

AGROCAMPUS
OUEST

CFR Angers

CFR Rennes



Année universitaire : 2016 - 2017

Spécialité : Ingénieur Agronome

Spécialisation / option :

Sciences et Productions Végétales (SPV) /
Ingénierie des Agrosystèmes

Mémoire de Fin d'Études

- d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

Stabiliser les rendements des protéagineux grains grâce aux associations culturales pour augmenter l'autonomie protéique des élevages de l'ouest de la France

Par : Coralline HOUISE



Soutenu à Rennes

le 14/09/2017*

Devant le jury composé de :

Président : Christine Bissuel

Maître de stage : Aurélien Dupont

Enseignant référent : Matthieu Carof

Autres membres du jury :

Alain Baranger, Rapporteur

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

Remerciements

Je souhaite tout d'abord remercier mes deux maîtres de stage Caroline Cocoual et Aurélien Dupont pour la qualité de leur encadrement, leur soutien et la confiance dont ils ont fait preuve tout au long de ce stage.

Je remercie également les stagiaires Floriane Bouard, Marie-Anna Loaec et San Lemarchand pour leur aide sur le terrain, en particulier pour les prélèvements de biomasses.

Je tiens à remercier David Meallet et Vincent Bouétel pour leurs connaissances techniques et la qualité de leurs interventions sur l'essai de Kerguéhenec.

Merci également au reste de l'équipe du pôle agronomie-production végétale : Patrice Cotinet, Jean-Luc Giteau et Yvon Lambert pour leur accueil et leur disponibilité.

Enfin, je remercie particulièrement Morgane Coulombel, avec qui j'ai effectué ce stage en binôme, pour son soutien, son sérieux, sa confiance et sa bonne humeur.

Table des matières

Introduction	1
I) Synthèse Bibliographique.....	2
A) Production de féverole : Etat des lieux	2
1) Production de féverole en France.....	2
2) Produire de la féverole pour l'alimentation animale	2
B) Substitution des tourteaux de sojas par des graines de féverole dans la ration alimentaire des principales espèces animales élevées en Bretagne.....	3
1) Introduction de la féverole dans la ration alimentaire des ruminants.....	3
2) Incorporation de la féverole dans la ration alimentaire des monogastriques.....	3
C) Cultiver de la féverole en association avec des céréales.....	3
1) Intérêts à l'introduction de la féverole dans les exploitations	3
2) Contraintes limitant la production de la féverole	4
3) Les associations légumineuse – céréale, une solution ?	5
4) Impact de l'association d'une céréale et d'une légumineuse sur la gestion des bioagresseurs.....	5
5) Freins à la mise en place d'associations combinant légumineuse et céréale.....	5
D) Insertion du stage dans le projet PROGRAILIVE, objectifs, problématique et hypothèses	6
II) Matériel et Méthodes.....	7
A) Localisation des essais	7
B) Dispositif expérimental	7
1) Essais Blocs.....	7
2) Essai Bandes	8
C) Itinéraires techniques	8
D) Mesures et notations réalisées.....	9
E) Analyse statistique	10
F) Analyse économique.....	10
III) Résultats.....	11
A) Caractérisation climatique des essais blocs de la campagne 2016-2017	11
B) Effets des associations sur l'architecture du couvert et la gestion des bioagresseurs 11	
1) Effet des associations sur la gestion du salissement et l'architecture du couvert....	11
2) Gestion des maladies et ravageurs grâce aux associations	13
C) Elaboration du rendement de la féverole d'hiver.....	14
D) Analyse économique	15
1) Analyse à l'échelle de la parcelle.....	15
2) Analyse à l'échelle de l'exploitation	16
Discussion.....	17
A) Caractérisation climatique des essais de la campagne 2016-2017.....	17

B)	Effets des associations sur l'architecture du couvert et la gestion des bioagresseurs	
	18	
	Féverole d'hiver.....	18
C)	Elaboration du rendement de la féverole d'hiver.....	19
	Conclusion	21
	Bibliographie	21
	Annexes	

Table des figures

NB : Lorsqu'aucune source n'est mentionnée, l'illustration est une réalisation personnelle

Figure 1 : Evolution des surfaces de féverole dans l'UE de 1996 à 2014

Figure 2 : Evolution des surfaces de protéagineux et de soja en France

Figure 3 : Répartition des surfaces de féverole en AC en France en 2015

Figure 4 : Evolution des surfaces en protéagineux et soja en AB en France

Figure 5 : Débouchés du pois, de la féverole et du soja produits en France

Figure 6 : Production et consommation des MRP en France de 1973 à 2012

Figure 7 : Évolution de l'offre et de la demande en MAT française issue de l'AB entre 2009 et 2012

Figure 8 : Déficit en protéines issues de l'AB pour l'alimentation animale

Figure 9 : Evolution des surfaces cultivées en France et réformes de la PAC

Figure 10 : Evolution des surfaces de légumineuses à graines en AB en France

Figure 11 : Projets composant le programme SOS PROTEIN

Figure 12 : Localisation des essais selon les zones agro-climatiques

Figure 13 : Contexte pédologique des essais

Figure 14 : Composition granulométrique des sols des essais blocs

Figure 15 : Plan de l'essai en FH, exemple du site de Kerguéhennec

Figure 16 : Plan de l'essai en FP, exemple du site de Quéven

Figure 17 : Plan de l'essai bandes de Romillé

Figure 18 : Mesures effectuées au cours du cycle de culture

Figure 19 : Caractérisation climatique du cycle cultural par rapport à la moyenne 1993-2016 - Kerguéhennec

Figure 20 : Caractérisation climatique du cycle cultural par rapport à la moyenne 1993-2016 - Quéven

Figure 21 : Caractérisation climatique du cycle cultural par rapport à la moyenne 2011-2016 – Trévarez

Figure 22 : Pouvoir couvrant des modalités au cours du cycle cultural des essais blocs a) à Kerguéhennec b) à Quéven c) à Trévarez

Figure 23 : Biomasse des composantes du couvert à pleine floraison de la féverole a) à Kerguéhennec b) à Quéven c) à Trévarez

Figure 24 : Architecture du couvert a) à Kerguéhennec, b) à Quéven, c) à Trévarez

Figure 25 : Pouvoir couvrant des modalités au cours du cycle cultural des essais blocs a) à Kerguéhennec b) à Quéven c) à Trévarez

Figure 26 : Biomasse des composantes du couvert à pleine floraison de la féverole a) à Kerguéhennec b) à Quéven c) à Trévarez

Figure 27 : Architecture du couvert a) à Kerguéhennec, b) à Quéven, c) à Trévarez

Figure 28 : a) Nombre de gousse par tige et b) Nombre de grains par gousse pour chaque modalité des sites de Kerguéhennec et Quéven

Figure 29 : Poids de mille grains à 14% d'humidité pour chaque modalité des sites de Kerguéhennec et Quéven

Figure 30 : Rendements de la féverole, à 14% d'humidité, et de la céréale associée, à 15% d'humidité pour chaque modalité des sites a) de Kerguéhennec et b) de Quéven

Figure 31 : a) Rotation initiale, b) Rotation des scenarii 1 et 2

Table des tableaux

NB : Lorsqu'aucune source n'est mentionnée, l'illustration est une réalisation personnelle

Tableau 1 : Principaux facteurs antinutritionnels du soja

Tableau 2 : Principaux facteurs antinutritionnels de la féverole

Tableau 3 : Modalités des essais blocs d'hiver

Tableau 4 : Modalités des essais blocs de printemps

Tableau 5 : Modalités de l'essai bandes

Tableau 6 : Marge semi nette dégagée dans chaque cas

Tableau 7 : Ecart entre les MSN du blé et de la féverole en AC selon leur prix de vente

Tableau 8 : Ecart entre les MSN du blé et de la féverole en AB selon leur prix de vente

Tableau 9 : Comparaison de l'effet des scénarii sur la MSN et l'autonomie protéique en AC

Tableau 10 : Comparaison de l'effet des scénarii sur la MSN et l'autonomie protéique en AB

Table des annexes

NB : Lorsqu'aucune source n'est mentionnée, l'illustration est une réalisation personnelle

ANNEXE I : Principaux bioagresseurs de la féverole

ANNEXE II : Récapitulatif des périodes d'incidence des bioagresseurs au cours du cycle des féveroles d'hiver et de printemps

ANNEXE III : Itinéraires techniques pratiqués dans les essais d'hiver

ANNEXE IV : Itinéraires techniques pratiqués dans les essais de printemps

ANNEXE V : Protocole PROGRAILIVE des notations de maladies

ANNEXE VI : Détail des maladies de la féverole et échelles de notations associées

Annexe VII : Protocole PROGRAILIVES des notations des ravageurs de la féverole

ANNEXE VIII : Mode de calcul des charges pour l'analyse économique à l'échelle de la parcelle

Introduction

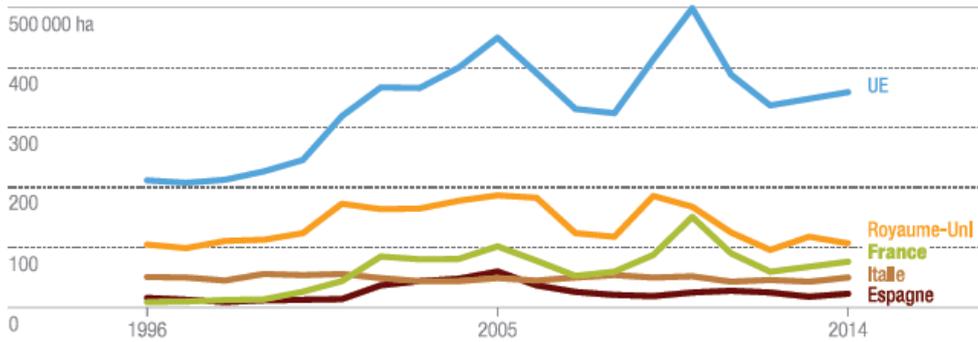
On constate en Europe et en France un déficit protéique pour l'alimentation animale d'origine historique lié aux accords du GATT des années 1960 entre les Etats Unis et la Communauté Economique Européenne sur les importations de protéagineux (MAAF, 2014 ; Martin, 2014). Ce phénomène de dépendance protéique a été amplifié en 2001 suite à l'interdiction des farines animales pour l'alimentation des animaux d'élevages (Martin, 2014) et a entraîné la substitution de ces farines par le tourteau de soja (DRAAF Bretagne, 2017). Bien que le déficit protéique français soit inférieur à celui de l'Union Européenne (UE) (Martin, 2014 ; Peyronnet *et al.*, 2014 ; MAAF, 2014), la France reste dépendante des importations de soja américain (Peyronnet *et al.*, 2014). Par ailleurs, une part non négligeable de ce soja est génétiquement modifié (GM), ce qui est problématique pour les filières refusant les produits GM (Peyronnet *et al.*, 2014 ; Schneider *et al.*, 2015). De plus, 60% des importations mondiales de soja se font en direction de la Chine (MAAF, 2014). Cela peut, à terme, orienter le marché en défaveur de l'UE, qui a alors intérêt à développer d'autres sources de protéines sur son territoire pour s'assurer de ne pas manquer de protéines dans le futur (MAAF, 2014 ; Martin, 2014).

Dans le cas particulier de l'agriculture biologique (AB) s'ajoute le fait que la dérogation permettant d'incorporer 5% d'alimentation issue de l'agriculture conventionnelle (AC) dans les rations d'animaux monogastriques prenne fin en 2018 (Roinsard *et al.*, 2015 ; Lubac *et al.*, 2016). Cela amplifiera le problème de déficit en protéines végétales biologiques pour l'alimentation des animaux d'élevages (MAAF, 2014 ; Roinsard *et al.*, 2015 ; Lubac *et al.*, 2016).

Il est donc nécessaire d'accroître la production de protéagineux en Europe et en France. Cependant, leur culture fait face à de nombreux freins agronomiques, en particulier une forte variabilité des rendements (Lubac *et al.*, 2016 ; Carof et Ridier, 2016), et économiques (marges inférieures aux autres cultures, manque de structuration des filières) (Schreuder and De Visser, 2014 ; de Visser *et al.*, 2014 ; MAAF, 2014) à l'origine d'une tendance à la baisse des surfaces cultivées ces dernières années (MAAF, 2014 ; Agreste, 2017).

La production de protéagineux étant fortement liée aux aides qui lui sont allouées (Martin, 2014 ; Carof et Ridier, 2016 ; DRAAF Bretagne, 2017), des mesures sont prises par l'UE et la France pour encourager le développement des protéagineux afin de rééquilibrer la balance protéique européenne. A l'échelle de la nouvelle Politique Agricole Commune (PAC) de 2014, les états membres ont la possibilité de prendre en compte les légumineuses dans les surfaces d'intérêts écologiques dans le cadre du paiement vert (MAAF, 2014 ; Martin, 2014), et ainsi, d'augmenter les aides accordées aux agriculteurs implantant ces cultures. Une aide couplée à la production de protéagineux est également mise en place afin de soutenir leur établissement (MAAF, 2014), cela dans le but de développer leur culture en Europe. A l'échelle du territoire français, des actions supplémentaires sont mises en place, telles que le « plan protéines végétales pour la France 2014-2020 » du ministère de l'agriculture ou le programme SOS PROTEIN, associant les régions Bretagne et Pays de la Loire, qui vise à une plus grande autonomie protéique pour les élevages de l'ouest de la France. Ce programme est composé de quatre projets dont le projet PROGRAILIVE qui se base sur les cultures des protéagineux grains (féverole, pois et lupin) en association avec les céréales (Pôle agronomique ouest, sd a, sd b) comme levier de sécurisation de la culture des protéagineux, projet dans lequel s'inscrit ce stage.

Ce mémoire porte sur les féveroles d'hiver et de printemps. Il sera composé d'une synthèse bibliographique sur leur culture, leur utilisation en élevage et leur association avec des céréales suivie d'une présentation de la démarche expérimentale (matériel et méthodes), d'une analyse des résultats, et pour finir, d'une discussion et d'une conclusion sur le sujet.

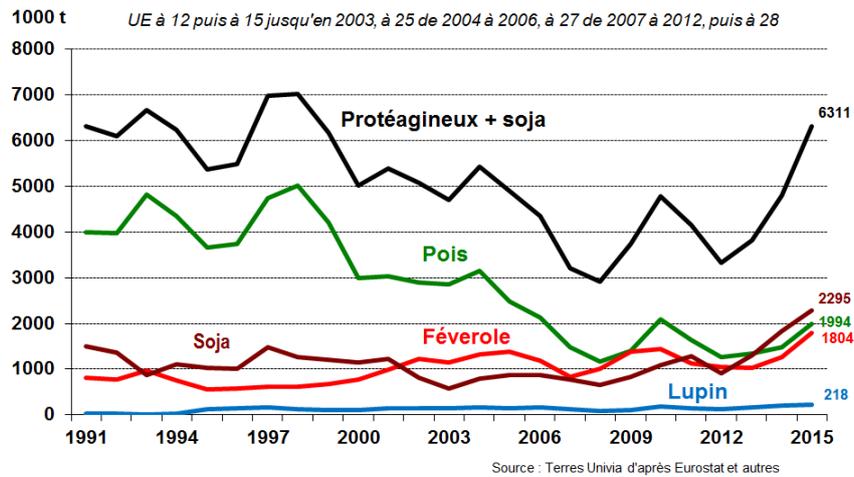


Sources : UNIP/Terres Univia d'après Eurostat et autres

Figure 1 : Evolution des surfaces de féverole dans l'UE* de 1996 à 2014 (Terres Univia, 2015)

*UE à 12 puis à 15 jusqu'en 2003, à 25 de 2004 à 2006, à 27 de 2007 à 2012 puis à 28

Productions de protéagineux et de soja dans l'UE



Source : Terres Univia d'après Eurostat et autres

Figure 2 : Evolution des surfaces de protéagineux et de soja en France (Labalette, 2016)

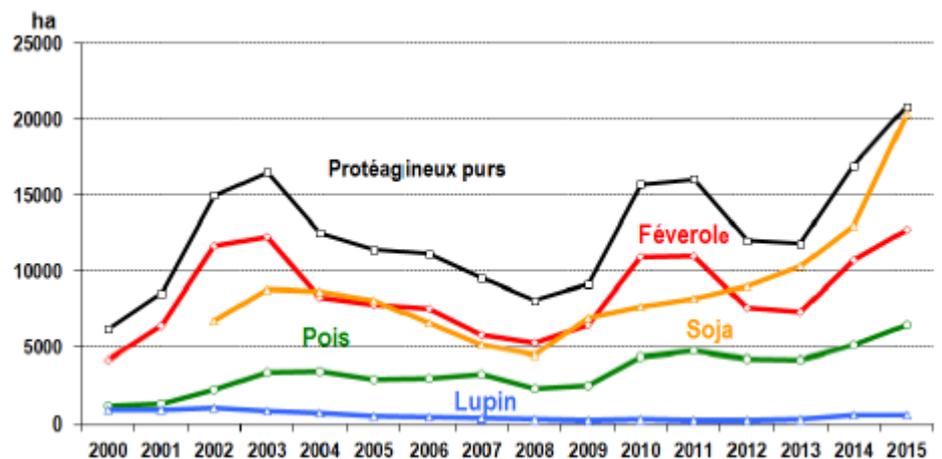
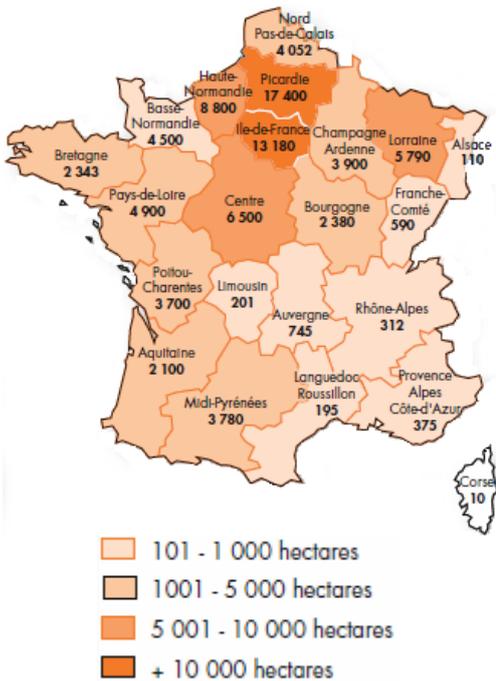


Figure 4 : Evolution des surfaces en protéagineux et soja en AB en France (Labalette, 2016)

Figure 3 : Répartition des surfaces de féverole en AC en France en 2015, total : 85 900 ha (Terres OléoPro, 2016)

I) Synthèse Bibliographique

A) Production de féverole : Etat des lieux

1) Production de féverole en France

La féverole (*Vicia faba* spp) est un protéagineux de la famille des fabacées dont les graines sont caractérisées par des teneurs en protéines et en amidon élevées (Peyraud *et al.*, 2015). Le terme de protéagineux regroupe la féverole, le pois et le lupin (Schneider *et al.*, 2015). La France produit un quart de la production de féverole de l'UE, ce qui en fait le deuxième producteur européen derrière le Royaume Uni (Figure 1) (Terres Univia, 2015). C'est le deuxième protéagineux produit en France après le pois (Figure 2) (Terres OléoPro, 2016). La campagne 2014-2015 totalisait 85 900 ha de féverole en AC dont un tiers dans les seules régions Picardie et Ile-de-France (Figure 3) et 12 500ha en AB (Figure 4). La féverole de printemps (FP) est la plus cultivée sur le territoire, mais le type hiver reste majoritaire dans les zones d'élevage en AB de l'Ouest et du Sud-Ouest (Schneider *et al.*, 2015).

Contrairement au pois, plus de la moitié de la production de féverole française est destinée à l'export, pour l'alimentation humaine en grande partie, mais 84% de la production consommée sur le territoire est à destination de l'alimentation animale (Figure 5) ; (Terres OléoPro, 2016). Cependant, force est de constater que la production de protéagineux en France n'est pas suffisante actuellement, au vu des besoins en matière riche en protéine (MRP, matière première concentrée contenant plus de 15% de protéines). Ainsi, environ 40% des MRP consommées en France sont importées (Schneider *et al.*, 2015) et le soja y est la MRP la plus consommée depuis plus de 30 ans (Figure 6) (Peyronnet *et al.*, 2014).

On retrouve la même problématique en AB où les besoins restent supérieurs à l'offre en protéine, qui est pourtant croissante (Figure 7). Or, pour compenser le déficit protéique de l'alimentation animale en AB, il faudrait environ 20 000 ha de féverole, sous réserve que les rendements soient stabilisés (Lubac *et al.*, 2016).

2) Produire de la féverole pour l'alimentation animale

En France, le soja importé représente 47% des protéines des aliments composés (Peyraud *et al.*, 2015). Le tourteau le plus utilisé est le tourteau de soja, principalement importé du Brésil (Peyronnet *et al.*, 2014). En effet, seuls 3% du soja utilisé en France sont produits sur le territoire (Peyronnet *et al.*, 2014) et 2,5% des tourteaux de soja consommés dans l'UE y sont produits (Schreuder and De Visser, 2014). Or, pour remplacer le soja dans l'alimentation animale, il faut des produits riches en protéines, contenant les acides aminés indispensables en quantité suffisante, ne présentant pas de problèmes de digestibilité (facteurs antinutritionnels, problèmes d'appétence) et dont le prix n'est pas supérieur au tourteau de soja (Schreuder and De Visser, 2014). La féverole est moins riche en protéine (20% de moins), en méthionine et en tryptophane que le tourteau de soja, mais on y trouve les autres acides aminés indispensables (lysine, cystéine et thréonine) en quantité équivalente. Le remplacer intégralement par des protéagineux nécessiterait donc une complétion de la ration en acides aminés trop peu présents (grâce au tourteau de colza ou autre). Bien que le soja et la féverole contiennent des facteurs antinutritionnels, il existe des solutions génétiques ou technologiques pour éviter leur présence dans l'alimentation (Tableaux 1 et 2), d'autant plus que les féveroles cultivées sont des variétés à fleurs colorées pour la plupart, qui contiennent une plus grande quantité de ces facteurs (Peyraud *et al.*, 2015). On peut ainsi considérer la féverole comme un aliment intermédiaire entre les céréales et le soja (Peyraud *et al.*, 2015).

En Bretagne, 95% de la surface agricole utile en AB sert à la production d'alimentation animale, du fourrage pour la grande majorité (83% contre 12% de céréales et oléoprotéagineux) (DRAAF, 2017). Par ailleurs, on trouve le deuxième cheptel bovin biologique de France en Bretagne (DRAAF Bretagne, 2017), ce qui fait de l'approvisionnement en alimentation issue de l'AB une question majeure sur ce territoire, d'autant plus que le déficit en matière azotée totale (MAT) y est parmi les plus importants de France (Figure 8).

