

11/08/2017

Synthèse pluriannuelle des essais association céréales – protéagineux menés en Poitou-Charentes



● FRAB NOUVELLE-AQUITAINE ●



**AGENCE FRANÇAISE
POUR LA BIODIVERSITÉ**
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT

« Action pilotée par le ministère chargé de l'agriculture et le ministère chargé de l'environnement, avec l'appui financier de l'Agence française pour la biodiversité, par les crédits issus de la redevance pour pollutions diffuses attribués au financement du plan Ecophyto »

Matthias GUILLONNEAU – Pierre THEVENON
FEDERATION REGIONALE EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE NOUVELLE-AQUITAINE

Sommaire

I.	Introduction.....	3
II.	Matériels et méthodes	5
1.	Sélection des expérimentations	6
2.	Données des expérimentations retenues	6
3.	Traitement statistiques des données	7
III.	Association : qu'est-ce que c'est ?	10
1.	Définition des cultures associées	10
2.	Principes généraux du fonctionnement des associations	10
IV.	Performances agronomiques des associations	11
1.	Effet des associations sur les rendements du blé et du couvert en général.....	11
2.	Effet des associations sur la qualité du blé	13
V.	Impact de l'ITK sur le fonctionnement et la performance des associations	14
1.	Types de variété	14
2.	Densité de semis.....	14
3.	Structure du couvert	14
4.	Fertilisation azotée.....	15
VI.	Est-ce réellement rentable pour les agriculteurs ?	16
VII.	Effet des associations sur les pressions environnementales	18
1.	Les associations : quels effets sur l'enherbement ?.....	18
2.	Un impact encore flou des ravageurs sur les cultures associées	18
3.	Les associations peuvent-elles contrer les maladies fongiques ?	19
VIII.	Avantages et inconvénients des associations céréales – protéagineux.....	20

I. Introduction

Aujourd'hui, l'Agriculture Biologique (AB) est en pleine expansion en raison d'une demande des consommateurs qui ne cesse de s'accroître. En effet, ces derniers accordent une importance de plus en plus forte à la préservation de l'environnement, au bien-être animal et au développement territorial. En 2016, selon les chiffres de l'Agence BIO / CSA, près de 9 français sur 10 ont consommé des produits bio, près de 7 sur 10 rapporte en consommer régulièrement, et 15% des français en consomme tous les jours.

En France, les grandes cultures bio (blé, orge, tournesol, ...) sont en grande partie orientées pour la consommation humaine sous forme de produits transformés ; elles représentent 47% du marché des produits biologiques végétales (Agence BIO, 2012). La valorisation des grandes cultures en consommation humaine, majoritairement le blé, exige une certaine qualité du produit brut. En effet, afin d'avoir un blé tendre de qualité meunière, les industries obligent un taux de protéine égale ou supérieur à 10,5%. Pour atteindre un tel niveau de qualité, la culture de blé nécessite d'un apport conséquent en azote sous forme organique. Traditionnellement, dans les exploitations en polycultures-élevage, la production de blé se trouvent associées avec des cultures fourragères au sein de rotation d'une durée de 8 à 10 ans (Younie et al., 1996). L'élevage permet à la fois de valoriser les cultures fourragères et de garantir la fertilisation du blé grâce aux épandages de fumier compostés (Stein-Bachinger et Werner, 1997). Le blé étant généralement implanté à la suite d'une légumineuse fourragère, cela lui permet de bénéficier de l'amendement du sol en azote (Schmidt et Von Fragstein, 1999).

Afin de répondre à cette demande de plus en plus croissante des consommateurs en produits alimentaire biologique, de nombreuses exploitations céréalières ont franchis le cap de passer en bio. Cependant, ces systèmes de production s'heurtent à une difficulté : l'approvisionnement du sol en azote. N'ayant pas d'élevage, elles sont contraintes à l'achat de matières organiques compostés et/ou d'engrais organiques (fiente de volailles, poudre de viande et d'os, déchets végétaux, ...), mais aussi de diminuer la part de légumineuses fourragères dans la rotation (culture peu rémunératrice).

Depuis certaines années, un regain d'intérêt est observé pour les associations de cultures, notamment les mélanges céréales – protéagineux (Anil et al., 1998 ; Griffon, 2006 ; Malézieux et al., 2008). En effet, les associations sont un moyen d'accroître la diversification des systèmes de cultures avec l'apport de légumineuse, un levier essentiel pour répondre aux enjeux de l'agriculture de demain (Vandermeer et al., 1998 ; Altieri et al., 1999 ; Griffon, 2006 ; Malézieux et al., 2008), notamment en AB.

Pourrait-on produire des blés biologiques en quantité et en qualité meunière, en association avec des protéagineux ?

D'après de nombreux articles parus ces dernières années, l'association du blé avec un protéagineux valoriserait les ressources du milieu comparativement au culture mono-spécifiques correspondantes (Willey, 1979 ; Ofori et Stern, 1987 ; Willey, 1990 ; Hauggaard-Nielsen et al., 2003 ; Bedoussac, 2009), surtout dans les systèmes à bas niveau d'intrant en azote (Bedoussac et Justes, 2010). Dans cette synthèse nous allons nous intéresser exclusivement aux associations blé – protéagineux. Nous commencerons par définir les associations en général et les interactions qui régissent entre les espèces du mélange. Ensuite nous aborderont l'impact de ces associations sur la performance agronomique du blé, les facteurs au sein de l'ITK pouvant faire varier les capacités des associations et l'effet des associations sur les pressions environnementales (enherbement, ravageurs, maladies). Enfin nous concluons sur les avantages et inconvénients d'une telle association en bio.

