



2020 - 2023

Rapport agronomique complet : ICIBA – Intérêts de Cultures Innovantes de Blé Associé



Baptiste CROCHET – novembre 2023

Résumé

Suite à l'interdiction des néonicotinoïdes et la fin de l'utilisation de l'insecticide de traitement de semences Gaucho en 2018, le projet ICIBA (Intérêt des Cultures Innovantes de Blé Associé) a cherché à évaluer l'association du blé avec des plantes compagnes pour lutter contre les ravageurs des céréales, notamment les pucerons et les cicadelles.

Les résultats ont montré que cette association a engendré une perte de rendement moyenne de 5 à 10 %, équivalant à 4 à 9 quintaux par hectare par rapport au blé pur. Sur le plan économique, cette perte se traduit par environ 150 € par hectare, en grande partie due à la baisse de rendement et au coût des semences.

Malheureusement, cette association n'a pas démontré d'efficacité significative dans la gestion des ravageurs. Ces résultats peuvent en partie s'expliquer par la faible pression de pucerons et de cicadelles observée pendant les trois années d'essais.

Dans l'avenir, des recherches devraient se pencher sur les conditions sous lesquelles cette association pourrait apporter des avantages, en tenant compte de la pression des ravageurs. De plus, des stratégies de désherbage adaptées aux cultures associées méritent d'être explorées pour maximiser leur rendement et leur efficacité.

Table des matières

Table des matières

Introduction.....	4
1 Etat des lieux des connaissances.....	6
1.1 L'usage des plantes compagnes dans d'autres cultures	6
1.2 Expériences déjà conduites pour évaluer la faisabilité et l'intérêt des associations blé	7
1.3 Essais déjà menés sur le blé associé, avec l'objectif de limiter les pucerons d'automne	8
1.4 Autres projets en cours sur les cultures associées.....	8
2 Expérimentation et screening en microparcelle pour évaluer la faisabilité technique de l'association.....	9
2.1 Campagnes 2020-2021 et 2021-2022	9
2.2 Protocoles et notations	10
2.3 Résultats des tests en microparcelle.....	11
3 Evaluation des effets sur les ravageurs et auxiliaires en essais bandes dans du blé associé.....	13
3.1 Les trois campagnes expliquées	14
3.2 Protocoles et notations	15
4 Discussion et limites du projet	22
4.1 Rentabilité technico-économique	23
4.2 Gestion du désherbage complexe.....	24
4.3 Pistes de réflexion sur l'amélioration de la conduite du blé associé	25
5 Elaboration de supports et valorisation des acquis de la méthode	26
Conclusion	28

Introduction

La région Centre-Val de Loire est l'une des premières régions céréalières de France avec le blé comme première production régionale. En 2017 les surfaces de blé tendre étaient de 664 395 ha (Agreste) pour un rendement moyen de 71.7qx/ha. Le blé tendre est la culture majoritaire à l'échelle de la région mais aussi à l'échelle du département du Cher avec 35.1% des surfaces couvertes (FranceAgriMer 2021).

Dans l'essentiel de l'Agreste d'août 2020 concernant la région Centre Val-de-Loire l'IFT (Indice de Fréquence de Traitement) total était de 5.3 pour cette culture. Les traitements insecticides représentaient 5.6% des traitements (IFT = 0.3). Ils sont notamment le moyen de lutte privilégié contre les pucerons du blé (*Sitobion avenae*, *Metopolophium dirhodum* et *Rhopalosiphum padi*) et les cicadelles qui sont les vecteurs des viroses.

Rhopalosiphum padi est particulièrement vecteur du virus BYDV (Barley Yellow Dwarf Virus), responsable de la Jaunisse Nanisante de l'Orge (JNO). Cette virose peut être responsable de pertes importantes pour la culture du blé, qui peuvent atteindre 40qx/ha.

Le virus WDV (Wheat Dwarf Virus) est responsable de la maladie des pieds chétifs qui est véhiculée par les cicadelles (*Psammotettix alienus*) présentes dès la levée du blé à l'automne. Cette maladie peut être très préjudiciable pour le blé avec des pertes pouvant atteindre 70% (Arvalis infos).

Avant 2018 ces ravageurs d'automne très préjudiciables étaient gérés par le traitement de semences, qui a été interdit car composé de néonicotinoïdes. On peut supposer que comme pour la betterave semence leur retrait n'a pas réduit cette année l'usage de phytosanitaires sur la culture. Une hausse de l'usage des produits qui restent autorisés s'est ensuivie, avec une moindre efficacité (INRAe 2020). Les solutions chimiques utilisables se limitent désormais à des pyréthrinoïdes de synthèse moins efficaces et utilisés en végétation.

Si nous voulons réduire l'utilisation des produits phytosanitaires et limiter les phénomènes de résistance, il faut trouver des solutions agronomiques et culturales pour améliorer la lutte face à ces ravageurs. Différents leviers bien connus permettent déjà de limiter l'impact des pucerons et cicadelles sur blé. On peut par exemple citer le décalage de la date de semis qui permet d'esquiver les pics d'attaque précoce, on peut aussi parler de la bonne gestion des repousses et graminées adventices. Et enfin le choix variétal avec une variété d'orge ou de blé tolérant JNO peut permettre d'améliorer la gestion du virus transmis par les pucerons, mais pas de celui transmis par les cicadelles. Pour l'instant et dans une majorité de situation ces leviers ne sont que partiellement utilisés et leur impact est donc insuffisant.

