



Ministère de l'Agriculture de l'alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de
l'aménagement du Territoire

Ecole nationale supérieure des sciences agronomiques de Bordeaux
Aquitaine

1, cours du Général de Gaulle - CS 40201 - 33175 GRADIGNAN cedex

MEMOIRE DE STAGE DE S8 , PRÉ-SPÉCIALISATION GIAP

DE BORDEAUX SCIENCES AGRO

RECHERCHE DE TRAITS FONCTIONNELS FAVORISANT LA CONDUITE EN
ASSOCIATION D'UNE CULTURE DE BLÉ TENDRE AVEC UNE FÉVEROLE
DANS UN SYSTÈME EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE



BURTIN, CECILE

SPÉCIALISATION : AGROGER

ETUDE RÉALISÉE AU CREABIO, AUCH

- 2018 -

Ministère de l'Agriculture de l'alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'aménagement du Territoire

Ecole nationale supérieure des sciences agronomiques de Bordeaux Aquitaine

1, cours du Général de Gaulle - CS 40201 - 33175 GRADIGNAN cedex

MEMOIRE DE STAGE DE S8 , PRÉ-SPÉCIALISATION GIAP

DE BORDEAUX SCIENCES AGRO

RECHERCHE DE TRAITS FONCTIONNELS FAVORISANT LA CONDUITE EN
ASSOCIATION D'UNE CULTURE DE BLÉ TENDRE AVEC UNE FÉVEROLE
DANS UN SYSTÈME EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE

BURTIN, CECILE

SPÉCIALISATION : AGROGER

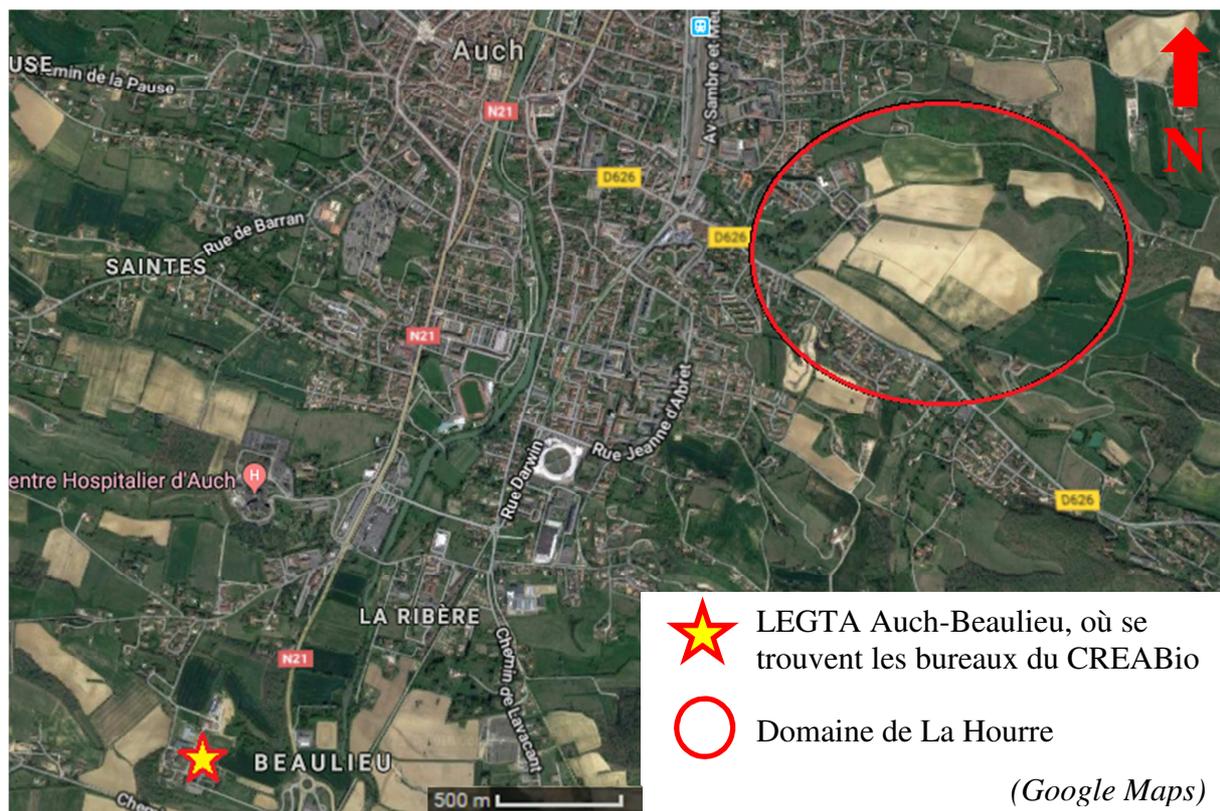
ETUDE RÉALISÉE AU CREABIO, AUCH

- 2018 -

PREFACE

Etudiante ingénieure agronome à Bordeaux Sciences Agro en pré-spécialisation GIAP (Gestion Intégrées des Agrosystèmes et des Paysages) en vue d'une spécialisation AGROGER (Agro-écologie et Gestion des Ressources), j'ai réalisé mon stage de 2^{ème} année au CREABio (Centre Régional de Recherche et d'Expérimentation en Agriculture Biologique au service de l'Innovation en Occitanie et dans le grand sud), qui se trouve dans la commune d'Auch (département du Gers, nouvelle région Occitanie), avec pour objectif le suivi d'un essai d'une culture de blé tendre d'hiver mise en association avec une féverole d'hiver.

Le CREABio est une association du type loi de 1901, c'est-à-dire une association à but non lucratif, créé en 1989 à l'initiative des agriculteurs de la région afin de produire des connaissances scientifiques et techniques pour le développement de l'agriculture dans la région. En 1994, le CREABio rejoint l'ITAB (Institut Technique de l'Agriculture Biologique) en tant que Centre Technique Spécialisé en grandes cultures et en 1999, il s'associe au LEGTA d'Auch-Beaulieu dans lequel se trouvent aujourd'hui ses bureaux et qui dispose d'une exploitation de 55 ha de grandes cultures convertie à l'agriculture biologique en 1999. Cette exploitation dont le lycée assure le fermage, se trouve sur la ferme de La Hourre et appartient à la Fondation Ludovic Lapeyrère. C'est sur ces terres que se déroulent la majorité des expérimentations.



Situé sur la commune d'Auch, le site de La Hourre est un site de coteaux présentant des pentes moyennes à fortes et des parcelles de vallées alluviales et colluviales, avec des sols appartenant à la classe des terreforts argilo-calcaire. Le climat (site internet 1) tempéré chaud est caractérisé par des précipitations importantes (757mm) et des variations de températures importantes également, avec un été chaud et sec et un hiver plutôt froid et humide, sans pour autant beaucoup de gel.

Le CREABio est géré par un conseil d'Administration composé de 9 personnes et les expérimentations sont conduites par l'équipe salariale composée d'un chargé de mission (M. Enguerrand BUREL) et d'un technicien spécialisé (M. Laurent ESCALIER).

Afin de répondre à la demande de connaissances scientifiques et techniques en grandes cultures en agriculture biologique, deux approches sont utilisées : une approche systémique qui étudie notamment l'évolution de la fertilité du domaine de La Hourre à travers différentes mesures (productivité et qualité des cultures, pression des bio-agresseurs et évolution des teneurs en matière organique et en éléments minéraux des sols) et une approche analytique qui s'intéresse à des thématiques précises. Pour cette dernière approche et pour la campagne 2017-2018, 13 expérimentations ont été mises en place, au domaine de La Hourre et chez des agriculteurs du Gers, sur différentes thématiques que nous pouvons regrouper en 3 types :

- essai variétés (céréales, protéagineux, oléagineux)
- essai itinéraires techniques (semis, fertilisants, désherbage)
- essai fertilité (couverts, association, fertilisants)

Parmi les sources de financement permettant de mener à bien ces expérimentations, nous pouvons citer le CasDar (Compte d'affectation spéciale « Développement agricole et rural ») notamment à travers le projet ECoVAB (Evaluer le Comportement des Variétés en AB) porté par l'ITAB (Institut de l'Agriculture Biologique), qui propose trois types d'approches dont l'étude de l'adaptation des variétés à la conduite en association.

C'est grâce à ce projet que les expérimentations association blé-féverole ont été financées entre 2015 et 2017. Cette année l'essai, bien que non financé par le CasDar, suit le même protocole que les deux années précédentes à ceci près que le choix variétal a changé pour s'adapter aux nouveaux questionnements qui ont émergé des résultats obtenus. Seule la variété Energo est restée afin de constituer une référence et permettre l'élaboration de conclusion pour l'expérimentation sur trois ans. C'est dans ce contexte qu'a eu lieu ce stage.

REMERCIEMENTS

Je souhaite tout d'abord remercier mes maîtres de stage, M. Enguerrand Burel, chargé de mission au CREABio et M. Laurent Escalier, technicien spécialisé au CREABio, pour leur disponibilité, leur bienveillance et toutes les connaissances transmises avec plaisir, qui m'ont permis de réaliser un stage très intéressant dans les meilleures conditions possibles. Je remercie aussi mon collègue, Raphaël Briez, pour tous les moments passés ensemble et également mon tuteur de stage, M. Lionel Jordan-Meille pour sa patience et sa disponibilité.

Viennent ensuite toutes les personnes qui d'une manière ou d'une autre ont rendu ce stage encore plus agréable et intéressant, M. Loïc Prieur, ancien chargé de mission au CREABio, Mathieu et Marcello de Terres Inovia et tous les agriculteurs rencontrés.

RESUME

Les cultures en association en agriculture biologique apportent de nombreux services écologiques, notamment en diminuant les besoins en fertilisation, la pression des maladies et des ravageurs et en permettant une production plus importante sur une surface équivalente. Par ailleurs, les associations blé tendre d'hiver-féverole d'hiver présentent l'avantage de ne pas engendrer de problème de récolte ou de tri par la suite grâce à une maturité synchrone et des tailles de grains très différentes. Cette association répond donc à plusieurs enjeux environnementaux mais aussi économiques car la teneur en protéines des grains est plus élevée en association. Cinq variétés de blé tendre d'hiver associées à une variété de féverole d'hiver ont été testées dans un essai en blocs de Fisher et des mesures de précocité, de ports, de pouvoir couvrant, de hauteur, de rendements et de taux de protéines des grains ont été réalisées. Les résultats ont montré que de manière générale, si le rendement des blés diminue lorsqu'ils sont conduits en association, le Land Equivalent Ratio (LER) en association est très important, pouvant aller jusqu'à 2,19 (variété Energo) et en moyenne, une hausse du taux de protéines du grain de 1,49 point est observée. La variété Soléhio est celle qui présente le rendement le plus important, en association (14,73q/ha) comme en pur (23,57q/ha) mais ce sont les variétés Arnold et Izalco qui possèdent les plus forts taux de protéines (respectivement 13,60% et 13,73% en association). Par ailleurs, les hauteurs des blés sur l'essai semblent corrélées avec un meilleur rendement relatif en conduite en association. C'est donc un critère de sélection des variétés de blé à privilégier pour les associations blé-féverole.

Mots clés : association de culture, blé tendre, féverole, évaluation variétale

ABSTRACT

Intercropping in organical agriculture is a way to reduce the need of fertilizers and the diseases and pest pressure using ecological services. Furthermore, soft wheat-field beans intercropping don't lead to harvest or sorting issues so it responds to a lot of actual environmental and also economical concerns, increasing the proteins rate in the wheat seeds. Five varieties of soft wheat were evaluated in intercropping with a winter field beans in a Fisher design. Measures of precocity, bearing, covering power, yield and proteins rates have been made and results show that if yields are lower with the field beans, the Land Equivalent Ratio (LER) in intercropping is significant up to 2,19 (variety Energo) and in average, an increase of the proteins rate of the seeds of 1,49 point is noted. The variety Solehio is the one which has the better yield in intercropping (14,73q/ha) and in sole crop (23,75q/ha) as well, but the varieties with higher proteins rates are Alessio and Izalco (13,6% et 13,73% respectively in intercropping). Finally, the high of the straw seems correlate with better yield in intercropping culture, so this is a selection criterion for the varieties to be choose for the soft wheat-field beans intercropping.