II. Matériels et méthodes

Depuis 2011, des essais en association céréales – protéagineux ont été implantés en Poitou-Charentes. Ce réseau d'essais a pour but de répondre à l'objectif de la filière et des opérateurs économiques de la région : collecter un blé de qualité (haute valeur en protéines) malgré les sols à faible potentiel (terre de groies). Ces essais ont été conduits en partenariat avec la Fédération Régionale en Agriculture Biologique Nouvelle-Aquitaine (FRAB), la Chambre d'Agriculture de Charente-Maritime (CA17) et de Charente (CA16), la Maison d'Agriculture Biologique de la Charente (MAB16), la station d'expérimentation d'Archigny (CA86) et la coopérative Océalia. Un peu plus d'une quinzaine d'essais ont été menés sur six années d'expérimentation, de la récolte 2012 à 2017.

Année	Structure	Lieu de l'essai
2011 - 2012	CA17	Vandré (17700)
2012 - 2013	CA17	Le Thou (17290)
2013 - 2014	CA17	Marigny (79360)
	COREA (Océalia)	Semoussais (79170)
2014 - 2015	Charentes alliances (Océalia)	Saint Dizan (17150)
	COREA (Océalia)	Loubouillé (79110)
	CA 17	La Vergne (17400)
	CA 16	St Félix (16480)
2015 - 2016	CA 17	Saint Saturnin du Bois (17700)
	MAB 16	Bréville (16370)
	CA 86	Archigny (86210)
	Océalia	Saint Dizan (17150)
2016-2017	CA 17	Thairé (17290)
	MAB 16	Pillac (16390)
	CA 86	Archigny (86210)
	Océalia	Blanzay (86400)
	Océalia	Gemozac (17260)

Tableau 1 : Listes des essais associations Poitou-Charentes de 2011 à 2017.

1. Sélection des expérimentations

Sur les 17 essais associations céréales – protéagineux en bio, 11 d’entre eux ont été rejetés pour l’analyse statistique, à cause d’un manque de rigueur scientifique dans le suivis des essais :

- ✓ Moins de 3 répétitions pour chaque modalité.
- ✓ Un échantillonnage moyenné pour les 4 répétitions :
 - La proportion de chaque espèce dans les mélanges : elle joue sur le rendement en blé et le rendement total. Les résultats sont donc biaisés et ne sont pas fiable statistiquement parlant.
 - La teneur en protéine : une seule mesure a été prise pour les 4 répétitions. Les tests statistiques ne sont pas réalisables.

2. Données des expérimentations retenues

Le but de cette analyse pluriannuelle est de déterminer les bénéfices en termes de qualité et de quantité qui se dégagent des associations par rapport à une culture mono-spécifique. Pour cela, nous avons décidé de regarder 3 facteurs explicatifs :

- ✓ Le rendement en blé (en q/ha)
- ✓ Le rendement total de la culture (en q/ha)
- ✓ La teneur en protéines du blé (en %)

A l’aide de l’indicateur « marge brute », nous avons ensuite situé économiquement les gains ou les pertes de l’implantation d’une association par rapport à une culture pure de blé.

Calcul de l’indicateur marge brute (en €/ha) :

$$\text{(Produits)} - \text{(Charges)}$$

$\begin{aligned} & (\text{rdmt blé} \times \text{prix du blé}) \\ & + \\ & (\text{rdmt protéagineux} \times \text{prix protéagineux}) \\ & + \\ & (\text{rdmt blé} \times \text{bonifications de la teneur en protéine}) \end{aligned}$	-	$\begin{aligned} & (\text{densité semis blé} \times \text{prix semence blé}) \\ & + \\ & (\text{densité semis protéagineux} \times \text{prix semence protéagineux}) \\ & + \\ & (\text{coût du triage}) \end{aligned}$
---	---	---

Rq : Les charges de mécanisations étant les mêmes pour les cultures mono-spécifique et les associations, nous ne l’avons pas pris en compte dans notre calcul de marge brute.

Espèces	Prix (€/q)
Blé	98
Pois	195
Féverole	109

Tableau 2 : Prix des semences

(Source : CORAB catalogue semence automnes 2017)

Coût du tri : 15€/T

Espèces	si tx protéine < 9,5	si tx protéine > 9,5	Bonus/point > 10,5
Blé	280	380	25

Pois	380
Féverole	380

Tableau 3 : Prix de ventes en €/T (source : FRAB Nouvelle-Aquitaine)

3. Traitement statistiques des données

Nous avons réalisé des tests statistiques sur l'intégralité des essais retenus à l'aide du logiciel R_32-bit (version 3.3.3). Ces tests ont pour but de déterminer si les cultures associées apparaissent significativement différentes aux cultures pures de blé ou au contraire identique suivant les différents facteurs retenus. Afin de ne pas créer de biais, chaque modalité en association a été comparée avec la modalité correspondante en blé pure, suivant l'année de l'essai, la variété, la densité et le mode de fertilisation.

Pour chacun des 6 essais retenus, nous avons cherché à comparer les cultures mono-spécifiques de blé et les cultures en associations blé – protéagineux sur les différents facteurs :

- ✓ Le rendement du blé
- ✓ Le rendement total de la culture
- ✓ La teneur en protéine du blé dans la culture

Afin de tester l'égalité entre deux moyennes et donc déduire de la différence significative ou non de deux modalités, nous devons utiliser le test de Student. Cependant, ce test est possible si et seulement si :

- ✓ La modalité suit une loi normale
- ✓ Les variances des deux modalités testées sont égales

Il nous faut donc dans un premier temps tester la normalité des variances. A l'aide du test Shapiro-Wilk, nous allons déterminer si l'ensemble de l'échantillon suit une loi normale. Pour cela, nous allons regarder pour chacun des facteurs si la p-value de chaque modalité est supérieur à 5 %. Cependant, si une p-value d'une modalité est inférieur à 5%, alors la modalité sera rejetée.

```
> tapply(Rdmt_Ble, Modalite, shapiro.test)
$`1`
```

```
Shapiro-Wilk normality test
```

```
data: X[[1]]
```

```
W = 0.96844, p-value = 0.8318
```

← Modalité 1 suit
une loi normale

```
$`2`
```

```
Shapiro-Wilk normality test
```

```
data: X[[1]]
```

```
W = 0.75712, p-value = 0.04493
```

← Modalité 2 ne suit pas
une loi normale

De plus, nous avons créé un gradient suivant les facteurs. Si la p-value d'une modalité est inférieure à 5 % pour le facteur « rendement du blé », alors, en plus d'être rejeté pour le facteur « rendement du blé », elle sera aussi rejetée pour les facteurs « rendement total » et « teneur en protéines ». Ceci s'explique par le fait que la valeur du rendement total et de la teneur en protéines sont fortement impactées par le rendement en blé.