L'association du blé à une plante compagne apparaît comme un levier supplémentaire qui viendrait s'ajouter aux autres. Ce qui améliorerait la gestion des ravageurs d'automne, réduisant ainsi l'utilisation des pyréthrinoïdes de synthèse. L'utilisation de plantes compagnes associées au blé à l'automne est une solution qu'il reste à expérimenter.

On désigne par « culture associée » la conduite simultanée d'au moins deux espèces, sur la même parcelle et pendant une période significative de leur cycle de croissance. Il peut s'agir d'une plante compagne non récoltée ayant des effets bénéfiques sur la culture principale, ou une deuxième culture qui sera elle aussi récoltée.

La plante compagne peut aussi remplir d'autres services agronomiques comme la fixation de l'azote de l'air et sa restitution aux cultures suivantes, la mise à disposition d'éléments nutritifs par sa rhizosphère. Les résultats de ces deux services peuvent être l'amélioration de la qualité du grain (taux protéique) ou l'amélioration du rendement. Lorsque la plante compagne offre un bon pouvoir couvrant elle permet aussi une meilleure couverture du sol et donc une meilleure gestion du désherbage.

Mais à l'heure actuelle les références techniques sur les cultures de blé associé sont encore insuffisantes pour permettre leur développement à grande échelle. Pour l'agriculture conventionnelle il est nécessaire de démontrer la faisabilité de l'association et d'acquérir des données pour créer un itinéraire technique adapté.

Dans ce projet nous chercherons à répondre à la question suivante :

« Comment bien réussir la culture du blé associé et quel est l'impact de la plante compagne sur le blé et sur les ravageurs d'automne ? »

Pour répondre à cette question différents points vont être à travailler afin d'apporter des bénéfices au blé sans pour autant le concurrencer : choix des plantes compagnes, densité de semis, technique et date de semis, destruction de la plante compagne, gestion des adventices. L'objectif sera aussi de trouver une plante compagne qui favorise les auxiliaires de culture et la faune terricole tout en protégeant directement ou indirectement le blé des dégâts de puceron et de cicadelle. Enfin la rentabilité technico-économique de cette pratique sera évaluée.

1 Etat des lieux des connaissances

1.1 L'usage des plantes compagnes dans d'autres cultures

L'utilisation des plantes compagnes dans la gestion des ravageurs et des maladies en agriculture suscite un intérêt croissant. Selon Hauggaard-Nielsen et al. (2008), des études récentes ont démontré les avantages potentiels de l'association de cultures dans la production de légumes biologiques. Ces associations peuvent "réduire les populations de ravageurs et les infections fongiques, contribuant ainsi à une protection accrue des cultures" (p. 452).

Dans le domaine de la culture de tomates en serre, les recherches de Perdikis et Lykouressis (2004) ont montré que l'utilisation de plantes aromatiques avait un effet répulsif sur les populations d'acariens ravageurs. Leur étude a révélé que certaines plantes aromatiques, telles que la menthe et la lavande, "réduisaient significativement les dommages causés aux cultures" (Perdikis & Lykouressis, 2004, p. 97).

Pour ce qui est des vergers, Brun, Löhr et Tamm (2006) ont constaté que l'association de cultures, notamment entre arbres fruitiers et plantes aromatiques, "réduisait les populations de ravageurs et encourageait la présence d'auxiliaires naturels favorisant la lutte biologique" (p. 252).

Dans l'étude de Hatt, Boquel et Guillemin (2012) sur la gestion des pucerons du chou, ils ont utilisé des plantes insectaires telles que la coriandre (*Coriandrum sativum*), l'aneth (*Anethum graveolens*) et la tanaïs (*Tanacetum vulgare*) pour détourner les pucerons du chou de la culture principale.

En conclusion, l'utilisation des cultures compagnes dans d'autres cultures présente des avantages significatifs en termes de gestion des ravageurs et des maladies (cf. Hauggaard-Nielsen et al., 2008 ; Perdikis & Lykouressis, 2004 ; Brun et al., 2006 ; Hatt et al., 2012). Ces associations de cultures favorisent la régulation naturelle des ravageurs, réduisent l'utilisation de pesticides et améliorent la durabilité des systèmes de culture.

Cependant, il est important de sélectionner judicieusement les plantes compagnes en fonction de leur potentiel d'attraction des ravageurs et de leur effet sur la régulation des populations de ravageurs.

En région Centre Val-de-Loire une des associations les plus connue est l'association colza + légumineuse (surtout féverole). L'utilisation d'associations de cultures telles que le colza (*Brassica napus*) et les légumineuses présente un intérêt majeur dans la gestion des cultures, notamment en termes de gestion des ravageurs et de la fertilisation du sol. Selon les travaux de Terres Inovia, l'institut technique de référence des professionnels de la filière colza, cette association offre de nombreux avantages agronomiques.

Tout d'abord, l'association colza + légumineuse permet de diversifier les espèces cultivées dans le système, ce qui contribue à la réduction des maladies et des ravageurs spécifiques au colza. Les légumineuses, telles que les pois ou les féveroles, agissent comme des cultures compagnes en interagissant avec le colza pour limiter la pression des ravageurs spécifiques au colza, tels que les altises (*Phyllotreta spp.*) ou les charançons (*Ceutorhynchus spp.*). Cette approche de lutte intégrée aide à préserver la santé des cultures et à réduire la dépendance aux pesticides (Terres Inovia, s.d.).