Keywords : intercropping, soft wheat, winter field beans, varietie

LISTE DES SIGLES UTILISES :

ANMF	Association Nationale de la Meunerie Française
BAF	Blé Améliorants ou de Force
BPS	Blé Panifiables Supérieurs
BTH	Blé tendre d'hiver
CasDar	Compte d'affectation spéciale « Développement agricole et rural »
CREABio	Centre Régional de Recherche et d'Expérimentation en Agriculture Biologique au service de l'Innovation en Occitanie et dans le grand sud
ECoVAB	Evaluer le Comportement des Variétés en AB
FEV	Féverole d'hiver
ITAB	Institut Technique de l'Agriculture Biologique
LEGTA	Lycée d'Enseignement Général et Technique Agricole
PC	Pouvoir Couvrant
PMG	Poids de Mille Grains

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX :

Figure 1 : Texture de la parcelle LH6 B

Figure 2 : Disposition des placettes pour les composantes du rendement sur les micro-parcelles

Figure 3 : Ports de la F1 au stade floraison et évolution du pouvoir couvrant des blés

Figure 4 : Rendements moyens des blés et de la féverole à 15% d'humidité

Figure 5 : Moyennes des taux de protéines des blés

Figure 6 : Moyennes des hauteurs des blés et de la féverole aux stades 2 nœuds et post-floraison

Figure 7 : Mise en évidence de la disposition des chardons sur l'essai avec la notation Barralis

Figure 8 : Lien entre le taux de protéines et le rendement des variétés de blés tendre

Tableau 1 : Caractéristiques des variétés de blé tendre testées

Tableau 2 : Itinéraire technique réalisé

Tableau 3 : Moyennes de relevé des dates des différents stades de développement pour le blé tendre

Tableau 4 : moyenne des densités d'adventices par modalité (plants/m²) selon l'échelle Barralis avec les stades des adventices (Annexe 3)

Tableau 5 : Composantes du rendement pour le blé tendre

Tableau 6 : Land Equivalent Ratio

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	1
I – Contexte et objectifs de travail	2
A) Les protéines dans la filière blé tendre : rôle et importance pour la panification	2
B) Les associations de culture au CREABio.....	3
C) Objectifs du travail	4
Evaluation variétale en conduites en pur et en association : Quelles variétés sont les plus adaptées aux besoins de l’agriculteur ?.....	4
Un trait phénotypique à étudier : le critère de hauteur est-il déterminant pour la réussite de l’association avec une féverole ?.....	4
II- Matériel et méthodes : présentation de l’essai et conduite des cultures.....	6
A) Présentation du dispositif	6
Situation de l’essai	6
Données de mise en place de l’essai	7
B) Suivi de l’essai et notations du développement végétatif - Protocoles	8
Stades	8
Compétitivité, adventices et maladies.....	8
Composantes de rendement	8
Hauteurs	9
C) Calculs et traitement des données.....	9
III- RESULTATS	11
A) Développement végétatif.....	11
Stades et tallage.....	11
Port et pouvoir couvrant.....	11
Gestion des adventices	12
B) Rendement, composantes du rendement et LER.....	13
C) Protéines	15
D) Hauteur des pailles	16
IV- DISCUSSION.....	17
A) Evaluation variétale : un effet limité de la conduite en association sur les blés sur les caractéristiques variétales	17
B) Taux de protéines : une augmentation très forte associée à des variétés déjà performantes	18
C) Critère de hauteur : un critère validé	19
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	20
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	21
ANNEXES	Erreur ! Signet non défini. 3

INTRODUCTION

L'agriculture biologique est en plein essor (en 2017, +17% de surfaces certifiées bio en France par rapport à 2016 d'après l'Agence Bio) et aujourd'hui, les agriculteurs sont chargés de respecter l'environnement tout en devant offrir des produits de bonne qualité et en quantité pour répondre à la demande. L'exigence du cahier des charges de l'agriculture biologique pousse à développer de nouvelles techniques, parfaire celles qui sont déjà connues et nécessite de produire des références afin d'accompagner les producteurs dans ces démarches agro-écologiques. L'enjeu est de taille notamment pour la fertilisation, qui a un coût élevé et une efficacité limitée en agriculture biologique, ce qui cause des stress azotés systématiques pour les cultures, entraînant des pertes de quantité et de qualité de la production. Des solutions doivent aussi être trouvées pour les adventices, qui ne peuvent être détruites chimiquement mais qui peuvent être maîtrisées par la rotation, éventuellement le travail du sol et les couverts, notamment les associations.

Les services rendus par les associations de cultures répondent à un certain nombre d'enjeux actuels de l'agriculture biologique. Elles sont définies comme la mise en culture simultanée de deux espèces ou plus, sur une même surface et pendant une période significative de leur cycle de croissance mais sans nécessairement être semées et récoltées en même temps (Willey 1979, Vandermeer 1989). Elles peuvent être de différentes formes : systèmes prairiaux, agroforesterie, sylvopastoralisme... Nous nous intéresserons ici aux associations de cultures annuelles et plus précisément à l'association d'une céréale, le blé tendre d'hiver (*Triticum aestivum* L.), et une légumineuse, la féverole d'hiver (*Vicia faba* L.). Plusieurs études ont déjà été réalisées sur le fonctionnement des associations et il a été montré que la conduite en association rend de nombreux services écosystémiques et permet, en termes de nutrition tout d'abord, une meilleure utilisation des ressources comme la lumière et l'azote (Bedoussac et Justes, 2010) et une amélioration de la biodisponibilité de certains nutriments (phosphore) par les légumineuses (Bétencourt, 2012). La conduite en association permet également une protection des cultures face aux ravageurs et aux maladies à travers différents mécanismes tels que la création de barrières physiques (Garrett et Mundt, 1999 ; Ratnadass et al., 2012), une meilleure gestion des adventices (Corre-Hellou et al. 2013) et une augmentation de la biodiversité de par l'attractivité des fleurs (Decourtye, 2014). Il a aussi été montré qu'elle permettait aussi une meilleure utilisation de la surface et également une production plus importante et de meilleure qualité dans les systèmes de bas intrants (Bedoussac, 2009) et que la culture devenait plus robuste face à des contraintes biotiques et abiotiques (Corre-Hellou et al., 2013). Les services écosystémiques rendus par l'association d'espèces sont permis par l'exploitation de ressources provenant de niches différentes, ce qui permet au système d'obtenir plus de protéines que son équivalent en culture pure (Hauggard-Nielsen et al. 2007 ; Bedoussac et Justes 2010).

Cependant, les associations présentent toujours plusieurs contraintes, techniques et matérielles, comme la nécessité d'avoir un semoir à deux trémies ou de faire deux passages de semoir et de trier le grain récolté qui nécessite soit l'investissement d'une trieuse soit d'assumer un surcoût lié au triage à la coopérative qui récupère la récolte (Pelzer 2014). C'est pourquoi le CREABio s'intéresse à l'association blé tendre-féverole : si la valorisation de la féverole reste limitée pour l'instant, elle présente néanmoins beaucoup d'intérêt pour une conduite en association avec un blé tendre meunier, qui lui se valorise très bien. Les grains de blé obtenus en association sont de meilleure qualité que ceux en culture pure, ce qui présente un intérêt pour assurer le revenu de l'agriculteur. Cette recherche s'inscrit donc dans les objectifs des systèmes céréaliers en agriculture biologique d'aujourd'hui qui souhaitent

obtenir une meilleure valorisation économique du blé en augmentant le taux de protéine des grains tout en limitant l'apport d'azote

C'est dans ce contexte que l'essai association blé-féverole intégré au projet ECoVAB depuis 2015 a lieu au CREABio. Avec cet essai, deux questions sont posées : quelles variétés de blé tendre d'hiver se comportent le mieux en association avec une féverole d'hiver en termes de rendement et de teneur en protéines ? Et de cela découle la question suivante : quels critères peuvent expliquer la réussite de cette association ?

Dans une première partie le cadre de cette étude sera présenté en expliquant d'une part l'importance des protéines pour la production de blés meuniers et d'autre part, les principaux résultats d'essais obtenus les années précédentes par le CREABio. Dans une seconde partie intitulée matériels et méthodes, les protocoles et les outils d'analyse des résultats de l'essai seront précisés. Le suivi de l'essai et les résultats à la récolte seront présentés dans la partie résultats. Enfin, les résultats seront discutés dans une partie distincte et suivi d'une conclusion.

I – Contexte et objectifs de travail

A) Les protéines dans la filière blé tendre : rôle et importance pour la panification

La production de blé tendre ne se limite pas à la production pour la meunerie et l'alimentation animale mais concerne aussi l'amidonnerie (8,1 million de tonnes de blé tendre ont été utilisés pour la meunerie et l'amidonnerie et 8,4 million de tonnes ont été utilisés pour la filière animale en 2015 d'après l'ANMF) et toutes ces filières sont à la recherche de blés riches en protéines. En alimentation humaine, le premier débouché est la panification aboutissant à la fabrication de pains. Pour cela, les industriels ont besoin de farines possédant des protéines aux propriétés particulières permettant la fabrication du pain. Les protéines de farines de blés se distinguent en deux catégories : les protéines solubles qui sont liées à la qualité nutritionnelle du pain (les albumines et les globulines) et que l'on retrouve à hauteur de 15 à 20% et les protéines de réserve qui contrôlent en grande partie la qualité technologique du pain (les gliadines et le gluténines) qui constituent 80 à 85% des protéines. Avec l'amidon, ces protéines sont capables de s'agglutiner en milieu hydraté et de former un réseau tridimensionnel étirable et extensible appelé le gluten (Meleard, 2014 ; Moris, 2015).

Ainsi, la force boulangère des blés (notée W), n'est pas le seul critère important pour la meunerie. Des études complètes de détermination de la qualité boulangère des blés passent donc par des mesures de la ténacité, de l'extensibilité, de l'élasticité et de la force boulangère des farines grâce à un test alvéographique, afin de connaître précisément les caractéristiques de la farine et de permettre aux industriels de suivre des recettes homogènes. Le temps de chute de Hagberg ou le rapport P/L (rapport de l'élasticité sur l'extensibilité) sont également de critères permettant de définir la qualité boulangère des blés. En revanche, connaître le taux de protéines est beaucoup plus simple, rapide et accessible aux agriculteurs et il constitue tout de même un indicateur important, utilisé d'ailleurs comme un premier critère de sélection des blés panifiables.

Les protéines de blé ont donc un rôle majeur dans la panification, c'est pourquoi la teneur en protéines des grains est contrôlée et un fort taux de protéine fait l'objet de primes quand, au contraire, un taux trop faible peut entraîner un déclassement de la production en filière animale, beaucoup moins rémunératrice. La teneur minimum permettant un accès au marché sans pénalité est de 11,5% de protéine.

Les agriculteurs cherchent ainsi à produire du blé riche en protéine et pour cela ils s'appuient sur des leviers agronomiques et génétiques. En général, l'apport de fertilisant azoté est efficace pour augmenter la teneur en protéines des blés, toutefois, c'est moins le cas (faible efficacité des fertilisants commercialisés en agriculture biologique) et c'est coûteux en agriculture biologique aussi, nous recherchons d'autres solutions efficaces et adaptables aux cahiers des charges de l'agriculture biologique, telles que la conduite en association.

