{MS}/ha en association. Ainsi pour un semis réalisé à 20 ou 30% de la dose en pure, à la récolte la biomasse des céréales associées atteint 64% de celle en pure indiquant une forte compensation de leurs faibles densités de semis. Pour les pois en pur la biomasse des parties aériennes est de 6,4 t_{MS}/ha contre 3,6 t_{MS}/ha en association soit 56% de la biomasse des cultures pures ce qui semble indiquer que le pois a été concurrencé par les céréales. Au niveau des indices de récolte nous observons les mêmes tendances que précédemment, à savoir que les céréales associées ont un indice de récolte plus faible qu'en culture pure (respectivement 0,43 et 0,40) alors que pour le pois on observe l'inverse avec un indice de récolte de 0,33 en culture pure contre 0,37 en association.

Au niveau des quantités d'azote absorbées les céréales pures ont absorbé en moyenne 53,5 kg d'N/ha et les céréales associées 39,6 kg d'N/ha soit 74% de la quantité d'azote absorbée en culture pure alors qu'en terme de biomasse elles atteignaient 64% de celle des cultures pures, ce qui signifie qu'elles ont prélevé plus d'azote par unité de biomasse produite. Au niveau des pois, les pois purs ont prélevé en moyenne 148,8 kg d'N/ha dans leurs parties aériennes contre 75,9 kg d'N/ha en association soit 51% de la quantité d'azote absorbée en culture pure pour une biomasse produite qui était de 56% de celle des cultures pures. Ici la différence semble surtout liée à la moindre biomasse de pois produite sans différences en termes de quantité d'azote absorbée par unité de biomasse produite.

3. Discussion, conclusion :

Les essais conduits sur les associations permettent de montrer des avantages et des inconvénients liés à ce type de conduite.

Chaque année les essais associations ont montré que la teneur en protéines de la céréale associée est fortement augmentée avec une conduite en association, que ce soit avec du blé ou de l'orge. Cette augmentation peut être conséquente certaines années avec par exemple +4,34 points en 2010 pour le blé semé à 30% par rapport au blé pur. Les densités de semis influent sur les gains de protéines du blé tendre avec en association 50-50 un gain moyen est de 1,9 point et pour les associations 30-70, 20-80 et les associations additives un gain de 3,3 points. Cet effet sur la teneur en protéines s'observe également au niveau de l'INN qui fut systématiquement plus élevé pour les céréales associées que pour les céréales pures.

Pour la culture du pois la conduite en association ne modifie pas la teneur en protéines ni l'INN.

Les associations restent plus productives que les cultures pures de façon régulière mais non systématique. Les années où les associations sont moins productives correspondent aux années où le pois n'a pas pu être récolté comme en 2007 où la pression anthracnose a totalement détruit les cultures de pois en pur et en culture associée, ou l'année 2011 où le pois fut « récolté » par les oiseaux dans l'association du fait d'un écart de maturité important engendré par le re-semis d'un blé de printemps. On remarquera que les associations gagnent en productivité lorsque la céréale n'est présente qu'à 30% de sa densité initiale, c'est-à-dire avec les associations où l'objectif est de produire du pois protéagineux car dans ces situations la production de pois est quasi équivalente en association et en culture pure. En fonction de la densité de semis réalisée, les gains de productivité de l'association ne sont pas toujours réalisés par la même culture. Le tableau ci-après synthétise les LER moyens obtenus selon la proportion des associations, les valeurs pour les associations additives sont à prendre avec précautions car issues de seulement 3 essais :

Associations	LER Céréale	LER Pois	LER Association
50-50	0,81	0,48	1,29
30-70 & 20-80	0,59	0,91	1,50
<i>Additive</i>	<i>0,52</i>	<i>0,83</i>	<i>1,36</i>

Ainsi pour les associations à 50-50, c'est la céréale qui permet une plus forte productivité car elle compense fortement sa faible densité de semis en terme de rendement, alors que le rendement du pois en association est plus limité. Pour les associations 30-70, 20-80 et additives c'est la culture du pois qui permet les forts gains de productivité, gains qui sont plus importants que pour les associations 50-50.

Du point de vue de la sécurisation du revenu, et notamment vis-à-vis de la culture de pois, les associations permettent une sécurité économique, car même si la culture de pois est détruite, la céréale reste récoltable avec en plus une teneur en protéine élevée (année 2007 et 2011).

Deux inconvénients sont identifiés avec les associations. Le premier provient de la réussite du semis et de la levée des deux cultures. En effet, les années où des re-semis ont du être réalisés (année 2006 avec un re-semis d'un pois de printemps et 2011 avec un re-semis du blé ayant gelé au stade coléoptile) les résultats furent faibles pour la culture re-semée, le pois en 2006 et le blé de printemps en 2011. Toutefois le choix de la densité de semis permet d'orienter le rendement final : les associations à 50-50 produisent principalement des céréales alors que les autres produisent des mélanges plus équilibrés avec une part de pois plus importante.