De plus, l'association colza + légumineuse présente des avantages en termes de fertilisation du sol. Les légumineuses sont capables de fixer l'azote atmosphérique grâce à leur symbiose avec des bactéries rhizobiennes, ce qui enrichit le sol en azote disponible pour les plantes. Le colza, quant à lui, bénéficie de cet apport d'azote, ce qui peut améliorer sa croissance, son développement racinaire et sa

production de biomasse. Cette synergie entre le colza et les légumineuses permet une meilleure utilisation des ressources du sol et peut contribuer à réduire les apports d'engrais azotés, tout en maintenant des rendements satisfaisants (Terres Inovia, s.d.).

En conclusion, l'association colza + légumineuse représente une approche prometteuse dans la gestion des cultures, offrant des avantages en termes de lutte contre les ravageurs spécifiques, de diversification des rotations et d'enrichissement du sol en azote. Les travaux de Terres Inovia ont souligné l'importance de cette association et ont permis de mieux comprendre ses effets sur les cultures. L'utilisation judicieuse de cette pratique peut contribuer à une agriculture plus durable et à une gestion plus efficace des ressources.

1.2 Expériences déjà conduites pour évaluer la faisabilité et l'intérêt du blé associé

Le projet CASDAR Alliance (2014-2017) a expérimenté des associations « culture de rente et plante de services », pour le colza et le blé tendre en agriculture conventionnelle et biologique. Les essais ont été menés sur du blé associé à des légumineuses. L'évaluation ne portait pas sur l'effet de ces plantes sur les ravageurs d'automne. Elle visait à démontrer un intérêt de l'association pour étouffer les adventices et améliorer la nutrition azotée du blé. Pour la partie blé associé les résultats étaient peu concluants. Le principal résultat étant que semer du blé et la plante compagne en même temps ne permettait pas au couvert de suffisamment se développer. Dans la majorité des cas les plantes compagnes n'ont pas permis l'étouffement des adventices et elles ont même dans certains cas concurrencé le blé. En revanche dans des systèmes bas intrants comme l'agriculture biologique, la présence d'une association pérenne a montré des résultats plus encourageants.

Des expérimentations sur l'association de légumineuses non-récoltées à un blé ont été conduites de 2015 à 2017 par les Chambres d'agriculture de la région Centre-Val de Loire et la FDGEDA du Cher. Ces expérimentations ont montré que les légumineuses comme le lupin, la vesce, le pois et la féverole ont un léger impact positif sur les taux protéiques des blés. La meilleure plante compagne était la féverole avec un gain de +0.26 %.

Depuis en région Centre Val-de-Loire d'autres essais blé associé féverole ont été menés (7 essais entre 2017 et 2018). Ils visaient à évaluer le meilleur créneau de semis de la plante compagne et le moment le plus propice à sa destruction. Le semis de la plante compagne avant le blé a montré des résultats plutôt positifs sur le rendement et le taux protéique, bien que non significatifs. Cependant la destruction précoce de la plante compagne maximise le taux protéique, tandis qu'une destruction tardive a un effet positif sur le rendement.

Des travaux antérieurs conduits dans un programme national de 2009 à 2011 ont montré des résultats mitigés pour ce type d'association. Ils ont mis en évidence un gain sur la teneur en protéines sans perte de rendement dans seulement un quart des cas. Les plantes compagnes testées (pois d'hiver et de printemps ainsi que la vesce commune) étaient semées en même temps que le blé.

Si la faisabilité technique a déjà été évalué, peu d'expérimentations ont été conduites sur l'impact des associations sur les ravageurs d'automne du blé (pucerons et cicadelles).

1.3 Essais déjà menés sur le blé associé, avec l'objectif de limiter l'impact des pucerons d'automne

Suite à l'interdiction des néonicotinoïdes en traitement de semence, l'idée d'introduire une plante compagne dans la culture du blé pour atténuer les effets nuisibles des pucerons est devenue un sujet d'intérêt majeur. Toutefois, il convient de noter que cette problématique demeure relativement nouvelle, et les expériences menées à ce jour sont encore limitées.

Parmi les rares expériences recensées, on peut citer celle réalisée au cours de la campagne 2017-2018 par la Chambre d'Agriculture du Cher et le FDGEDA 18, portant sur les associations "orge/féverole" et "orge/fenugrec". L'objectif de cette étude était d'évaluer l'impact de ces associations sur les populations de pucerons d'automne. Cependant, les résultats de cette expérimentation n'ont pas permis de démontrer de bénéfices significatifs en termes de gestion des pucerons d'automne ou de la Jaunisse Nanisante de l'Orge (JNO). Il est important de noter que ces résultats pourraient être influencés par le développement limité des couverts, qui avaient été semés simultanément avec le blé.

Une autre étude intéressante a été menée en 2017 par Arvalis, portant sur l'association "orge + luzerne" à Saint Hilaire en Woevre (département de la Meuse). Dans cette expérience, l'orge avait été semée sous couvert de luzerne âgée de 3 à 4 ans. Les observations ont révélé peu de dégâts causés par les pucerons dans l'association, ainsi que dans le témoin (année à faible pression virose). Sur le plan agronomique, les résultats étaient encourageants, suggérant que cette approche méritait d'être poursuivie.