B) Les associations de culture au CREABio

Au CREABio, les associations étudiées ont toujours été des associations de céréales et de légumineuses. Les premières études favorisaient les légumineuses qui constituaient la culture de rente (notamment le pois) et la céréale (notamment l'orge) apparaissait comme une culture concurrente des adventices en augmentant le pouvoir couvrant de la culture en place. Mais les rendements du pois étaient trop variables et la récolte engendrait de trop grande pertes, dues à la différence de maturité des espèces cultivées et à la casse des grains. Ainsi, la recherche d'un blé riche en protéine à vocation boulangère (plus rémunérateur que l'orge) est devenue la priorité des associations, la légumineuse devenait une culture permettant l'augmentation du taux de protéine du blé en minimisant les besoins en fertilisants. L'association blé tendre d'hiver-féverole d'hiver est apparue comme la plus facile à mettre en place dans la région du fait de la proximité des dates de maturité du blé et de la féverole, ce qui limite les pertes à la récolte. Par ailleurs, la différence de taille des grains facilite le triage. La féverole présente aussi l'intérêt de ne pas avoir besoin de tuteur et d'être bien concurrentielle vis-à-vis des adventices du fait de sa végétation importante et couvrante. Enfin, la féverole enrichirait plus les sols en azote que la lentille, le trèfle ou le soja (Prieur, 2010). Les résultats du CREABio des années précédentes ont montrés que les fertilisants autorisés en agriculture biologique et commercialisés, ne permettent pas d'augmenter suffisamment les tenues en protéines pour être rentable (Prieur, 2012). L'association de cultures est donc une alternative intéressante à l'utilisation de fertilisant pour obtenir du grain à haute teneur en protéines.

Actuellement, les essais d'association de cultures visent à stabiliser le rendement de l'association en trouvant les variétés de blés panifiables qui permettent d'obtenir les meilleurs rendements et taux de protéines. Le projet ECovAB, a permis le financement de l'essai association du CREABio des deux années précédentes grâce à un financement CasDar, qui constitue le financement du ministère chargé de l'agriculture. Les essais menés ont mis en évidence un lien entre le rendement et le taux de protéine du blé, et la différence de hauteur entre le blé et la féverole (Prieur, 2016 et Burel, 2017). En effet, les deux années précédentes, 5 variétés ont été testées, Energo, Rubisko, Renan, Flamenko et Ghayta, toutes de pailles courtes sauf Energo, qui possède une hauteur de paille moyenne à haute. La première année, Energo a présenté des rendements importants en association tandis que le développement des autres variétés semblait limité par celui de la féverole. La deuxième année, la féverole est restée courte à cause notamment du climat et des maladies, ce qui a effacé les différences de rendements observés l'année précédente et ce sont les variétés qui présentaient les meilleurs

rendements en pur qui ont aussi eu les meilleurs rendements en association. De ces résultats a été émise l'hypothèse selon laquelle la hauteur de la paille des blés aurait un rôle et permettrait de stabiliser le comportement des blés pour la conduite en association, sans que la féverole ne soit sensible à la présence du blé sur ces densités de semis, ce que l'on souhaite vérifier cette année.

C) Objectifs du travail

Le CREABio a pour vocation la production de références techniques directement utilisables pour les agriculteurs, notamment en termes d'itinéraires techniques et de choix variétaux pour différentes cultures. Dans le cadre de cet essai, l'objectif est multiple :

- tester différentes variétés de blé tendre d'hiver afin d'évaluer leur capacité de rendement et de production de protéines
- valider le critère de hauteur comme trait expliquant la réussite de l'association blé-féverole.

Evaluation variétale en conduites en pur et en association : Quelles variétés sont les plus adaptées aux besoins de l'agriculteur ?

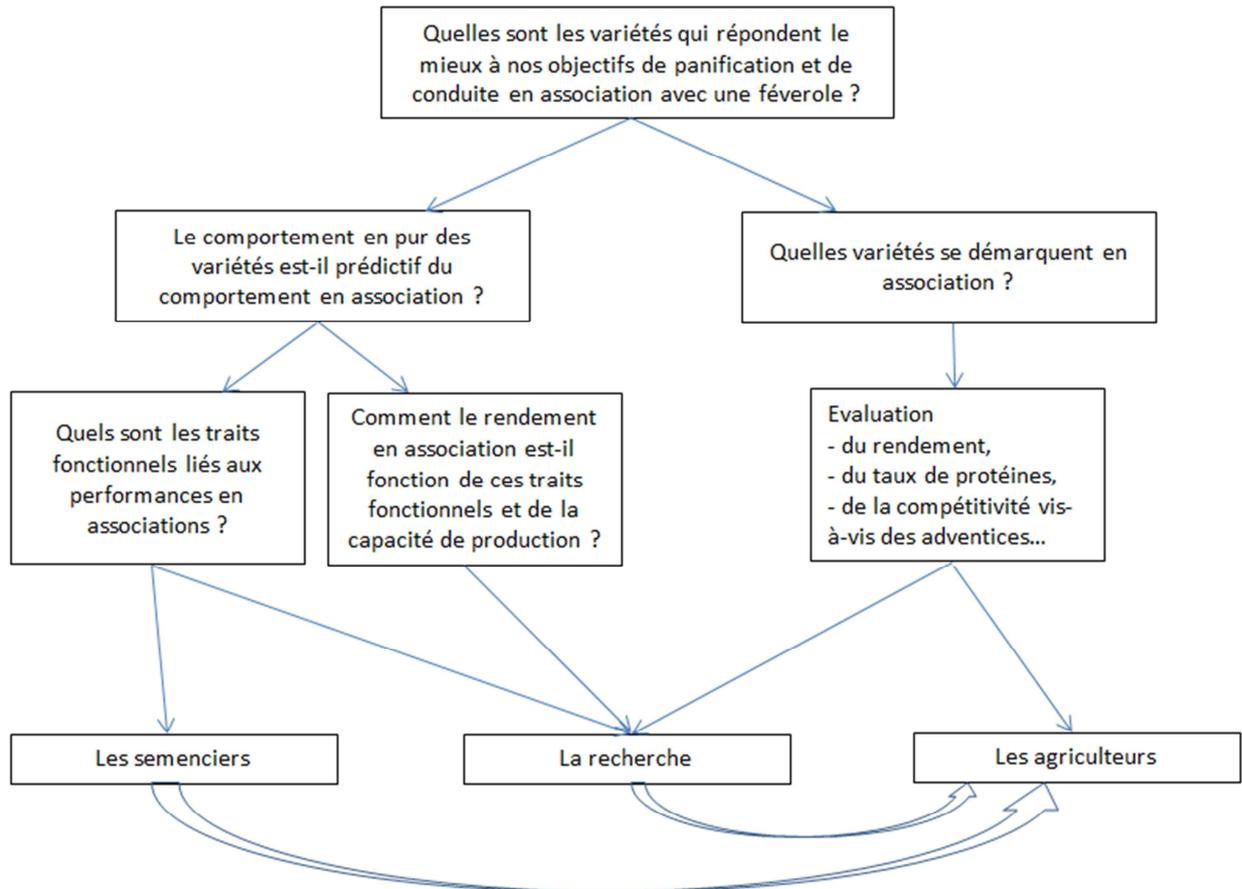
Du choix variétal dépend beaucoup les résultats obtenus car les variétés présentent des caractéristiques différentes décrites par les semenciers. Cependant, elles peuvent également avoir des comportements différents selon qu'elles soient conduites en pur ou en association, ce qui n'est pas décrit dans le catalogue. L'objectif est donc d'évaluer le potentiel de production et le comportement des variétés de blé tendre afin d'établir des préconisations auprès des agriculteurs. Le but étant avant toute chose de produire du blé tendre de qualité boulangère et ensuite de produire de la féverole (pour un débouché de filière animale) qui assure un complément de revenus.

Un trait phénotypique à étudier : le critère de hauteur est-il déterminant pour la réussite de l'association avec une féverole ?

La compétition lumineuse est l'une des compétitions inter-espèces et intra-espèces les plus fortes, elle doit donc être prise en compte dans la conduite en association. Au vu des résultats des années précédentes, le critère de hauteur de paille ou plus exactement de différence de hauteur entre le blé et la féverole, qui renvoie à cette compétition lumineuse, semble être un trait important pour s'assurer des meilleurs résultats de l'association, donc cette année, les variétés ont été choisies pour leur grande hauteur de paille. Une étude de l'atteinte des deux premiers objectifs selon la différence de hauteur sera réalisée afin de valider ce critère de hauteur.

SCHEMA RECAPITULATIF DE L'ESSAI

Une question générale est divisée en 2 sous-questions justifiant le protocole pour créer des connaissances directement utilisables par les agriculteurs ou qui seront ajoutées au savoir public ce qui permettra la poursuite de la recherche et éventuellement de nouveaux objectifs de sélection variétale pour les semenciers. Ces avancées pourront amener à de nouvelles connaissances directement utilisables pour les agriculteurs.



II- Matériel et méthodes : présentation de l'essai et conduite des cultures

L'essai association mis en place en 2018 par le CREAB est la continuité des essais menés dans le cadre du projet CasDar – EcovAB, et suit donc le même protocole que celui des deux années précédentes. Il consiste en une évaluation variétale de 5 variétés de blé tendre d'hiver, panifiables ou améliorants, conduits en pur et en association avec une féverole d'hiver, Axel. Pour cela, les micro-parcelles ont été suivies en cours de végétation en plus des mesures effectuées à la récolte (rendement et ces composantes). Une analyse statistique a été effectuée en utilisant le logiciel R Studio.

A) Présentation du dispositif

Situation de l'essai

L'essai a été conduit sur la parcelle LH6 B – Nord de la ferme de La Hourre, située à Auch dans le Gers. La texture de la parcelle est présentée dans la figure 1 ci-dessous :

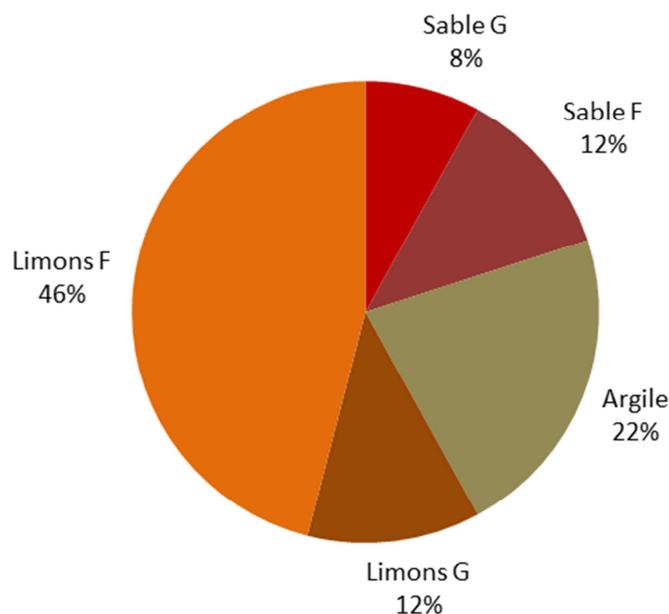


Figure 1 : Texture de la parcelle LH6 B

Le précédent cultural est une culture de lentille de printemps qui n'a pas été récoltée mais broyée (faible développement lié au gel).

Les conditions climatiques de l'essai n'ont pas été idéales cette année, avec un hiver froid, pluvieux et déficitaire en ensoleillement et un printemps également très pluvieux, ce qui a entraîné par endroits de l'hydromorphie, favorisé le développement d'adventices et freiné le développement des blés. Cependant, l'essai situé sur le point haut d'un versant orientation Sud a pu bénéficier d'un ressuyage lié à la pente de la parcelle et n'a donc pas subi d'hydromorphie. La campagne climatique est plus précisément détaillée en annexe 2.

L'essai, composé de 5 variétés de blé tendre d'hiver cultivées en pur et en association avec une féverole d'hiver, Axel, a été disposé en blocs à 3 répétitions, soit 33 micro-parcelles expérimentales (voir annexe 1)

Tableau 1 : Caractéristiques des variétés de blé tendre testées

Variétés de blé	Représentant	Type	Précocité à épiaison	Hauteur
Alessio	Semences Lemaire Deffontaines	BAF	½ précoce	Moyenne
Arnold	Agri Obtentions	BAF	½ tardif à ½ précoce	Moyenne à haute
Energo	Caussade Semences	BAF	½ précoce	Haute
Izalco	Caussade Semences	BAF	Très précoce	Courte à moyenne
Solehio	KWS Momont	BPS	Très précoce	Assez courte à courte

Sources : Fiche technique d'Arvalis pour les variétés Energo, Izalco et Solehio, fiche technique de l'ITAB pour la variété Arnold et fiche technique de Lemaire Deffontaines pour la variété Alessio

L'essai se trouve dans une parcelle où de l'orge est cultivée et est donc entouré de bordures pour limiter les biais expérimentaux. L'orge sera récoltée plus tôt, ce qui permettra un meilleur accès aux micro-parcelles et une récolte des blés facilitée.