Ensuite, les variances entre deux modalités doivent être égales. Pour cela, nous réalisons un test de comparaison des variances à l'aide du test de Fisher-Snedecor. Si la p-value est supérieure à 5 % alors les variances sont égales entre les deux modalités et le test d'égalité entre deux moyennes est donc possible. Nous analyserons le résultat du test de Student afin de déterminer une éventuelle différence significative entre deux modalités. Si le test de Student est supérieur à 5 %, les moyennes de deux modalités sont égales et donc ne sont pas significativement différentes. Si le test est inférieur à 5 %, les moyennes des deux modalités apparaissent significativement différentes.

```
> rquery.t.test(M1$Rdmt_Ble, M2$Rdmt_Ble)
```

```
Two Sample t-test
```

```
data: x and y
t = 0.66125, df = 6, p-value = 0.533
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -5.847765 10.178765
sample estimates:
mean of x mean of y
 27.6750  25.5095
```

Le rendement total des modalités 1 et 6 **ne sont pas significativement différent**

```
> rquery.t.test(M1$Rdmt_Total, M2$Rdmt_Total)
```

```
Two Sample t-test
```

```
data: x and y
t = -3.2055, df = 6, p-value = 0.01847
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -14.332987 -1.923513
sample estimates:
mean of x mean of y
 27.67500  35.80325
```

Le rendement total des modalités 1 et 6 sont **significativement différent**

Cependant, si la p-value du test de Fisher-Snedecor est inférieure à 5 %, les variances ne sont pas égales, alors le logiciel R réalise un test de Welch qui permet de tester l'égalité de deux moyennes avec des échantillons dont les variances sont inégales. Nous n'analyserons pas le résultat de ce test, les observations seront rejetées.

Les observations de toutes les modalités acceptant le test de Fisher-Snedecor seront par la suite analysées afin de dégager des différences entre modalités pour chaque facteur ainsi que des rapports de différence entre chaque modalité.

Suite au test statistique, nous avons gardé plusieurs valeurs en fonction de chaque facteur :

- ✓ Pour le facteur « rendement du blé » : 53 observations sont retenues
- ✓ Pour le facteur « rendement total » : 52 observations sont retenues
- ✓ Pour le facteur « teneur en protéine » : 40 observations sont retenues

III. Association : qu'est-ce que c'est ?

Les cultures associées sont utilisées depuis des siècles dans l'agriculture, mais elles ont peu à peu disparu avec l'intensification des pratiques de l'agriculture conventionnelle. Les systèmes agricoles du XXème siècle, fondé sur des peuplements de culture mono-spécifique sont aujourd'hui remis en cause. En effet, l'Europe se préoccupe d'avantage de préserver l'environnement et la biodiversité du territoire, d'économiser les intrants apportés sur les cultures et d'améliorer l'efficacité des facteurs de production.

1. Définition des cultures associées

Les cultures associées sont la culture simultanée de deux espèces ou plus, sur la même surface, pendant une période significative de leur cycle de croissance (Willey, 1979). Lorsque plus de deux espèces composent un mélange d'espèces, la culture est souvent surnommée « méteil ». Les méteils sont principalement destinés à l'autoconsommation dans les élevages en AB, car la valorisation en alimentation humaine entrainerait un coût du triage excessivement élevé.

2. Principes généraux du fonctionnement des associations

Dans les mélanges plurispécifiques, nombreuses sont les interactions qu'ils peuvent y avoir entre les deux espèces qui le compose. Selon Vandermeer (1989), il existe deux types d'interactions :

La compétition :

Elle « se définit comme l'ensemble des effets que peut induire la présence d'une plante sur une seconde, en consommant ou en limitant l'accès à une ressource dont la disponibilité est limitée » (Kammoun, 2014). C'est-à-dire, lorsqu'une espèce modifie négativement l'environnement de la seconde ; par exemple l'ombrage, l'extraction de ressources abiotiques qui deviennent limitantes (eau, nutriment, lumière, ...) ou encore des phénomènes allélopathiques, qui correspondent à la capacité d'une espèce à libérer des composés chimiques néfastes aux performances des plantes associées (Rice, 1984).

Cependant, les phénomènes de compétitions peuvent induire un gain de rendement lorsque les espèces en association utilisent plus efficacement les ressources du milieu que les monocultures (Willey, 1979). C'est le cas des cultures associées blé – protéagineux. Au début du cycle, les deux espèces sont en compétition pour se fournir en azote. Une fois leur système racinaire plus développé, la légumineuse va favoriser l'utilisation de l'azote de l'air plutôt que celui du sol. En effet, la présence de la céréale, plus compétitrice pour utiliser l'azote du sol, va induire la légumineuse à capter l'azote par fixation symbiotique à hauteur de 88% de ses besoins totaux, malgré le coût énergétique que cela lui engendre (Bedoussac, 2009). L'utilisation des sources d'azotes apparaît donc comme une complémentarité entre les deux espèces (Jensen, 1996 ; Hauggaard-Nielsen et al., 2001)

La facilitation :

Elle « se définit comme l'ensemble des effets que peut induire la présence d'une plante sur une seconde, en modifiant de manière positive ses conditions du milieu» (Kammoun, 2014). Les phénomènes de facilitation peuvent jouer un rôle positif notamment sur les gains de rendement (Hauggaard-Nielsen et Jensen, 2005). C'est le cas par exemple de la réduction des attaques de maladies (Trenbath, 1993), des adventices (Hauggaard-Nielsen et al., 2001) ou encore de l'augmentation de la disponibilité en nutriments (phosphore disponible pour la céréale suite au relargage de protons via la fixation symbiotique de la légumineuse) (Hinsinger, 2011).