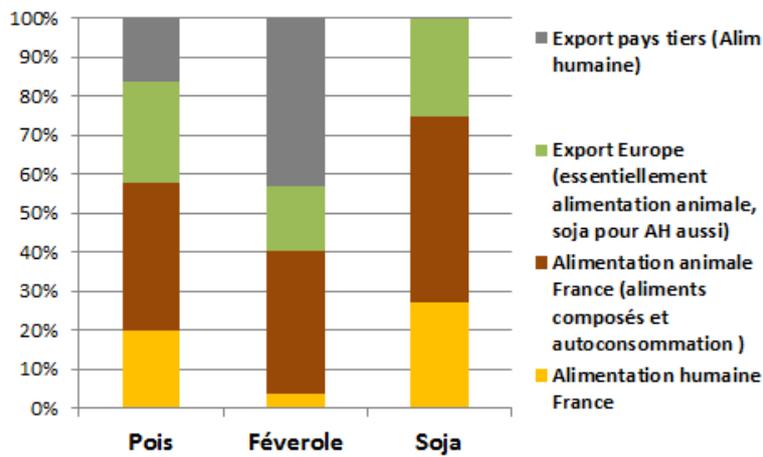


Figure 5 : Débouchés du pois, de la féverole et du soja produits en France (Labalette, 2016)

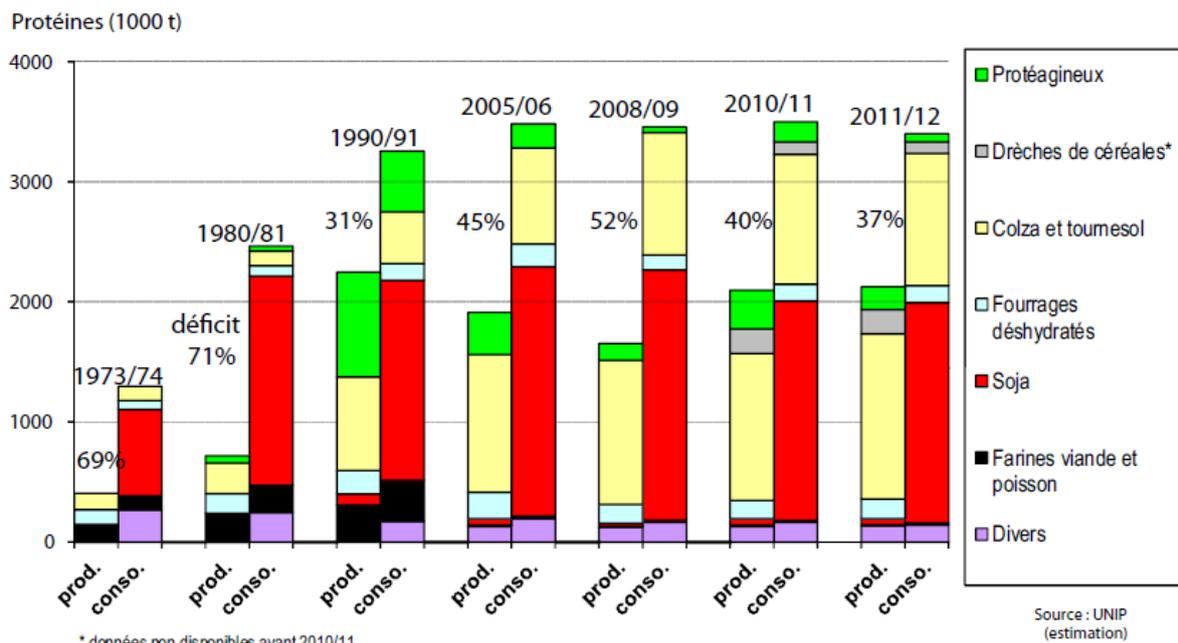


Figure 6 : Production et consommation des MRP en France de 1973 à 2012 (Peyronnet et al., 2014)

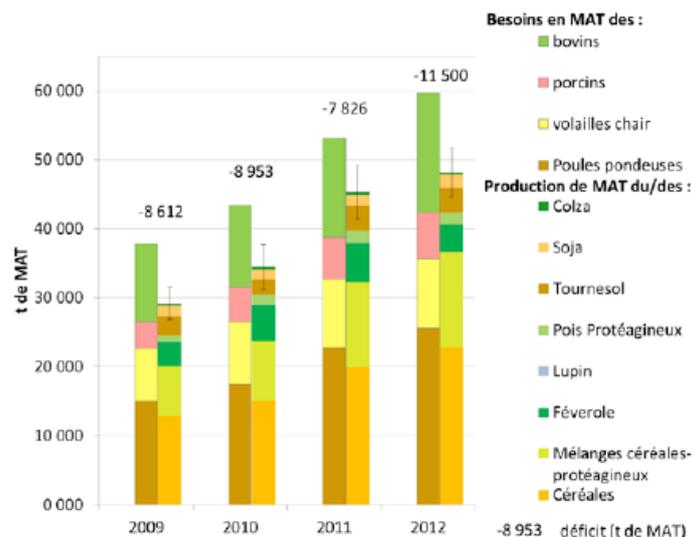


Figure 7 : Évolution de l'offre et de la demande en MAT française issue de l'AB entre 2009 et 2012. (Données : Agence Bio, FranceAgriMer et Coop de France). Barres d'erreur = variabilité de l'offre selon des rendements hauts ou bas (Lubac et al., 2016)

Les bovins, porcins, poulets de chair et poules pondeuses représentent 57% de la production animale bretonne, et les ovins et caprins 0,03% (DRAAF Bretagne, 2017), nous considérerons donc l'incorporation de féverole dans l'alimentation des bovins, porcins, poulets de chair et poules pondeuses uniquement.

B) Substitution des tourteaux de sojas par des graines de féverole dans la ration alimentaire des principales espèces animales élevées en Bretagne

1) Introduction de la féverole dans la ration alimentaire des ruminants

La ration des ruminants est moins riche en soja que celle des porcins et les volailles (Schreuder and De Visser, 2014). En effet, même si la richesse en amidon de la féverole lui confère une valeur énergétique pour ruminants au moins équivalente à celles des céréales, la forte dégradabilité de ses protéines dans le rumen entraîne une teneur en protéines digestibles d'origine alimentaire (PDIA) dans l'intestin au moins deux fois plus faible que celle des tourteaux de soja ou de colza. Pour cette raison, la féverole seule ne peut pas remplacer le soja dans la ration des ruminants. Cependant, elle peut être incorporée à hauteur de 15 à 20% de la matière sèche (MS) sans conséquence sur les performances de l'animal. Par ailleurs, certains traitements technologiques permettent de réduire la dégradabilité des protéines dans le rumen, et ainsi, d'améliorer la teneur en PDIA. C'est par exemple le cas du toastage, ou d'un broyage grossier de la graine. Par ailleurs, il semblerait qu'il n'y ait pas de problèmes du point de vue de l'appétence, puisqu'il n'y a pas de modification de leur niveau d'ingestion par rapport à celui du soja (Peyraud *et al.*, 2015)

2) Incorporation de la féverole dans la ration alimentaire des monogastriques

A ce jour, le soja sous sa forme de tourteau est la légumineuse la plus utilisée pour l'alimentation des monogastriques. Plusieurs facteurs influencent le taux d'incorporation des différentes légumineuses dans leurs rations : le prix des matières premières, leurs valeurs nutritionnelles, leurs contraintes maximales d'incorporation (en lien avec les rejets d'azote ou de phosphore) et leur disponibilité sur le marché (Peyraud *et al.*, 2015). La féverole est moins équilibrée que le soja pour ce qui est de sa composition en acides aminés digestibles, il existe donc des limites d'incorporation dans la ration (Gabb 32, 2015). Pour les volailles, elles sont de 15 à 20% de féverole pour le poulet de chair, ainsi que pour les pondeuses si l'on considère des variétés pauvres en vicine et convicine (Gabb 32, 2015 ; Peyraud *et al.*, 2015).

Les porcs valorisent mieux l'énergie des protéagineux que les volailles, et il y a peu de différence de digestibilité des protéines entre la féverole et le tourteau de soja chez le porc (Peyraud *et al.*, 2015). Les limites d'incorporation sont situées entre 15 et 20% de féverole à fleurs colorées et 20 à 25% de féverole à fleurs blanches, sans équilibrage avec des acides aminés, les besoins alimentaire variant selon l'âge et le sexe (Gabb 32, 2015). On trouve des taux d'incorporations plus importants dans d'autres études, en particulier en élevage conventionnel (jusqu'à 30% d'incorporation pour les porcs en finition) sous réserve d'équilibrer la ration en acides aminés, ce qui n'est pas permis en AB (Peyraud *et al.*, 2015).

C) Cultiver de la féverole en association avec des céréales

1) Intérêts à l'introduction de la féverole dans les exploitations

L'introduction de la féverole dans la rotation peut représenter de nombreux atouts agronomiques. En effet, grâce à sa capacité de fixation symbiotique de l'azote atmosphérique, elle représente un bon précédent en laissant un reliquat azoté plus important qu'une céréale après la récolte. Cela permet d'apporter moins d'azote sur la culture suivante (Lartigot *et al.*, 2016). Cette fixation symbiotique se fait avec des bactéries du genre *Rhizobium* en formant des nodosités (Voisin et Gastal, 2015). Elle permet de ne pas utiliser d'engrais azotés, et ainsi de réduire les charges d'intrants pour cette culture. Par ailleurs, la féverole a un fort pouvoir couvrant et permet ainsi de baisser la pression des adventices dans la rotation.

Tableau 1 : Principaux facteurs antinutritionnels du soja (d'après (Mikić *et al.*, 2009))

Facteur	Problème associé	Levier principaux
Inhibiteurs de protéases (6% des protéines totales)	Baisse de digestibilité et d'absorption des protéines	Inactivation par la chaleur Sélection variétale
Lectines (Soybean Agglutinin)	Baisse de viabilité des cellules épithéliales	Inactivation par la chaleur Sélection variétale
Acide phytique (1-1,5% de la matière sèche)	Chélation des éléments minéraux	Sélection variétale

Tableau 2 : Principaux facteurs antinutritionnels de la féverole (d'après (Kaysi et Melcion, 1992 ; Mikić *et al.*, 2009 ; Peyraud *et al.*, 2015))

Facteur	Problème associé	Leviers principaux
Tannins (surtout fleurs colorées)	Entraîne l'insolubilité des protéines chez les monogastriques	Sélection variétale Décorticage
Vicine et convicine (surtout fleurs colorés)	Baisse du poids des œufs Favisme chez l'Homme	Sélection variétale
Inhibiteurs de protéases	Baisse de digestibilité et d'absorption des protéines	Inactivation par la chaleur

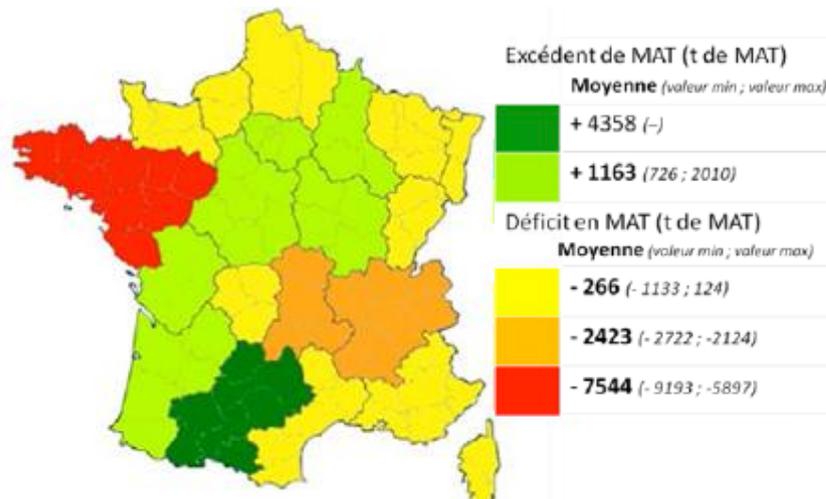


Figure 8 : Déficit en protéines issues de l'AB pour l'alimentation animale (Lubac *et al.*, 2016)

De plus, contrairement au pois, elle ne multiplie pas *Aphanomyces euteiches*, ce qui permet d'introduire un protéagineux dans la rotation sans risquer d'augmenter le niveau d'infestation du champignon dans les sols (Lartigot *et al.*, 2016). Cependant, d'autres bioagresseurs sont problématiques pour la féverole (cf Annexes I et II), ce qui implique de respecter un délai de retour de 5 ans minimum entre deux féveroles (ARVALIS - Institut du végétal *et al.*, 2013).

D'un point de vue économique, les charges opérationnelles de la féverole sont inférieures à celles du colza ou du blé et les marges brutes moyennes sont comprises entre 400 et 800 €/ha en AC (Lartigot *et al.*, 2016), et inférieures en AB (entre 400 et 600€) (Lubac *et al.*, 2016). Les aides provenant de la PAC 2015-2020 devraient encourager le développement de la féverole et autres protéagineux, leur production étant fortement dépendante des aides financières (Figure 9) (Martin, 2014 ; DRAAF Bretagne, 2017). En effet, cela a pu être observé lors des réformes successives de la PAC. La mise en place de prix garantis pour les protéagineux a entraîné un triplement des surfaces entre 1985 et 1992. En 1993, la réforme Mac Sharry met en place des aides à l'hectare, fonctions d'un rendement de référence, par culture et par département, et d'un montant à la tonne, fixé au niveau national et à l'origine de 78,4 €/tonne pour les protéagineux, abaissées à 63 €/tonne au début de l'Agenda 2000 (1999-2002). Dans le même temps on constate une diminution des surfaces en protéagineux (Ramanantsoa et Villien, 2012). Ce recul des surfaces se fait en faveur du colza, utilisé dans les filières biodiesel ce qui le rend plus compétitif (Ramanantsoa et Villien, 2012 ; Magrini *et al.*, 2015). La baisse observée entre 1995 et 2003 s'explique par la diminution de la productivité et des aides couplées. En 2002, une aide complémentaire de 55,57 €/ha stabilise temporairement les surfaces qui chutent drastiquement malgré le maintien de ce complément jusqu'en 2011. En effet, les prix des protéagineux se dégradent et l'accord de Luxembourg réduit le montant des aides couplées de 75% à partir de 2006. En 2008, les marges des protéagineux sont améliorées grâce à une augmentation des aides. Enfin, le découplage est total en 2010 lorsque le bilan de santé est mis en application, ce qui cause une nouvelle chute des surfaces en protéagineux (Ramanantsoa et Villien, 2012). Récemment encore, la mise en application du plan protéines végétales du ministère de l'agriculture en 2015 a inversé la tendance de ces dernières années et entraîné l'augmentation des surfaces en protéagineux de plus de 40% entre 2014 et 2015 (Figure 2) (DRAAF Bretagne, 2017).

2) Contraintes limitant la production de la féverole

Bien que son système racinaire lui permette de bien valoriser les réserves en eau du sol, la féverole est sensible à la sécheresse, surtout en phase de remplissage des grains (Lartigot *et al.*, 2016). Un épisode de sécheresse peut aussi provoquer l'arrêt de la floraison et l'avortement de fleurs, de graines et de gousses (ARVALIS - Institut du végétal *et al.*, 2013). Il peut également nuire à la nutrition azotée de la plante en perturbant le fonctionnement des nodosités. En outre, la féverole est sensible au gel, surtout avant la levée et à partir du stade d'initiation florale. En particulier la féverole d'hiver (FH) est plus susceptible d'être touchée par de fortes gelées car elle se sème entre fin octobre et fin décembre (ARVALIS - Institut du végétal *et al.*, 2013 ; Lartigot *et al.*, 2016). Par ailleurs, la féverole a besoin d'un sol profond et à la structure homogène et sans obstacles pour bien développer ses nodosités et y assurer la fixation symbiotique de l'azote (Lartigot *et al.*, 2016). On peut par ailleurs noter que les cultures d'hiver sont plus sensibles aux maladies (Lubac *et al.*, 2016). De plus, les rendements, déjà marqués par une forte variabilité, sont souvent affectés par un enherbement important, la présence de maladies et ravageurs, ce à quoi s'ajoute une forte sensibilité aux aléas climatiques (Lubac *et al.*, 2016).

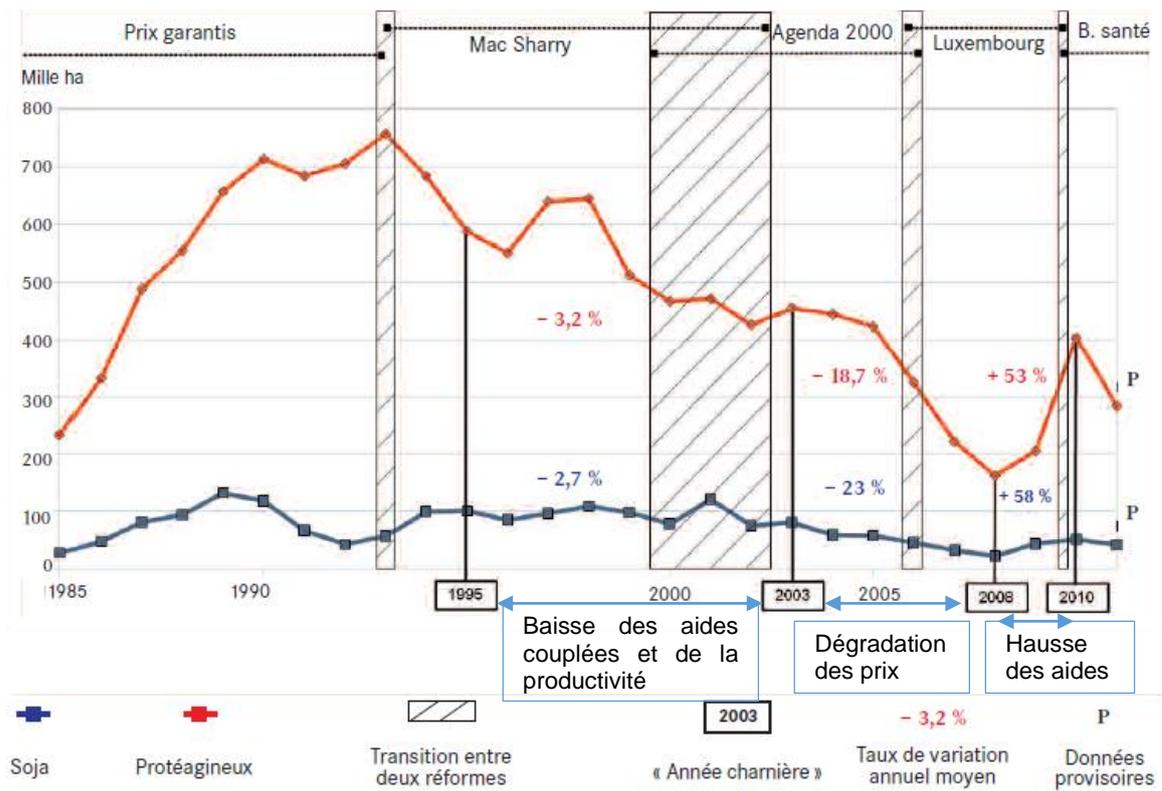


Figure 9 : Evolution des surfaces cultivées en France et réformes de la PAC. Adapté de (Ramanantsoa et Villien, 2012)

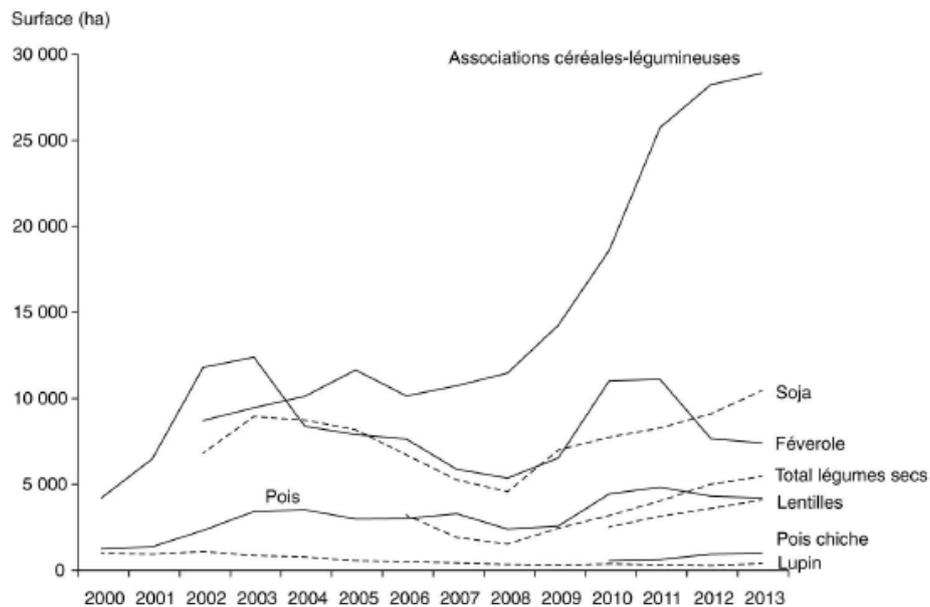


Figure 10 : Evolution des surfaces de légumineuses à graines en AB en France (Schneider et al., 2015)

3) Les associations légumineuse – céréale, une solution ?

En France, les associations céréales-légumineuses sont préférentiellement mises en place en AB (Figure 10) (Louarn *et al.*, 2010 ; Corre-Hellou *et al.*, 2014 ; Carof et Ridier, 2016), en raison des difficultés à conduire les légumineuses en culture pure dans ce type de système (Lubac *et al.*, 2016 ; Pelzer *et al.*, 2014). La gestion de facteurs biotiques ne pouvant se faire avec des produits phytosanitaires de synthèse comme en AC, l'association culturale est ainsi un levier fréquemment utilisé en AB. Par ailleurs, la céréale étant également récoltée, elle constitue un complément de revenu (Pelzer *et al.*, 2014), voire l'assurance d'un revenu minimum en cas de récolte nulle du protéagineux.

En début de cycle, la céréale se développe plus rapidement que la légumineuse. Elle sera d'autant plus compétitive que la légumineuse sera lente à se développer dans le même temps. En conséquence, l'association avec la céréale va stimuler la voie de fixation symbiotique de l'azote atmosphérique par la légumineuse. Grâce à cette complémentarité de l'utilisation des sources d'azote, l'association valorise au mieux l'azote présent dans le milieu (Voisin et Gastal, 2015). Ainsi, des associations céréale-légumineuse cultivées en AC sans fertilisation azotée permettent de produire au moins autant, sinon plus, que la moyenne des mêmes cultures pures (Louarn *et al.*, 2010 ; Pelzer *et al.*, 2014 ; Voisin et Gastal, 2015).

4) Impact de l'association d'une céréale et d'une légumineuse sur la gestion des bioagresseurs

L'association d'une légumineuse à grains avec une céréale permet de limiter les problèmes fréquemment rencontrés en culture pure de la légumineuse tels que la verse (pour le pois en particulier), le développement des adventices et les maladies (Corre-Hellou *et al.*, 2014 ; Pelzer *et al.*, 2014 ; Voisin et Gastal, 2015). En effet, le mélange d'espèces modifie différents facteurs pouvant influencer le comportement des ravageurs, ou avoir des conséquences sur le développement des pathogènes (Corre-Hellou *et al.*, 2014).

On peut observer la mise en place de contrôle biologique au sein des associations culturales. L'association créant un milieu où les populations d'ennemis naturels des ravageurs peuvent être plus susceptibles de s'installer grâce à des ressources plus diversifiées, cela permet de réguler naturellement les populations de ravageurs. Le couvert végétal de l'association a une structure différente de la culture pure. L'association peut alors entraîner un changement dans la couleur du couvert, ou une altération de l'odeur de composés volatils émis par une des espèces ce qui peut empêcher les ravageurs d'identifier leur plante hôte, en particulier pour les insectes spécialistes (Corre-Hellou *et al.*, 2014). L'association d'espèces différentes au sein d'un même couvert peut permettre de réduire la densité de tissus sensibles à une maladie, créant un effet barrière à la dispersion du pathogène. On peut également observer une modification du microclimat, ce qui peut empêcher le développement de maladies (Corre-Hellou *et al.*, 2014).

Grâce à la complémentarité d'utilisation de l'azote des associations légumineuse-céréale, la compétitivité vis-à-vis des adventices est plus forte qu'en culture de légumineuse pure, ce qui permet de réduire significativement l'infestation de la culture par les adventices. De plus, la céréale se développant plus rapidement en début de cycle, elle limite l'installation des adventices qui profitent habituellement du démarrage plus lent de la légumineuse (Corre-Hellou *et al.*, 2014).