D'autres études menées à l'automne 2017 sur divers sites (Rots 14, La Chapelle St Sauveur 44, St Pierre d'Amilly 17, Gaillac 81) ont produit des conclusions similaires. Dans ces cas, les plantes compagnes avaient été semées trop tardivement (en même temps que le blé), et la pression des pucerons était relativement faible. Aucun gain significatif n'a été observé en ce qui concerne la JNO. Parmi les couverts étudiés, la vesce, le sorgho et le fenugrec semblaient les plus prometteurs en termes de développement.

Ces expérimentations n'ont pas encore réussi à démontrer de manière concluante l'intérêt des cultures associées. Cependant, plusieurs facteurs limitants ont été identifiés, notamment la faible pression des pucerons en 2017, le développement insuffisant des couverts semés tardivement, et une connaissance limitée des plantes compagnes potentiellement bénéfiques.

Dans le cadre du projet ICIBA, toutes ces limites ont été prises en considération, et nous nous efforcerons de mettre en évidence les potentiels avantages de l'association d'une plante compagne au blé pour lutter contre les pucerons et les cicadelles, vecteurs de viroses telles que la Jaunisse Nanisante de l'Orge et la Maladie des Pieds Chétifs.

1.4 Autres projets en cours sur les cultures associées

En région Centre-Val de Loire, il n'existe actuellement aucun projet en cours qui se concentre spécifiquement sur l'association du blé à une plante compagne dans le but de réduire l'impact des ravageurs d'automne, à l'exception du projet ICIBA. Cependant, il convient de noter que plusieurs projets européens sont en cours dans d'autres régions, notamment le projet H2020 ReMIX (mené par l'INRAe de Toulouse - Laurent Bedoussac et le CIRAD de Montpellier - Eric Juste) et le projet H2020 Diversify (2017-2021, piloté par le James Hutton Institute). Ces projets se concentrent sur les cultures associées, mais ne traitent pas directement des problématiques spécifiques du projet ICIBA.

Le projet ReMIX vise à mettre en réseau 11 plateformes multi-acteurs en Europe travaillant sur le thème des cultures associées. Il réunit des agriculteurs, des chercheurs, des techniciens agricoles et des conseillers. Deux de ces plateformes sont basées en France, l'une à l'INRAE de Toulouse et l'autre en Pays de la Loire, sous la direction de Terrena. Ce projet se matérialise par la création de sites de démonstration et d'ateliers de co-conception avec les agriculteurs, qui testent différentes cultures et associations de cultures. Il convient de noter que le projet ReMIX n'engage pas d'expérimentations à grande échelle pour évaluer les cultures associées, mais se base plutôt sur des expérimentations locales. De plus, une bibliographie concernant les bioagresseurs est actuellement en cours de réalisation par l'Université de Kassel en Allemagne, en se concentrant notamment sur les modèles prédictifs.

La CRA Centre-Val de Loire a pris contact avec les responsables des projets, en particulier l'ESA (European Society of Agronomy) en tant qu'interlocuteur français pour le projet Diversify, afin de les informer sur les travaux que nous envisageons et de garantir une bonne complémentarité entre les projets. Par ailleurs, Bruno Jaloux, chercheur d'Agrocampus Ouest, est impliqué dans le projet ReMIX et a également rejoint le projet ICIBA, ce qui permettra de faciliter la circulation des informations entre les deux projets.

C'est dans ce contexte qu'à l'automne 2020 le projet ICIBA a débuté par un screening des plantes compagnes considérées comme partenaires potentiels pour le blé.

2 Expérimentation et screening en microparcelle pour évaluer la faisabilité technique de l'association

Sur les campagnes 2020/2021 et 2021/2022 nous avons mis en place chaque année 4 essais blocs repartis entre 4 départements de la région Centre-Val de Loire. Le but était de tester différentes plantes compagnes en association avec le blé afin de trouver les plus adaptées à la conduite de la culture principale.

2.1 Campagnes 2020-2021 et 2021-2022

La campagne 2020-2021 a été impactée négativement par un automne très pluvieux sur la totalité des essais. La majorité des essais ont été conservés sauf celui du Cher (FDGEDA 18) qui a été reporté à l'année suivante à cause des pluviométries trop importantes sur des sols à dominance argileuse.

En 2021-2022 les essais menés étaient viables. Quatre essais microparcelle ont été mis en place cette année-là. Un essai était localisé à Logron (28200) et a été conduit par la SCAEL. La Chambre d'Agriculture du Loiret a conduit un essai à Chuelles (45220), celle de l'Indre un essai à Anjouin (36210). Enfin la FDGEDA du Cher a conduit son essai à Allouis (18500). Ces quatre essais représentent 3 types de sols avec un limon en Beauce (28), un limon sableux sur argile à silex en Boischaud nord (36), un limon sur argile à silex dans le Gâtinais pauvre (45) et un sol argileux lourd (>45% d'argile) en Sologne (18).

Les couverts ont été semés entre le 9 et le 27 septembre en fonction des sites. Les semis de blé se sont eux étalés entre le 12 et le 17 octobre. Afin d'évaluer les différentes associations nous avons utilisé le protocole ci-dessous.