IV. Performances agronomiques des associations

1. Effet des associations sur les rendements du blé et du couvert en général

Le fait d'associer un protéagineux à un blé a pour but d'associer des espèces qui pourraient bénéficier l'une de l'autre et ainsi atteindre de meilleurs rendements. Cependant, lorsque deux espèces sont associées sur un même milieu, elles vont exercer l'une sur l'autre des compétitions pour l'acquisition des ressources mises à leur disposition pour leurs besoins (eau, azote, lumière, ...).

Il a été observé que les rendements du blé et du protéagineux en monoculture apparaissent toujours supérieur par rapport à leur rendement spécifique en association (Juste et al., 2008 ; Bedoussac, 2009). Néanmoins, les associations céréales – protéagineux génèrent des rendements égaux ou supérieurs à celle de la culture pure de la céréale (Corre-Hellou et al., 2006 ; Juste et al., 2008 ; Bedoussac, 2009 ; Bedoussac et al., 2010). Le gain de rendement s'élève à 20% en moyenne (Corre-Hellou et al., 2006) et peut même atteindre jusqu'à 80% de rendement en plus si les conditions le permettent (Bedoussac et al., 2010).

Ces rendements supérieurs en associations sont obtenus grâce à une complémentarité de l'utilisation des ressources. Généralement, l'azote est le facteur limitant au rendement du blé tendre panifiable (David et al., 2005), de même pour le blé dur destiné à la semoulerie (Desclaux et al., 2008). Dans les associations, le taux de fixation en azote de l'air par la légumineuse augmente en présence de céréale, ce qui permet d'augmenter la disponibilité en azote du sol (Corre-Hellou et al., 2006). Or, quand la disponibilité en azote du sol augmente, la proportion de céréales dans le mélange s'accroît. Cela s'explique par son enracinement plus rapide et à une demande plus élevée par rapport à la légumineuse. L'association bénéficie donc d'un gain de rendement grâce à une utilisation plus efficace des ressources disponibles, notamment celles en azote (Corre-Hellou et al., 2006 ; Bedoussac, 2009 ; Bedoussac et al., 2010).

Les essais menés depuis 2012 dans le Poitou-Charentes ont montré qu'en l'absence de fertilisation, les rendements de blé dans les associations et les blés purs ne sont significativement pas différents dans la majorité des observations (30/37). Cependant, on observe en moyenne une perte de 19,5% de la production de blé dans les associations par rapport à une culture pure.

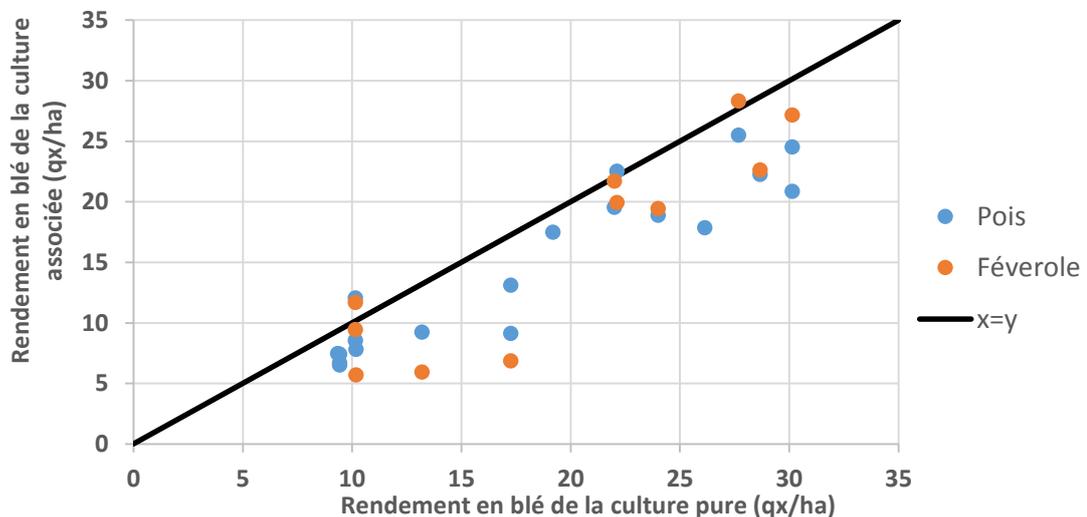


Figure 1 : Rendement en blé de la culture pure vs la culture associée

En revanche, lorsque l'on regarde le rendement total, les associations sont significativement différentes aux cultures pures dans la majorité des observations (23/36). En effet, les associations gagnent 25,6% de production en moyenne. Nos observations se rapprochent des conclusions de la littérature scientifique Française.