5) Freins à la mise en place d'associations combinant légumineuse et céréale

Les effets d'une association légumineuse-céréale sur la gestion des bioagresseurs ne sont pas toujours positifs. Ainsi, bien qu'on observe une tendance à la réduction de l'intensité des maladies, l'effet peut être inverse selon les espèces mises en association. De plus, l'identification des effets de chaque facteur sur les bioagresseurs est d'autant plus complexe que les facteurs influencés par l'association interagissent les uns avec les autres

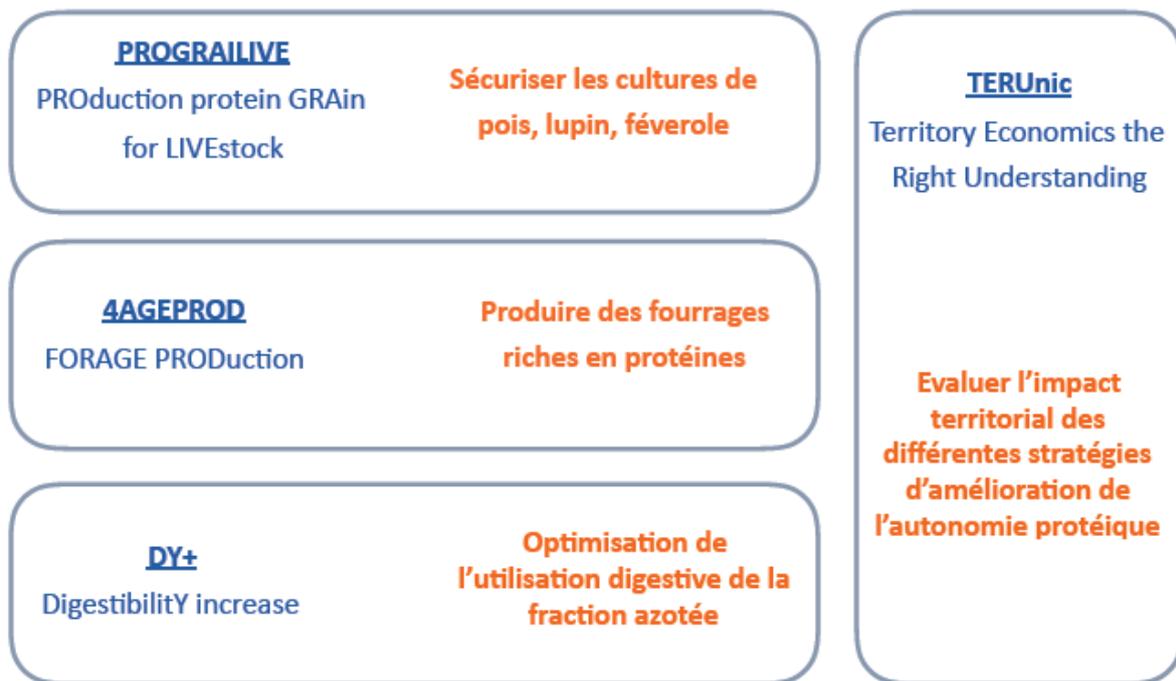


Figure 11.: Projets composant le programme SOS PROTEIN (Pôle agronomique ouest, sd a)

(Corre-Hellou *et al.*, 2014).

Par ailleurs, divers freins à l'installation de ces associations dans les systèmes de culture sont évoqués par les agriculteurs. Bien que ces associations culturales soient un levier pour réduire l'infestation des parcelles par les adventices, le manque d'herbicides homologués sur toutes les espèces de l'association limite la mise en place des associations légumineuse-céréale en AC, par peur d'un salissement de la parcelle (Corre-Hellou *et al.*, 2014 ; Pelzer *et al.*, 2014). Par ailleurs, la conduite de ces cultures associées est perçue comme difficile, en raison des différences d'exigences entre les espèces (date de semis, profondeur, date de récolte, matériel nécessaire...) et du manque de références techniques et de conseil. La proportion de chaque espèce à la récolte peut être différente de celle semée (Pelzer *et al.*, 2014) et il est difficile de maîtriser le développement des deux espèces. Outre les freins agronomiques, des limites liées aux débouchés commerciaux sont à mentionner : le décalage de maturité à la récolte peut freiner les exploitants, car leur production risque alors de ne pas correspondre aux exigences des acheteurs (Pelzer *et al.*, 2014). Enfin, la nécessité de trier les grains (il existe très peu de filières pour les mélanges) peut poser problèmes (Louarn *et al.*, 2010) car elle représente un coût supplémentaire, et que le tri reste imparfait, ce qui empêche généralement l'utilisation de la production en alimentation humaine (Pelzer *et al.*, 2014).

D) Insertion du stage dans le projet PROGRALIVE, objectifs, problématique et hypothèses

La Bretagne est la première région d'élevage en France où sept exploitations sur 10 ont un atelier spécialisé dans l'élevage (DRAAF Bretagne, 2017). Le besoin en MRP y est donc important, tout comme en Pays de la Loire, ce qui rend ces régions dépendantes de l'importation de ces MRP (Pôle agronomique ouest, sd a). Cette dépendance et les problématiques associées sont à l'origine du programme SOS PROTEIN (Sustain Ouest Self-sufficiency Protein Research to Overcome the Trend of European Import Needs) qui vise à améliorer l'autonomie protéique des élevages de l'Ouest. Ce programme est coordonné par le Pôle Agronomique Ouest et regroupe un grand nombre d'organismes de recherche et de formation, d'organismes professionnels et d'acteurs économiques des régions Bretagne et Pays de la Loire. Il est cofinancé par la Région Bretagne, la Région Pays de la Loire et le FEADER (Fond Européen Agricole pour le Développement Rural). SOS PROTEIN est construit autour de quatre projets : PROGRALIVE (production PROtein GRAIn for LIVEstock), 4AGEPROD (FORAGE PRODUCTION), DY+ (DigestibilitY increase) et TERUnic (Territory Economics the Right Understanding) (Figure 11).

Le projet PROGRALIVE a pour but de sécuriser les rendements des protéagineux grâce à leur association avec des céréales. Cette production s'inscrit dans un contexte de filière longue : elle est destinée à la revente aux coopératives qui effectuent l'opération de tri des mélanges. Ainsi, l'objectif est d'atteindre une autonomie protéique pour l'alimentation des animaux d'élevage à l'échelle des régions Bretagne et Pays de la Loire. Le projet, d'une durée de 4 ans, a débuté en 2016 et regroupe 32 partenaires. Une partie de ce projet, dans laquelle s'inscrit ce stage, repose sur des expérimentations conduites chez des agriculteurs et en stations expérimentales, afin d'identifier les facteurs déterminants pour la conduite des protéagineux en association avec des céréales. Cela doit permettre de lever les freins à la culture des protéagineux en Bretagne et Pays de la Loire, tels que la variabilité des rendements ou la gestion des bioagresseurs, et ainsi, répondre aux attentes des agriculteurs de l'ouest. (Pôle agronomique ouest, sd b).

Ce stage vise à déterminer si les associations féverole-céréale sont intéressantes pour la gestion des bioagresseurs de la féverole, et dans quelle mesure celles-ci permettent de sécuriser les rendements de la féverole. Ainsi, on cherchera à répondre à la question suivante : comment les associations culturales permettent de sécuriser les rendements de féverole d'hiver et de printemps afin d'assurer l'autonomie protéique de la région et la viabilité

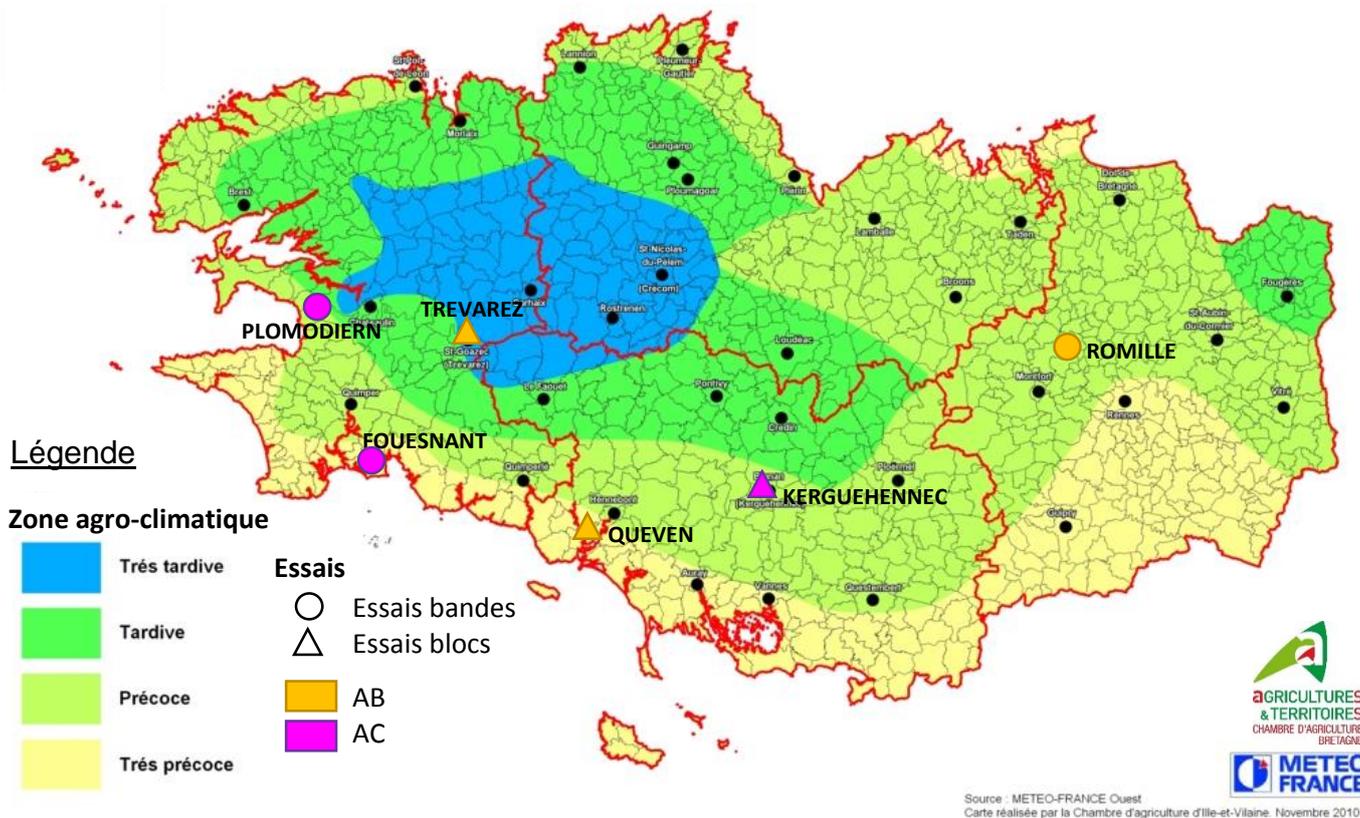


Figure 12 : Localisation des essais selon les zones agro-climatiques

économique des élevages bretons ? L'étude se basera sur les hypothèses suivantes :

- Les associations de féveroles et céréales limitent l'impact des bioagresseurs sur le rendement du protéagineux en comparaison à la culture pure
- Les associations de féveroles et céréales permettent de stabiliser les rendements de féverole et d'assurer un revenu en cas d'accident de culture sur la féverole en évitant un « rendement nul »
- Les associations de féveroles et céréales permettent d'assurer aux agriculteurs des revenus plus stables d'une année à l'autre par rapport à des cultures de féveroles pures
- En sécurisant les rendements de féverole grâce à son association avec une céréale, l'autonomie protéique de la région peut être accrue

II) Matériel et Méthodes

A) Localisation des essais

Dans cette étude, deux types d'essais sont mis en place et sont conduits en AB ou en AC (Figure 12). Les essais blocs sont conduits dans des stations expérimentales de la chambre d'agriculture régionale de Bretagne (CRAB) à l'exception de l'essai situé à Quéven, situé chez un agriculteur, comme c'est le cas des essais en bandes. Les essais en bandes permettent de rendre compte du comportement des associations à plus grande échelle qu'en micro parcelles, et de se confronter à la faisabilité de la conduite des associations en conditions réelles (matériel différent du matériel expérimental...). Enfin, grâce à la répartition des essais dans plusieurs sites correspondant à différentes zones agro-climatiques (Figure 12) et pédologiques (Figure 13), il est possible de prendre en compte le comportement des associations testées dans des conditions variées représentatives du territoire breton afin de déterminer la faisabilité de son développement sur ce territoire.

Les analyses de sol ont révélé des différences entre les sols de Kerguéhennec, Trévarez et Quéven (Figure 14). Quéven se caractérise par un sol riche en sable (plus de 50%) et c'est le plus pauvre en limons des trois sites. Le sol de Quéven est le plus ressuyant. A l'inverse, le sol de Trévarez est très riche en limon (58%) et c'est également le plus riche en argile (23%). La faible proportion de sables qu'il contient en fait le sol le moins ressuyant des trois sites. Enfin, Kerguéhennec possède un sol intermédiaire à Quéven et Trévarez. A partir des données d'analyse de sol, il a également été possible de calculer la réserve utile (RU, en mm/cm) d'après la formule empirique, valable pour les sols du massif armoricain, suivante : $RU = 0,1 * (\frac{LF}{2,7} + \frac{LG}{5,5} + \frac{MO}{8} + \frac{A}{10})$ où LF est le pourcentage de limons fins, LG celui de limons grossiers, MO celui de matière organique et A celui d'argile. Ainsi, Quéven est le site dont la RU est la plus faible (1,21 mm/cm), suivi de Kerguéhennec (1,55 mm/cm) et enfin Trévarez avec une RU de 2,16 mm/cm. De par sa bonne RU, le sol de Trévarez peut permettre au couvert végétal de mieux résister à des périodes plus sèches, tandis qu'à Kerguéhennec, et surtout à Quéven, les ressources en eau disponibles pour le couvert s'épuiseront plus rapidement en cas de période sèche.

Pour la campagne 2016/2017, les féveroles d'hiver et de printemps sont implantées dans les trois essais blocs sur les sites de Kerguéhennec (56), Quéven (56) et Trévarez (29), ainsi que dans l'essai en bandes situé à Romillé (35) pour la féverole de printemps uniquement.

B) Dispositif expérimental

1) Essais Blocs

Les essais testent un seul facteur : le facteur « association » correspondant à de la féverole associée à une céréale. On teste 8 modalités pour les essais d'hiver, ce sont les mêmes pour les trois sites à une modalité près : la modalité « féverole pure semis décalé » se retrouve seulement en AC et la modalité « féverole + trèfle » se retrouve seulement en AB. Les modalités des essais d'hiver sont résumées dans le tableau 3. Pour les essais de printemps, on teste 6 modalités. Ce sont les mêmes pour les trois sites mais elles sont différentes des

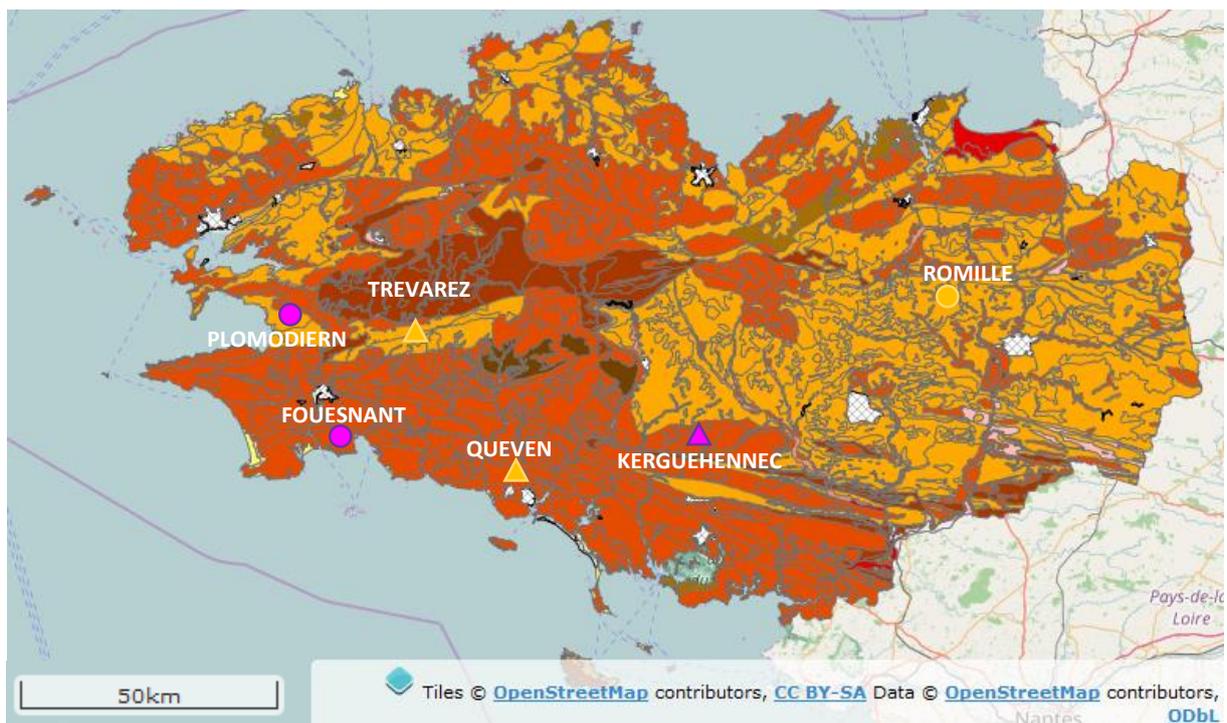


Figure 13 : Contexte pédologique des essais d'après Laboratoire de sciences du sol - INRA - Agrocampus Ouest, 2015

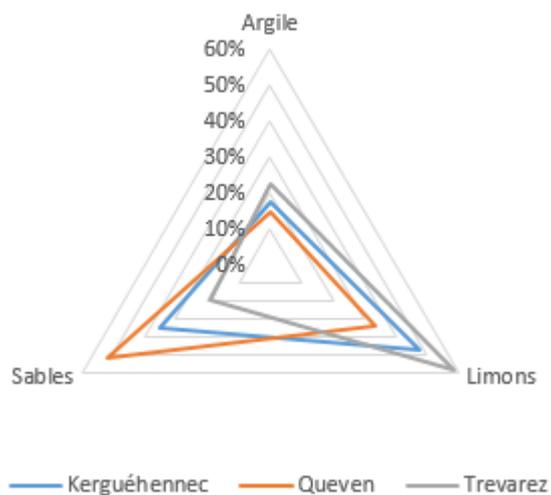


Figure 14 : Composition granulométrique des sols des essais blocs

essais d'hiver. Elles sont résumées dans le tableau 4.

Les deux espèces sont semées simultanément avec un semoir à céréales, à l'exception du trèfle qui est semé à la volée une fois la féverole implantée. L'objectif est de voir si le trèfle peut concurrencer les adventices sur la fin du cycle de la féverole, une fois que la sénescence est enclenchée ce qui profite généralement aux adventices.

Dans certains cas, il a été observé que lorsque la féverole est implantée plus tardivement, après un maïs grain par exemple, elle est moins touchée par les maladies. Il a donc été décidé de mettre en place cette modalité dans l'essai de Kerguéhennec pour vérifier l'effet de la date de semis sur les maladies.

La plupart des modalités mises en place font partie des modalités dites de tronc commun, présentes dans tous les essais du projet PROGRAILIVE (Tableaux 3 et 4). Elles ont été choisies d'après les résultats obtenus l'année précédente, et en fonction des débouchés possibles pour les deux espèces cultivées.

Les variétés de féverole et des espèces associées ont été choisies à l'échelle du projet PROGRAILIVE. Les variétés de féveroles sont les plus cultivées par les agriculteurs l'an passé car ce sont les plus productives et rustiques. Les variétés des céréales ont été choisies de sorte que leurs dates de semis et de récolte correspondent le plus à celles de la féverole. Des variétés rustiques ont été sélectionnées, afin qu'elles puissent être cultivées en AB et en AC. Enfin, le critère final a été la disponibilité des variétés chez les semenciers.

Le dispositif expérimental est organisé en blocs de Fisher à 4 répétitions. Dans tous les essais, la féverole pure sert de témoin. Les blocs ainsi que les essais concernant les différentes espèces du projet PROGRAILIVE sont séparés par des bandes tampons correspondant à des modalités testées (Figures 15 et 16). Les parcelles présentant toutes une pente, les blocs permettent de prendre en compte cette hétérogénéité. Dans les essais de Kerguéhennec, conduit en AC, le bloc 1 et le bloc 2 sont identiques car le bloc 1 correspond au témoin non traité aux fongicides (Figure 15). Cela permet de comparer les blocs 1 et 2 avec pour seul changement, la protection phytosanitaire des cultures. Sur ce site uniquement, le dispositif expérimental est en blocs de Fisher à 3 répétitions.

Les essais sont ceints par un filet électrifié pour les protéger des animaux herbivores (lapins, chevreuils...) et des effaroucheurs sont installés au sein des parcelles afin d'éloigner les oiseaux (pigeons, corneilles...).

2) Essai Bandes

Un seul essai est conduit en bandes (Figure 17). Il est localisé à Romillé (Figure 12) et concerne la FP, conduite en AB. Les modalités sont les mêmes que pour les essais blocs, à l'exception de la modalité « Féverole + Trèfle » qui n'est pas mise en place dans cet essai (Tableau 5).

C) Itinéraires techniques

A Kerguéhennec, les interventions sont effectuées par le chef de culture de la station expérimentale. A Quéven, elles sont faites par l'agriculteur chez qui les essais sont mis en place, à l'exception du semis et de la récolte qui, comme à Trévarez, sont effectués par un prestataire de service (Vert Marine).

Le récapitulatif des interventions effectuées se trouve dans les Annexes III et IV.

Les précédents culturaux sont différents sur les trois sites : blé à Kerguéhennec, colza à Quéven et prairie à Trévarez. Pour les essais en AB, cela va permettre de comparer le comportement des cultures après des précédents très différents.

Tableau 3 : Modalités des essais blocs d'hiver. Les pourcentages correspondent à la proportion semées par rapport à la culture pure (= 100%) * modalités de tronc commun

Modalité / code de la modalité	Variété féverole	Densité semis AC (gr/m ²)	Densité semis AB (gr/m ²)	Variété plante associée	Densité semis AC (gr/m ²)	Densité semis AB (gr/m ²)
Féverole pure / F100 *	Irena	30	40			
Féverole 100% + Triticale 30% / F100 T30 *	Irena	30	40	Vuka	75	99
Féverole 100% + Blé 30% / F100 B30*	Irena	30	40	Rubisko	75	114
Féverole 100% + Seigle 30% / F100 S30	Irena	30	40	Damber	75	99
Féverole 70% + Triticale 10% / F70 T10	Irena	21	28	Vuka	25	33
Féverole 70% + Triticale 30% / F70 T30*	Irena	21	28	Vuka	75	99
Féverole 70% + Triticale 50% / F70 T50*	Irena	21	28	Vuka	125	165
Féverole pure semis décalé / F100 décalé	Irena	30				
Féverole 100% + Trèfle / F100 trèfle	Irena		40	Demand	5 kg/ha	5 kg/ha

Tableau 4 : Modalités des essais blocs de printemps. Les pourcentages correspondent à la proportion semées par rapport à la culture pure (= 100%) * modalités de tronc commun

Modalité / code de la modalité	Variété féverole	Densité semis AC (gr/m ²)	Densité semis AB (gr/m ²)	Variété plante associée	Densité semis AC (gr/m ²)	Densité semis AB (gr/m ²)
Féverole pure / F100 *	Tiffany	30	40			
Féverole 100% +Orge 20% / F100 O20 *	Tiffany	30	40	Explorer	60	75
Féverole 100% +Orge 10% / F100 O10	Tiffany	30	40	Explorer	30	37,5
Féverole 100% + Avoine 20% / F100 A20 *	Tiffany	30	40	Albatros	60	75
Féverole 100% + Avoine 10% / F100 A10	Tiffany	30	40	Albatros	30	37,5
Féverole 100% + Trèfle / F100 trèfle	Tiffany	30	40	Demand	5 kg/ha	5kg/ha

B1	<i>F100</i>	<i>F100</i>	F70 T50	F70 T30	F70 T10	F100 S30	F100 B30	F100 T30	F100	F100 décalé	<i>F100</i>	<i>F100</i>
B2	<i>F100</i>	<i>F100</i>	F70 T50	F70 T30	F70 T10	F100 S30	F100 B30	F100 T30	F100	F100 décalé	<i>F100</i>	<i>F100</i>
B3	<i>F100</i>	<i>F100</i>	F100 B30	F100 T30	F100	F70 T10	F70 T30	F100 S30	F70 T50	F100 décalé	<i>F100</i>	<i>F100</i>
B4	<i>F100</i>	<i>F100</i>	F100	F70 T30	F100 S30	F100 B30	F70 T50	F70 T10	F100 T30	F100 décalé	<i>F100</i>	<i>F100</i>

Figure 15 : Plan de l'essai en FH, exemple du site de Kerguéhennec. En italique = tampon

B1	Tampon	F100	F100 O20	F100 O10	F100 A20	F100 A10	F100 Trèfle	Tampon
B2	Tampon	F100 Trèfle	F100	F100 A20	F100 A10	F100 O20	F100 O10	Tampon
B3	Tampon	F100 A20	F100 A10	F100 Trèfle	F100 O 10%	F100	F100 O20	Tampon
B4	Tampon	F100 O10	F100 Trèfle	F100	F100 O 20%	F100 A20	F100 A10	Tampon

Figure 16 : Plan de l'essai en FP, exemple du site de Quéven. Tampon = Lupin blanc + avoine 20% (jaune foncé) et Pois + orge 20% (jaune clair)

D) Mesures et notations réalisées

Différentes acquisitions de données sont réalisées tout au long du cycle de croissance de la culture (Figure 18), selon un protocole commun à tous les essais du projet PROGRAILIVE. La mesure des variables se fait soit à l'échelle de l'essai, soit à l'échelle de la microparcelle, soit, pour chaque microparcelle, sur 2 rangs contigus sur 2m de long (zone 1), soit, pour chaque microparcelle, sur 2 rangs contigus sur 1m de long (zone 2), soit sur 5 tiges choisies aléatoirement dans la microparcelle (Figure 18).