Données de mise en place de l'essai

Chaque modalité est semée sur une micro-parcelle de 15 m de long et de largeur variable selon la modalité. Cependant, une découpe de 3 m (1,5 m en haut et 1,5 m en bas) des micro-parcelles a été réalisée afin de limiter les effets bordure et de corriger les erreurs qui se seraient éventuellement produites lors du semis entre 2 variétés. Entre les modalités de blés conduits en pur et les associations, une zone tampon équivalente à 2 micro-parcelles a été installée pour chaque bloc afin que les effets lisières soient les mêmes sur chaque micro-parcelle. Des variétés différentes de celles présentes sur les micro-parcelles adjacentes ont été choisies pour cela.

Tableau 2 : Itinéraire technique réalisé

Dates	Interventions
21/11/2017	Semis féverole sur essai avec le semoir monograine + passage herse étrille après semis pour la préparation du sol au semis de blé
22/11/2017	Semis blé avec le semoir pour essai
30/11/2017	Re-semis féverole avec canne de semis sur la bordure
22/03/2017	Binage de la féverole en culture pure
08/06/2018	Découpage des micro-parcelles au rotavator
13/07/2018	Récolte à la moissonneuse batteuse pour essai de l'entreprise Antédis (prestataire de service pour l'expérimentation)

Les conditions de semis étaient bonnes mais une erreur s'est toutefois produite et un resemis de féverole en utilisant une canne à semis a été nécessaire sur la zone tampon. En association, la densité choisie a été de 50% de la densité en pur pour la féverole (avec un écartement à 60 cm) et de 70% de la densité en pur pour le blé (avec un écartement de 15 cm). La densité du semis de féverole pour la modalité pur est de 25 grains/m² et celle pour la modalité association est donc de 13 grains/m². La densité du semis de blé tendre pour la modalité pur est de 400 grains/m² et celle pour la modalité association est donc de 280 grains/m². Ces valeurs ont été choisies d'après les résultats obtenues par le CREABio les années précédentes.

Aucune fertilisation n'a été effectuée.

B) Suivi de l'essai et notations du développement végétatif - Protocoles

Un travail de suivi d'essai constitué de plusieurs tâches a été réalisé, afin de caractériser les différentes variétés et le comportement des cultures selon la conduite.

Stades

Nous avons surveillé l'avancement des stades pour chaque modalité c'est-à-dire les dates de levée, d'épiaison et de floraison des différentes variétés de blé, afin d'évaluer la qualité du semis ainsi que la précocité des variétés et l'effet de l'association sur le développement des cultures. L'épiaison correspond au moment où 50% des talles présentent la 3^{ème} feuille à la moitié de l'épi et la floraison correspond au moment où 50% des talles présentent des épis en fleurs.

Compétitivité, adventices et maladies

Des mesures de port et de pouvoir couvrant (PC) ont été réalisées à différents stades (tallage, épis 1 cm, 2 nœuds et floraison) pour caractériser le pouvoir couvrant et compétitif des blés, ainsi qu'une notation du salissement des micro-parcelles en utilisant la méthode Barralis qui a été réalisée au stade post-floraison. Les mesures de port et de pouvoir couvrant constituent des notations visuelles selon des classes de notations détaillées en annexe 3, dans laquelle est aussi donnée l'échelle Barralis. Cette méthode, basée sur le nombre de plants d'adventices rencontrés par mètre carré que l'on regroupe par classes, a été choisie car elle constitue une évaluation plus efficace que le prélèvement de biomasse.

La présence de maladie, trop anecdotique, n'a pas nécessité de notation particulière cette année. De plus, les résultats des années précédentes ne permettaient pas de montrer l'effet de la conduite en association sur le développement des maladies, malgré les résultats que l'on peut trouver dans la littérature (Garrett et Mundt, 1999 ; Ratnadass et al., 2012).

Composantes de rendement

Pour les blés, les composantes du rendement ont été estimées notamment à travers un comptage du nombre de plantes puis du nombre d'épis, permettant d'évaluer la capacité de tallage des blés. Pour cela, deux placettes d'un mètre linéaire chacune ont été installées au moment du comptage des pertes à la levée. Le comptage des talles a été réalisé avant le

tallage, fin janvier, et celui des épis au moment du stade post-floraison sur ces placettes, sans prélèvement. En revanche, un prélèvement de féverole a été nécessaire avant la récolte à la moissonneuse-batteuse pour déterminer les composantes du rendement. Cette fois, ce sont quatre fois un mètre linéaire par modalité qui ont été pré-récoltés afin de réaliser un comptage du nombre de tige total, du nombre de tiges avec gousses et du nombre de gousses.

Les micro-parcelles dans lesquelles se trouve de la féverole (la modalité de féverole pure et la modalité association) sont deux fois plus larges que les autres et ont donc fait l'objet de deux fois plus de placettes, soit quatre placettes d'un mètre linéaire chacune pour les comptages sur les blés et quatre autres placettes pour les prélèvements de féverole (figure 2).

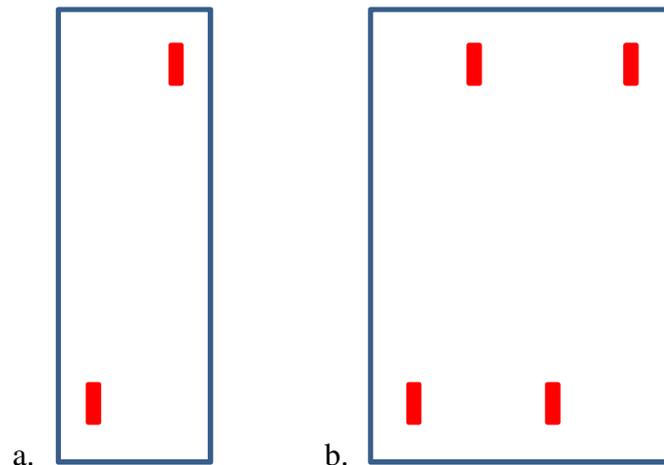


Figure 2 : Disposition des placettes pour les composantes du rendement sur les micro-parcelles de blés en pur (a) et sur les micro-parcelles d'associations et de féverole en pur (b). Situées sur les rangs de blés ou de féverole, ces placettes mesurent un mètre linéaire.

Hauteurs

La hauteur des blés et de la féverole a été mesurée au stade 2 nœuds puis au stade post-floraison à l'aide d'un mètre : 4 mesures par micro-parcelle ont été réalisées également réparties en longueur, correspondant à la moyenne des plants situés autour du mètre apprécié visuellement. La hauteur mesurée au stade post-floraison constitue la taille maximale des blés et de la féverole.

C) Calculs et traitement des données

Une fois la récolte réalisée, les échantillons ont d'abord été pesés puis nettoyés au nettoyeur-séparateur (références : Westrup, Danemark, LA-LS 9910), puis pesés de nouveau. Pour les modalités en association, les grains de blé et de féverole ont fait l'objet de deux pesées différentes.

A l'aide d'un numigral (références : Tripette&Renaud, France) le Poids de Mille Grains (PMG) a été calculé et associé à une humidité mesurée avec un humidimètre portable (références : Tripette&Renaud, France, Wile 55 digital) pour le blé et pour la féverole avec un calcul de poids frais comparé à un poids sec après un passage à l'étuve de 48h à 80° pour éviter la destruction des protéines.

La formule utilisée pour calculer le taux d'humidité est la suivante : $\frac{M_{\text{fraîche}} - M_{\text{sèche}}}{M_{\text{sèche}}} \times 100$

Le taux de protéines des grains de blé a été mesuré avec un inframatic (références : Sophia de Foss) et le Poids Spécifique (PS) avec un humidimètre (références : Chopin). Pour la féverole, le matériel disponible n'étant pas référencé, les échantillons sont apportés dans un laboratoire (Auréa) où des analyses d'azote sont réalisées en utilisant la méthode Dumas (Dumas, 1831). Une fois ces mesures récupérées, les résultats sont multipliés par 6,5 pour passer du pourcentage d'azote au taux de protéines dans les grains de féverole, d'après la méthode Kjeldahl (Kjeldahl, 1883).

Par ailleurs, des calculs de Land Equivalent Ratio (LER) ont été réalisés :

LER = Land Equivalent Ratio = rendement relatif.

LER Association = LER céréale + LER protéagineux avec :

LER céréale = RDT céréale associé / RDT céréale pure et

LER protéagineux = RDT protéagineux associé / RDT protéagineux pur

Si LER > 1 alors l'association est plus productive que les cultures pures et si LER < 1 alors les cultures pures sont plus productives que l'association. On peut également comparer cela à la surface nécessaire pour obtenir un rendement équivalent, si LER = 1,05 alors 1 ha d'association produit autant que 1,05 ha des deux cultures en pures.

Dans le texte, le LER se réfère au LER Association.

Un traitement statistique des données a ensuite été réalisé en utilisant le logiciel R Studio, dont une partie du script se trouve en annexe 4. L'essai (Annexe 1) disposé en split-plot à deux facteurs : la conduite composée de deux variables (pur ou associé) et la variété composée de cinq variables (les cinq variétés de blé). Nous avons ainsi utilisé des ANOVA (Analysis of variance) pour comparer les moyennes des échantillons selon les modalités et le test de Tukey (basé sur les moyennes) qui permet d'identifier des groupes au comportement proche, avec un risque alpha de 5%.

III- RESULTATS

A) Développement végétatif

Il est déterminé ici s'il y a un effet de la conduite en association sur le développement végétatif du blé.

Stades de développement

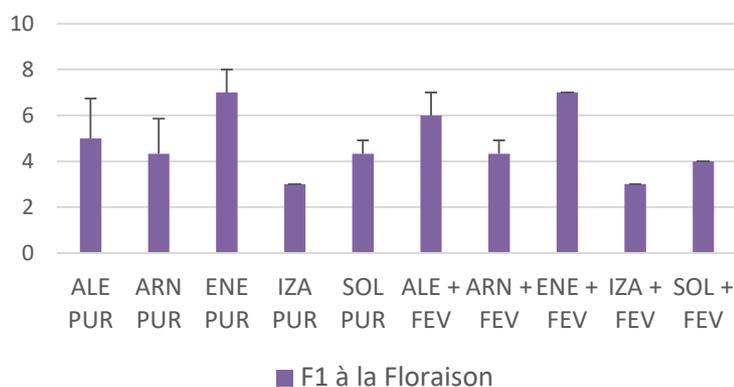
Tableau 3 : Moyennes des relevés des dates des différents stades de développement pour le blé tendre.

Modalités	Date levée	Date Epiaison	Date Floraison
ALE PUR	15-déc.	21-mai	25-mai
ARN PUR	15-déc.	19-mai	23-mai
ENE PUR	15-déc.	18-mai	22-mai
IZA PUR	15-déc.	7-mai	15-mai
SOL PUR	15-déc.	9-mai	19-mai
ALE + FEV	15-déc.	22-mai	26-mai
ARN + FEV	15-déc.	19-mai	23-mai
ENE + FEV	15-déc.	18-mai	23-mai
IZA + FEV	15-déc.	8-mai	16-mai
SOL + FEV	15-déc.	10-mai	19-mai

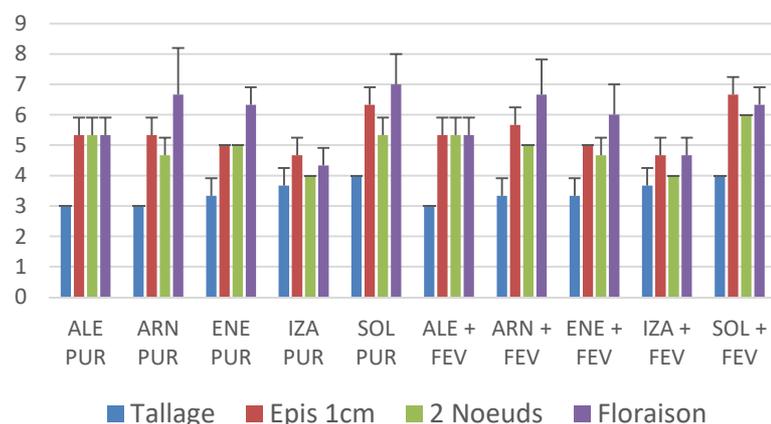
Compte tenu de l'automne assez doux et des précipitations qui ont eu lieu après le semis, les levées furent rapides et homogènes, le 15 décembre pour les blés.