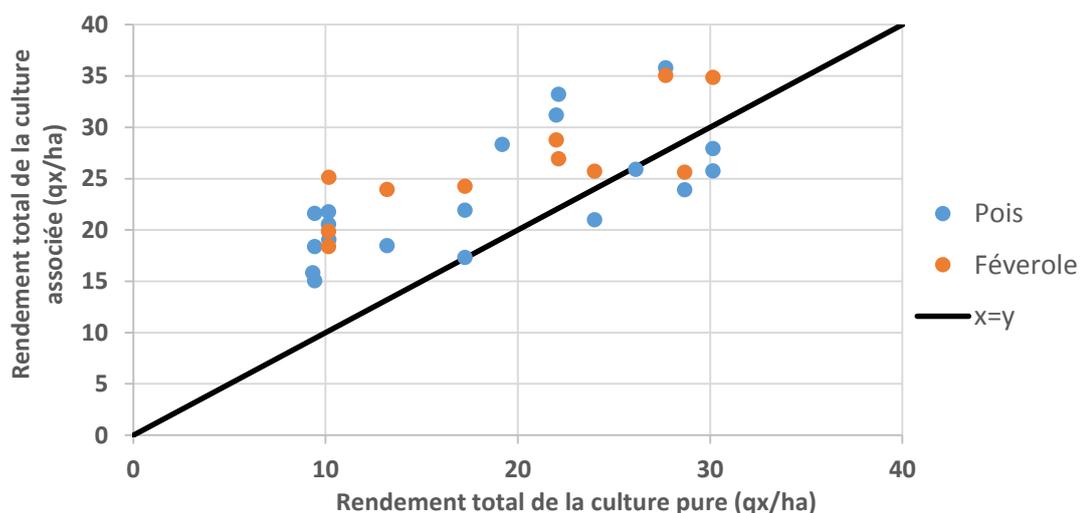


Figure 2 : Rendement total de la culture pure vs la culture associée

2. Effet des associations sur la qualité du blé

Dans les associations blé – protéagineux, que ce soit pour du blé dur ou du blé tendre panifiable, la culture associée a toujours permis au blé d'améliorer sa teneur en protéines par rapport à une monoculture de blé (Corre-Hellou et al., 2006 ; Juste et al., 2008 ; Bedoussac, 2009 ; Bedoussac et al., 2010). L'augmentation est en moyenne aux alentours de 13 à 15% par rapport au taux observé en culture pure (Juste et al., 2008 ; Bedoussac, 2009), et même plus grande lorsque les densités en céréales sont plus faibles (Corre-Hellou et al., 2006). Les associations permettent également de réduire le taux de mitadinage du blé dur (portion farineuse dans l'albumen du blé) (Bedoussac et al., 2010).

Les essais réalisés en Poitou-Charentes montrent la même tendance. La teneur en protéine du blé dans les associations est significativement différente à celle du blé en culture pure dans la majorité des observations (19/27). En moyenne, la teneur en protéines du blé dans les associations est de 9,4% de plus.

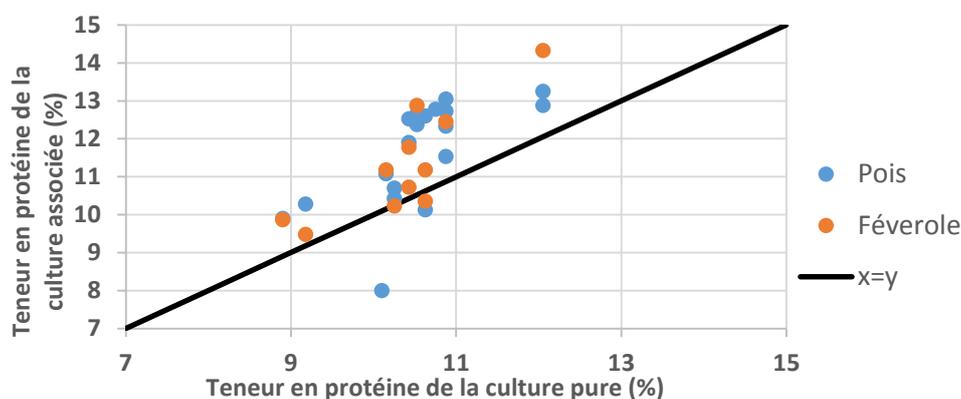


Figure 3 : teneur en protéine du blé de la culture pure vs la culture associée

La hausse de la teneur en protéines observée en association s'explique par une diminution de la production de blé (Corre-Hellou et al., 2006 ; Juste et al., 2008 ; Bedoussac, 2009 ; Bedoussac et al., 2010). En effet, le blé produit moins de talles et moins d'épis, car la légumineuse exerce une compétition non négligeable sur le stade « tallage » du blé. Par conséquent, la disponibilité en azote dans sol est supérieure pour un rendement de blé plus faible, donc il y a plus d'azote à disposition de chaque grain d'épi (Juste et al., 2008 ; Bedoussac, 2009). De plus, la quantité azote disponible dans le sol pour le blé est plus importante que dans les cultures pures, grâce notamment à la fixation symbiotique de la légumineuse.

La performance des systèmes en culture associée s'explique en grande partie par la complémentarité entre la céréale et la légumineuse pour l'utilisation de l'azote, mais aussi pour la captation de la lumière (Bedoussac, 2009). Le rapport de compétition du blé et de la légumineuse va déterminer le rendement de chaque espèce de l'association et donc la teneur en protéines de la céréale. Cependant, ce rapport peut être modifié par la fertilisation, la densité et la structure du couvert. Il reste donc à optimiser l'itinéraire technique de la culture blé – protéagineux (Juste et al., 2008 ; Bedoussac, 2009).

V. Impact de l'ITK sur le fonctionnement et la performance des associations

Il existe différents leviers agronomiques : la variété du blé ; les espèces et les variétés des protéagineux (pois, féverole, ...) ; la date de semis ; les densités de semis et la proportion de chaque espèce dans le mélange ; le précédent cultural et surtout la disponibilité en azote. Aujourd'hui, les recherches sur ces différents leviers ne sont pas encore complètement abouties. Cependant, quelques pistes ont pu être mises en lumière.

1. Types de variété

Le choix de la variété du blé peut avoir un impact plus ou moins fort sur sa teneur en protéines en association. Les variétés possédant des valeurs élevées en protéines auront moins d'intérêt à être mises en association, car leur valeur protéique ne sera que peu augmentée contrairement à des variétés de blé à faible valeur en protéine.

En général, plus la compétitivité d'un blé est forte (facilité à lever, quantité de tallage, hauteur de paille, ...), moins il y aura d'intérêt sur l'augmentation de la teneur en protéine du blé en association (Bedoussac, 2009).

2. Densité de semis

Les associations blé – féverole ont des performances agronomiques nettement dépendantes de la densité au semis des espèces, notamment celle de la féverole. En effet, la féverole en trop grande quantité dans le mélange global réduit fortement le rendement du blé dur qui lui est associé. Il est préconisé de ne pas dépasser 12 plantes/m² de féverole et d'avoir une densité effective supérieure à 110 plantes/m² pour le blé (Bedoussac, 2009).

Concernant les associations blé – pois, leurs performances sont nettement moins affectées par la densité au semis du pois. Une densité de pois à hauteur de 50% de la culture pure dans une association n'aura pas d'impact négatif sur le rendement du blé dur associé (Bedoussac, 2009).