2.2 Protocoles et notations

Dans un premier temps nous nous sommes majoritairement intéressés à des espèces de la famille des légumineuses qui sont productrices de nectar extrafloral favorisant les auxiliaires mais aussi sur deux autres espèces que sont le sarrasin et le moha. Les connaissances établies montrent que ces espèces étaient capables de se développer en été et que le coût de la semence n'était pas trop élevé. Vous pouvez trouver les différentes modalités étudiées ainsi que leur densité de semis dans le tableau ci-dessous (cf. *Tableau 1*). De plus il a été décidé de comparer tous ces blés associés à un témoin de blé pur protégé des pucerons et cicadelles par un insecticide.

Tableau 1 : Protocole commun : modalités et facteurs étudiés dans les essais microparcelles du projet ICIBA (campagne 2021-2022)

Facteur 1 = couvert associé au blé	Densité de semis (du couvert)	Facteur de protection
Témoin sans couvert		Protection insecticide automne
Vesce commune	80 g/m ² soit 40 kg/ha environ	Sans protection insecticide automne
Vesce érigée ou vesce du Bengale	80 g/m ² soit 40 kg/ha environ	
Pois chiche	60 g/m ²	
Fenugrec	200 g/m ² soit 30 kg/ha environ	
Sarrasin	80 g/m ² soit 25 kg/ha environ	
Moha	500 g/m ² soit 12 kg/ha environ	
Pois de Printemps	70 g/m ² soit 175 kg/ha environ	
Cameline	150 g/m ² soit 2kg/ha environ	

Pour les notations elles peuvent se répartir en quatre grandes familles : la qualité du couvert, le développement du blé, les dégâts de viroses et les variables agronomiques. Dans ce protocole nous mixons des notations qualitatives (visuelles) et quantitatives. Vous pouvez trouver l'ensemble des notations effectuées dans le tableau ci-dessous (cf. *tableau 2*).

Tableau 2 : Protocole commun, les notations et variables étudiées dans les essais microparcelles du projet ICIBA (campagne 2021-2022)

Nom Variable	Unité	Date / stade
Densité de levée du couvert	Pieds /m ² , 4 x 1/4m ² sur 2 blocs	Juste avant le semis du blé.
Densité de levée du blé	Pieds /m ² , 2 m linéaires, sur 2 blocs	Entre 1 et 3 feuilles
Note de couverture du couvert	Note de 0 à 10 (0 pas de couverture, 10 100% couvert) sur toutes les modalités	Au semis, à 3 feuilles du blé => photos
Notation adventices, note globale de satisfaction	Note de 0 à 10 (0 très sale, 10 propre), sur toutes les modalités	En sortie d'hiver, avant désherbage de rattrapage s'il y en a, entre tallage et stade épi 1 cm
Stade épi 1cm	Date	
Dégâts viroses	% de plantes atteintes + prélèvements de plantes pour analyses	Entre épi 1 cm et 1 nœud, et à DF étalée => photos
Stade épiaison	Date	
Rendement	qx/ha, données par modalités et moyennes, ANOVA	Moisson
Qualité	PS, Protéine, PMG	Moisson

Comme vous pouvez le constater la féverole ne faisait pas partie du dispositif expérimental car elle avait déjà été identifiée comme un bon candidat à l'association dans d'autres projets.

Ce dispositif expérimental nous a permis de trancher, et les résultats sont présentés dans la partie ci-dessous.

2.3 Résultats des tests en microparcelle

Premièrement les notations vis-à-vis du développement du couvert étaient très importantes. Elles nous ont permis de qualifier dans toutes les situations la qualité et la rusticité des plantes compagnes mises en place. Les graphiques ci-dessous (cf. Figure 1 et 2) illustrent la notation de couverture visuelle (notée de 1 à 10) et la densité de plante par mètre carré. Ce graphique présente les notes moyennes pour tous les sites.

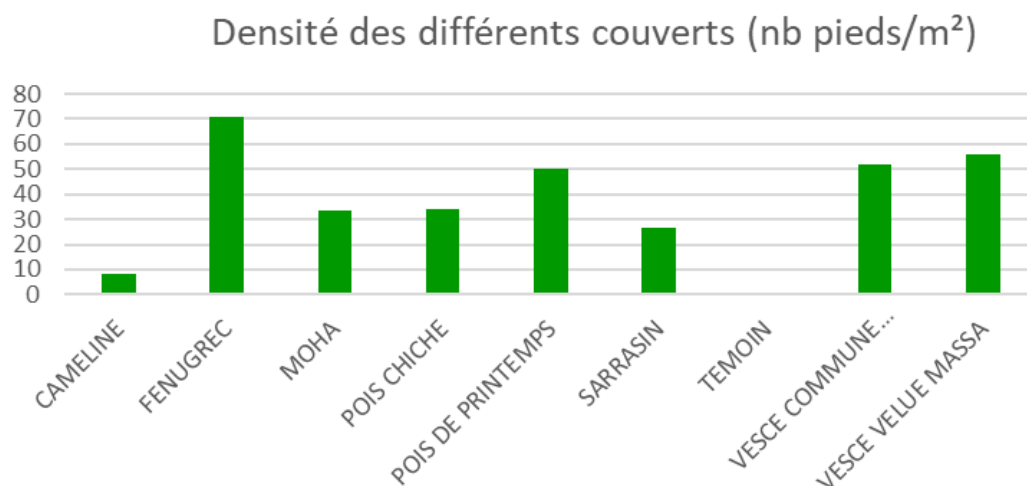


Figure 1 : Résultats des notations visuelles réalisées pour tous les sites dans les essais microparcelle du projet ICIBA.