Les différentes précocités des variétés, en accord avec celles données par les semenciers, présente un retard léger mais néanmoins significatif en association (la p-value vaut 0,04 pour la date d'épiaison et 0,05 pour la date de floraison). En moyenne, on observe moins d'un jour de retard pour ces deux stades. Pour la conduite en pur comme en association, les variétés Izalco et Soléchio sont les plus précoces (respectivement 7 et 9 mai pour la floraison en pur et 15 et 19 mai pour l'épiaison en pur) et Alessio est la variété la plus tardive (21 mai pour la floraison en pur et 25 mai pour l'épiaison en pur).

Port et pouvoir couvrant



a.



b.

Figure 3 : Ports de la F1 au stade floraison (a) et évolution du pouvoir couvrant (b) des blés

Le port et pouvoir couvrant des blés révèlent des caractéristiques variétales bien distinctes au moment de la floraison mais aussi aux stades tallage, épi 1 cm et 2 nœuds. En effet, quand les variétés Energo ou Alessio présentent des 1^{ère} feuilles bien ouvertes (notes en pur de 7,0 et 5,0 respectivement au stade floraison), la variété Izalco présente une 1^{ère} feuille plutôt serrée à la tige (note de 3,0 en pur au stade floraison). De même, les variétés Solélio, Arnold et Energo (notes respectives en pur de 7,0, 6,7 et 6,3 au stade floraison) sont sensiblement plus couvrantes que la variété Izalco (note de 4,3 en pur au stade floraison). Le pouvoir couvrant n'augmente pas forcément avec le temps, mais ces évolutions sont les mêmes en pur et en association (figure 3b). De même, la conduite ne modifie pas le port de la F1 au stade floraison (figure 3a)

Gestion des adventices

Tableau 4 : Moyenne des densités d'adventices par modalité (plants/m²) selon l'échelle Barralis avec les stades des adventices (Annexe 3)

Modalité	Anthémis (DE)	Chardon (CDE)	Folle Avoine (E)	Liseron (DE)	Luzerne (DE)
ALE PUR	0,55	0,55	0,05	2	0,05
ARN PUR	2	0,55	0,05	0,05	0,05
ENE PUR	0,55	2	0,05	0,55	0,05
IZA PUR	0,55	0,55	0,05	0,55	0,55
SOL PUR	0,55	0,55	0,05	0,55	0,05
ALE + FEV	0,55	0,55	0,55	0,55	0,05
ARN + FEV	0,55	0,05	0,55	2	0,05
ENE + FEV	0,55	1 plant	0,05	0,55	1 plant
IZA + FEV	0,55	0,05	0,05	0,55	0,05
SOL + FEV	0,55	0,55	0,05	0,55	0,05

A travers les notations Barralis, nous pouvons étudier l'enherbement. Toutes les espèces rencontrées sur les micro-parcelles ont été notées (soit 33 espèces) mais pour le traitement des données nous nous pencherons sur 5 espèces courantes et particulièrement compétitives :

l'anthémis cotule (*Anthemis cotula*), la folle avoine (*Avena fatua*), la luzerne minette (*Medicago lupulina*), le liseron des champs (*Convolvulus arvensis*) et le chardon des champs (*Cirsium arvense*). De manière générale, l'enherbement a été bien contenu pour cette campagne, avec des densités d'adventices présente sur les micro-parcelles faibles (tableau 4). Pour toutes ces espèces, le traitement statistique met en évidence un effet bloc seulement. Il n'apparaît donc aucun lien entre le port et le pouvoir couvrant des blés et le développement des adventices.

B) Rendement, composantes du rendement et LER

Les valeurs du rendement du blé tendre et de la féverole seront analysées afin d'étudier l'effet de la conduite en association sur les résultats de la variété de blé, afin aussi de proposer des résultats agronomiques et économiques pour les agriculteurs. La variété Energo correspond à notre référence tant en termes de rendement que de protéines, que nous étudierons dans la partie suivante.

La récolte s'est réalisée dans de bonnes conditions climatiques et les taux d'humidité mesurés sont très acceptables, avec une moyenne de 12,88% d'humidité et un maximum de 13,30% pour la variété Arnold en pur. De même pour la féverole, pour laquelle le taux d'humidité moyen était de 7,02%.

Tableau 5 : Composantes du rendement pour le blé tendre

Modalités	Plants/m² BTH	Epis/m² BTH	Tallage BTH	Grains/m² BTH	PMG 15% BTH (g)
ALE PUR	403,9	335,0	0,8	4951,09	36,01
ARN PUR	379,4	355,6	0,9	4506,96	39,95
ENE PUR	384,4	352,2	0,9	4473,29	41,67
IZA PUR	381,7	330,6	0,9	4562,41	40,89
SOL PUR	387,8	370,6	1,0	5092,00	46,13
ALE + FEV	292,8	251,9	0,9	3028,98	36,09
ARN + FEV	250,6	228,9	0,9	2893,60	39,67
ENE + FEV	283,1	261,4	0,9	2949,77	40,66
IZA + FEV	278,3	262,8	0,9	2942,66	38,54
SOL + FEV	257,8	238,9	0,9	3353,84	43,88

Les blés présente un tallage nul voire un nombre d'épi légèrement inférieur au nombre de talle, un résultat commun aux deux années précédentes. Les valeurs, faibles (entre 0,8 pour la variété Alessio en pur à 1,0 pour la variété Soléhio en pur), sont sensiblement les mêmes d'une variété à l'autre et cela pour la conduite en pur comme la conduite en association. En revanche on observe que la variété Alessio arrive à compenser son faible tallage par rapport aux autres variétés par des épis bien remplis (4951,09 grains/m² en pur, ce qui est la deuxième résultat plus important après celui de la variété Soléhio), mais aux grains plus petits que ceux des autres variétés (avec un PMG de 36,01g en pur). Contrairement aux autres années, les blés n'ont pas compensé en association leur faible densité de semis par des épis plus remplis. C'est la variété Soléhio qui possède les valeurs de grains/m² et de PMG les plus élevé, ce qui peut être relié aux valeurs de rendement final, détaillées ci-dessous.

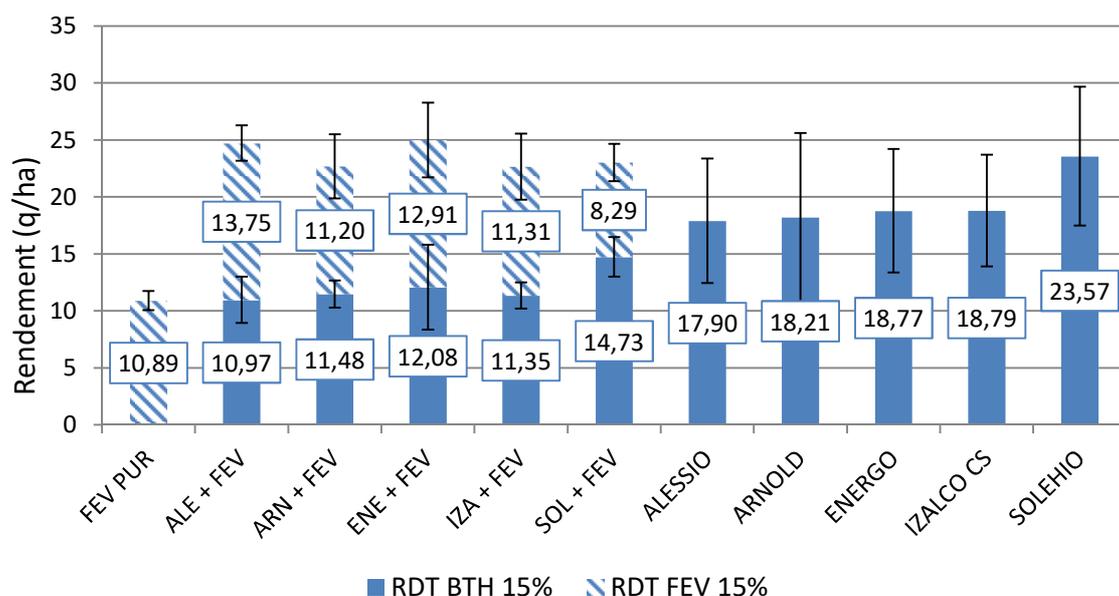


Figure 4 : Rendements moyens des blés et de la féverole à 15% d'humidité

La variété Soléhio s'illustre dans cette expérimentation avec des rendements beaucoup plus importants que les autres variétés : 23,57q/ha en pur et 14,73q/ha en association. Viennent ensuite les variétés Iزالco (18,79q/ha en pur et 11,35q/ha en association), Energo (18,77q/ha en pur et 12,08q/ha en association) et Arnold (18,21q/ha en pur et 11,48q/ha en association) puis Alessio (17,90q/ha en pur et 10,97 q/ha), toutes regroupées ensemble par le test de Tukey. L'effet variété est fort avec une p-value de $4,66 \times 10^{-6}$.

La féverole possède cette année de bons rendements (11,39q/ha en moyenne) et la conduite n'a pas d'effet significatif mais nous pouvons néanmoins remarquer que pour la variété Soléhio, les rendements de féverole sont plus faibles.

Tableau 6 : Land Equivalent Ratio

Modalités	LER _{BTH}	LER _{FEV}	LER _{ASSO}
ALE + FEV	0,61	1,26	1,87
ARN + FEV	0,63	1,02	1,65
ENE + FEV	1,00	1,19	2,19
IZA + FEV	0,60	1,04	1,64
SOL + FEV	0,63	0,76	1,38

Les LER_{BTH} sont légèrement en dessous des 0,70 sauf pour la variété Energo qui elle présente les mêmes rendements en association malgré la moins forte densité (pour les modalités association, les semis ont été réalisés à 70% de la quantité en pur). En revanche, les LER_{FEV} sont tous supérieurs à 0,5 et ils sont même supérieurs à 1 sauf pour la variété Soléhio. De cela découle que les LER_{ASSO} sont importants, allant jusqu'à 2,19 pour Energo et avec 1,38 pour la variété Soléhio comme minimum. Cela signifie que la parcelle devient plus productive grâce à la conduite en association, en partie grâce aux bons rendements de la féverole qui sont meilleurs en association qu'en pur (figure 4). L'analyse statistique révélant un effet variété avec une p-value égale à 0,016, toutes les variétés ne sont pas aussi intéressantes pour la conduite en association et pour cet essai, c'est la variété Energo qui fonctionne le mieux avec la féverole.

C) Protéines

Les taux de protéines des grains seront analysés, notamment afin de quantifier le gain de protéines permis par la conduite en association.