Mesures concernant les composantes du rendement :

- Densité de levée : comptage du nombre de plants de féverole et de céréale
- Pertes par gel : comptage des pieds de féverole levés non gelés (FH uniquement)

Composantes du rendement : comptage du nombre de tiges fertiles (ayant au moins une gousse contenant au moins un grain) et du nombre d'épis/m² ; comptage du nombre d'étage fructifère et du nombre total de gousses sur 10 tiges fertiles consécutives

Mesures concernant la compétition vis-à-vis des adventices :

- Vigueur : classement relatif des modalités sur une échelle de 1 à 10 (10 = très fort développement) par rapport au développement des deux espèces séparément
- Pouvoir couvrant : prise d'une photo en vue de dessus pour chaque microparcelle, le % de couverture est donné par analyse d'image avec le logiciel *Image J*.
- Biomasse adventices : prélèvement des biomasses aériennes totales de la culture (séparation des espèces) et des adventices ; identification des principales adventices ; séchage à l'étuve (24h à 110°C) de chaque composante et pesée de la masse sèche totale de chaque composante
- Salissement : avant la récolte, évaluation visuelle de la biomasse adventice ; identification des 3 principales adventices présentes

Mesures concernant le sol :

- Reliquats de sortie d'hiver : prélèvement de sol à la tarière (un prélèvement = deux trous par microparcelle) sur les horizons 0-30 cm, 30-60 cm et 60-90cm (si possible) dans les microparcelles possédant les modalités F100 et F100 T30 dans les essais d'hiver ; et dans l'ensemble de l'essai pour les essais de printemps, les cultures n'étant pas encore implantées, à raison de 8 trous par essai.
- Analyse de sol : prélèvement de sol à la tarière sur l'horizon 0-30cm à raison de 8 trous répartis aléatoirement sur l'ensemble de l'essai

Mesures concernant la gestion des risques de maladies et de ravageurs :

- Maladies : pour chaque maladie, dans chaque modalité de chaque bloc :
 - o Sur la féverole : évaluation du pourcentage de plantes malades ; du pourcentage de surface foliaire présentant des symptômes (sur plantes malades) ; du pourcentage de gousses malades (Annexes V et VI)
 - o Sur la céréale : observations et identification des maladies
- Ravageur : dans chaque bloc : observations et attribution de notes suivant les échelles présentées en annexe VII

Mesures concernant l'architecture du couvert :

- Hauteurs : mesure sur 5 à 10 pieds de la hauteur de chaque espèce du sol au sommet et sans redresser la plante ; mesure de la hauteur d'insertion de la première gousse
- Verse : évaluation du pourcentage de surface versée et mesure de la hauteur maximale de la culture sur la zone versée et non versée

Mesures de la performance : mesure du rendement pour chaque espèce

- Composition : pour les modalités en association : séparation des espèces du mélange, pesée de chaque espèce et détermination de la proportion de chaque espèce récoltée
- MAT et PMG : prélèvement d'un échantillon d'environ 400g par microparcelle, tri des espèces de l'échantillon, pesée du poids brut et poids sec après passage à l'étuve (48h, 70°C)

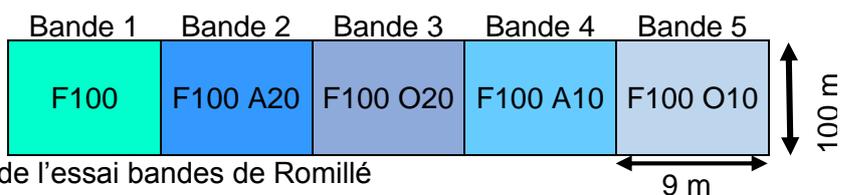
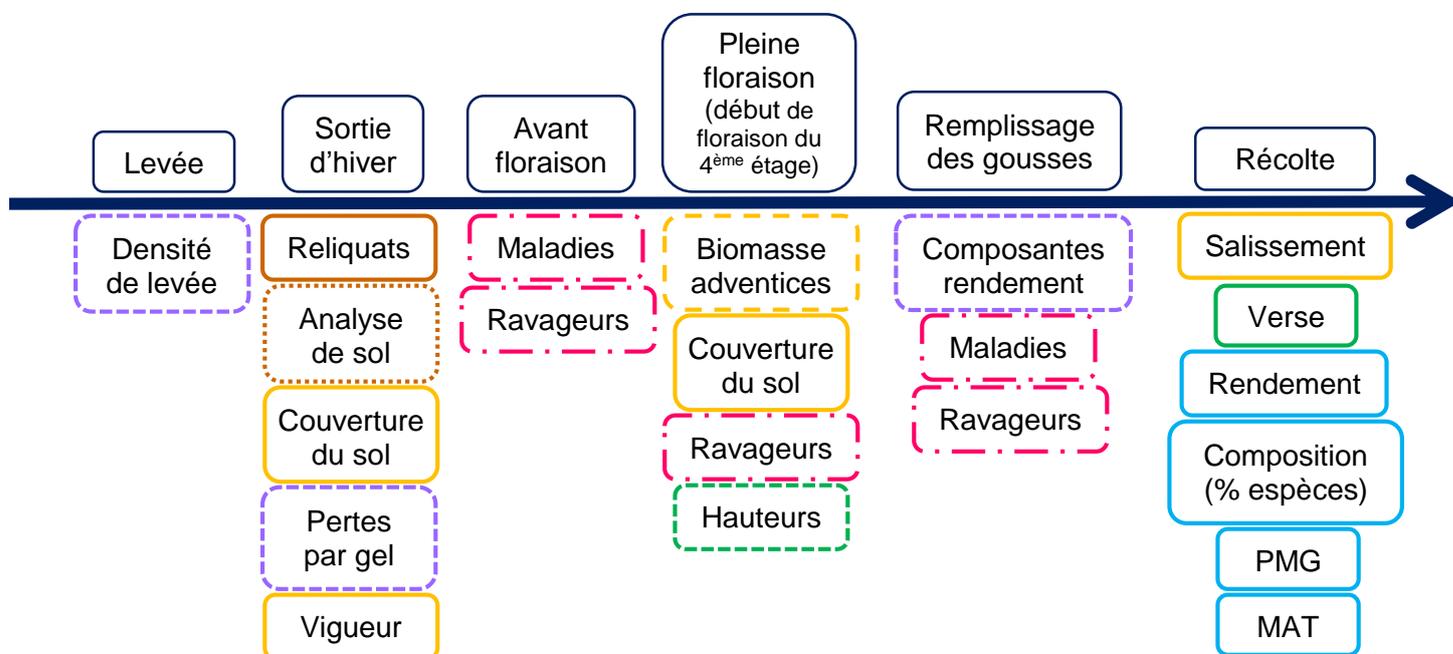


Figure 17 : Plan de l'essai bandes de Romillé

Tableau 5 : Modalités de l'essai bandes. Les pourcentages correspondent à la proportion semées par rapport à la culture pure (= 100%)

Modalité	Variété féverole	Densité semis (gr/m ²)	Variété céréale	Densité semis (gr/m ²)
Féverole pure	Tiffany	60		
Féverole 100% + Orge 20%	Tiffany	60	Explorer	75
Féverole 100% + Orge 10%	Tiffany	60	Explorer	37
Féverole 100% + Avoine 20%	Tiffany	60	Albatros	75
Féverole 100% + Avoine 10%	Tiffany	60	Albatros	37



Légende :

- Etape du cycle de la culture
- Performance
- Architecture
- Compétition vis-à-vis des adventices
- Gestion des maladies et ravageurs
- Composantes du rendement
- Sol
- Mesure à l'échelle de la microparcelle
- Mesure sur la zone 1
- Mesure sur la zone 2
- Mesure à l'échelle de l'essai
- Mesure sur 5 tiges choisies aléatoirement

Figure 18 : Mesures effectuées au cours du cycle de culture. PMG = Poids de Mille Grains ; MAT = Matière Azotée Totale

puis constitution d'un échantillon composite de chaque modalité pour envoi au laboratoire LARCA 72 (seule la MAT est mesurée pour les céréales)

E) Analyse statistique

L'analyse est réalisée avec le logiciel R Studio (R Core Team, 2017). L'objectif de l'analyse statistique est de déterminer s'il existe des différences significatives entre les modalités et par rapport à la modalité féverole pure concernant la performance, la compétition vis-à-vis des adventices et la sensibilité aux ravageurs et maladies. On pourra effectuer des ANOVA sur les variables quantitatives mesurées, avec un seuil de significativité fixé à 5%, sous réserve que les conditions d'application de l'ANOVA soient observées. Une fois l'ANOVA réalisée et si elle est validée, on effectuera une comparaison multiple de moyennes avec un test de Tukey à l'aide du package agricolae (De Mendiburu, 2016).

F) Analyse économique

L'objectif de cette analyse est d'identifier l'intérêt de la mise en place de la féverole d'hiver en culture pure, et en association avec du triticale à 30% de sa dose de semis. L'analyse se fera pour l'AC et pour l'AB, et à deux échelles : l'échelle de la parcelle, et l'échelle de l'exploitation. L'analyse se fait sur la féverole d'hiver car, sur la durée du stage, ce sont les résultats de rendement qui ont été obtenus en AB et en AC. De plus, il est prévu de simuler le remplacement d'un blé d'hiver par de la féverole. Il est donc plus cohérent de choisir de le remplacer par une culture de même saisonnalité car cela implique moins de différences dans la conduite de la culture. Les données de prix sur lesquelles se basent les calculs sont issues des références internes à la station de Kerguéhennec. Les données de rendement de la féverole pure et de la féverole et du triticale dans l'association F100 T30 sont celles obtenues à l'issue de la campagne 2016-2017 à Kerguéhennec pour l'AC et à Quéven pour l'AB. Pour l'analyse à l'échelle de la parcelle, les rendements de blé sont issus des références internes à la station de Kerguéhennec en AB et en AC, tandis que pour l'analyse à l'échelle de l'exploitation, le rendement du blé en AC correspond à celui du CC1 (Maigret *et al*, 2015).

Pour l'analyse à l'échelle de la parcelle, on considérera que la production est destinée à la vente. On comparera les conséquences économiques du remplacement d'un hectare de blé par un hectare de féverole, en fonction des prix du blé et de la féverole, en considérant l'écart de marge semi nette (MSN) entre ces cultures. La marge semi nette est calculée comme suit : $MSN (\text{€/ha}) = \text{Produit brut} + \text{aides PAC} - (\text{Charges de Mécanisation} + \text{Charges Opérationnelles} + \text{Charges de Tri})$. Le mode de calcul des charges est détaillé en annexe VIII. Cela permettra d'identifier le ou les contextes favorables à la culture de la féverole et de l'association F100 T30.

Pour l'analyse à l'échelle de l'exploitation, on considérera que la production est destinée à l'autoconsommation. On cherchera à déterminer quelle est la quantité de féverole à produire pour éviter l'achat de tourteaux de soja, et si ce niveau de production est atteignable dans l'exploitation. S'il ne l'est pas, on déterminera le taux de couverture des besoins du bétail permis par l'introduction de féverole dans l'assolement. On considérera un élevage représentatif du système breton. La Bretagne est la première région française productrice de lait conventionnel, et la deuxième pour ce qui est du lait biologique (DRAAF Bretagne, 2017). De plus, les exploitations en OTEX bovin lait représentent 44% des élevages bretons (40% en AB) et le lait de vache représente 21% de la valeur de la production agricole bretonne (CRAB, 2016). On considérera donc un élevage de vaches laitières (VL). Les références utilisées seront celles correspondant aux cas concrets 1 (CC1) pour l'AC et 10 (CC10) pour l'AB, réalisés par C. Maigret (2015). Le CC1 correspond à un système d'AC spécialisé en lait, dont les vaches sont fortement productrices et dont la ration contient du maïs toute l'année. Le CC10 correspond à un système spécialisé en lait biologique dont les vaches sont alimentées principalement par le pâturage, associé à de l'ensilage maïs et des mélanges céréaliers (Maigret *et al*, 2015).

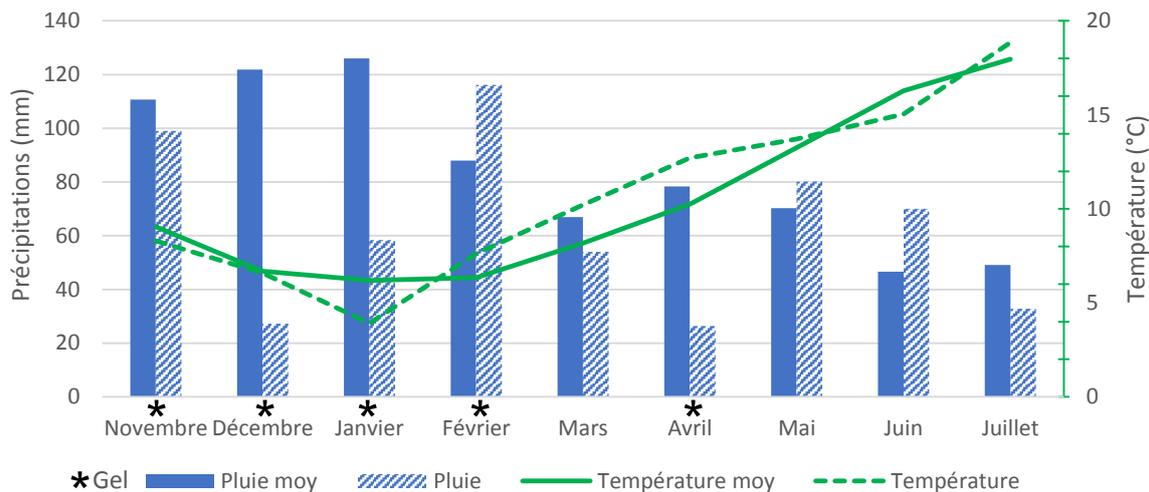


Figure 19 : Caractérisation climatique du cycle culturel par rapport à la moyenne 1993-2016 - Kerguéhennec

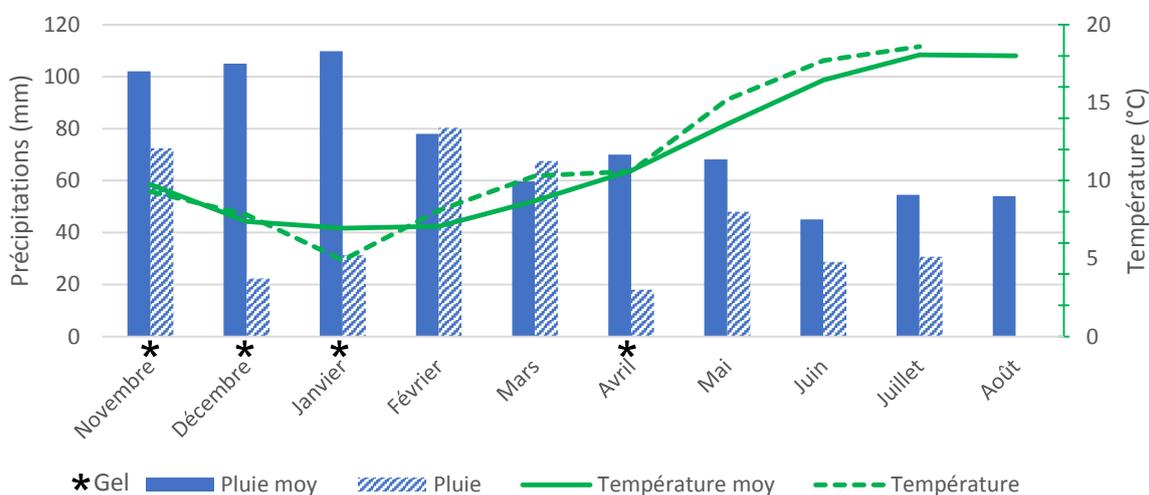


Figure 20 : Caractérisation climatique du cycle culturel par rapport à la moyenne 1993-2016 - Quéven

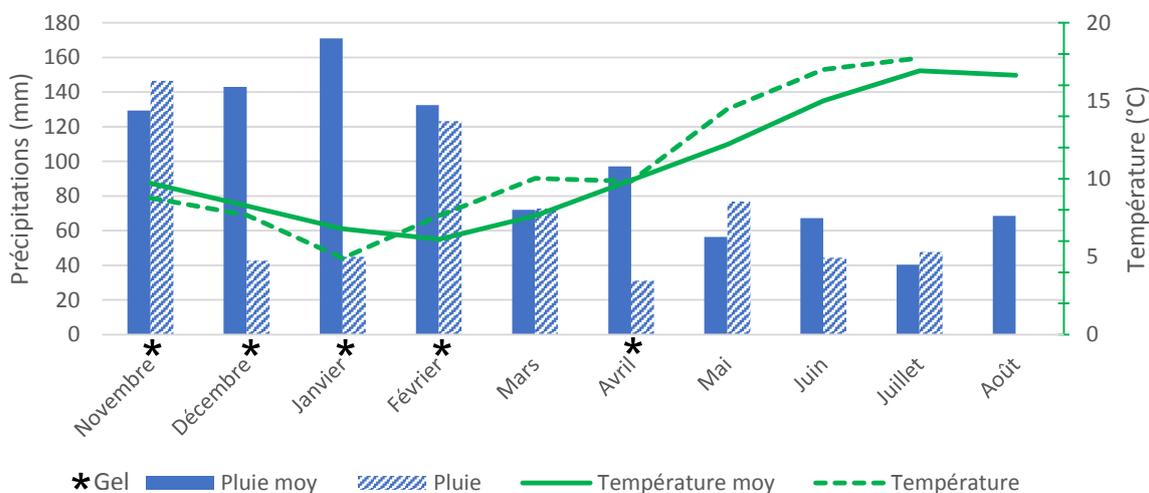


Figure 21 : Caractérisation climatique du cycle culturel par rapport à la moyenne 2011-2016 - Trévarez

III) Résultats

A) Caractérisation climatique des essais blocs de la campagne 2016-2017

Nous étudierons le climat sur la période de novembre 2016 à juillet ou août 2017, qui correspond à la période de culture des féveroles d'hiver et de printemps sur les différents sites. Cette période se caractérise par des pluies plus faibles que la moyenne et une température plus importante que la moyenne sur les trois sites où sont mis en place les essais blocs (Figures 19, 20 et 21).

Pour la FH, le début du cycle est similaire à Kerguéhennec, Quéven et Trévarez : il est sec (sauf novembre à Trévarez) avec un mois de janvier particulièrement froid (2°C en dessous de la moyenne) suivi d'un mois de février plus humide et chaud, bien qu'on remarque un léger manque de précipitations (9mm) à Trévarez (Figure 21). En avril, il a été relevé des températures négatives sur les trois sites (Figures 19, 20 et 21). Bien qu'à l'échelle du cycle de la culture de la FH (de novembre à juillet) on relève un manque de précipitations conséquent, le mois de mai est plus pluvieux que la moyenne (10 mm de plus à Kerguéhennec et 20 mm à Trévarez) A Quéven en revanche, toute la fin du cycle à partir de la floraison a été marquée par un important manque de précipitations par rapport aux 24 dernières années (95 mm de précipitations entre avril et juin soit 52% des précipitations reçues en moyenne sur cette période) accompagné par des températures de 1 à 2°C au-dessus de la moyenne des 24 dernières années (Figure 20). La fin du cycle de FH à Trévarez et Kerguéhennec est également marquée par des précipitations en deçà de la moyenne (Figures 19 et 21).

Pour la FP, à Trévarez, les températures ont été plus importantes que la moyenne des cinq dernières années sur l'ensemble du cycle de la féverole (d'avril à août), et en particulier lors de la floraison qui a eu lieu en juin, où l'on a également mesuré un manque de précipitations de 34% par rapport à la moyenne (Figure 21). Les précipitations à Quéven étaient inférieures à la moyenne des vingt-quatre dernières années pendant toute la durée du cycle de la FP, tandis que les températures ont été plus importantes sur la même période (Figure 20). Bien qu'avril soit particulièrement chaud (2°C au-dessus de la moyenne) et sec (manque de précipitations de 66% par rapport à la moyenne) on ne relève pas de températures excessives sur les mois suivants et une pluviométrie importante en mai et juin rattrape un peu le manque d'eau du début de cycle (déficit de 19 mm d'eau sur ces trois mois par rapport à la moyenne) (Figure 19).

B) Effets des associations sur l'architecture du couvert et la gestion des bioagresseurs

1) Effet des associations sur la gestion du salissement et l'architecture du couvert

Féverole d'hiver

La couverture du sol permet de rendre compte de la compétition du couvert vis-à-vis des adventices. Sur les trois sites en sortie d'hiver, la modalité F70 T50 permet une couverture du sol significativement plus importante que la féverole pure : plus du double dans deux sites sur trois (Figure 22). Les modalités F100 S30 et F100 T30 sont significativement plus couvrantes que la féverole pure dans deux cas sur trois (respectivement à Kerguéhennec et Quéven ; et Quéven et Trévarez). L'association avec du seigle est deux fois plus couvrante que la féverole pure et celle avec du triticale permet de couvrir 4,6 à 7,65 % de sol en plus. A ce stade du cycle de la culture, les autres modalités ne sont jamais significativement différentes de la modalité pure. En revanche, un mois avant floraison, on remarque que les associations avec des céréales ont tendance à être plus couvrante que la féverole pure à Quéven et Kerguéhennec, 1,7 à 1,8 fois plus couvrantes à Quéven par exemple (Figure 22 b). Pour autant, les associations F100 B30 et F70 T10 ne sont jamais significativement différentes de la féverole pure sur les deux sites, de même que les autres associations où la féverole est semée à 70% à Kerguéhennec. A Trévarez, aucune modalité ne couvre le sol de manière significativement différente de la féverole pure (Figure 22 c). Enfin, à pleine

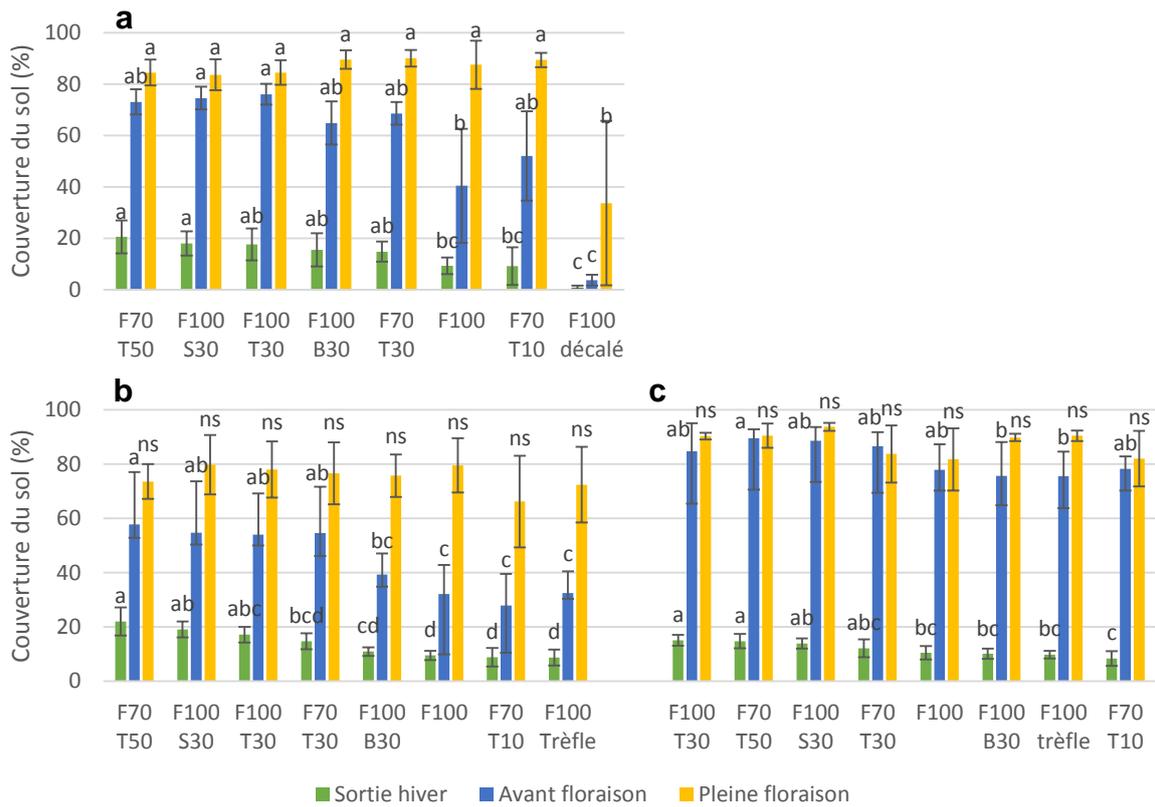


Figure 22 : Pouvoir couvrant des modalités de FH au cours du cycle culturel des essais blocs a) à Kerguéhennec b) à Quéven c) à Trévarez