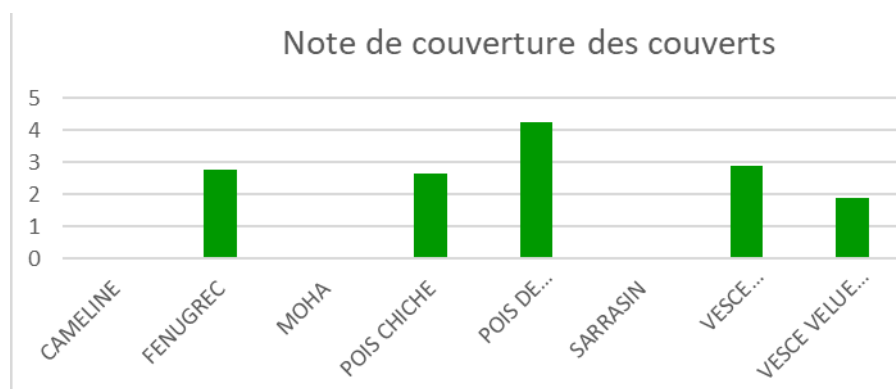


Figure 2 : Densité des couverts du site de Logron pour les essais microparcelle du projet ICIBA

Sur ces deux graphiques il est clair que les couverts les moins denses et développés étaient ceux à base de moha, de cameline et de sarrasin. Le créneau de semis semble défavorable au sarrasin et au moha. La caméline quant à elle est une espèce très difficile à mettre en place de par la taille de ses grains (il a fallu la mélanger à de la semoule de maïs dans le semoir pour obtenir une répartition relativement homogène).

A contrario le pois de printemps et la vesce commune sont les espèces qui ce sont les mieux développées et qui montrent une densité de levée suffisante pour espérer perturber les ravageurs. Le

fenugrec a une mauvaise densité de levée mais produit beaucoup de biomasse, il n'a pas été conservé dans la suite des expérimentations mais ce n'était pas un compagnon inintéressant.

Ensuite pour les variables agronomiques les mesures reposaient principalement sur le rendement du blé et son taux protéique. Pour le taux protéique peu de différences ont été observées entre les différentes modalités même si la vesce commune semble légèrement augmenter le taux protéique, mais au détriment du rendement. Le pois de printemps semble présenter le meilleur équilibre entre rendement et taux protéique. La relation rendement/taux protéique des associations testées est présenté dans le graphique ci-dessous (cf. Figure 3).

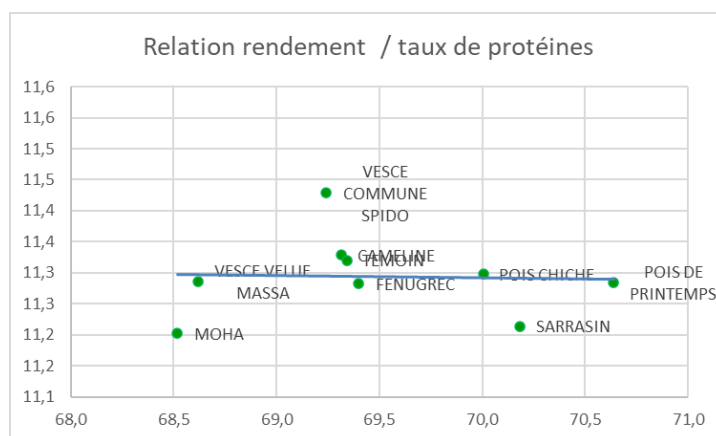
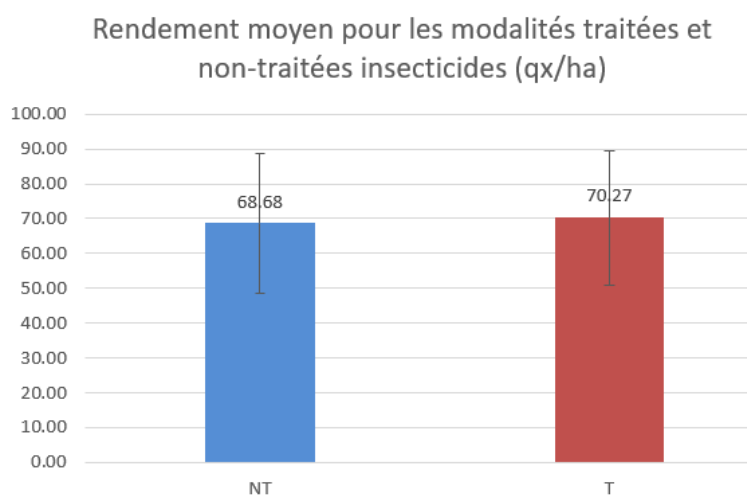


Figure 3 : relation entre le rendement et le taux protéique du blé pour les différentes modalités de plante compagne testées

Enfin pour l'autre variable qualité qui est le PS il n'y aucun effet significatif de l'association ou du traitement insecticide.

Pour le rendement, nous pouvons déjà regarder les écarts moyens entre le témoin traité insecticide et les modalités non-traitées. Sur le graphique ci-dessous (cf. Figure 4) sont représentés les rendements moyens de toutes les modalités non-traitées et traitées insecticide. L'écart entre les modalités traitées et non-traitées n'est pas significatif et est de l'ordre 1.5qx/ha soit environ 2%. Ce qui est symptomatique de la faible pression puceron mesurée sur la parcelle. Lorsque l'on prend la même



métrique pour mesurer l'écart entre un témoin blé pur non-traité et son homologue traité la différence

Figure 4 : Ecart moyens entre modalités non-traitées insecticide (NT) et le témoin traité insecticide (T)

est un peu plus élevée (3.1qx/ha en plus pour le traité soit environ 4%). On peut donc supposer que l'association a réduit sur cette parcelle l'impact des pucerons d'environ 2% ce qui est non-significatif.