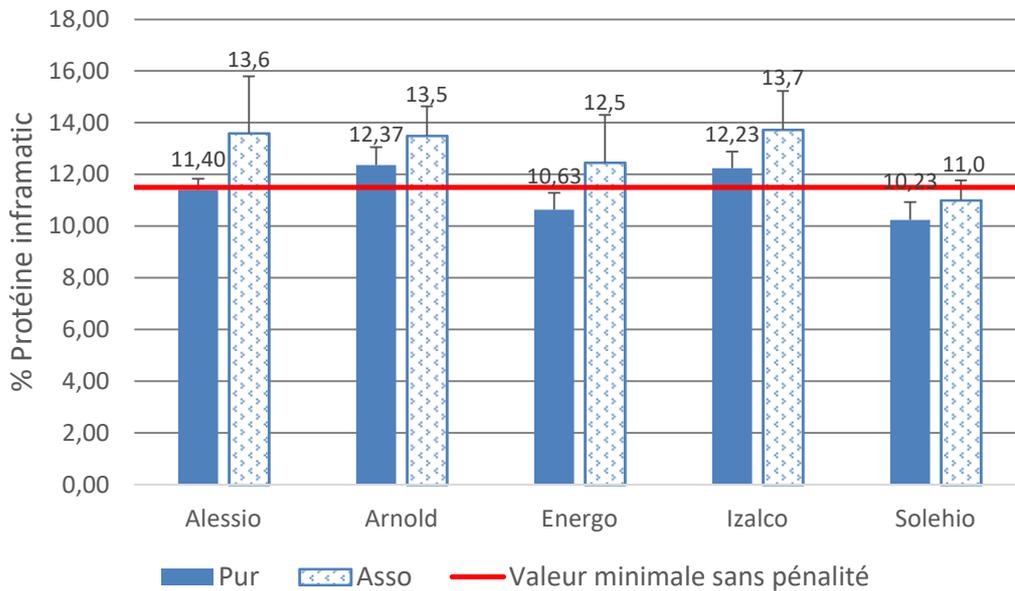


Figure 5 : Moyennes des taux de protéines des blés

Ces taux de protéines sont corrects voire très bon pour un système non fertilisé, sauf pour la variété Soléhio où ils sont un peu faibles (10,2% en pur et 11,0% en association, figure 5). Les variétés Energo et Alessio présentent des taux faibles en culture pure seulement grâce au gain de protéines permis par la conduite en association (10,6% en pur pour Energo et 11,4% en pur pour Alessio). Les variétés Arnold et Izalco sont celles présentant les meilleurs taux de protéines en pur et en association avec 12,4% en pur et 13,5% en association pour Arnold et 12,2% en pur et 13,7% en association pour Izalco. Il y a une différence très significative entre les variétés mais aussi les deux conduites et en moyenne, on a pu mesurer un gain moyen de 1,5 point avec un maximum de 2,2 points pour la variété Alessio, ce qui est très important.

Les taux de protéines de la féverole ne seront pas calculés cette année, mais les deux années précédentes, ces taux étaient forts et aucune variation significative n'avait été mesurée entre la conduite en pur et la conduite en association, ce qui nous permet d'avancer que la qualité des grains de féverole n'est pas altérée par la mise en culture avec un blé tendre.

D) Hauteur des pailles

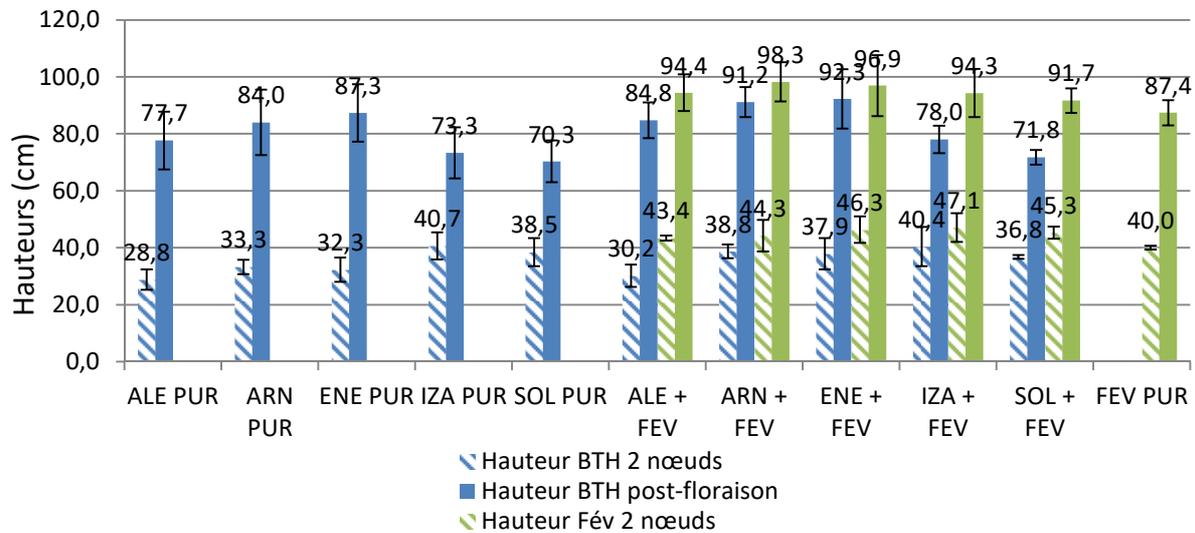


Figure 6 : Moyennes des hauteurs des blés et de la féverole aux stades 2 nœuds et post-floraison

Sans surprise, l'analyse de variance réalisée met en évidence un effet variété dans les mesures de hauteurs effectuées (une p-value de 0,0136 au stade deux nœuds et de $1,37 \times 10^{-4}$ au stade floraison). Lors du stade deux nœuds, ce sont les variétés Izalco et Soléhio qui présentent des hauteurs plus importantes (respectivement 40,7cm et 38,5 cm en moyenne en pur), la variété Alessio, la hauteur la plus faible (28,8cm en moyenne en pur) et les variétés Energo et Arnold présentent elles, des hauteurs intermédiaires (respectivement 32,3cm et 33,3cm en moyenne en pur). La conduite en association n'a en revanche pas d'influence et en effet, nous pouvons constater que pour les variétés Arnold et Energo, les hauteurs mesurées sont environ 5,5cm plus importante pour la conduite en association par rapport à la conduite en pur mais pour les variétés Izalco et Soléhio, les hauteurs mesurées sont respectivement de -0,3cm et -1,8cm pour la conduite en association par rapport à la conduite en pur. Par ailleurs, nous pouvons relever qu'il existe un écart de hauteur moyen entre blés et féverole de 8,5cm en faveur de la féverole, toute variété confondue. Quant à la féverole, aucun effet significatif n'a été relevé et sa hauteur moyenne est donc de 45,3cm.

Au stade de floraison, l'analyse statistique révèle un effet significatif de la variété et de la conduite (p-value = $3,86 \times 10^{-3}$ pour la conduite). La variété Energo est celle qui présente la hauteur la plus importante (87,3cm en moyenne en pur), suivi par les variétés Arnold (84cm), Alessio (77,7cm), Izalco (73,3) et enfin Soléhio qui présente donc la hauteur la plus faible avec 70,3cm en moyenne en pur. Les blés sont en moyenne 5,1cm plus haut quand ils sont conduits en association avec la féverole, et une nette différence entre les variétés est observable : les variétés Alessio et Arnold sont celles qui voient leur taille augmenté le plus lorsqu'ils sont conduite en association (environ +7cm par rapport à la conduite en pur) et Soléhio est au contraire la variété qui présente la variation la plus faible avec seulement +1,4cm par rapport à la conduite en pur. Par ailleurs, nous pouvons relever un écart de hauteur moyen entre blés et féverole de 11,5cm en faveur de la féverole, toute variété confondue. Quant à la féverole, aucun effet significatif n'a été relevé excepté un effet bloc que l'on retrouve à chaque fois. Sa hauteur moyenne est donc de 95,1cm, ce qui est haut, comme la première année d'expérimentation, contrairement à l'année précédente où le développement de la féverole avait été limité.

IV- DISCUSSION

A) Evaluation variétale : une performance de l'association liée aux caractéristiques variétales

Les tendances de précocité et de tallage sont les mêmes que celles obtenues en 2017, une année pour laquelle on a aussi pu observer un retard significatif (d'après les résultats de l'analyse statistique réalisée avec le logiciel R) des dates de floraison et d'épiaison pour la modalité en association. En revanche, au cours de la campagne 2016, ce retard n'a pas été observé. Pour cette campagne, les stades de développement du blé ont pu être très précoces grâce à des précipitations et des températures douces qui se sont présentées au bon moment, des conditions propices très différentes des campagnes 2017 et 2018 durant lesquels le mois de mai a été sec. Ces observations et les valeurs très proches du risque alpha de 5% des p-values font penser que ces différences s'expliqueraient donc plus par des conditions météorologiques que par la conduite.

En ce qui concerne le port ou le pouvoir couvrant, nous pouvons remarquer que les notes changent très peu ou pas du tout selon la modalité, ce qui nous amène à penser que la conduite en association ne modifie pas ces caractéristiques, ce qui se retrouve dans les résultats des années précédentes. De plus, les différences de port ou de pouvoir couvrant n'entraînent pas de variation mesurable d'enherbement (du fait d'un effet variété non significatif) mais il aurait été intéressant de pouvoir quantifier la biomasse des adventices pour une meilleure comparaison entre variétés et conduite. En revanche, au vu des résultats donnés précédemment, nous pouvons penser que les notes des pouvoirs couvrant sont liées aux rendements et que plus ils sont forts, meilleur est le rendement. En effet, excepté pour la variété Izalco qui possède un bon rendement pour un pouvoir couvrant assez faible, les quatre autres variétés suivent la même tendance : plus le pouvoir couvrant est élevé et plus le rendement est important. Cette nouvelle hypothèse pourrait être vérifiée dans une prochaine étude avec peut-être des mesures plus précises de couverture du sol, de rayonnements absorbés ou d'indice foliaire.

L'enherbement n'a pas d'effet significatif sur les résultats, même pour l'année 2017 qui a pourtant été plus riche en adventices dans les micro-parcelles, mais toujours sans effet des variétés ou de la conduite.

Par ailleurs, la disposition spatiale du chardon sur la totalité de l'essai a été analysée. En effet, c'est une plante annuelle formant des ronds, ce qui peut fausser les résultats de l'expérimentation. Un gradient est effectivement observable avec des zones plus contaminées en bas à droite (figure 7), il faudra donc éventuellement prendre en compte ces résultats pour la suite.

3	4	0	0	0	0	3	0	0	0	0
4	1	0	3	3	4	4	5	4	5	5
3	4	4	4	4	3	5	3	4	5	5

Figure 7 : Mise en évidence de la disposition des chardons sur l'essai avec la notation Barralis

La mise en culture en association ne change donc pas, dans ces conditions, les caractéristiques de développement végétatif des blés, sauf la hauteur de paille.

B) Taux de protéines : une augmentation très forte associée à des variétés déjà performantes

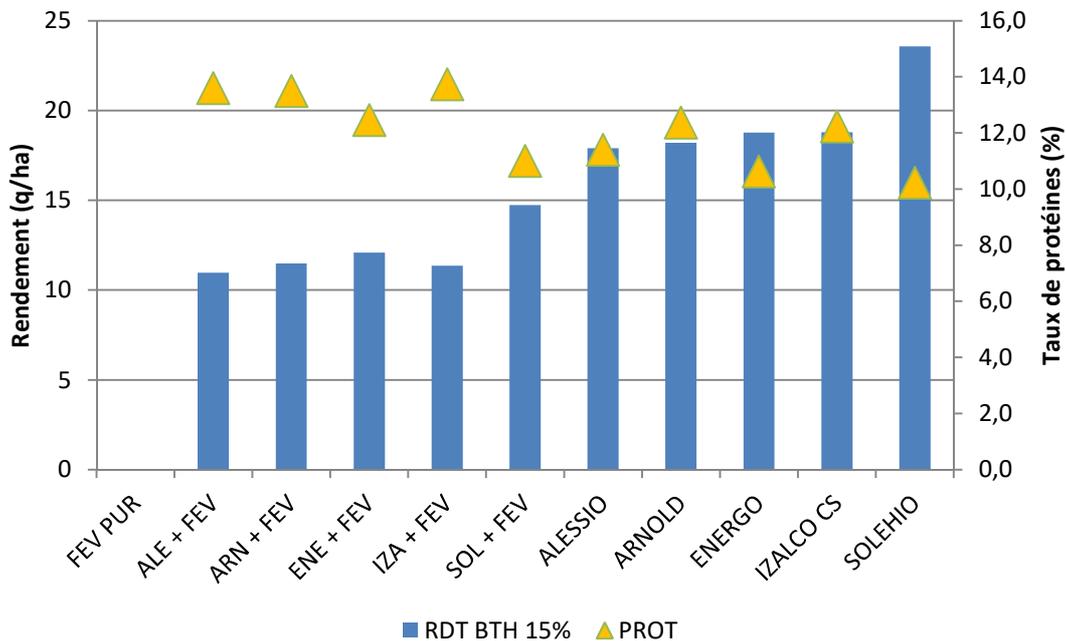


Figure 8 : Lien entre le taux de protéines et le rendement des variétés de blés tendre

Il a déjà été montré les années passées que le rendement et le taux de protéines était inversement proportionnels, situation bien visible sur la figure 8, qui s'explique par un effet de dilution. Ainsi, la variété Soléhio qui présente les meilleurs rendements, possède en contrepartie les taux de protéines les plus faibles et elle profite moins de la conduite en association. Les agriculteurs ont donc un compromis à trouver.