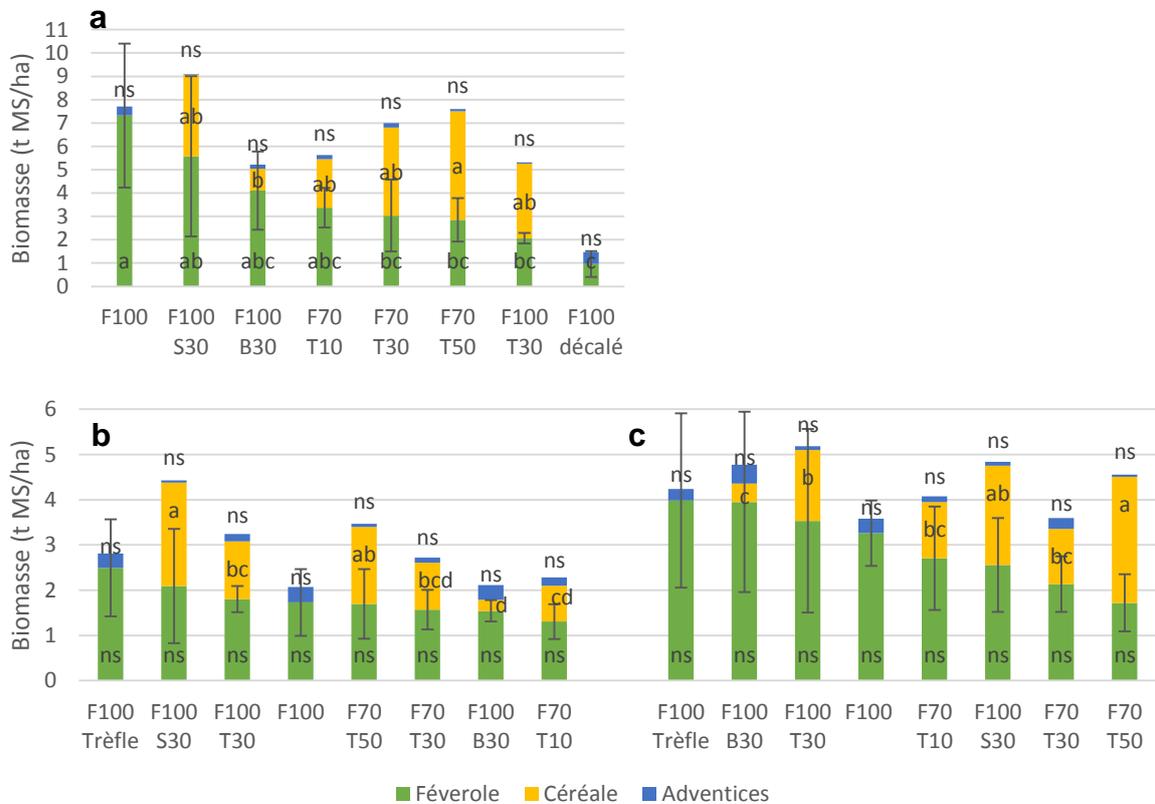


Figure 23 : Biomasse des composantes du couvert à pleine floraison de la FH a) à Kerguéhennec b) à Quéven c) à Trévarez

floraison, on n'observe plus de différences entre les modalités associées et la féverole pure, à l'exception de la F100 décalé qui était significativement moins couvrante avant floraison et l'est toujours à floraison avec 54% de sol non couvert par rapport à la féverole pure (Figure 22 a). On peut par ailleurs remarquer que sur les trois sites et à chaque mesure, les modalités F70 T10 et F100 B30 sont toujours dans le même groupe que la féverole pure, et que la F100 trèfle n'est jamais significativement différente de la F100.

En étudiant la production de biomasse des espèces du couvert et des adventices, on cherche à mettre en évidence des compétitions au sein de l'association, et vis-à-vis des adventices. Il n'y a pas de différence significative dans la production de biomasse de féverole entre la modalité pure et les autres modalités des essais en AB (Figure 23 b et c). Cependant, on remarque une tendance à Trévarez, où la féverole semée à 70% de sa densité et celle de la modalité F100 S30 produit moins de biomasse que dans les autres modalités (Figure 23 c). De plus, on remarque que les modalités n'ont jamais d'effet significatif sur la production de biomasse adventice. En moyenne celle-ci est de 0,2 t/ha dans chaque essai (Figure 23). La proportion d'adventices ne varie pas significativement d'une modalité à l'autre ; à l'exception de la modalité F100 décalé de Kerguéhennec, où la part d'adventices dans la biomasse totale est significativement plus importante que dans les autres modalités : 35% de la matière sèche totale dans la modalité semis décalé contre 2,5% en moyenne dans les autres modalités. On peut par ailleurs noter que la part d'adventices dans la biomasse totale est plus importante dans les sites en AB qu'à Kerguéhennec : 8,4% en moyenne à Quéven et 5% à Trévarez. A Kerguéhennec, la biomasse de féverole est significativement moins importante qu'en pur dans les modalités contenant 30% de triticales ou plus (Figure 23 a) et on observe cette tendance dans les autres modalités associées de Kerguéhennec.

Les mesures de hauteurs visent à mettre en évidence une compétition pour la lumière entre les espèces associées, et un effet de l'association sur la hauteur d'insertion de la première gousse. A Kerguéhennec, seule la modalité F100 décalé a une insertion de la première gousse significativement plus basse que la féverole pure et les autres modalités (Figure 24 a). A Quéven en revanche, la seule modalité qui diffère significativement de la féverole pure est l'association avec du seigle, où les hauteurs des féveroles et de l'insertion de la première gousse sont plus importantes : les féveroles sont plus hautes de 2 cm, mais la première gousse est insérée 13 cm plus haut qu'en culture pure (Figure 24 b). Enfin à Trévarez, il n'y a pas d'effet significatif des associations sur les hauteurs de plants ou d'insertion de la première gousse (Figure 24 c). On remarque néanmoins qu'il y a d'importantes différences de hauteurs des féveroles entre les sites (ex en féverole pure : 68,3 cm à Quéven, 106,1 cm à Kerguéhennec et 121,9 cm à Trévarez) (Figure 24).

Féverole de printemps

La couverture du sol est représentative de la capacité du couvert à être compétitif face aux adventices. A la levée, on observe peu de différences significatives entre les différentes modalités et la féverole pure. Il n'y a qu'à Quéven où l'on remarque que les deux modalités où la féverole est associée à l'orge sont significativement plus couvrantes que la féverole pure : jusqu'à 2 fois plus quand l'orge est semée à 20% (Figure 25 b). Les seuls résultats de couverture du sol disponibles entre la levée et la floraison sont ceux de Kerguéhennec. Pour ce site, l'association F100 O20 est la seule significativement plus couvrante que la féverole pure (Figure 25 a). A pleine floraison, on n'observe plus de différences significatives de couverture du sol entre les modalités de Kerguéhennec. Cependant, à Quéven, la féverole associée à l'orge à 20% couvre significativement 10% de sol de plus que la féverole pure, mais il n'y a pas de différences significatives entre les modalités associées (Figure 25 b). Enfin, à Trévarez, les modalités avec de l'avoine et de l'orge à 20% sont significativement plus couvrantes que la féverole pure et toutes les modalités associées sont bien plus couvrantes que la féverole pure (au moins 19% de couverture en plus) (Figure 25 c).

L'étude de la production de biomasse des espèces du couvert et des adventices peut

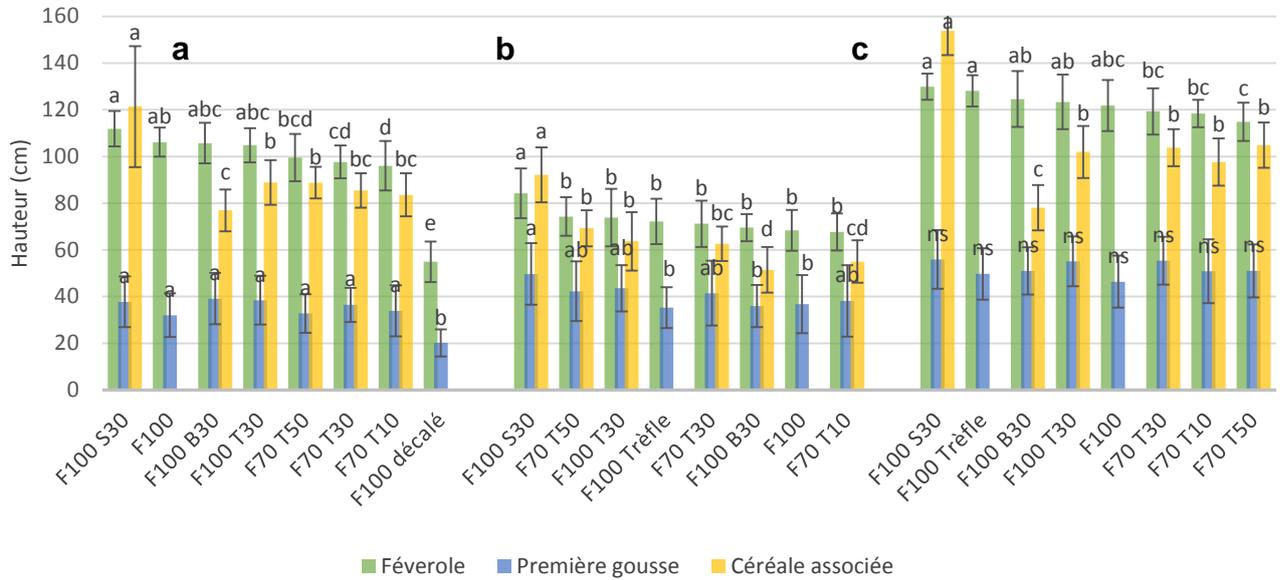


Figure 24 : Architecture du couvert de FH a) à Kerguéhennec, b) à Quéven, c) à Trévez

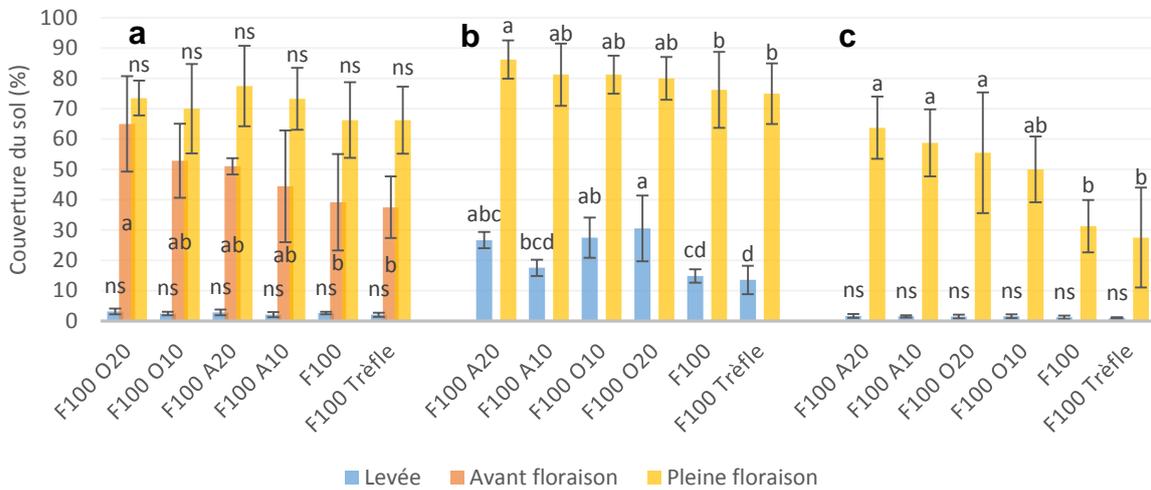


Figure 25 : Pouvoir couvrant des modalités de FP au cours du cycle cultural des essais blocs a) à Kerguéhennec b) à Quéven c) à Trévez

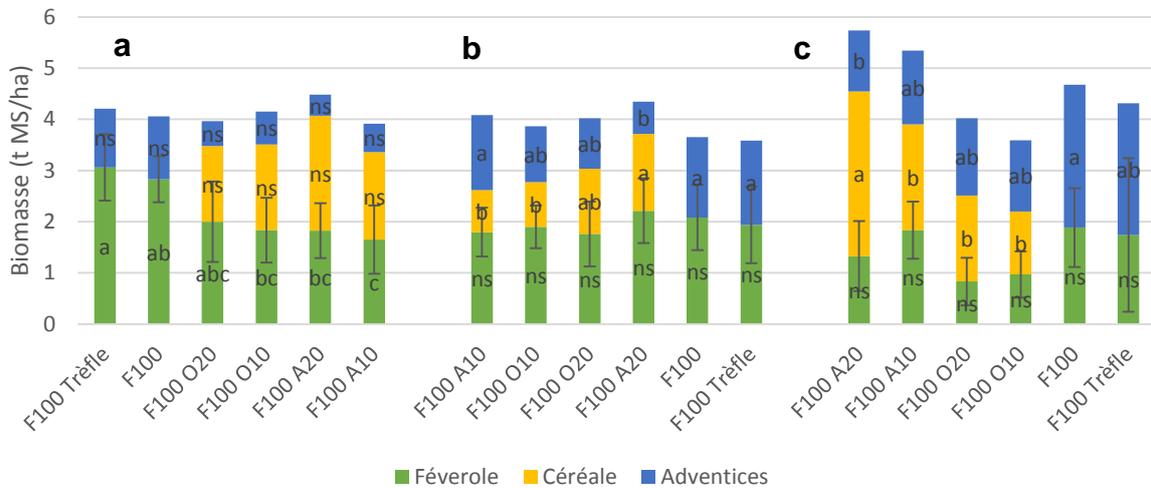


Figure 26 : Biomasse des composants du couvert à pleine floraison de la FP a) à Kerguéhennec b) à Quéven c) à Trévez

mettre en avant des compétitions au sein de l'association, et vis-à-vis des adventices. Il n'y a pas de différence dans la production de biomasse de féverole entre les différentes modalités sur les sites de Quéven et Trévarez (Figure 26 b et c). En revanche, les féveroles associées tendent à produire moins de biomasse qu'en pur et il n'y a pas de différence significative de production de biomasse de féverole dans les modalités associées (Figure 26). Par ailleurs, il y a des différences significatives de salissement dans les sites en AB uniquement. La production de biomasse adventice dans la modalité F100 A20 est significativement inférieure à celle observée en F100 dans les deux sites en AB (Figure 26 b et c). Enfin, à Quéven et à Trévarez, cette association est significativement plus compétitive vis-à-vis des adventices que la féverole pure : c'est dans cette association que la part d'adventices dans la biomasse totale est la plus faible (15% et 20% dans l'association contre 43% et 60% en pur). Dans l'essai bloc de Romillé, seules les mesures de biomasses ont été faites. Il n'y a pas de différences significatives entre les modalités ni sur la production de biomasse des espèces cultivées ou des adventices, ni sur la part de la biomasse adventice dans la biomasse totale produite.

Les mesures de hauteurs peuvent mettre en évidence des compétitions entre les espèces de l'association, et des effets de l'association sur la hauteur d'insertion de la première gousse. A Kerguéhennec, on observe des différences significatives de hauteur de féverole entre les modalités associées et la féverole pure (Figure 27 a), mais il s'agit de différences de 5,8 à 9,5 cm soit moins de 10% de la taille des plants. De même, à Trévarez, les différences significatives de hauteur de féverole correspondent à 6 cm de différence avec la féverole pure (Figure 27 c). On peut plutôt considérer que sur ces sites, les hauteurs de féverole sont similaires d'une modalité à l'autre. Par ailleurs, il n'y a pas de différences significatives de hauteur de féverole entre les modalités associées et la modalité de féverole pure à Quéven (Figure 27 b). Enfin, la même modalité se détache sur les trois sites quant à la hauteur d'insertion de la première gousse : elle est toujours significativement plus importante dans la F100 A20 que dans la féverole pure (de 7,5 à 11,5 cm plus haut) (Figure 27).

2) Gestion des maladies et ravageurs grâce aux associations

Féverole d'hiver

Les notations de maladies et ravageurs ont été effectuées avant et après floraison sur FH, sauf à Trévarez où la verse a empêché de faire les notations après floraison. On n'observe quasiment jamais d'effet de l'association sur la pression de maladies ou ravageurs.

Tous les essais de FH sont caractérisés par une forte présence de sitones de la fin du mois de mars jusqu'au mois de juin. Avant la floraison, le seuil de 10 encoches par dernière feuille étalée est largement dépassé, mais la pression diminue après la floraison, et on compte alors 5 à 9 encoches par dernière feuille. On observe très peu de pucerons noirs sur les essais.

A Kerguéhennec, les premières taches de botrytis apparaissent fin mars mais son développement n'est devenu préoccupant qu'en mai, ce qui a entraîné le déclenchement du premier traitement fongicide (Annexe III). Avant cela, moins de 10% de la surface foliaire présentait des symptômes, sur 85 à 95% des plants, sauf pour la modalité de féverole semée en décalé qui était moins touchée : 50% des plants présentaient des symptômes. Après floraison en revanche, il n'y a plus de différences entre les modalités et toutes les plantes sont touchées par la maladie à hauteur de 20% de la surface foliaire. On note l'apparition de la rouille mi-juin, sans différence entre les modalités, ce qui entraîne le déclenchement du deuxième traitement fongicide (Annexe III). Sur les essais en AB, le botrytis apparaît également à la fin du mois de mars, mais bien que 85 à 100% des plantes soient touchées, moins de 10% de la surface foliaire présente des taches brunes en avril. En juin cependant, la maladie a gagné 100% des plants et touche, en moyenne, 40% de la surface foliaire. Dans le même temps, on constate la présence de mildiou et de rouille sur toutes les modalités. A Quéven, le mildiou touche la moitié des plants sans différence entre les modalités, et la rouille 65%, à l'exception de l'association féverole et seigle où 10% des plants seulement sont touchés par la maladie.

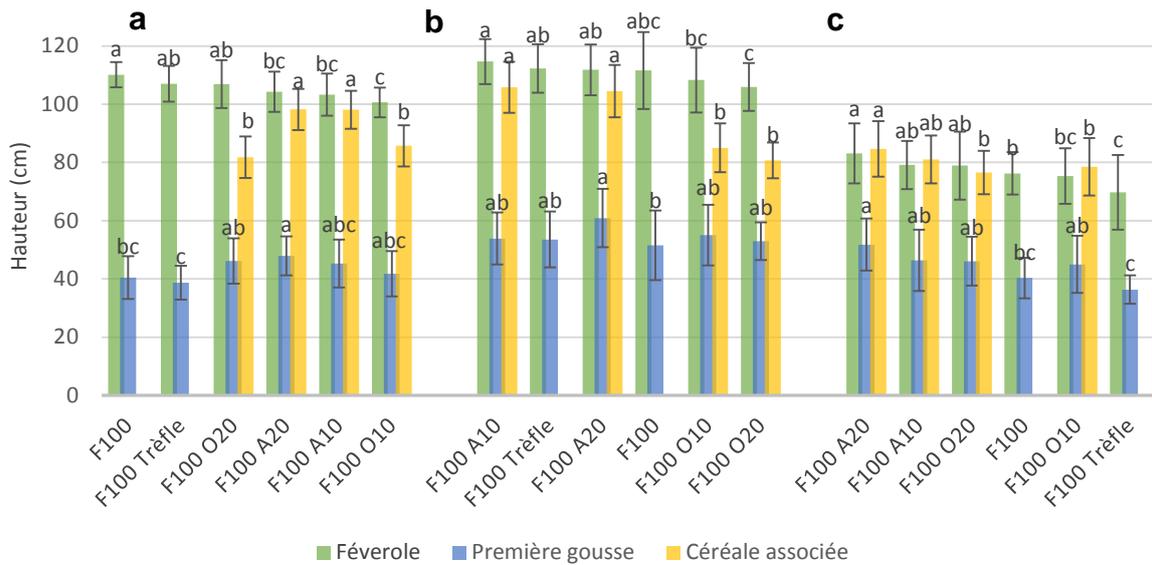


Figure 27 : Architecture du couvert de FP a) à Kerguéhennec, b) à Quéven, c) à Trévarez

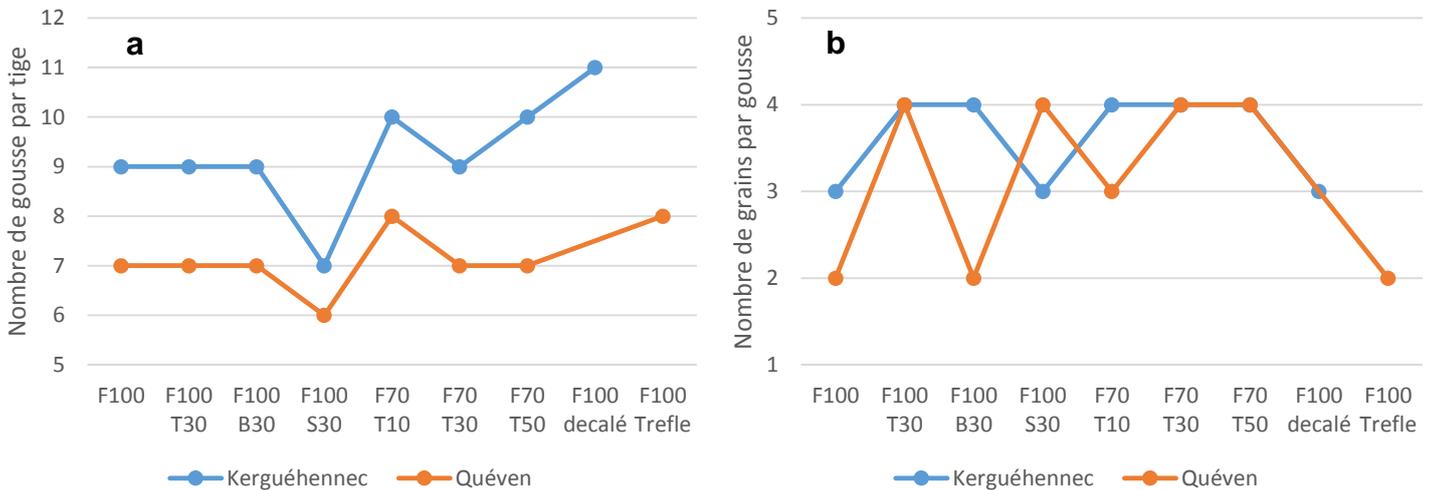


Figure 28 : a) Nombre de gousse par tige et b) Nombre de grains par gousse pour chaque modalité de FH des sites de Kerguéhennec et Quéven

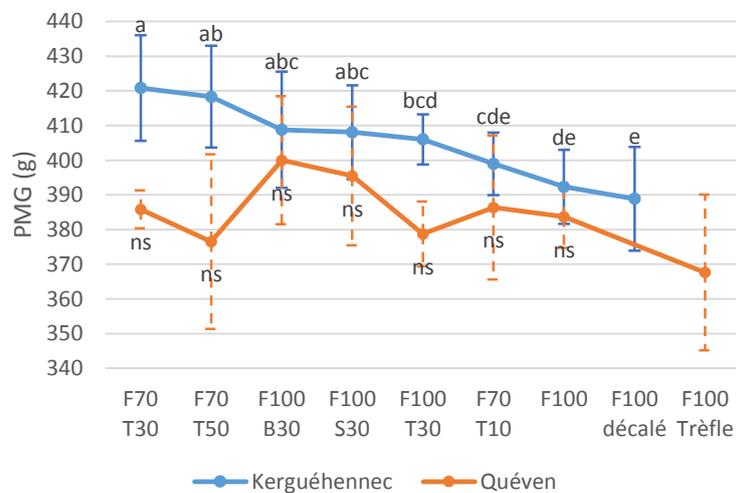


Figure 29 : Poids de mille grains à 14% d'humidité pour chaque modalité de FH des sites de Kerguéhennec et Quéven

Féverole de printemps

Les notations de ravageur sur FP ont été faites à la fin de la floraison et les notations de maladies après floraison. On n'observe jamais d'effet de l'association sur la pression de maladies ou ravageurs. Les sitones sont présentes dès la levée sur les trois sites. En revanche, on compte moins d'encoques sur la dernière feuille étalée à Quéven qu'à Kerguéhennec et Trévarez : 5 à 9 encoques à Quéven mais plus de 10 ailleurs. Comme sur les FH, on n'observe presque pas de pucerons noirs.