3. Structure du couvert

La féverole est un protéagineux très compétitif, elle va fortement impacter le rendement du blé lors de leur association. Cette compétition entre les deux espèces est diminuée lorsque la distance entre les rangs de féverole est augmentée (seulement présente 1 rang sur 3) (Bedoussac, 2009).

Le pois étant moins compétitif que la féverole, le blé aura tendance à prendre le dessus sur le pois, surtout lors de mélanges blé – pois sur rang. Le mélange en ligne (un rang de chaque espèce) apparaît plus efficace pour le développement du pois (Bedoussac, 2009).

4. Fertilisation azotée

La fertilisation azotée des monocultures de blé a pour but d'augmenter les rendements ainsi que la teneur en protéine. En AB, hors précédent luzerne, il est difficile de se passer de fertilisation organique, comme la fiente, pour produire en quantité un blé de qualité meunière. Il est donc essentiel d'adapter la quantité, la date d'apport et le type d'engrais organique suivant nos objectifs de production (David et al., 2004 et 2013).

Dans le cadre des associations blé – protéagineux, la fertilisation azotée est un facteur supplémentaire qui va interagir sur le développement des deux espèces. Dans le Sud-Ouest de la France, il a été observé une faible efficacité des engrais organiques sur l'amélioration des rendements du blé en association, alors que la part en pois a tendance à chuter voir disparaître du mélange (Juste et al., 2008 ; Bedoussac, 2009). En effet, une fertilisation de l'association de manière précoce (stade épi 1cm) se traduit par une diminution de la fixation symbiotique de la légumineuse, ce qui induit une baisse de rendement de la légumineuse. En contrepartie, le blé augmente faiblement ses rendements dû à la diminution de ceux de légumineuse (moins de compétition pour l'obtention des ressources). Cependant, ce gain de rendement en blé est insuffisant pour compenser la perte en légumineuse dans le mélange ainsi que les frais de fertilisation (Bedoussac, 2009). Une fertilisation de manière tardive (stade gonflement du grain) ne réduit pas le pourcentage de fixation symbiotique de la légumineuse. Il y a donc un effet limité de la réduction du rendement de la légumineuse, mais aussi une amélioration significative de la production et de la teneur en protéine du blé (Bedoussac, 2009).

Concernant la teneur en protéine du blé dans les associations fertilisées, elle reste plus élevée que celle d'une monoculture de blé conduit de la même façon (Bedoussac, 2009). Cependant, le gain observé avec un apport d'azote organique est plus faible que celui obtenue sans fertilisation (Juste et al., 2008 ; Bedoussac, 2009).

Dans le cas où les ressources du milieu sont limitantes et que l'apport d'engrais organique est nul ou quasi nul, la culture en association blé – protéagineux permet une utilisation plus efficiente des ressources (Juste et al., 2008 ; Bedoussac, 2009).

Les essais conduits en Poitou-Charentes ont montré que la fertilisation des associations permettait d'avoir des rendements en blé significativement équivalents à un blé en culture pure fertilisé dans la quasi-totalité des observations (15/16). En effet, les associations ont seulement 10,1% de pertes de rendements en blé en moyenne par rapport à un blé pur. On peut donc admettre que la fertilisation de l'association permet d'augmenter ses rendements en blé et donc de produire à niveau quasi équivalent d'un blé en culture pure, tout en bénéficiant de la production de protéagineux en plus.

Le rendement global des associations n'est pas significativement différent du blé pur dans la plus part des observations (12/16). Pourtant, l'augmentation des rendements totaux de l'association est tout de même de 18,5 % par rapport à un blé pur, mais ce rapport est moins important lorsque l'on regarde les cultures sans fertilisation (+ 25,6%). En effet, la

fertilisation de l'association permet une augmentation des rendements du blé, mais au dépend des protéagineux.

Concernant la teneur en protéine du blé fertilisé, l'association n'est pas significativement différente à un blé pur dans quasiment un cas sur deux (7/13). En général, la fertilisation va quand même permette une augmentation de la teneur en protéines du blé en association par rapport à un blé pur (+ 6,4%), mais avec une intensité moins importante que dans les cultures sans fertilisation (+ 9,4%).

VI. Est-ce réellement rentable pour les agriculteurs ?

Les agriculteurs ne recherchent pas seulement une performance agronomique des associations de culture, mais aussi une meilleure valorisation économique. L'analyse économique des associations doit être considérée avec précaution, car cette dernière dépend de nombreux facteurs (prix de la culture, aides compensatoires, prix des semences, ...) qui varient selon l'année et la zone géographique dans laquelle nous nous situons.

Les performances économiques sont regardées à travers l'indicateur « marge directe ». La marge directe prend en compte les produits (prix de vente de l'association + aides compensatoires) et déduits les différentes charges (charges opérationnelles + charges matérielles).

Comme nous avons pu le voir précédemment, les associations permettent une amélioration de la teneur en protéines du blé, valorisation économique non négligeable. Aujourd'hui en Poitou-Charentes, le point de protéine (+ 1%) est valorisé à hauteur de 25 €/T. De plus, le blé étant de meilleure qualité, il peut être valorisé en alimentation humaine (380€/T) plutôt qu'en alimentation animale (280€/T), si toutefois l'association à la possibilité d'être triée. Une nouvelle fois, cela représente un gain économique non négligeable pour l'exploitant si le coût du triage réalisé par la coopérative n'est pas trop élevé. En Poitou-Charentes, les coopératives facturent environ le triage à 15€/T, des coûts faible dû à du matériel performant (trieuse optique). A cela peut s'ajouter les aides compensatoires sur les protéagineux (+ 100€/ha), si le mélange semé se compose d'au moins 50% de protéagineux (en nombre de grains).

Bedoussac et al. (2010) ont réalisés des essais en AB dans le Sud-Ouest de la France. Ils ont pu observer que les marges directes des associations de culture pour les essais de 2010 sont plus élevées que la moyenne des deux cultures pures, malgré le coût supplémentaire du triage pour les cultures associées. Ces résultats s'expliquent par des rendements supérieurs ou égaux à la moyenne des deux cultures en pure et par l'augmentation significative de la qualité du blé.