Le dernier inconvénient, probablement en lien avec les conditions de semis également, est la proportion très variable des différentes espèces dans le rendement final. La variation des proportions semble avant tout liée au protéagineux. Ainsi, les années 2006 et 2009, où le protéagineux s'est peu développé aussi bien en pur qu'en association la part de pois dans le mélange final fut faible. Ces deux années correspondent à des années où les semis du pois ne furent pas optimaux, (en 2006 du fait du re-semis du pois de printemps et en 2009 du fait d'un semis réalisé en conditions limites et tardives). Ainsi le respect de conditions de sol optimales lors du semis du pois ou des associations devrait permettre de sécuriser un peu mieux la proportion du pois dans le mélange final.

Il convient de préciser qu'il existe moins de risque de différence de maturité à la récolte en utilisant la culture d'orge plutôt que celle du blé. Ceci est à prendre en compte car si les écarts de maturité sont trop importants une partie du pois est perdue par égrenage et/ou par les dégâts d'oiseaux. On rappellera également que les essais ont montré que si une des deux cultures vient à manquer en végétation, il n'est pas souhaitable de réaliser un 2^{ème} semis car cette culture sera fortement concurrencée par celle présente lors du 1^{er} semis.

On pourra également ajouter que d'autres organismes ont également pu montrer :

- Que la conduite en association réduit fortement la pression des adventices par rapport à la légumineuse seule du fait d'un couvert végétal plus dense en association mais n'a pas d'effet par rapport à la céréale pure (résultats INRA Toulouse)
- Que la conduite en association permet de réduire la pression du puceron vert du pois (résultats ENFA – INRA)
- Que la conduite en association limite le nombre de grains bruchés (résultats CREAB)
- Que la conduite en association limite l'intensité des attaques de l'anthracnose du pois (résultats INRA)
- Que l'association n'a pas d'effet significatif sur la pression des sitones

Annexe 1 : méthodologie

d'après le mémoire de Master de L. Bedoussac : « analyse de la dynamique de compétition pour la lumière dans les associations blé dur – pois d'hiver en fonction de la disponibilité en azote » réalisé en 2006.

Calcul de l'INN

SC = Sole crop = culture pure

IC = inter crop = culture associée

La teneur en azote critique correspond, pour un niveau de matière sèche donné, à la teneur en azote minimale permettant la réalisation d'une croissance instantanée maximale en absence d'autres facteurs limitants que l'azote (Lemaire and Gastal, 1997). La courbe de dilution de l'azote qui représente l'évolution de la teneur en azote critique en fonction de la production de MS, est d'abord stable puis décroît progressivement à partir d'un seuil de matière sèche fixe. Cette courbe traduit l'évolution du rapport entre les tissus métaboliques et tissus de structures, en d'autres termes entre des tissus photosynthétiques riche en azote et des tissus ligneux pauvres en azote. L'indice de nutrition azoté (INN) qui est un indicateur de l'état azoté de la culture est obtenu pour le blé et le pois en calculant le rapport entre la teneur en azote mesurée et la teneur en azote critique comme suit :

$$\text{INN}_{\text{B-SC}} = N_{\text{B-SC}} / N_{\text{c-B}} \quad (12.)$$

$$\text{INN}_{\text{P-SC}} = N_{\text{P-SC}} / N_{\text{c-P}} \quad (13.)$$

avec $N_{\text{B-SC}}$, $N_{\text{P-SC}}$ les teneurs en azote du blé et du pois ; $N_{\text{c-B}}$ et $N_{\text{c-P}}$ les teneurs en azote critique du blé et du pois.

La teneur en azote critique du blé dur a été calculée à partir de l'équation proposée par Justes *et al.* (1994) et Justes *et al.* (1997) comme suit :

$$\text{si } MS_{\text{B}} < 1.55 \text{ t/ha alors } N_{\text{c-B}} = 4.4\% \text{ sinon } N_{\text{c-B}} = 5.35 MS_{\text{B}}^{-0.442} \quad (14.)$$

Pour le pois, nous avons considéré l'équation proposée par Ney *et al.*, (1997) :

$$\text{si } MS < 1 \text{ t/ha alors } N_{\text{c-P}} = 5.08\% \text{ sinon } N_{\text{c-P}} = 5.08 MS_{\text{P}}^{-0.32} \quad (15.)$$

Une valeur d'INN supérieure ou égale à 1 indique que l'azote n'a pas été un facteur limitant pour la culture à la date du prélèvement, ce qui signifie qu'il n'a pas limité le taux de croissance de la culture. Cet indice permet de diagnostiquer l'existence ou non d'une déficience en azote au moment de l'observation et de quantifier l'intensité de cette carence.