Que ce soit à Kerguéhennec, Quéven ou Trévarez, on n'observe pas de maladie avant le mois de juin. Le botrytis touche rapidement toutes les modalités mais reste moins étendu à Kerguéhennec et Quéven (moins de 10% de la surface foliaire atteinte) qu'à Trévarez (jusqu'à 15% de surface foliaire avec des symptômes). Sur les essais en AB, le mildiou touche un peu moins de la moitié des plants quand plus de 60% des plants sont touchés en AC. En revanche, la présence de la rouille a déclenché un traitement de fongicide à Kerguéhennec avant que toutes les plantes ne présentent des symptômes (Annexe IV) tandis que la totalité des plants ont été touchés par la maladie à Quéven et Trévarez.

C) Elaboration du rendement de la féverole d'hiver

Nous ne disposons pas des éléments nécessaires à la mise en place d'une analyse des composantes du rendement (ACR). Il manque en particulier les données de rayonnement reçu par les cultures sur les sites expérimentaux, ce qui empêche le calcul du rendement potentiel, à la base de l'ACR. En revanche, il nous est possible de comparer les rendements obtenus entre eux et de les confronter aux données de rendements de la campagne précédente ainsi qu'aux données disponibles dans la bibliographie. Nous commenterons également les données de PMG, de nombre de gousse par tige et de nombre de grains par gousse car ce sont les composantes qui affectent directement le rendement grains (Aziz *et al.*, 2013). Le nombre de gousse par plant peut être relié aux conditions de floraison et le nombre de grains par gousse et le PMG aux conditions de remplissage des gousses et des grains. Nous aborderons également la levée et le nombre de tiges par m². Nous disposons de toutes ces données pour les sites de Kerguéhennec et de Quéven, la féverole d'hiver de Trévarez n'ayant pas pu être récoltée à cause d'un décalage de la récolte causé par les pluies du moins d'août à l'origine d'un salissement trop important. Par ailleurs, on ne traitera pas de l'élaboration du rendement la FP par la suite, les données de rendement n'étant pas disponibles au moment de la rédaction.

La levée a été bonne dans tous les sites, avec très peu de pertes par gel : 90 à 100% des plants étaient présents en sortie d'hiver dans toutes les modalités, excepté la F100 décalé où l'on comptait 25% des plants levés en février. Les céréales associées ont toutes également bien levée en AC, mais en AB, la levée du blé est très faible, si bien que le nombre de plants présents correspond à 6% de la densité en pur à Quéven et 9% à Trévarez, en lieu des 30% semés. Par ailleurs, dans les modalités F100 trèfle, le trèfle ne s'est jamais développé. Par la suite, à Kerguéhennec, on dénombrait 38 tiges fertiles/m² à maturité dans la modalité F100 contre 22 en moyenne pour le reste des modalités, soit significativement plus que dans les autres modalités. Dans la modalité F100 décalé, grâce au branchage des pieds, on comptait 19 tiges fertiles/m² à maturité, ce qui correspond à 63% de la densité de semis. A Quéven, la F100 a significativement plus de tige/m² que la modalité F70 T50 seulement. Comme à Kerguéhennec, la F100 est une des modalités qui a le plus branché : 55 tiges/m².

On observe des tendances communes à Kerguéhennec et Quéven quant au nombre de gousses par tige, bien qu'il y ait toujours moins de gousses par tige à Quéven. La modalité F100 S30 présente le moins de gousse et la modalité F70 T10 en a plus que la féverole pure (Figure 28 a). Par ailleurs les modalités F100 T30, F70 T30 et F100 B30 ont autant de gousses par tige que la féverole pure. La modalité F100 décalé de Kerguéhennec a plus de

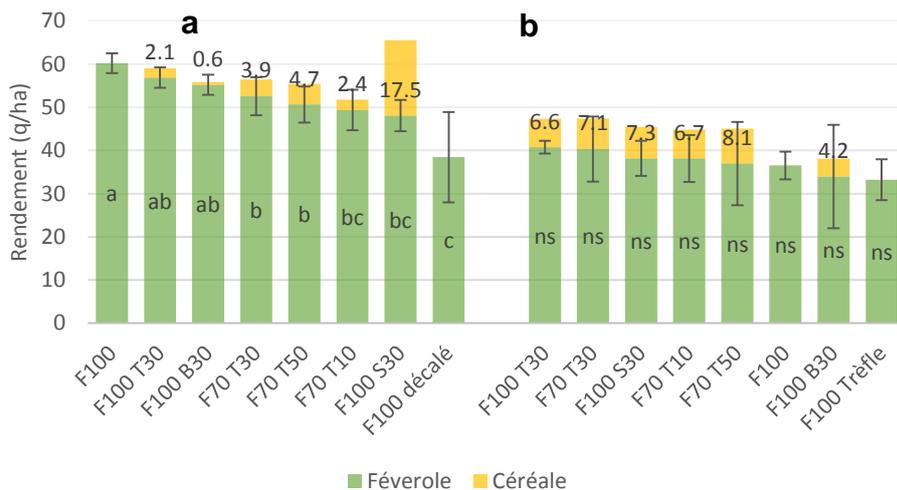


Figure 30 : Rendements de la féverole d'hiver, à 14% d'humidité, et de la céréale associée, à 15% d'humidité pour chaque modalité des sites a) de Kerguéhennec et b) de Quéven

Tableau 6 : Marge semi nette dégagée dans chaque cas (AC en rose et AB en jaune)

	Féverole 60,2 q/ha	Blé 78 q/ha	Féverole 56,9 q/ha Triticale 2,11 q/ha	Féverole 36,5 q/ha	Blé 40 q/ha	Féverole 40,7 q/ha Triticale 6,58 q/ha
Charges (€/ha)	436,98	650,35	558,40	480,37	369,37	591,47
Produit + PAC (€/ha)	1334,06	1323,45	1297,24	1491,70	1120,00	1836,67
MSN (€/ha)	897,08	673,10	738,85	1011,33	750,63	1245,20

gousse que toutes les autres modalités, et la modalité F70 T50 de Kerguéhennec a plus de gousse que la féverole pure tandis qu'à Quéven, elle en a autant.

En observant le nombre de grains par tige en revanche, on constate moins de points communs entre les deux sites (Figure 28 b). A Kerguéhennec, on remarque que le nombre de grains par gousse varie peu entre les modalités. Les modalités F100, F100 décalé et F100 S30 ont 3 grains par gousse en moyenne quand les autres modalités en ont 4. A Quéven, le nombre de grains par gousse peut varier du simple au double selon la modalité. Les modalités de féverole pure (F100 et F100 trèfle) sont, comme à Kerguéhennec, celles présentant le moins de grains par gousse. Cependant, la modalité F100 S30 fait ici partie de celles dont le nombre de grains par gousse est le plus élevé, et c'est la F100 B30 qui appartient au groupe ayant le moins de grains par gousse. Les autres modalités présentent 4 grains par gousse, comme à Kerguéhennec, excepté F70 T10 qui est intermédiaire avec 3 grains par gousse.

Les PMG sont généralement plus importants à Kerguéhennec qu'à Quéven (Figure 29). A Quéven, il n'y a pas de différence significative du PMG entre les modalités. A Kerguéhennec, la modalité F100 présente un des PMG les plus faibles (392 g) et la moitié des modalités a un PMG significativement plus important (de 16 à 29 g de plus). La modalité F100 décalé présente le PMG le plus faible (389 g).

Les rendements de féverole sont meilleurs en AC qu'en AB (Figure 30). A Quéven, il n'y a pas de différences significatives entre les rendements des différentes modalités. Ces derniers sont compris entre 40,7 et 33,2 q/ha (Figure 30 b). A Kerguéhennec en revanche, la F100 présente le meilleur rendement (60,2 q/ha) qui est significativement plus important que celui des modalités où la féverole est semée à 70% ainsi que des modalités F100 S30 et F100 décalé (52,6 à 38,5 q/ha) (Figure 30 a). Par ailleurs, il n'y a pas de différences entre les blocs traités et le bloc non traité.

D) Analyse économique

1) Analyse à l'échelle de la parcelle

Dans cette simulation, nous nous baserons sur les itinéraires techniques pratiqués sur les essais PROGRAILIVE, adaptés à l'espèce étudiée (blé, féverole ou association) et à un précédent maïs. On comparera l'intérêt de remplacer 1 ha de blé par 1 ha de féverole pure ou associée à du triticale semé à 30%, car c'est l'association qui a donné les meilleurs résultats et pour laquelle on a l'ensemble des données économiques nécessaires. La comparaison se basera sur la marge semi nette dégagée dans chacun des cas. On ne prend en compte que les aides PAC liées à la présence de protéagineux, à hauteur de 112 €/ha. Les aides liées à l'AB ne sont pas utilisées ici car l'objectif n'est pas de comparer l'AB et l'AC mais de comparer chaque production au sein d'un type d'agriculture. Nous nous situerons dans un contexte où l'ensemble de la production est destinée à la vente.

Que ce soit en AB ou en AC, il est plus intéressant de remplacer le blé par de la féverole, pure ou associée (Tableau 6). En AC, le cas le plus intéressant est de substituer le blé par de la féverole pure. Cela permet un gain de 223,98 €/ha contre 65,75 €/ha en remplaçant le blé par une association F100 T30. Cela s'explique principalement par le surcoût lié au tri. En effet, à rendement de féverole équivalent et sans prendre en compte les charges de tri, l'association coûte moins de 3 €/ha de plus qu'une féverole pure, mais ce coût s'élève à plus de 90 €/ha une fois le tri pris en compte. En AB en revanche, il est plus intéressant de remplacer du blé par une association F100 T30. En effet, la MSN est améliorée de 850,17 €/ha contre 616,30 €/ha en remplaçant le blé par une féverole pure. De plus, on observe la même tendance à rendement de féverole équivalent : l'association permet de gagner plus de 80 €/ha de plus qu'avec de la féverole pure, et ce en prenant en comptes les charges de tri. Cette différence par rapport à l'AC s'explique par un prix de vente du triticale plus élevé en AB, et un rendement de triticale meilleur en AB qu'en AC sur cette campagne.

Tableau 7 : Ecart entre les MSN du blé et de la féverole en AC selon leur prix de vente

		Blé 76,5 q/ha							
Prix vente (€/t)		100	120	140	150	170	190	210	240
Féverole 60.2 q/ha	130	343	190	37	-40	-193	-346	-499	-768
	150	463	310	157	81	-72	-225	-378	-647
	170	584	431	278	201	48	-105	-258	-527
	190	704	551	398	322	169	16	-137	-406
	210	825	672	519	442	289	136	-17	-286
	230	945	792	639	562	409	256	103	-166
	250	1065	912	759	683	530	377	224	-45
Féverole + Triticale 56,9 q/ha + 2,11q/ha	130	252	99	-54	-131	-284	-437	-590	-859
	150	372	219	66	-10	-163	-316	-469	-738
	170	493	340	187	110	-43	-196	-349	-618
	190	613	460	307	230	77	-76	-229	-498
	210	733	580	427	351	198	45	-108	-377
	230	854	701	548	471	318	165	12	-257
	250	974	821	668	592	439	286	133	-136

Tableau 8 : Ecart entre les MSN du blé et de la féverole en AB selon leur prix de vente

		Blé 27,3 q/ha								
Prix vente (€/t)		170	200	230	260	290	300	330	360	390
Féverole 36,5 q/ha	190	230	149	67	-15	-97	-124	-206	-288	-370
	210	303	222	140	58	-24	-51	-133	-215	-297
	220	340	258	176	94	12	-15	-97	-179	-261
	230	376	295	213	131	49	22	-60	-142	-224
	240	413	331	249	167	85	58	-24	-106	-188
	250	449	368	286	204	122	95	13	-69	-151
	260	486	404	322	240	158	131	49	-33	-115
	270	522	441	359	277	195	168	86	4	-78
	280	559	477	395	313	231	204	122	40	-42
	290	595	514	432	350	268	241	159	77	-5
	300	632	550	468	386	304	277	195	113	31
	390	960	879	797	715	633	606	524	442	360
Féverole + Triticale 40,7 q/ha + 6,58 q/ha	190	306	224	142	60	-22	-49	-131	-213	-295
	210	342	260	178	96	14	-13	-95	-177	-259
	220	379	297	215	133	51	24	-58	-140	-222
	230	415	333	251	169	87	60	-22	-104	-186
	240	452	370	288	206	124	97	15	-67	-149
	250	488	406	324	242	160	133	51	-31	-113
	260	525	443	361	279	197	170	88	6	-76
	270	561	479	397	315	233	206	124	42	-40
	280	598	516	434	352	270	243	161	79	-3
	390	634	552	470	388	306	279	197	115	33

Avec les hypothèses de prix considérés, il est plus intéressant de remplacer le blé par de la féverole. Cependant, cela dépend des prix de vente de ces deux cultures. En AC comme en AB, un contexte où le prix de vente du blé est faible et celui de la féverole est fort est favorable à la culture de la féverole. En AC, tant que le blé est vendu à moins de 150 €/t, il est plus intéressant de cultiver de la féverole, tandis qu'à 240 €/t, il est plus intéressant de cultiver du blé, avec les rendements considérés (Tableau 7). Il en va de même pour l'association F100 T30, qui est plus intéressante que le blé tant que celui-ci est vendu à moins de 140 €/t. En AB, on compte plus de contextes favorables au remplacement du blé par la féverole pure ou associée que de contextes favorables au maintien du blé (Tableau 8). A partir de 300 €/t pour la féverole pure et 280 €/t pour l'association, il est toujours plus intéressant de remplacer le blé par de la féverole. De même, lorsque le blé est vendu en deçà de 250 €/t, il est plus intéressant de produire de la féverole pure, et il est même plus intéressant de cultiver de la féverole associée au triticale dès que le blé est vendu à moins de 280 €/t.

2) Analyse à l'échelle de l'exploitation

Systeme en AC

Dans le cas concret qui sert de base à l'étude, le cheptel compte 50 vaches laitières (VL). L'assolement est composé de 18 ha de blé produisant 78 q/ha (Maigret *et al*, 2015) vendus intégralement et de 22 ha de prairies et 20 ha de maïs ensilage pour l'autoconsommation. Les VL reçoivent chacune 700 kg de tourteau de soja par an en tant que correcteur azoté. La rotation dans laquelle est intégré le blé dure deux ans (Figure 31 a). On fera référence à ces conditions sous la mention d'état initial par la suite.

Afin d'estimer l'intérêt qu'aurait cet agriculteur à intégrer de la féverole en remplacement d'une partie de son blé, nous testerons deux scénarii : le scénario 1 correspond à l'introduction d'une féverole pure dans la rotation, destinée à remplacer le soja dans l'alimentation du cheptel. Dans le scénario 2, on considère l'introduction d'une féverole associée à du triticale semé à 30% de sa densité pure. La féverole est toujours destinée au troupeau en remplacement du soja, et le triticale est destiné à la vente. Dans les deux scénarii, le blé produit est toujours intégralement vendu. Pour construire ces scénarii, nous allons modifier les paramètres suivants : surface conduite en blé, surface conduite en féverole et quantité de soja acheté. Le délai de retour entre deux féveroles étant de 5 ans, il faut modifier la rotation initiale (Figure 31 a). Au maximum, on peut introduire de la féverole sur un cinquième de la surface disponible pour cette rotation (36 ha au total) soit 7,2 ha et garder 10,8 ha de blé car l'agriculteur doit garder sa surface de maïs inchangée pour que l'alimentation de son troupeau ne soit pas modifiée (Figure 31 b). La quantité de soja à acheter se fera de sorte à compléter l'apport permis par la féverole produite, d'après la règle de substitution pour les VL présentée par Brunschwig (2002) : 1 kg de tourteau de soja = 2,5 kg de féverole. Les charges et produits considérés pour chaque culture sont ceux présentés dans la partie précédente, à l'exception des charges opérationnelles pour le blé dans les scénarii 1 et 2. En effet, le blé suivant la féverole est moins fertilisé (90 unités azote contre 130 après un maïs), les coûts liés à la fertilisation du blé sont donc moindres à l'échelle de l'assolement. Afin de comparer les scénarii à l'état initial, on étudiera la variation de MSN due aux changements effectués dans l'assolement, toute chose égale par ailleurs, en considérant également la variation de l'autonomie protéique occasionnée par ces changements.

Les scénarii testés ne sont pas plus intéressants d'un point de vue économique puisqu'ils entraînent tous deux une perte d'argent par rapport à l'état initial, mais leur MSN reste positive (Tableau 9). Par ailleurs, ils permettent d'assurer une réelle augmentation de l'autonomie protéique de l'élevage en permettant d'éviter d'acheter 47 à 50% de la quantité de soja utilisée initialement (Tableau 9). Dans le scénario 1, il faudrait une surface de féverole de 14,5 ha pour atteindre une autonomie protéique complète, tandis qu'il faudrait 15,4 ha de féverole associée au triticale pour que l'éleveur soit autonome dans le scénario 2. Pour que l'éleveur envisage de mettre en place l'un de ces scénarii, il faut que les autres ateliers de l'exploitation permettent de compenser la perte occasionnée par le remplacement du blé

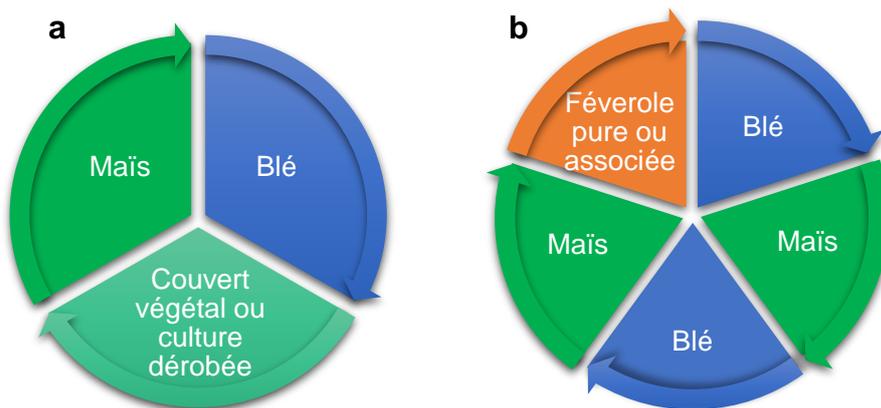


Figure 31 : a) Rotation initiale, b) Rotation des scenarii 1 et 2, le couvert d'interculture entre blé et maïs n'est pas représenté pour plus de lisibilité

Tableau 9 : Comparaison de l'effet des scenarii sur la MSN et l'autonomie protéique en AC

	Etat initial	ScENARIO 1	ScENARIO 2
MSN (€/an)	1347,9	357,29	32,57
Evolution de la MSN par rapport à l'état initial (€/an)		-990,61	-1315,33
Autonomie protéique	0%	50%	47%

Tableau 10 : Comparaison de l'effet des scenarii sur la MSN et l'autonomie protéique en AB

	Etat initial	ScENARIO 1	ScENARIO 2
MSN (€/an)	2696,78	-414,89	1059,66
Evolution de la MSN par rapport à l'état initial (€/an)		-3111,67	-1637,12
Autonomie protéique	100%	0%	100%

par la féverole ou l'association.

Système en AB

Dans le cas concret qui sert de cadre à l'étude, les exploitants possèdent un troupeau de 65 VL. L'assolement est composé de 7 ha de maïs ensilage, 56 ha de prairies et 7 ha de mélange de céréales et de protéagineux. Toute la production est autoconsommée. Les VL reçoivent 98 kg de tourteau de soja par an. Pour l'étude de ce cas, on fera la démarche inverse de celle effectuée pour le système en AC. En effet, ce cas correspond déjà à l'objectif final qui est de cultiver du protéagineux en association pour l'alimentation du troupeau. On se demandera ici s'il est plus intéressant *a posteriori* pour les exploitants de s'être tournés vers ce choix de culture, par rapport à deux scénarii : le scénario 1 où l'on remplace la production du mélange de céréales et protéagineux par du blé, destiné à la vente, et le scénario 2 où l'on remplace le mélange par une culture de féverole pure, destinée à remplacer le soja. Ces deux scénarii impliquent l'achat de mélange de céréales et protéagineux pour garder la même ration que dans l'état initial. Afin de pouvoir comparer les deux scénarii au cas initial, on considérera que le mélange produit correspond à l'association F100 T30 mise en place dans les essais PROGRAILIVE et on en modifiera le débouché. On considérera que le mélange produit est trié, que le triticale est vendu et que la féverole est gardée comme concentré en remplacement du soja. Ainsi, dans les trois cas, l'exploitant doit acheter la même quantité de mélange céréalier afin d'avoir toujours une ration équilibrée pour ses VL. La rotation initiale n'est pas fondamentalement modifiée, car elle est suffisamment longue pour respecter le délai de retour entre deux féveroles : elle dure 9 ans soit 7 ans de prairies temporaires suivis d'un an de maïs et d'un an d'association culturale. Selon le scénario étudié, on remplace l'association par la féverole pure ou le blé.

Les deux cas où l'on introduit de la féverole dans la rotation permettent d'atteindre une MSN positive. Cela s'explique en partie par une surproduction de féverole par rapport à la quantité nécessaire pour couvrir les besoins protéique du troupeau, de l'ordre de 12,5 t à l'état initial et 9,6 t dans le scénario 2. Ce sont également les deux cas où l'autonomie protéique est atteinte (Tableau 10). De plus, la MSN est la plus élevée lorsque la féverole est cultivée avec du triticale. Cela confirme *a posteriori* que les exploitants ont eu raison de se tourner vers la culture de mélange protéagineux-céréale.

Discussion

A) Caractérisation climatique des essais de la campagne 2016-2017

En février, les températures plus élevées que la moyenne sur les trois sites, et la pluviométrie bien plus importante que les mois précédents créent un contexte favorable à la reprise de la végétation de la FH en sortie d'hiver, le léger manque de précipitations à Trévarez est peu préjudiciable car la féverole est peu exigeante en eau en début de cycle (Lartigot *et al.*, 2016). Cependant, les gelées d'avril intervenant au début de la floraison de la FH et à la levée de la FP. Cela a occasionné l'avortement des fleurs de FH déjà sorties et explique pour partie les pertes à la levée des FP de Trévarez. L'importante pluviométrie relevée en mai à Kerguéhennec et Trévarez a permis une bonne alimentation hydrique des FH sur ces sites lors de la floraison, où la féverole est le plus exigeante en eau (Lartigot *et al.*, 2016). Le manque de précipitation sur la fin du cycle à Quéven peut être préjudiciable sur l'élaboration du rendement, tandis qu'à Trévarez, la bonne réserve utile du sol peut permettre de limiter l'impact du manque de précipitations. Les précipitations moindres et les températures plus importantes relevées à Quéven peuvent être défavorable à la FP également et entraîner une perte de rendement, tandis qu'à Kerguéhennec, les conditions climatiques ont été plus favorables à la FP entre avril et juin grâce à la pluviométrie plus importante en mai et juin.

B) Effets des associations sur l'architecture du couvert et la gestion des bioagresseurs

Féverole d'hiver

La modalité F100 décalé a toujours de moins bons résultats que les autres modalités. Cela est dû à son implantation dans de mauvaises conditions : le gel a empêché un semis suffisamment profond et des périodes de gel lors de la levée expliquent que 25% des plantes étaient présentes en sortie d'hiver. C'est pourquoi cette modalité était moins couvrante que les autres modalités, donc moins compétitive face aux adventices. De plus, le décalage de semis a amplifié ce manque de compétitivité car le couvert était toujours moins développé que dans les autres modalités lors de la floraison, c'est pourquoi les féveroles de cette modalité avaient produit le moins de biomasse à floraison, étaient les plus petites et avaient les premières gousses insérées à 20 cm seulement.