En absence de fertilisation, les essais réalisés en AB par la FRAB Nouvelle-Aquitaine et ses partenaires ont permis d'observer que les marges brutes des associations sont en moyenne 23 % plus élevées que celles en blé pur. Il a même été observé une différence entre les associations blé – pois et blé – féverole (+ 17,8 % vs + 31 %). Malgré des coûts liés au tri des mélanges et à un achat supplémentaire de semences de légumineuse, les associations restent plus rentables que le blé pur en bio sans fertilisation.

VII. Effet des associations sur les pressions environnementales

En AB, les agriculteurs sont dépourvus de toutes substances chimiques (herbicide, fongicide ou pesticide) afin de lutter contre les bio-agresseurs (adventices, maladies et ravageurs). Les associations céréales – protéagineux permettraient de réduire la pression des bio-agresseurs par rapport à celle exercée en culture pure, et ainsi constituer un levier majeur aux enjeux de l'AB (Hauggaard-Nielsen, 2001 ; Hauggaard-Nielsen et Jensen, 2005 ; Hauggaard-Nielsen et al., 2006).

1. Les associations : quels effets sur l'enherbement ?

Dans les associations blé – protéagineux (pois ou féverole), la biomasse en adventice est significativement réduite par rapport aux cultures pures de protéagineux (Corre-Hellou et al., 2006 ; Bedoussac et al., 2010). Selon les expérimentations de Corre-Hellou (2006), l'enherbement a été réduit de 50% dans la majorité des cas, quel que soit le potentiel de salissement de la parcelle. Cependant, la quantité d'adventice présente dans les associations est comparable à celle des cultures pures de blé. C'est donc la quantité de blé présent qui va déterminer l'enherbement plutôt que la biomasse totale de l'association (Bedoussac et al., 2010). En effet, dès le début de son cycle, le blé va avoir des besoins en eau et en nutriment important réduisant la possibilité des adventices de se développer. De plus, il va rapidement former des talles couvrant le sol et couper la lumière aux mauvaises herbes.

Même si les associations permettent de réduire la pression des adventices, il ne faut pas négliger le désherbage mécanique. Il doit avoir lieu à des stades précoces du développement des mauvaises herbes afin de garantir une efficacité maximale. Sans oublier de respecter des conditions de structure de sol optimales ainsi que les stades des deux cultures.

2. Un impact encore flou des ravageurs sur les cultures associées

Aujourd'hui, encore de nombreuses questions se posent sur le comportement des ravageurs vis-à-vis de leur culture hôte, d'autant plus dans des associations de cultures où les interactions entre plante jouent elles aussi un rôle.

Dans le cas du puceron vert du pois (*Acyrtosiphon Pisum*), les associations blé – pois sont toujours significativement moins infectés que les cultures pures de pois (Bedoussac, 2012 ; Ndzana Abanda, 2012). En effet, la distance parcourue par le puceron du pois, *Acyrtosiphon pisum*, est significativement plus longue dans une culture pure de pois que dans les associations blé – pois ; l'hypothèse étant que le réseau dense des vrilles reliant les plantes de pois faciliterait la propagation du puceron (Ndzana Abanda, 2012). De plus, la modification de l'aspect général du couvert (forme, couleur, odeur et microclimat) aurait un impact négatif sur le développement du puceron. Cependant, leur taux de fécondité est plus élevée dans les associations blé – pois par rapport au pois pure ; l'hypothèse serait que le

pois ayant une sève plus riche en azote favoriserait la fécondité des pucerons (Ndzana Abanda, 2012)

Concernant les sitonnes, il semblerait que les symptômes observés soit aussi importante voir plus dans les associations, du fait qu'il serait capable de repérer à distance sa plante hôte (Corre-Hellou et al., 2006 ; Bedoussac, 2012).

3. Les associations peuvent-elles contrer les maladies fongiques ?

L'impact des associations sur les maladies fongiques dépend généralement de la pression en amont. Lorsque celle-ci est faible, les cultures associées n'auront pas d'impact significatif par rapport aux cultures pures (Bedoussac et al., 2010). Cependant, En cas d'attaque importante de maladies fongiques, l'association céréale – protéagineux réduit le taux de contamination grâce notamment à l'interférence physique des plantes non hôtes, d'autant plus lorsque la proportion de ces plantes non hôtes est importante, et que le semis du mélange est en ligne plutôt que sur le même rang (Corre-Hellou et al., 2006 ; Bedoussac, 2009 ; Bedoussac et al., 2010).

Sur le pois associé, des diminutions de l'antracnose sur gousse à maturité ont été observé (Corre-Hellou et al., 2006), seulement lorsque la biomasse de légumineuse n'est pas trop importante (Bedoussac, 2009).

Pour les céréales associés, des réductions de symptômes de l'oïdium sur orges ont été observés (Corre-Hellou et al., 2006), ainsi que des diminutions de la pression de septoriose sur blé. L'impact de l'association sur les maladies de la céréale est d'autant plus lorsque la proportion en légumineuse est importante (Bedoussac, 2009).

VIII. Avantages et inconvénients des associations

Avantages	Inconvénients
Meilleurs rendements totaux (blé + protéagineux)	Rendement du blé inférieur
Augmentation de la teneur en protéine du blé	Proportion entre les espèces dans le mélange encore aléatoire
Adaptés à des milieux à faible intrants en azote (enjeux en AB)	Effet limité face aux ravageurs et aux maladies fongique
Réduction de l'enherbement	Coût supplémentaire de triage pour la valorisation en alimentation humaine
Valorisation économique intéressante	Difficile d'assurer des cultures en association

Bibliographie

Articles scientifiques :

Altieri M (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture Ecosystems Environment* 74 : 19-31.

Anil L, Park J, Phipps RH, Miller FA (1998). Temperate intercropping of cereals for forage : a review of the potential for growth and utilization with particular reference to the UK. *Grass Forage Science* 53 : 301-317.