Les résultats des taux de protéines sont aussi à modérer car il est possible qu'un biais ait été provoqué par un mauvais nettoyage des échantillons avant les mesures de protéines. En effet, le nettoyeur-séparateur mis à disposition ne nous a pas permis d'obtenir des échantillons de blés non-contaminés par des éclats de grains de féverole, trop petits pour être triés, qui ont pu engendrer une surestimation du taux de protéines dans les échantillons des modalités en association. Afin de quantifier cet effet, un échantillon passé à l'inframatic dans les mêmes conditions que les autres a été nettoyé à la main (modalité : Izalco+Féverole, bloc 2) puis repassé dans la machine de la même façon que précédemment. Une différence de 0,4 point a été relevée, soit une surestimation de 4%. Si nous avions eu plus de temps, il aurait été intéressant de réaliser cette opération avec tous les échantillons pour déterminer si l'erreur était systématique, afin de prendre éventuellement en compte une correction adaptée dans le traitement des résultats. Il convient de noter cependant que dans ce cas et malgré cette perte de 4%, il y a quand même un gain de protéines.

L'étude statistique des taux de protéines met aussi en évidence un effet bloc. Les taux de protéines sont en moyenne plus importants dans le bloc 1 pour les deux modalités et ils le sont également dans le bloc 2 par rapport au bloc 3. Le bloc étant situé moins en hauteur sur la pente, il est possible que cela soit dû à des pertes par lessivage, lixiviation ou ruissellement moins importantes pour ce bloc-là, et que le gradient observé est dû à la pente.

C) Critère de hauteur : un trait fonctionnel prédictif de la réussite de l'association

Les blés possèdent une hauteur plus importante lorsqu'ils sont conduits en association, surtout les variétés Alessio et Arnold, même si la variété Energo reste la plus haute pour les deux modalités. Pour l'essai de 2016, la féverole voyait sa taille varier en fonction de la hauteur de paille des blés mais ce n'était plus le cas en 2017 et cette année encore, aucune variation significative n'a été mesurée. Nous ne pouvons donc pas conclure pour la féverole, en revanche, les blés ont chaque année pour chaque variété, vu leur hauteur de paille augmentée lorsqu'ils étaient cultivés avec de la féverole. Cela serait le résultat de la compétition lumineuse inter-espèce. Cette croissance semble s'effectuer avant le stade deux nœuds puisqu'à ce moment-là, un écart de hauteur est déjà observable pour les variétés Alessio, Arnold et Energo, même si cela n'est pas significatif.

Une régression linéaire multiple a été réalisée avec R Studio (Annexe 4) afin de tester un modèle prédictif du rendement en association avec les valeurs de rendements obtenus en pur (correspondant au potentiel de rendement) de hauteurs, de pouvoir couvrant et de port (correspondant à des traits fonctionnels). Seul le rendement potentiel constitue d'après ces résultats, un variable explicative significative (avec une p-value de 0,026), pour un coefficient de 0,31 dans l'équation. Il s'agit donc bien du premier facteur permettant d'expliquer le rendement des blés en association, comme le montrent les rendements de la variété Soléhio, qui sont les meilleurs de l'essai malgré la paille courte de cette variété.

Mais au vu des LER_{BTH} notamment, nous pouvons dire qu'entre deux variétés productives, la hauteur est le facteur discriminant : plus la hauteur des pailles du blé est grande plus le LER_{BTH} est fort, ce qui montre que la hauteur permet un meilleur rendement relatif pour la conduite en association, et les LER_{ASSO} suivant cette même tendance, permettent de montrer que le critère de hauteur intervient bien dans la réussite de l'association. Pour choisir une variété adaptée, on peut donc s'orienter vers des variétés hautes en pailles, mais le potentiel de production reste tout de même un critère important pour la production de blé dans l'association. C'est donc un compromis entre ces deux critères qui permet d'obtenir les meilleurs résultats en association.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Malgré une campagne climatique peu favorable, le précédent cultural et la disposition sur le point haut d'un versant orienté sud a permis un bon développement des blés et de la féverole qui n'ont pas subi de pression trop importante que ce soit en termes de maladies ou d'adventices. Les rendements de blés ont été moyens mais les taux de protéines exceptionnellement bons par rapport aux années précédentes, peut-être dû au précédent cultural.

La conduite en association ne modifie pas les caractéristiques variétales des blés comme le pouvoir couvrant et modifie peu la précocité mais engendre en revanche une modification de la hauteur : sous l'effet de la compétition lumineuse, les pailles sont en moyennes un peu plus grandes en association. Cette modification permet par ailleurs un meilleur rendement relatif, cependant, la variété présentant le rendement le plus important est Soléhio, une variété à paille courte. Pour la production de protéines, la conduite en association permet l'obtention de taux protéique fort pour des système non fertilisés et une augmentation significative et plutôt forte du taux protéique, et si c'est la variété Alessio qui voit sa quantité de protéines augmenter le plus, ce sont les variétés Arnold et Soléhio qui présentent les taux les plus forts. La variété Energo est celle pour qui la conduite en association est la plus intéressante : son rendement relatif est celui qui augmente le plus en association, jusqu'à égaler le rendement en pur malgré la différence de proportion de semis et l'augmentation de son taux de protéine augmente aussi très fortement.

En revanche, certains bénéfices des associations n'ont pas été observés ici : diminution des maladies et des adventices. Il ne s'agit donc pas d'un bénéfice systématique rendu par les associations. Cependant les tendances des 3 années consécutives permet de mettre en avant la résilience des systèmes associés, car face à des conditions pédoclimatiques défavorables entraînant des accidents (fort enherbement en 2016, une production de féverole très faible en 2017) les LER_{ASSO} restent importants ce qui montre que la parcelle restera plus productive que son équivalente en pur et permet même d'augmenter le rendement des blés par rapport à la conduite en pur lorsque le développement de la féverole est mauvais.

Pour s'assurer de la réussite de l'association, le choix de variétés à pailles hautes est judicieux et la continuité de cette expérimentation pourrait nous emmener vers le choix de populations anciennes (pour la panification) et de blés poulards (pour la pastification) afin de profiter de leur grande taille et de revenir à des variétés plus résistantes (moins de maladies, plus efficace pour puiser les réserves d'azote dans le sol et moins sensibles aux aléas climatiques...Jaradat, 2013 ; Steffenson et al., 2007 ; Finckh et al., 2000), tout en limitant le risque de verse.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 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'itinéraire techniques adaptés à différents objectifs de production en systèmes bas-intrants. Thèse de doctorat, Toulouse, Université de Toulouse, 233pp
- BEDOUSSAC L. et JUSTES E. 2010. Dynamic analysis of competition and complementarity for light and N use to understand the yield and the protein content of a durum wheat-winter pea intercrop. *Plant and Soil* 330:37-54
- BETENCOURT E. 2012. Interactions entre céréale et légumineuse en association et acquisition de phosphore du sol : processus rhizosphériques sous-jacents. Mémoire de doctorat spécialité écosystèmes, Montpellier, Centre international d'études supérieures en sciences agronomiques (Montpellier SupAgro), 221 pp
- BUREL E., 2017. Essai association (ECoVAB) en agriculture biologique – Campagne 2016-2017. Rapport CREABio, 18pp.
- CORRE-HELLOU G., BEDOUSSAC L., BOUSSEAU D., CHAIGNE G., CHATAIGNER C., et al. 2013. Associations céréale-légumineuse multi-services. *Innovations Agronomiques*, INRA, 30, pp.41-57.
- DECOURTYE A., GAYRARD M., CHABERT A., REQUIER F., ROLLIN O et al. 2014. Concevoir des systèmes de cultures innovants favorables aux abeilles. *Innovations Agronomiques*, INRA, pp.19-33.
- DUMAS J. B. A., 1831. Procédés de l'analyse organique. *Annal. Chem. Phys. (Paris)* (2) 47 : 198-213
- FINCKH M. R., GACEK E. S., GOYAU H., LANNOU C., MERZ U., MUNDT C. C., MUNK L., NADZIAK J., NEWTON A. C, VALLAVIEILLE-POPE C., WOLFE M. S., 2000. Cereal variety and species mixture in practice, with emphasis on disease resistance. *Agronomie INRA*, 20, 813-837
- GARRETT K. A., and MUNDT C. C. 1999. Epidemiology in mixed host populations. *Phytopathology* 89:984-990.
- HAUGGAARD-NIELSEN H., JØRNSGÅRD B., KINANE J., & JENSEN E. S., 2008. Grain legume-cereal intercropping : the practical application of diversity, competition and facilitation in arable and organic cropping systems. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 23(1), 3-12.
- JARADAT A. A., 2013. Wheat landraces : a mini review. *Emirates journal of food and agriculture*, 25, pp. 20-29
- KJELDAHL, J., 1883. Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern. *Z. Anal. Chem.* 22 :366-382
- MELEARD B., 2014. Le rôle des protéines en panification. Colloque blé tendre – Produire des protéines pour tous les débouchés, ARVALIS, 13 mai 2014, Paris, 14pp
- MORIS P., 2015 Des protéines pour assurer les débouchés. *Perspectives agricoles n°418*, ARVALIS, pp 52-55
- PELZER E., BEDOUSSAC L., CORRE-HELLOU G., JEUFFROY M.-H., METIVIER T., NAUDIN C., 2014. Association de cultures annuelles combinant une légumineuse et une

céréale : retours d'expériences d'agriculteurs et analyse. Innovations Agronomiques, INRA, pp 73-91.

PRIEUR L., 2010. Base pour la production de Grandes Cultures Biologiques dans le Sud-Ouest de la France. Rapport CREABio, p21

PRIEUR L., 2012. Synthèse des essais fertilisation organique de printemps sur blé biologiques – période 2008 à 2012. Rapport CREABio, 14pp.

PRIEUR L., 2016. Essai association Blés-Féverole (ECoVAB) en agriculture biologique – campagne 2015-2016. Rapport CREABio, 17pp.

RATNADASS A., FERNANDES P., AVELINO J., HABIB R., 2012. Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32, 273-303

STEFFENSON B. J., OLIVERA P., ROY J.K., JIN Y., SMITH K.P. and MUEHLBAUER G. J., 2007. A walk on the wild side : mining wild wheat and barley collections for rust resistance genes. *Australian journal of agricultural research*, 58, 532-544

VANDERMEER J. 1989. *The ecology of intercropping*. Cambridge university press, Cambridge

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

Site internet 1 : <https://fr.climate-data.org/location/37281/>, consulté le 08/09/2018

Site internet 2 : <http://www.meteofrance.com/climat/france/auch/32013005/normales>, consulté le 28/08/2018

Site internet 3 : <http://www.meteociel.fr/climatologie/villes.php?code=7622&mois=7&annee=2018>, consulté le 28/08/2018

Annexe 1 : Plan de l'essai association 2017-2018

Bloc 3	301	302	303	304	305	306	<i>Bordure IZA+FEV</i>	<i>Bordure Soléchio</i>	307	308	309	310	311	<i>Bordure Soléchio</i>	Bloc 3							
	FEV pur	ENE+FEV	ALE+FEV	IZA+FEV	SOL+FEV	ARN+FEV			Energo	Alessio	Izalco	Soléchio	Arnold									
Bloc 2	201	202	203	204	205	206	<i>Bordure ALE+FEV</i>	<i>Bordure Alessio</i>	207	208	209	210	211	<i>Bordure Izalco</i>	Bloc 2							
	FEV pur	IZA+FEV	SOL+FEV	ENE+FEV	ARN+FEV	ALE+FEV			Izalco	Soléchio	Energo	Arnold	Alessio									
Bloc 1	101	102	103	104	105	106	<i>Bordure ARN+FEV</i>	<i>Bordure Energo</i>	107	108	109	110	111	<i>Bordure Arnold</i>	Bloc 1							
	FEV pur	SOL+FEV	ARN+FEV	ALE+FEV	IZA+FEV	ENE+FEV			Soléchio	Arnold	Alessio	Izalco	Energo									
		4,2 m		3,6 m				1,80 m														
36,6 m															15 m		15 m		15 m		45 m	
Haie LH6B-S																						

Annexe 2 : Climatologie de la campagne 2017-2018

Campagne débutant en octobre 2017 avec les semis de blé et de féverole et s'achevant en juillet 2018 avec la récolte des cultures.