Dans les modalités F100 trèfle, le trèfle ne s'est pas développé. On peut donc considérer que cette modalité correspond à de la féverole pure. Cela explique qu'il n'y ait pas de différence significative entre ces deux modalités.

En début de cycle, le triticale est couvrant, mais il est intéressant de le mettre à une forte densité pour être certain d'avoir une couverture du sol importante. A noter que les modalités F70 T50 et F100 T30, qui font partie des modalités les plus couvrantes en sortie d'hiver, ne sont jamais significativement différentes : la hausse de densité de semis du triticale compense la baisse de densité de semis de la féverole et inversement. Un mois avant la floraison, on n'observe plus de différence de pouvoir couvrant entre la féverole pure et les autres modalités de Trévarez car la couverture du sol est déjà très importante comparé aux autres sites : 78% du sol est couvert par la féverole pure à Trévarez contre 32% à Quéven. Cela est probablement dû aux caractéristiques du sol de Trévarez qui ont été favorables au bon développement des cultures. Cela explique également que les féveroles soient toujours plus hautes à Trévarez. Sur les autres sites, le seigle continue d'assurer une bonne amélioration de la couverture du sol, comme en sortie d'hiver, de même que le triticale, en particulier associé à de la F100. Ce sont des céréales rustiques qui complètent efficacement la couverture du sol de la féverole pure jusqu'à sa floraison, où elle est alors suffisamment développée pour rattraper les modalités les plus couvrantes, ce qui se confirme avec les mesures de biomasses.

D'un point de vue général, la modalité F70 T10 permet d'assurer une couverture du sol similaire à la féverole pure, mais le triticale est semé en trop faible densité pour améliorer significativement la couverture du sol de la culture pure. L'association avec du blé n'est jamais significativement différente de la féverole pure. Cela s'explique dans les essais en AB en partie par la mauvaise levée du blé (22% de la densité semée à Quéven et 31% à Trévarez). Cependant, la levée a été bonne à Kerguéhennec (94%). On peut supposer que la féverole ait « étouffé » le blé. En effet, le blé ne représente que 18,6% de la biomasse cultivée quand le triticale correspond à 32% de la biomasse de la modalité F100 T30 (soit à modalité équivalente), et c'est également la céréale la plus petite de toutes celles testées, ce qui peut la rendre moins compétitive que les autres pour l'accès à la lumière et expliquer sa présence en moindre quantité dans l'association.

L'effet de l'association sur la hauteur d'insertion de la première gousse a un intérêt limité, puisqu'elles sont insérées à plus de 30 cm dans toutes les modalités de tous les sites, (excepté pour la F100 décalé), ce qui est suffisant pour récolter dans de bonnes conditions. Cependant, les différences de hauteurs par rapport à la féverole pure mettent en évidence une compétition pour l'accès à la lumière entre la féverole et le seigle, qui est la céréale la plus haute testée. Cette tendance à la compétition s'observe également avec les mesures de biomasses puisque le seigle produit beaucoup de biomasse. Les mesures de biomasses ont également mis en avant une tendance à la compétition entre la féverole et le triticale pour les

mêmes raisons, en particulier lorsque la féverole est semée à 70%, car la baisse de densité de semis diminue sa compétitivité face à la céréale.

Féverole de printemps

Dans les modalités F100 trèfle, le trèfle ne s'est pas développé. On peut donc considérer que cette modalité correspond à de la féverole pure. Cela explique qu'il n'y ait pas de différence significative entre ces deux modalités, à l'exception de la hauteur des féveroles à Trévarez, auquel cas cela illustre la variabilité qui peut être observée en F100.

Les observations à Quéven montrent que l'orge est bien couvrante en tout début de cycle, mais au bout de quelques semaines et lorsque la levée de la féverole est bonne, comme à Kerguéhennec et Quéven, il n'y a pas de modalité qui se distingue en particulier pour sa capacité à couvrir le sol. En revanche, il y a eu d'importants problèmes de levée de la féverole à Trévarez : l'implantation n'a pas pu être assez profonde, il n'a que très peu plus sur la période qui a suivi le semis et il y a eu des gelées blanches lors de la levée. Ainsi, le taux de levée varie de 62 à 93% de levée selon les modalités, tandis que toutes les céréales ont parfaitement levé. Au vu des différences de couverture de sol à floraison, on peut penser que dans les modalités associées, la céréale a compensé la perte de couverture due à la mauvaise levée de la féverole. Par ailleurs, à Kerguéhennec, on n'observe plus de différences significatives à pleine floraison car la mesure a été faite plus tardivement qu'à Quéven et Trévarez (1 et 3 semaine plus tard par rapport à la date de semis), ce qui a laissé plus de temps à la féverole pour se développer et permettre une meilleure couverture du sol.

Cependant, si aucune association ne se distingue des autres par sa capacité à couvrir le sol, les mesures de biomasses montrent qu'en AB, l'association F100 A20 semble être un levier efficace pour lutter contre le développement des adventices. Cela n'est pas observé à plus grande échelle dans l'essai bandes de Romillé, ce qui est vraisemblablement dû à la densité de semis de la féverole différente de celle des essais blocs (60 grains/m² à Romillé et 40 grains/m² dans les essais blocs). Cela a rendu la féverole plus compétitive face à la céréale, et le couvert ainsi semé est plus dense, ce qui a limité le développement d'adventices et explique qu'il n'y ait pas d'effet de l'association sur la proportion de biomasse adventice dans la biomasse totale contrairement aux essais blocs en AB.

En AC, le traitement herbicide a été efficace, ainsi les modalités n'ont pas d'effet sur la part d'adventices dans la biomasse totale. Par ailleurs, on peut remarquer une tendance à la compétition entre la féverole et la céréale qui lui est associée à Kerguéhennec, compétition qui joue en défaveur de la féverole qui produit alors moins de biomasse qu'en pur. Les mesures de hauteurs mettent également en avant de la compétition entre la féverole et la céréale qui lui est associée, en particulier dans la modalité F100 A20. En effet, dans cette modalité, la première gousse de la féverole est insérée plus haut qu'en culture pure, ce qui indique qu'à partir de cette densité l'avoine et la féverole entrent en compétition pour la lumière ce qui induit une insertion plus haute des gousses. De plus, on peut penser que l'avoine est plus compétitive que l'orge car cet effet n'est pas observé dans l'association F100 O20. Par ailleurs, comme dans les essais de FH, l'effet de l'association sur la hauteur n'est pas intéressant, puisque les gousses les plus basses sont situées à 36 cm sur la tige, ce qui n'est pas déroutant pour récolter dans de bonnes conditions.

C) Elaboration du rendement de la féverole d'hiver

On dénombre moins de gousses par tige à Quéven qu'à Kerguéhennec. Cela peut s'expliquer par les conditions pédoclimatiques de chaque essai. En effet, les féveroles de Quéven ont subi des conditions plus sèches et plus chaudes qu'à Kerguéhennec lors de la floraison. De plus, le sol de Quéven est plus ressuyant, ce qui peut d'autant plus pénaliser l'alimentation hydrique des féveroles et expliquer ce nombre de gousses inférieur à Quéven. Par ailleurs, dans un même site, la variation du nombre de gousses est de l'ordre d'une à deux

gousses d'une modalité à l'autre, ce qui est minime. On peut cependant penser que le seigle est très compétitif ce qui a limité le nombre de gousses par tige de la féverole. Au contraire, le triticale semé à 10% n'entre pas en compétition avec la féverole, qui est également semé à une moindre densité dans cette modalité ce qui limite également la compétition entre les plants de féverole et explique qu'on observe une gousse de plus qu'en pure. Enfin, la modalité F100 décalé présente le plus de gousses, qui peut s'expliquer par une moindre compétition entre l'appareil végétatif et l'appareil reproducteur des plantes, étant donné que les plants de cette modalité étaient moins développés que ceux des autres modalités à la même période (Figures 23 et 24). Au vu des rendements obtenus à Kerguéhennec et Quéven, on peut penser que les maladies n'ont pas été préjudiciables sur l'élaboration du rendement, d'autant plus que les rendements ne sont pas différents entre le bloc n'ayant pas reçu de fongicides et les blocs traités.

Les rendements obtenus à Kerguéhennec sont bons. En effet, les rendements de la campagne précédente étaient compris entre 42,7 et 32,9 q/ha, ce qui était considéré comme correct (Cocoual, 2016) et sur la même période, les essais variété de Terres Inovia ont donné une moyenne de 47 q/ha (Lartigot *et al.*, 2016). Seule la modalité F100 décalé est inférieure à ce rendement, avec 38,5 q/ha produits, mais reste dans les rendements moyens, tandis que la féverole pure présente parmi les rendements maximum atteignables (Lartigot *et al.*, 2016).

La féverole pure a donné le meilleur rendement de l'essai. Cela peut s'expliquer par le branchage plus important que dans les autres modalités qui a permis de compenser des données de composantes de rendement souvent inférieures aux autres modalités. On peut expliquer le plus faible rendement de la modalité F100 décalé par le fait que le décalage dû à sa mauvaise levée n'ait pas pu être compensée lors de son développement. Les modalités dont la féverole a été semée à 70% de sa densité pure ont un rendement significativement plus faible que celui de la féverole pure. Elles ont probablement été limitées par leur densité de semis moindre. En effet, ces modalités ont généralement eu de meilleurs résultats que la féverole pure concernant les composantes du rendement, à l'exception de la modalité F70 T10 dont le PMG est similaire à celui de la féverole pure. La féverole de la modalité F100 S30 semble avoir été pénalisée par la présence du seigle, qui est très compétitif, contrairement aux céréales des modalités F100 T30 et F100 B30 dont la féverole a ainsi pu réaliser un rendement similaire à celui de la féverole pure.

Comme à Kerguéhennec, les rendements obtenus à Quéven sont bons. En effet, les rendements en AB de la campagne précédente étaient faibles et avoisinaient les 16 q/ha (Dupont, 2016) tandis que les rendements de cette campagne varient entre 33,2 et 40,7 q/ha, ce qui correspond aux rendements moyens que l'on peut atteindre en FH conduite en AC (Lartigot *et al.*, 2016). Cependant, il n'y a pas de différences significatives de rendement entre les modalités. Pour les céréales, cela est peut-être dû aux conditions de récolte. En effet, en raison du salissement causé par les adventices, les grilles de la moissonneuse-batteuse renaient une partie de la récolte des microparcelles précédentes, ce qui a occasionné un mauvais échantillonnage. En effet, chaque échantillon contenait alors une partie de la récolte des microparcelles précédentes.

D'après les données obtenues à Kerguéhennec, on peut considérer deux associations qui semblent plus intéressantes que les autres. Il s'agit de la féverole semée à 100% de sa densité associée à du triticale semé à 30% de sa densité et la féverole associée à du seigle. En effet, bien que la féverole ait été pénalisée par la présence du seigle, c'est la céréale qui a produit le meilleur rendement. De plus, le seigle est rustique et a permis une bonne couverture du sol tout au long du cycle de culture grâce à une importante production de biomasse. Le rendement obtenu dans l'association F100 T30 n'était pas différent de celui de la féverole pure et le

rendement de triticales est minime (2,1 q/ha). Cependant, la campagne 2016-2017 a été favorable à la féverole et, dans un contexte où l'on aurait un accident entraînant une chute du rendement de la féverole, le triticale permettrait d'assurer un rendement de par sa rusticité. La modalité F100 B30 ne fait pas partie des modalités les plus intéressantes car le blé n'est pas assez compétitif. Cela se remarque à son rendement le plus faible de toutes les associations : 0,6 q/ha. Ainsi, si un accident de culture devait intervenir tardivement, il ne pourrait pas rattraper le retard qu'il aurait pris lors de la croissance de la féverole. Il ne permet alors pas d'assurer une sécurisation du rendement.

Conclusion

La campagne 2016-2017 a été favorable à la culture de la féverole en AC comme en AB, avec des rendements en FH atteignant 60 q/ha en AC et 40,7 q/ha en AB. Les conditions climatiques chaudes et sèches ont permis de limiter l'impact des maladies sur le rendement. Il n'a pas été constaté d'effet des associations sur les maladies et ravageurs. Dans ce contexte, les associations ne sont pas nécessaires pour assurer un rendement minimal, mais certaines se détachent des autres pour plusieurs raisons. En culture d'hiver, les modalités F100 T30 et F100 S30 sont intéressantes pour assurer une bonne couverture du sol en début de cycle. Grâce à leur vigueur et leur rusticité, ces céréales permettent d'augmenter la compétitivité du couvert vis-à-vis des adventices, et elles permettent d'assurer un rendement minimum, et donc un revenu minimum à l'agriculteur, en cas d'année moins favorable ou d'accident de culture. Le seigle reste cependant compétitif et peut causer une baisse de rendement de la féverole. Le triticale en revanche n'a pas d'impact sur le rendement de la féverole, et a plus de débouchées. En culture de printemps, l'association F100 A20 semble la plus intéressante grâce à sa capacité à entrer en compétition avec les adventices.

Dans un contexte où les rendements de féverole sont bons, il est souvent plus intéressant économiquement de remplacer, en AC, 1 ha de blé par 1 ha de féverole, surtout si le prix de vente du blé est faible (moins de 150 €/t). Bien que remplacer 1ha de blé par 1 ha d'association F100 T30 soit également plus intéressant, l'écart de MSN est moins important en raison du coût de tri occasionné par le mélange. En AB en revanche, il est plus intéressant d'implanter l'association plutôt que la féverole pure, mais les deux cultures restent plus intéressantes, surtout lorsque le prix du blé est faible (moins de 260 €/t). Par ailleurs, à l'échelle d'un élevage, l'introduction de la féverole dans l'assolement permet toujours un gain d'autonomie protéique en permettant de limiter voire éviter l'achat de tourteau de soja. Il est donc envisageable que les associations féverole-céréale permettent d'améliorer l'autonomie protéique à l'échelle de la région Bretagne. Cependant, le délai de retour entre deux féveroles est plus important que celui du blé, ce qui peut limiter la surface cultivable en féverole ou en association à base de féverole dans l'assolement.

Bibliographie

AGRESTE, 2017. Infos rapides - Grandes cultures et fourrages. In : *Agreste conjoncture*. février 2017. n° 1/10, p. 4.

ARVALIS - INSTITUT DU VÉGÉTAL, FNAMS, UNIP et INRA, 2013. *Diagnostic des accidents de la féverole et du pois*. ARVALIS. S.I. : ARVALIS. ISBN 978-2-8179-0173-2.

AZIZ, A., AZIZ, H. and GAILANI, M., 2013. Correlation between seed yield and yield components in faba bean (*Vicia faba* L.). In : *Advances in Environmental Biology*. 2013. Vol. 7, n° 1, p. 82–85.

BRUNSCHWIG, Ph, 2002. *Utilisation des protéagineux dans l'alimentation des bovins lait*. 2002. S.I. : Institut de l'Élevage.

CAROF, M. et RIDIER, A., 2016. Itinéraires techniques de protéagineux à graines dans le Grand Ouest : diversité des pratiques, motivations des agriculteurs. In : *Des légumineuses pour l'élevage : quels défis et quels enjeux pour le Grand Ouest?* Rennes. 24 novembre 2016.

COCOUAL, C., 2016. *PROGRAILIVE - Production de protéagineux en grains - Site de Kerguéhennec*. Rapport d'étape. S.I.

CORRE-HELLOU, G., BARANGER, A., BEDOUSSAC, L., CASSAGNE, N., CANNAVACCIUOLO, M., JOËLLE, J., PELZER, E. et PIVA, G., 2014. Interactions entre facteurs biotiques et fonctionnement des associations végétales. In : *Innovations Agronomiques*. décembre 2014. Vol. 40, p. 25-42.

CRAB, Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne, 2016. ABC - Agriculture et Agroalimentaire de Bretagne en Clair. In : [en ligne]. 2016. Disponible à l'adresse : www.chambres-agriculture-bretagne.com/chiffres2016.

DE MENDIBURU, F., 2016. *agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research* [en ligne]. 2016. S.I. : R package version 1.2-4. Disponible à l'adresse : <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>.

DE VISSER, C.-L.-M., SCHREUDER, R. and STODDARD, F., 2014. The EU's dependency on soya bean import for the animal feed industry and potential for EU produced alternatives. In : *OCL*. juillet 2014. Vol. 21, n° 4, p. 1-8. DOI 10.1051/ocl/2014021.

DRAAF BRETAGNE, 2017. *Tableaux de l'agriculture bretonne - Edition 2016* [en ligne]. S.I. Disponible à l'adresse : <http://draaf.bretagne.agriculture.gouv.fr/Tableaux-de-l-agriculture-bretonne,770>.

DUPONT, A., 2016. *PROGRAILIVE - Production de protéagineux en grains - Site de Trévarez*. Rapport d'étape. S.I.

GABB 32, 2015. *Intégration de pois et féverole dans la ration des monogastriques* [en ligne]. 2015. S.I. : s.n. Disponible à l'adresse : <http://gabb32.org/wp-content/uploads/2014/11/Fiche-ration-pois-f%C3%A9verole-volailles-porcs.pdf>.

KAYSI, Y. et MELCION, J. P., 1992. Traitements technologiques des protéagineux pour le monogastrique: exemples d'application à la graine de féverole. In : *INRA Prod. Anim.* 1992. Vol. 5, n° 1, p. 3-17.

LABALETTE, F., 2016. Etat des productions et utilisations en France, focus sur les légumineuses à graines. In : *Rencontres francophones légumineuses*. Dijon. juin 2016.

LABORATOIRE DE SCIENCES DU SOL - INRA - AGROCAMPUS OUEST, 2015. *Sols de Bretagne* [en ligne]. [carte]. 1.0. Bretagne : s.n. [Consulté le 10 mars 2017]. Disponible à l'adresse : http://geowww.agrocampus-ouest.fr/portails/?portail=sdb&mode=viewer&viewer=http://geowww.agrocampus-ouest.fr/sviewer&wmc=http://geowww.agrocampus-ouest.fr/wmc/bzh_TextureDominante.wmc.

LARTIGOT, L., BIARNÈS, V., BOIZET, F. et PENANT, A., 2016. *Guide de culture Féverole*. Terres Inovia. S.I. : Terres Inovia.

LOUARN, G., CORRE-HELLOU, G., FUSTEC, J., LÔ-PELZER, E., JULIER, B., LITRICO, I., HINSINGER, P. et LECOMTE, C., 2010. Déterminants écologiques et physiologiques de la productivité et de la stabilité des associations graminées-légumineuses. In : *Innovations Agronomiques*. décembre 2010. Vol. 11, p. 79-99.

LUBAC, S., ROINSARD, A., FONTAINE, L., GARNIER, J.-F., PRESSEDA, F., GIMARET, M., DUPETIT, C., BOUVIALA, M., BERRODIER, M. et CHATAIGNON, M., 2016. Développer les légumineuses à graines en Agriculture Biologique pour sécuriser les filières animales et diversifier les systèmes de culture. In : *Innovations Agronomiques*. mars 2016. Vol. 49, p. 13-31.

MAAF, Ministère de l'Agriculture de l'Agroalimentaire et de la Forêt, 2014. *Plan protéines végétales pour la France 2014-2020* [en ligne]. S.I. Disponible à l'adresse : <http://agriculture.gouv.fr/publication-le-plan-proteines-vegetales-pour-la-france-2014-2020>.

MAGRINI, M.-B., THOMAS, A. et SCHNEIDER, A., 2015. Analyses multi_enjeux et dynamiques socio-économiques des systèmes de production avec légumineuses. In : *Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables*. Versailles : Éditions Quae. p. 339-413. ISBN 978-2-7592-2334-3. SB203 .L445 2015

MAIGRET, C., FRANCOIS, J., MERLHE, M., SICOT, I., TIRARD, S., QUEFFELEC, A. et PIERRE, P., 2015. *Systèmes bovins lait - Cas concrets 2014 en Bretagne*. S.I. : Institut de l'Élevage. Collection Références. ISBN 978-2-36343-363-3.

MARTIN, N., 2014. What is the way forward for protein supply? The European perspective. In : *OCL*. juillet 2014. Vol. 21, n° 4, p. D403. DOI 10.1051/ocl/2014015.

MIKIĆ, A., PERIĆ, V., DJORĐEVIĆ, V., SREBRIĆ, M. and MIHAILOVIĆ, V., 2009. Anti-nutritional factors in some grain legumes. In : *Biotechnology in Animal Husbandry*. 2009. Vol. 25, n° 5-6-2, p. 1181-1188.

PELZER, E., BEDOUSSAC, L., CORRE-HELLOU, G., JEUFFROY, M.-H., MÉTIVIER, T. et NAUDIN, C., 2014. Association de cultures annuelles combinant une légumineuse et une céréale : retours d'expériences d'agriculteurs et analyse. In : *Innovations Agronomiques*. décembre 2014. Vol. 40, p. 73-91.

PEYRAUD, J.-L., DOURMAD, J.-Y., LESSIRE, M., MÉDALE, F. et PEYRONNET, C., 2015. Conséquences zootechniques de l'introduction des légumineuses françaises dans les systèmes de productions animales. In : *Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables*. Éditions Quae. Versailles : s.n. p. 225-261. ISBN 978-2-7592-2334-3. SB203 .L445 2015

PEYRONNET, C., LACAMPAGNE, J.-P., LE CADRE, P. et PRESSEDA, F., 2014. Les sources de protéines dans l'alimentation du bétail en France : la place des oléoprotéagineux. In : *OCL*. juillet 2014. Vol. 21, n° 4, p. D402. DOI 10.1051/ocl/2014012.

PÔLE AGRONOMIQUE OUEST, sd b. PROGRAILIVE. S.I. Disponible à l'adresse : <http://www.pole-agro-ouest.eu/projet-sos-protein/prograilive/>.

PÔLE AGRONOMIQUE OUEST, sd a. Projet SOS PROTEIN. S.I. Disponible à l'adresse : <http://www.pole-agro-ouest.eu/projet-sos-protein/>.

R CORE TEAM, 2017. *R: A language and environment for statistical computing* [en ligne]. 2017. S.I. : R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponible à l'adresse : <https://www.R-project.org/>.

RAMANANTSOA, J. et VILLIEN, C., 2012. 43 : *Soutien public à la production de protéagineux et de soja : rétrospective et projections à partir du modèle MAGALI*. S.I. Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du Territoire. Analyse.

ROINSARD, A., BARBARA, F. et BERNHARD, S., 2015. Disponibilité en protéines dans différents pays d'Europe. In : *Vers une alimentation 100 % AB en élevage avicole biologique*. Angers : s.n. juin 2015. p. 6.

SCHNEIDER, A., HUYGHE, C., MALEPLATE, T., LABALETTE, F., PEYRONNET, C. et CARROUÉE, B., 2015. Rôle des légumineuses dans l'agriculture française. In : *Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables*. Éditions Quae. Versailles : s.n. p. 11-77. ISBN 978-2-7592-2334-3. SB203 .L445 2015

SCHREUDER, R. and DE VISSER, C., 2014. *EIP-AGRI Focus Group Protein Crops: final report* [en ligne]. S.l. Disponible à l'adresse : <https://ec.europa.eu/eip/agriculture/en/content/eip-agri-focus-group-protein-crops-final-report>.

TERRES OLÉOPRO, 2016. *Statistiques des oléagineux et plantes riches en protéines 2014-2015* [en ligne]. janvier 2016. S.l. : s.n. Disponible à l'adresse : http://www.terresoleopro.com/sites/default/files/mediabox/files/stat_2014_2015.pdf.

TERRES UNIVIA, 2015. *L'avenir de la filière féverole française* [en ligne]. novembre 2015. S.l. : s.n. Disponible à l'adresse : http://www.terresunivia.fr/sites/default/files/articles/publications/cultures_utilisations/proteagineux/4_pages_filiere_feverole.pdf.

VOISIN, A.-S. et GASTAL, F., 2015. Nutrition azotée et fonctionnement agrophysiologique spécifique des légumineuses. In : *Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables*. Éditions Quae. Versailles : s.n. p. 79-138. ISBN 978-2-7592-2334-3. SB203 .L445 2015

Annexes

ANNEXE I : Principaux bioagresseurs de la féverole

Rouille (Uromyces fabae)

La rouille est la maladie la plus fréquente sur la FP. Elle peut infester d'autres légumineuses dont le pois et peut s'avérer très nuisible si l'attaque est précoce (Figure 11) et forte : jusqu'à 50% de pertes (ARVALIS - Institut du végétal *et al.*, 2013).