Bedoussac L (2009). Analyse du fonctionnement des performances des associations blé dur – pois d’hiver et blé dur – féverole d’hiver pour la conception d’itinéraires techniques adaptés à différents objectifs de production en système bas-intrants. Thèse de l’université de Toulouse délivrée par l’Institut National Polytechnique de Toulouse.

Bedoussac L, Juste E (2010). The efficiency of durum wheat-winter pea intercrop to improve yield and wheat grain protein concentration depends on N availability during early growth. *Plant Soil* 330 : 19-35.

Corre-Hellou G, Dibet A, Aveline A, Crozat Y (2006). Le pois au service des systèmes de culture à faible intrants : quels besoins variétaux ? Dossier de l’environnement de l’INRA 30 : 111-116.

David C, Viaux P, Meynard JM (2004). Les enjeux de la production de blé tendre en agriculture biologique. *Courrier de la cellule environnement de l’INRA* 51 : 43-53.

David C, Jeuffroy MH, Laurent F, Mangin M, Meynard JM (2005). Yield variation in organic winter wheat : a diagnostic study in the Southeast of France. *Agronomy for Sustainable Development* 25 : 213-223.

David C, Abecassis J, Carcea M, Celette F, Corre-Hellou G, Friedel J, Hiltbrunner J, Mader P, Messmer M, Narducci V, Peigné J, Thomsen IK (2013). Améliorer la qualité technologique, nutritionnelle et sanitaire du blé biologique : principaux leviers agronomiques et technologiques. *Innovations Agronomiques* 31 : 1-13.

Desclaux D, Nolot JM, Chiffolleau Y, Gozé G, Leclerc C (2008). Changes in the concept of genotype x environment interactions to fit agriculture diversification and participatory plant breeding. *Pluridisciplinary point of view. Euphytica* 163 : 533–546.

Hauggaard-Nielsen H, Ambus P, Jensen ES (2001a). Temporal and spatial distribution of roots and competition for nitrogen in pea-barley intercrops – a field study employing P-32 technique. *Plant Soil* 236 : 63-74.

Hauggaard-Nielsen H, Ambus P, Jensen ES (2001b). Interspecific competition, N use and interference with weeds in pea-barley intercropping. *Plant Biology and Biochemistry* 33-44.

Hauggaard-Nielsen H, Ambus P, Jensen ES (2003). The comparison of nitrogen use and leaching in sole cropped versus intercropped pea and barley. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 65 : 289-300.

Hauggaard-Nielsen H, Jensen ES (2005). Facilitative root interactions in intercrops. *Plant Soil* 274 : 237-250.

Hauggaard-Nielsen H, Anderson MK, Jørnsgaard B, Jensen ES (2006). Density and relative frequency effects on competitive interactions and resource use in pea-barley intercrops. *Plant Soil* 274 : 237-250.

Hinsinger P (2001). Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes : a review. *Plant Soil* 237 : 173-195.

Jensen ES (1996). Grain yield, symbiotic N₂ fixation and interspecific competition for inorganic N in pea-barley intercrops. *Plant Soil* 182 : 25-38.

Justes E, Bedoussac L, Prieur L (2008). Est-il possible d'améliorer le rendement et la teneur en protéines du blé en Agriculture Biologique au moyen de cultures intermédiaires ou de cultures associées ? *Revue Innovations Agronomiques* 4 : 165-176.

Kammoun B (2014). Analyse des interactions génotype x environnement x conduite culturale de peuplement bi-spécifique de cultures associées de blé dur et de légumineuses à graines à des fins de choix variétal et d'optimisation de leurs itinéraires techniques. Thèse de l'université de Toulouse délivrée par l'Institut National Polytechnique de Toulouse.

Malézieux E, Crozat Y, Dupraz C, Laurans M, Makowski D, Ozier-Lafontaine H, Rapidel B, De Tourdonnet S, Valantin-Morison M (2008). Mixing plant species in cropping systems : concepts, tools and models. *A review Agronomy for Sustainable Development* 29 : 43-62.

Ndzana Abanda RFX (2012). Régulation des bio-agresseurs dans les cultures associées de blé dur et de pois : impact de la diversité végétale sur la démographie des pucerons du pois. Thèse de l'université de Toulouse délivrée par l'Université Toulouse III – Paul Sabatier.

Rice EL (1984). *Allelopathy*. Academic press, Orlando 422p.

Schimdt H, Von Fragstein P (1999). Importance of varying management and environment conditions in long-term crop rotation trial. In J. E. Olsen, R Eltun, MJ Gooding, ES Jensen & U Kopke : *Designing and Testing Crop Rotations For Organic Farming*. Report n°1, Copenhagen, 191-202.

Stein-Bachinger K, Werner W (1997). Effect of manure on crop yield and quality in an organic agricultural system. *Biol. Agric. Hortic.* 14 : 221-235.

Trenbath BR (1993). Intercropping for the management of pests and diseases. *Field Crops Research* 34 : 381-405.

Vandermeer J (1989). *The ecology of intercropping*. Cambridge university press, Cambridge.

Vandermeer J, Van Noordwijk M, Anderson J, Ong C, Perfecto I (1998). Global change and multi-species agroecosystems : Concepts and issues. *Agriculture Ecosystems Environment* 67 : 1-22

Willey R (1979). Intercropping – its importance and research needs. Competition and yield advantages. *Field Crop Abstr.* 32 : 1-10.

Willey RW (1990). Ressource use in intercropping systems. *Agric. Water Manag.* 17 : 215-231.

Younie D, Watson CA, Squire GR (1996). A comparison of crop rotations in organic farming : agronomic performance. *Aspects Appl. Biol.* 47 : 379-380.

Ouvrages

Focus sur les filières bio végétales (2012). Agence BIO 5 : 103-161.

Les cultures Associées Céréales/Légumineuse en agriculture « bas intrants » dans le Sud de la France (2012)

Nourrir la planète. Griffon M (2006). Odile Jacob, Paris.