Enfin pour le rendement moyen des modalités on observe des différences mais qui sont non-significatives. Ce qui signifie à minima que l'association n'impacte pas négativement le blé. Mais c'est à mettre en relation avec un faible développement de plusieurs couverts qui entrent quand même dans l'analyse. Le rendement moyen de chaque modalité est illustré dans le graphique ci-dessous (cf. Figure 5).

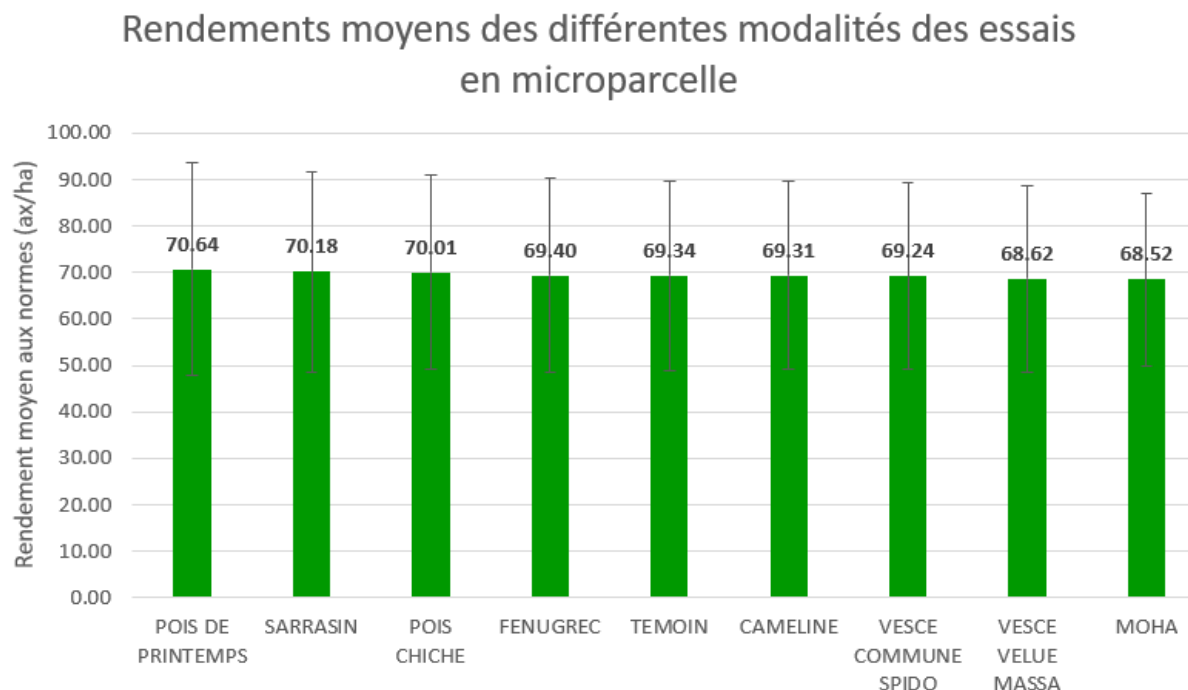


Figure 5 : Rendements moyens aux normes pour chaque modalités (qx/ha)

Du point de vue du rendement, la meilleure des modalités est celle associée au pois de printemps et la pire est celle associée au moha. Le témoin se situe en milieu de tableau. L'écart entre la meilleure modalité associée est de 1.3qx/ha soit moins de 2%. Entre le témoin et la pire modalité associée l'écart est de 0.8qx/ha soit environ 1%. Ces résultats montrent donc qu'il y a peu de différence de rendement entre les différentes modalités. L'association ne génère pas de gain significatif mais en microparcelle elle n'entraîne pas non plus de perte de rendement.

Dans les essais bandes qui ont été menés trois années de suite dans d'avantage de sites les résultats obtenus ne sont pas les mêmes. En conclusion des essais microparcelle nous avons choisis de conserver le pois de printemps et la vesce commune (variété spido) comme compagnons potentiels du blé pour les années suivantes. La féverole était déjà connue comme un bon partenaire du blé elle a donc aussi été ajoutée aux dispositifs en bandes.

3 Evaluation des effets sur les ravageurs et auxiliaires en essais bandes dans du blé associé

Le cœur du projet ICIBA est présenté dans cette partie. L'objectif était de visualiser le comportement des associations sélectionnées dans des conditions réelles au champ. L'itinéraire technique utilisé pour conduire ces cultures associées devait se rapprocher le plus possible d'un

itinéraire technique "classique" tout en permettant un bon développement du couvert et du blé. De plus, l'objectif était de poursuivre l'évaluation des variables agronomiques et d'évaluer l'impact du couvert sur la gestion des ravageurs d'automne.