Botrytis (Botrytis fabae)

Le botrytis touche principalement les feuilles mais peut s'étendre au reste de l'appareil aérien. La FH semble plus touchée que la FP. La maladie se développe en deux phases : une non-agressive, suivie d'une agressive si un climat doux et très humide s'installe. Dans ce cas, les tâches de botrytis croissent et forment des nécroses. La nuisibilité varie selon la sévérité de l'infection et peut atteindre 30 à 50% de perte de rendement dans des cas extrêmes (ARVALIS - Institut du végétal *et al.*, 2013).

Mildiou (Peronospora viciae)

Le mildiou touche surtout les feuilles. On distingue la contamination primaire et la secondaire (Figure 11). La première peut entraîner la fonte des semis et est généralement due à des semences contaminées ou à des oospores déjà présentes dans le sol, d'autant plus qu'elles peuvent s'y conserver plus de 10 ans sous cette forme. Elle n'a pas beaucoup d'incidences si les semences ont été traitées. Une attaque plus tardive entraîne la nécrose des organes touchés, sans grande incidence si les semences ont été traitées et qu'elle intervient en fin de persistance du traitement (ARVALIS - Institut du végétal *et al.*, 2013).

Ascochyte (Ascochyta fabae)

L'ascochyte est une maladie des organes aériens qui touche plus fréquemment la FH. Elle entraîne des nécroses des feuilles, tiges et gousses, et peut entraîner des pertes de rendement élevées, jusqu'à 30% (ARVALIS - Institut du végétal *et al.*, 2013).

Maladies racinaires

Ces maladies peuvent être causées par de nombreux pathogènes tels que des *Fusarium* ou des *Phoma* et leur développement suit la croissance de la plante. L'ensemble de la plante est touché, mais la nuisibilité diffère selon la précocité de l'attaque. Les pathogènes peuvent induire la fonte des semis, l'avortement des gousses ou altérer la qualité des grains. Cependant, les attaques intervenant après la maturité des gousses sont sans conséquences pour le rendement (ARVALIS - Institut du végétal *et al.*, 2013).

Sclérotinia (Sclerotinia sclerotiorum)

Les attaques de sclérotinia sont le plus souvent observées après le début de la chute des pétales. C'est un pathogène touchant un grand nombre d'espèces, dont la féverole et les autres protéagineux. Les attaques, bien que plutôt rare sur féverole, peuvent être fortement destructrices (ARVALIS - Institut du végétal *et al.*, 2013).

Cercosporiose (Cercospora zonata)

La cercosporiose touche les organes aériens des plantes du genre *Vicia* et se développe des étages les plus bas vers les étages supérieurs. L'impact du pathogène sur le rendement est peu connu mais une infection grave peut entraîner défoliation et lésion des gousses (ARVALIS - Institut du végétal *et al.*, 2013).

Bruche de la fève (Bruchus rufimanus)

Cette espèce de coléoptère est spécifique de la féverole. Les œufs sont pondus sur les gousses et les larves y pénètrent directement pour aller se développer dans les grains. L'adulte sort de la graine pendant le stockage par un trou découpé par la larve. Les adultes n'ont pas d'impacts directs sur la production car ils n'attaquent pas les grains durant le stockage. Cependant, la lutte au stockage est nécessaire, les conditions de commercialisations étant l'absence d'insectes vivants et un taux limite de grains bruchés entre 3 et 10% selon le débouché (ARVALIS - Institut du végétal *et al.*, 2013).

Puceron noir de la fève (Aphis fabae)

Le puceron noir peut causer des dégâts importants dus aux prélèvements de sève des colonies pouvant entraîner l'avortement des fleurs. Il peut également causer des dégâts indirects en étant le vecteur de virus, dont deux peuvent causer de réels problèmes à la fois sur FH et FP : la mosaïque du pois (BYMV) et le bean leaf roll virus (BLRV). Des baisses très importantes de rendement semblent être plus fréquemment observées sur FP (ARVALIS - Institut du végétal *et al.*, 2013).

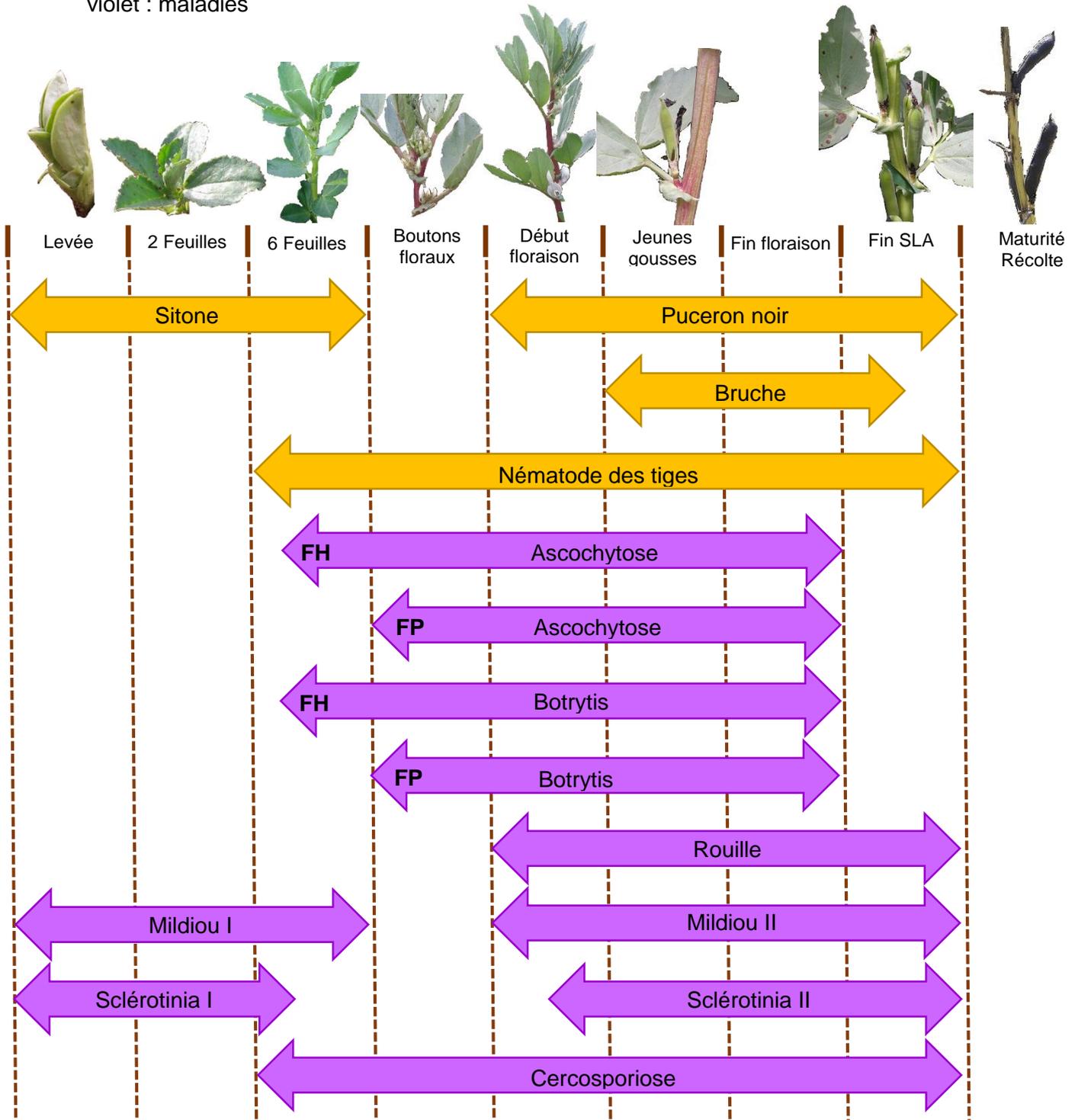
Nématode des tiges et bulbes (Ditylenchus dipsaci et Ditylenchus gigas)

Contrairement à *D. dipsaci*, *D. gigas* est spécifique de la féverole, et c'est l'espèce la plus présente en France. Les deux espèces causent un gonflement et une déformation de la tige, la croissance terminale peut être stoppée et l'appareil reproducteur peut également être touché. L'infestation est plus importante quand elle provient du sol (les larves peuvent s'y maintenir pendant 10 ans) que lorsqu'elle est due à des semences contaminées, et peut causer jusqu'à 70% de perte de rendement (ARVALIS - Institut du végétal *et al.*, 2013).

Sitone (Sitona lineatus)

Le sitone est à la fois ravageur du pois et de la féverole, mais se nourrit préférentiellement sur la féverole. Le coléoptère adulte se nourrit des feuilles, formant des encoches semi-circulaires, mais leur impact est faible comparé aux dégâts occasionnés par les larves. Ces dernières se nourrissent des nodosités, perturbant ainsi la nutrition azotée de la culture, cependant les pertes de rendement ne sont pas systématiques et souvent limitées (ARVALIS - Institut du végétal *et al.*, 2013). En revanche, le prélèvement de l'azote du sol est plus important en cas d'attaque des nodosités par les larves et la restitution d'azote pour la culture suivante est alors moindre.

ANNEXE II : Récapitulatif des périodes d'incidence des bioagresseurs au cours du cycle des féveroles d'hiver et de printemps. Adapté de (Lartigot *et al.*, 2016). SLA : Stade Limite d'Avortement, FH : Féverole d'hiver, FP : Féverole de printemps. En orange : ravageurs, en violet : maladies



ANNEXE III : Itinéraires techniques pratiqués dans les essais d'hiver

Site	Précédent	2016				2017							
		Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	
Kerguéhenec	Blé	07/09 Déchaumage 09/09 Labour Vibroculteur Rouleau		17/11 Canadien Semis : semoir combiné	02/12 Herbicide <i>Prowl 400</i> 3 L/ha 18/12 Semis de la modalité semis décalé						16/05 Fongicide <i>Amistar</i> 0,8 L/ha	14/06 Fongicide <i>Amistar</i> <i>OPTI</i> 2.5 L/ha	28/07 Récolte
Quéven	Colza			14/11 Labour Herse rotative 28/11 Semis : semoir simple					31/03 Semis trèfle				17/07 Récolte
Trévarez	Prairie		Retournement prairie	28/11 Labour Herse rotative 29/11 Semis : semoir simple					04/04 Semis trèfle				

ANNEXE IV : Itinéraires techniques pratiqués dans les essais de printemps

Site	Précédent	2016				2017							
		Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
Kerguéhennec	Blé	07/09 Déchaumage 09/09 Labour Vibroculteur Rouleau		17/11 Canadien				10 et 14/03 Canadien 16/03 Semis : semoir combiné 24/03 Herbicide <i>Prowl 400</i> 3 L/ha	19/04 Semis trèfle		27/06 Fongicide <i>Amistar</i> 1 L/ha	28/07 Récolte	
Quéven	Colza			14/11 Labour Herse rotative			27/03 Outil à dent 28/03 Semis : semoir simple	13/04 Semis trèfle					16/08 Récolte
Trévarez	Prairie						14/03 Retournement prairie	10/04 Labour Herse rotative 11/04 Semis : semoir simple	02/05 Semis trèfle				20/08 Récolte
Romillé							08/03 Semis						21/08 Récolte

ANNEXE V : Protocole PROGRAILIVE des notations de maladies

Pour chaque culture (pois, féverole, lupin, semis hiver et printemps, en pur ou en association avec des céréales), afin de couvrir au mieux les périodes d'expression des symptômes des différentes maladies et d'avoir un suivi dans le temps, les notations sont réalisées à **3 stades** (stades des protéagineux) :

8-12 étages (sortie hiver pour les cultures hiver)

Floraison

Remplissage des grains

NB : Avant chaque notation, préciser le stade exact des plantes

Les notations sont réalisées **sur chaque bloc ou bande pour l'ensemble des modalités.**

Les essais étant récoltés, aucune notation n'est effectuée sur le système racinaire des plantes. En cas de maladie racinaire, une notation indirecte de dégâts sur parties aériennes est réalisée.

NB : dans le protocole, le terme 'parcelle' désigne une microparcelle élémentaire d'essai ou une bande

Pour chaque date de notation, réaliser la notation sur 5 plants pris au hasard dans la parcelle.

NB : à partir de la floraison, écarter délicatement le couvert pour faire la notation

A- Observer la présence de symptômes (Tableau 1)

B- Identifier l'agent pathogène en cause

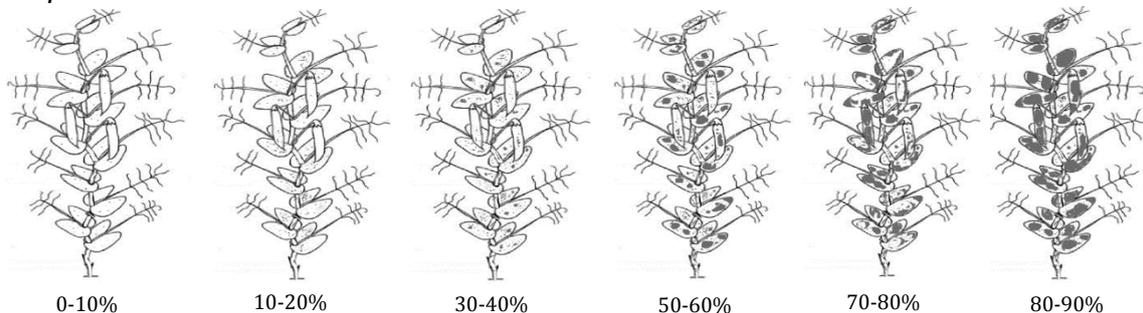
C- Noter sur les 5 plants

- le **pourcentage de plantes malades**

- le **pourcentage de surface foliaire présentant des symptômes** (sur plantes malades)

Il s'agit d'estimer, pour les plantes malades, la surface foliaire nécrosée par rapport à la surface foliaire totale.

Exemple :



Remarque : lorsque la maladie provoque une nécrose ceinturant la tige (cas de l'ascochytose du pois principalement), noter en plus le pourcentage de hauteur de tige ceinturée.

A partir du stade remplissage, noter également :

-le **pourcentage de gousses malades**

Cas particulier

Pour certaines maladies, il est possible d'observer des symptômes sur **plantes isolées** ou en **foyers** (exemple : sclérotinia, fusariose, mildiou). Dans ce cas, estimez le **pourcentage de plantes malades sur l'ensemble de la parcelle.**

Dans le cas des cultures en associations, les maladies des différentes céréales associées aux protéagineux sont évaluées aux mêmes dates par une note de :

- Pourcentage de plantes malades
- Pourcentage de surface foliaire présentant des symptômes (sur plantes malades), sur les 3 dernières feuilles (F1, F2 et F3)

ANNEXE VI : Détail des maladies de la féverole et échelles de notations associées

Maladies	Symptômes	Echelle de notation
<p>Ascochytose</p> 	<p>Taches jeunes de couleur cendrée. Taches âgées typiques en « brûlure de cigarette », pourtour noir et centre clair avec des pycnides.</p> <p>Dégâts sur feuilles, tiges et gousses</p>	<ul style="list-style-type: none"> - % de pieds touchés - % de surface foliaire touchée - % de gousses atteintes
<p>Botrytis</p> 	<p>Petites taches brun-chocolat, qui en grossissant deviennent claires entourées d'un halo foncé.</p> <p>Dégâts essentiellement sur feuilles</p>	<ul style="list-style-type: none"> - % de pieds touchés - % de surface foliaire touchée
<p>Cercosporiose</p> 	<p>Lésions sombres et irrégulières avec des ronds concentriques.</p> <p>Dégâts sur feuilles, et gousses</p>	<ul style="list-style-type: none"> - % de pieds touchés - % de surface foliaire touchée - % de gousses atteintes
<p>Rouille</p> 	<p>Pustules brun rouge auréolées d'une partie claire.</p> <p>Dégâts essentiellement sur feuilles</p>	<ul style="list-style-type: none"> - % de pieds touchés - % de surface foliaire touchée
<p>Mildiou</p> 	<p>Décoloration sur face supérieure des feuilles et feutrage mycélien gris-blanc sur face inférieure.</p> <p>Dégâts sur feuilles et gousses</p>	<ul style="list-style-type: none"> - % de pieds touchés - % de surface foliaire touchée - % gousses atteintes
<p>Sclérotinia</p>	<p>Pourriture vert foncé puis marron sur tige et apparition d'un mycélium blanc.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - % de pieds touchés

Annexe VII : Protocole PROGRAILIVES des notations des ravageurs de la féverole

Ravageur ou ennemi naturel	Période d'observation	Echelle de notation : Notation sur 20 tiges (5 par bloc)
Sitone	Levée à 6 feuilles	<p>- Comptabiliser le nombre d'encoques (très caractéristiques) sur les feuilles en utilisant l'échelle suivante (Note de 0 à 3) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 0 : Pas de morsure - 1 : de 1 à 5 morsures - 2 : de 5 à 10 morsures - 3 : plus de 10 morsures <p>- Chaque semaine, pour chacune des tiges observées, renseigner le nombre d'encoques sur la dernière paire de feuilles étalées</p> <p>- Lors de la dernière observation de la saison uniquement, comptabiliser le nombre de feuilles par tige et le nombre de feuilles avec des encoques par tige.</p>
Puceron noir de la fève	Début à fin floraison + 15 jours	<p>Evaluation du % de tiges recouvertes d'un manchon noir de pucerons</p> <p>5 classes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 0 : Absence de manchon - 1 : Présence (1%) - 2 : Présence de manchons sur moins de 20% des tiges - 3 : Présence de manchons sur plus de 20% des tiges bien réparties - 4 : Présence de manchons sur plus de 20% des tiges par zones privilégiées <p>En parallèle des comptages de manchons de pucerons et sur les mêmes tiges, comptabiliser les pucerons parasités ou momies par tige</p>
Ennemis naturels des pucerons : coccinelle, syrphé, chrysope et hémérobe	Début à fin floraison + 15 jours	<p>- En parallèle des comptages de manchons de pucerons et sur les mêmes tiges, comptabiliser, pour chaque auxiliaire aux stades pré-imaginaux, le nombre d'individus présents. Préciser le stade de développement de l'insecte observé (larve ou œufs de chrysope, larve ou puppe de coccinelle, larve ou puppe de syrphé)</p>

ANNEXE VIII : Mode de calcul des charges pour l'analyse économique à l'échelle de la parcelle

Féverole AC		Blé AC		Féverole + Triticale 30% AC	
<i>Intervention</i>	<i>Charges (mécanisation + opérationnelles)</i>	<i>Intervention</i>	<i>Charges (mécanisation + opérationnelles)</i>	<i>Intervention</i>	<i>Charges (mécanisation + opérationnelles)</i>
Labour	50,17 €/ha	Labour	50,17 €/ha	Labour	50,17 €/ha
Semis	193,35 €/ha	Semis	133,73 €/ha	Semis	226,25 €/ha
Désherbage chimique	44,65 €/ha	Désherbage chimique	76,15 €/ha	Désherbage chimique	44,65 €/ha
Fongicide x2	63,26 €/ha	Fongicide	89,65 €/ha	Fongicide x2	63,26 €/ha
Récolte	85,55 €/ha	Fertilisation : 2 passages (130 UN)	151,31 €/ha	Récolte	85,55 €/ha
		Fongicide régulateur	63,80 €/ha	Tri (15 €/t)	88,52 €/ha
		Récolte	85,55 €/ha		
Charges totales	436,98 €/ha	Charges totales	650,35 €/ha	Charges totales	558,40 €/ha

Féverole AB		Blé AB		Féverole + Triticale 30% AB	
<i>Intervention</i>	<i>Charges (mécanisation + opérationnelles)</i>	<i>Intervention</i>	<i>Charges (mécanisation + opérationnelles)</i>	<i>Intervention</i>	<i>Charges (mécanisation + opérationnelles)</i>
Labour	50,17 €/ha	Labour	50,17 €/ha	Labour	50,17 €/ha
Semis	326,99 €/ha	Semis	190,31 €/ha	Semis	367,17 €/ha
Désherbage : Herse étrille x2	17,66 €/ha	Désherbage : Herse étrille x2	17,66 €/ha	Désherbage : Herse étrille x2	17,66 €/ha
Récolte	85,55 €/ha	Fertilisation (fumier)	25,68 €/ha	Récolte	85,55 €/ha
		Récolte	85,55 €/ha	Tri (15 €/t)	70,92 €/ha
Charges totales	480,37 €/ha	Charges totales	369,37 €/ha	Charges totales	591,47 €/ha

NB : les différences de charges liées au semis entre l'AB et l'AC sont dues aux coûts de semence



Diplôme : Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences Agronomiques, Agroalimentaires, horticoles et du Paysage

Spécialité : Ingénieur Agronome

Spécialisation : Sciences des Productions Végétales

Option : Ingénierie des Agrosystèmes Responsable d'option : Matthieu Carof

Auteur : Coralline Housse

Date de naissance : 02/05/1994

Nb pages : 24 Annexes : 8

Année de soutenance : 2017

Organisme d'accueil : Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne

Adresse : Rue Maurice Le Lannou, CS n°74223, 35042 RENNES CEDEX

Maître de stage : Aurélien Dupont

Titre français : Stabiliser les rendements des protéagineux grains grâce aux associations culturales pour augmenter l'autonomie protéique des élevages de l'ouest de la France

Titre anglais : Stabilise the grain legumes' yield thanks to intercropping to increase the protein autonomy of western French livestock farms

Résumé : L'Europe et la France sont en déficit de protéines pour l'alimentation animale depuis des décennies. La majorité provient de soja importé d'Amérique. En 2018, la dérogation pour les élevages en agriculture biologique (AB) qui permet d'introduire 5% d'aliment issu d'agriculture conventionnelle (AC) prendra fin. Cela amplifiera le déficit en protéines végétales AB. Dans ce contexte, le projet PROGRAILIVE est mis en place par la Bretagne et les Pays de la Loire. L'objectif est d'atteindre l'autonomie protéique des élevages grâce aux protéagineux grains (féverole, pois, lupin). Or, les rendements très variables de ces espèces freinent leur implantation dans ces régions. Le projet vise à les cultiver associées à des céréales pour sécuriser leur culture et mieux gérer les bioagresseurs. Des essais en blocs de féveroles d'hiver (FH) et de printemps (FP) sont mis en place à Kerguéhennec (56, AC), Quéven (56, AB) et Trévarez (29, AB). Les associations sont additives et les céréales semées à 30% de leur densité avec la FH et 10 ou 20% avec la FP. On n'observe pas d'effet des associations sur les maladies et ravageurs. Le seigle ou le triticale associé à la FH maximise la couverture du sol, ce qui est permis par l'avoine semée à 20% avec la FP. Les rendements de FP sont indisponibles. Les rendements de FH sont bons : 38 à 60 q/ha en AC et 37 q/ha en AB. En AC, le seigle a légèrement pénalisé la féverole mais a réalisé le meilleur rendement des céréales. En AC, le coût de tri fait qu'il est plus intéressant économiquement de cultiver de la féverole pure. En AB, le meilleur prix de vente du triticale permet de compenser ce coût : c'est l'association qui est plus intéressante.

Abstract: Europe and France have been in protein deficit for feed for decades. Most of them are from soy, imported from America. In 2018, the derogation allowing farms in organic agriculture (OA) to introduce 5% of feed from conventional agriculture (CA) will end, increasing the organic vegetal proteins deficit. In this context, the PROGRAILIVE project has been initiated by Brittany and Pays de la Loire regions. The goal is to achieve protein autonomy in the livestock farms thanks to grain legumes (faba bean, peas, lupin). However, the unstable yields of these species curtail their establishment in these regions. The project aims to secure their yield and establish a better pests and weed management by growing them with associated cereals. Bloc designs of winter and spring faba bean (WF and SF) have been set up in Kerguéhennec (56, CA), Quéven (56 OA) and Trévarez (29, OA). These are additive associations and the cereals are sowed at 30% of their density with WF and 10 or 20% with SF. There was no effect from the intercropping on level of pests and diseases. Rye or triticale grown with WF maximize the soil coverage, which is also the case with oat sowed at 20% with SF. We don't have the SF's yields yet. WF's yields are good: 38 to 60 q/ha in CA and 37 q/ha in OA. In CA, rye has slightly penalized the faba bean but produced the best yield among the cereals. In CA, the sorting costs for faba bean makes the most economic sense to grow alone. In OA, the triticale's selling price enables it to compensate the sorting cost: the intercropping gives the most interesting results.

Mots-clés : féverole, substitution du soja, sécurisation du rendement, gestion des bioagresseurs, PROGRAILIVE

Key words: faba bean, soybean substitution, yield securing, pests and weed management, PROGRAILIVE