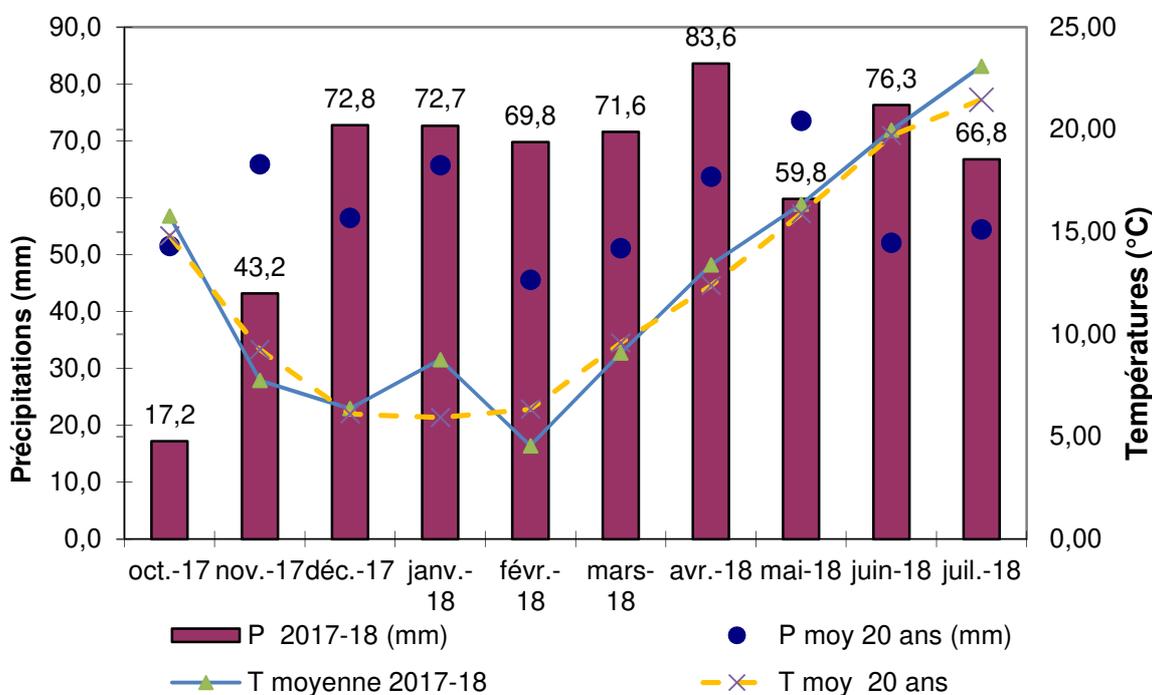


Figure 2.1 : Précipitations et températures mensuelles campagne 2017-2018
(Source : poste Auch-Lamothe)

Automne (octobre à décembre)

Cette année a été marquée par un automne très sec avec seulement 60,4mm de pluie entre octobre et novembre 2017 (figure 2.1) ce qui correspond environ à la moitié de la moyenne des 20 dernières années. Les semis ont donc été réalisés en conditions de sols secs. En revanche, le mois de décembre a été plus pluvieux que la moyenne, et l'abondance des pluies a perduré jusqu'en avril.

L'automne a été frais avec $-1,51^{\circ}\text{C}$ en novembre par rapport à la moyenne. Les premières gelées ont eu lieu le 7 novembre ($-2,2^{\circ}\text{C}$) suivies par une série de gelées matinales entre les 14/11 et 22/11 mais peu importantes (maximum $-2,3^{\circ}\text{C}$). En revanche, entre les 3/12 et 7/12 il y a eu de plus fortes gelées allant jusqu'à $-4,3$ le 7/12 et même $-5,8$ le 3/12, mais aucun dommage n'a été observé.

D'après les valeurs moyennes données par le site de météo France (site internet 2), l'automne a été très ensoleillé (+48,5h par rapport à la moyenne en octobre et +38,9h en novembre).

Hiver (janvier à mars)

L'hiver a été pluvieux avec environ 214mm de pluies entre janvier et mars soit +51,6mm par rapport à la moyenne pour la même période. Ceci a entraîné de l'hydromorphie sur la plupart des parcelles mais l'essai, situé sur le point haut d'un versant orienté Sud n'a pas présenté de dommages trop importants, tels que du nanisme observé sur d'autres essais ou encore un enherbement trop important.

Le mois de janvier a été très doux (+2,83°C par rapport à la moyenne) mais au contraire le mois de février fut très froid (-1,78°C par rapport à la moyenne) et de nouveau des gelées ont été mesurées d'abord entre les 6/02 et 13/02 où les températures sont descendues jusqu'à -5,2°C le 9/02, puis entre les 22/02 et 28/02 où des températures de -6,4°C et -6,6°C ont été mesurées les 27 et 28 février, mais très peu de gelée de méiose ont été observées. En revanche, ces gelées ont pu limiter le tassement des sols engendré par l'abondance des pluies. L'ensoleillement a été largement déficitaire cet hiver avec une moyenne de -28,7h par rapport à la moyenne (site internet 2).

Printemps (avril à juin)

Le printemps 2018 a aussi été très pluvieux sauf en mai (-13,7mm par rapport à la moyenne). Ceci a pu provoquer l'apparition de botrytis sur les féveroles ou de septoriose sur les blés, sans grandes conséquences sur ces deux cultures, malgré une insolation plutôt déficitaire (-47h par rapport à la moyenne en mai et -11h en juin). Le printemps a été doux, avec des valeurs légèrement supérieures à la moyenne allant de +0,26°C en juin à +1,02°C en avril. Ces températures douces ont permis la faible apparition de stérilité mâle causée par le froid au cours de la méiose.

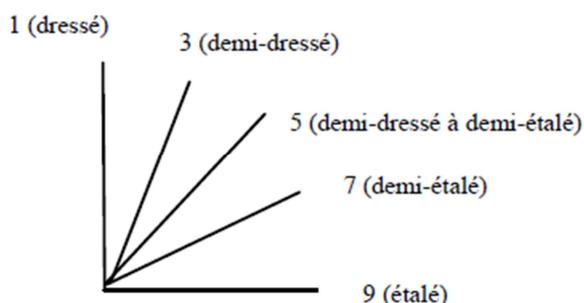
Autres observations

En étudiant les précipitations journalières disponibles sur le site de météoiel (Site internet 3), nous pouvons constater que peu de jours présentent des précipitations élevées avec 11 jours sur toute la campagne présentant des précipitations comprises entre 10mm et 15mm, 2 jours avec des précipitations comprises entre 15mm et 20mm et seulement 2 jours durant lesquels plus de 20mm sont tombés. Cependant, il manque les données horaires afin de conclure sur l'intensité des pluies mais nous pouvons déjà supposer que la majorité des pluies étaient faibles lors de cette campagne et que cela n'a entraîné aucune perte de rendement. Par ailleurs, aucun signe de ruissellement ou d'érosion n'a été observé sur l'essai, excepté dans les allées mises à nues à partir du 08/06/2018.

Le début du mois de juillet a été peu ensoleillé mais les températures élevées (+1,64°C par rapport à la moyenne) et les très faibles précipitations ont permis une récolte dans de bonnes conditions d'humidité sans pour autant que les épis aient souffert de la canicule.

Annexe 3 : Notations du développement végétatif

Notation du port : Note visuelle selon 5 classes (protocole GEVES)



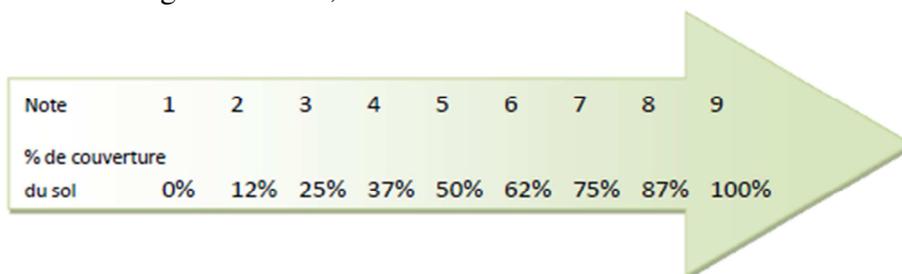
Pour les stades tallage, épi 1 cm et 2 nœuds, c'est le port du talle qui est noté, en revanche, pour le stade floraison, c'est le port de la 1^{ère} feuille (F1) qui l'est.

(Source : Protocole de l'ITAB)

Evaluation du pouvoir couvrant (PC) : Barème allant de 1 à 9 (protocole GEVES)

Note de 1 = sol nu visible entre les lignes de semis

Note de 9 = lignes fermées, sol non visible



(Source : Protocole de l'ITAB)

Notation des stades des adventices :

Stade	Dicotylédones	Graminées
A	Plantule -> cotylédons à 1/3 ou 2/4 feuilles	1 à 3 feuilles
B	Plante jeune -> au-delà de 3 ou 4 feuilles	1 à 2 talles
C	Plante adulte -> ramifications	Plein tallage/montaison
D	Floraison -> boutons floraux	Epiaison
E	Grenaison -> dissémination des semences	Grenaison

Echelle Barralis :

Classe	Plantes/m ² (d)
1	vue une fois sur l'aire d'observation de 1000m ²
2	d<0,1
3	0,1<d<1
4	1<d<3
5	3<d<10
6	10<d<20
7	20<d<50
8	d>50

Annexe 4 : Parties du script réalisé avec R Studio

Script ANOVA et Tukey :

```
### TRAITEMENT DONNEES ASSOCIATION 2018

# NETTOYER SCRIPT
rm(list=ls(all=TRUE))

# LIRE LES DONNEES ET CONVERTIR EN FACTEURS
Donnees=read.table("Donnee_2018_R.txt",header= TRUE,sep="")
Donnees<-within(Donnees,{
  Bloc<-as.factor(Bloc)
  Association<-as.factor(Association)
})

## ETUDE RENDEMENT

# MODELE ANOVA
Donnees<-within(Donnees,parcelle<-Bloc:Variete)
mod1<-aov(RDT_BTH~Bloc+Variete*Association+Error(parcelle), Donnees)
summary(mod1)

# CM ERREUR PARCELLE ET SOUS-PARCELLE
anova1<-summary(mod1)
CME1 <- anova1$`Error: parcelle`[[1]][`Residuals`, `Mean Sq`]
f1 <- anova1$`Error: parcelle`[[1]][`Residuals`, `Df`]
# CM Erreur sous-parcelle
CME2 <- anova1$`Error: within`[[1]][`Residuals`, `Mean Sq`]
f2 <- anova1$`Error: within`[[1]][`Residuals`, `Df`]

# COMPARAISON DE MOYENNES AVEC TUKEY
library(agricolae)
with(Donnees, HSD.test(RDT_BTH, trt = Variete, DFerror =f1, MSerror = CME1, console =T))
```

Résultats régression linéaire :

```
> summary (reg)
```

```
Call:
```

```
lm(formula = RDT_ASSO ~ RDT_PUR + Hauteur + PC + Port, data = Donnees)
```

```
Residuals:
```

```
      Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.5788 -1.0344 -0.4970  0.8774  2.9262
```

```
Coefficients:
```

```
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  6.19081    3.85175   1.607  0.1391
RDT_PUR      0.31240    0.11978   2.608  0.0261 *
Hauteur     -0.01618    0.06320  -0.256  0.8031
PC           0.27853    0.52973   0.526  0.6105
Port        -0.11120    0.39098  -0.284  0.7819
```

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
Residual standard error: 1.693 on 10 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.6176,    Adjusted R-squared:  0.4647
F-statistic: 4.038 on 4 and 10 DF,  p-value: 0.03342
```