Dans le cas du blé et du pois cultivés en association (Bic et Pic) nous avons choisi, suite à l'étude méthodologique présentée dans l'annexe 5, de calculer la concentration en azote critique en considérant la proportion de MS de chaque espèce comme suit :

$$\text{INN}_{\text{B-IC}} = N_{\text{B-IC}} / [(MS_{\text{B-IC}} / MS_{\text{IC}}) \times N_{\text{c-B}} + (MS_{\text{P-IC}} / MS_{\text{IC}}) \times N_{\text{c-P}}] \quad (16.)$$

$$\text{INN}_{\text{P-IC}} = N_{\text{P-IC}} / [(MS_{\text{B-IC}} / MS_{\text{IC}}) \times N_{\text{c-B}} + (MS_{\text{P-IC}} / MS_{\text{IC}}) \times N_{\text{c-P}}] \quad (17.)$$

$$N_{\text{c-B}} = 4.4\% \text{ si } MS_{\text{IC}} < 1.55 \text{ t/ha et } 5.35 MS_{\text{IC}}^{-0.442} \text{ sinon} \quad (18.)$$

$$N_{\text{c-P}} = 5.08\% \text{ si } MS_{\text{IC}} < 1 \text{ t/ha et } 5.08 MS_{\text{IC}}^{-0.32} \text{ sinon} \quad (19.)$$

avec $N_{\text{B-IC}}$ et $N_{\text{P-IC}}$ la teneur en azote mesurée dans le blé et le pois en association ; $MS_{\text{B-IC}}$ et $MS_{\text{P-IC}}$ la matière sèche du blé et du pois dans l'association ; MS_{IC} la matière sèche totale de l'association ; $N_{\text{c-B}}$ et $N_{\text{c-P}}$ la teneur en azote critique calculée à partir de la courbe de dilution respectivement du blé et du pois et en considérant la matière sèche totale de l'association.

Calcul du LER

Dans les associations, l'implantation des espèces sur des rangs séparés permet de distinguer les compétitions intra- et interspécifiques lorsque l'on compare la production par rang des cultures pures en demie-densité avec respectivement les cultures en double-densité et les associations (Cruz and Soussana, 1997). Le rapport de surface équivalente (LER pour Land Equivalent Ratio en anglais), proposé par Willey (1979) et défini comme la surface relative de culture pure nécessaire pour produire le rendement ou la biomasse de la culture dans l'association, revient à comparer l'utilisation des ressources entre culture pure et association sur la base d'une production par rang. En accord avec De Wit et Van Den Bergh (1965), le LER pour une association blé-pois est égal à la somme des LER partiels calculées pour le blé (LER_B) et le pois (LER_P) comme suit :

$$LER = LER_B + LER_P \quad (5.)$$

$$LER_B = (MS_{B-IC}) / (MS_{B-SC}) \quad (6.)$$

$$LER_P = (MS_{P-IC}) / (MS_{P-SC}) \quad (7.)$$

avec MS_{B-IC} et MS_{P-IC} , la matière sèche respective du blé et du pois dans l'association et MS_{B-SC} et MS_{P-SC} dans le cas des cultures pures. Un $LER > 1$ indique que l'association permet une meilleure valorisation des ressources du milieu pour la croissance des plantes que la culture pure choisie pour la comparaison. Inversement un $LER < 1$ indique que les ressources du milieu sont utilisées de manière plus efficace dans les cultures pures comparativement aux associations. Le LER est intéressant si l'on s'intéresse à l'effet global de l'association, à savoir si l'on accorde la même importance aux deux cultures. Par contre si l'on souhaite connaître l'effet sur l'une des deux espèces il faut observer le LER partiel. Une valeur de LER partiel supérieure à 0,5 pour une espèce A signifie qu'il faut cultiver, en culture pure, une surface supérieure à la moitié de la surface en association pour obtenir le même rendement. Cette méthode doit cependant être utilisée avec précaution du fait que les rendements doivent être pondérés par leur densité. C'est pourquoi nous avons considéré pour les associations une densité égale à 50% de celle des cultures pures, ce qui nous permet de ne pas confondre les effets des interactions dans les associations avec les effets de densités (De Wit and Van Den Bergh, 1965 ; Trenbath, 1976). Dès lors, pour de telles densités, un LER partiel du blé supérieur à 0.5 correspond à une meilleure efficacité du blé dans l'association qu'en culture pure. Nous avons également calculé les LER partiels dans le cas des cultures pures en demie-densité de blé (LER_{B2-SC}) et de pois (LER_{P2-SC}) en considérant respectivement $LER_{B2-SC} = (MS_{B2-SC}) / (MS_{B-SC})$ et $LER_{P2-SC} = (MS_{P2-SC}) / (MS_{P-SC})$ afin d'analyser les effets de compétition liés à la culture associée