3.1 Les trois campagnes expliquées

Lors de la campagne 2020-2021, la première mise en place des essais en bandes a eu lieu. Dix essais en bandes "partiels", comprenant uniquement le témoin blé pur B0 et l'association blé-féverole B1, étaient prévus. Tous les essais prévus ont été réalisés. Un essai n'a pas été exploité : l'essai de Triguières (45), où le témoin a subi d'importants dégâts de limaces. Cette campagne les semis ont été effectués dans des conditions humides avec une pluviométrie importante début octobre. Dans certains sites, comme celui de Chuelles (45), les couverts de féverole semés début septembre étaient déjà bien développés mi-octobre. Cela peut s'expliquer par un semis plus précoce des féveroles et la présence de reliquats azotés importants provenant du précédent pois de printemps. De plus, certains couverts, notamment ceux de la CA36, n'ont pas été détruits chimiquement, ce qui a conduit à une présence tardive de la plante compagne et à de bons rendements. À l'automne 2020, peu de pucerons ont été observés dans les parcelles, et la pression de la Jaunisse Nanisante de l'Orge (JNO) ainsi que des cicadelles était faible.

Pour la campagne 2021-2022, dix essais en bandes "complets" étaient prévus (avec toutes les modalités : blé pur B0, blé-féverole B1, blé-pois B2 et blé-vesce B3), neuf ont été réalisés. Un essai n'a pas été mis en place car le temps nécessaire au suivi des essais la première année avait été sous-estimé. Pour cette campagne les récoltes de blés ont été tardives et le début du mois d'août assez sec, il a fallu attendre début septembre pour avoir un retour de l'eau. Les pluies sont restées importantes jusqu'au semis du blé qui a été effectué en conditions correctes. Trois essais du réseau, tous dans la CA45, ont été fortement touchés par les dégâts de limaces, notamment le pois et la vesce commune. Les deux modalités correspondantes (blé pois B2 et blé vesce B3) n'ont pas été prises en compte dans l'analyse statistique des données sur ces essais. Il est également important de noter que la féverole est moins sensible aux limaces que les deux autres modalités. De plus, dans l'Indre (CA36), un essai a subi de forts dégâts de lapins sur les plantes associées, ce qui a conduit à son exclusion de l'analyse statistique des données. Les couverts ont été semés plus précocement lors de cette campagne, du 18 août au 2 septembre, dans le but d'obtenir des biomasses de couvert plus importantes. Les blés ont été semés autour du 15 octobre. L'automne 2021 a été marqué par une très faible pression des pucerons, la plus faible de toute l'étude. Cependant, les rendements en céréales à paille ont été médiocres à très médiocres cette année-là en raison d'un fort échaudage thermique en juin 2022.

Enfin, lors de la campagne 2022-2023, dix essais en bandes "complets" étaient prévus, mais neuf ont été réalisés pour les mêmes raisons que l'année précédente. L'automne 2022 a été marqué par des températures élevées et une pluviométrie dans la moyenne. Ces conditions inhabituelles, notamment le mois d'octobre le plus chaud depuis plus de 15 ans, ont favorisé le développement important des couverts végétaux dans certaines régions, ainsi que des biomasses de blé plus élevées. L'automne a également été caractérisé par une forte présence de pucerons et de cicadelles sur différents sites, bien que cette pression ne se soit pas traduite par d'importantes quantités de viroses au printemps. Sur les neuf essais mis en place, seuls trois ont pu être utilisés pour l'analyse statistique des données. Pour les essais de la CA36 l'un des essais n'a pas été mis en place faute d'agriculteur intéressé et dans l'essai mis en place les couverts ne se sont pas développés, l'essai a donc été abandonné. Deux autres essais, Triguières (CA45) et Poisvilliers (SCAEL), ont été affectés par le désherbage, les modalités ayant été détruites prématurément par des applications de glyphosate avant le semis du blé. De plus, les deux essais du Cher ont été fortement endommagés par la grêle à

plus de 70% quelques semaines avant la récolte. Par conséquent, seuls trois essais ont été valides pour cette campagne, ce qui n'a pas beaucoup étoffé la base de données.

Dans l'ensemble, les trois campagnes n'ont pas montré de pressions significatives liées aux insectes d'automne. Cependant, toutes les limites techniques surmontées, notamment en matière de désherbage, ont permis de mettre en place un itinéraire technique plus robuste pour la culture du blé associé.

3.2 Protocoles et notations

Dans cette partie est synthétisée la méthodologie du suivi agronomique réalisé dans le projet ICIBA. Pour les essais bandes le suivi agronomique s'est articulé autour des variables agronomiques classiques, de notations vis-à-vis des viroses, du suivi des populations de ravageurs et de données sur la croissance des couverts et du blé.

Plan et suivi agronomique

Les essais bandes ont été mis en place à partir de 2020. La première année du projet (campagne 2020-2021) les essais bandes étaient « partiels » : nous ne comparions que le témoin blé pur (B0) à la modalité blé-féverole (B1). Les années suivantes les nouveaux candidats à l'association que sont le pois de printemps et la vesce commune ce sont ajoutés aux dispositifs. Les essais dits « complets » ont alors été mis en place à partir de la campagne 2021-2022. Ils étaient composés d'une bande témoin de blé pur (B0), d'une bande de blé-féverole (B1), d'une bande de blé-pois (B2) et d'une bande de blé vesce (B3). Vous trouverez ci-dessous un plan des essais complets (*cf. Figure 6*) mis en place, les bandes étaient randomisées pour chaque site. En termes de plan des essais chaque bande mesure 20 m de large pour 60 m de long.



Figure 6 : Illustration des essais bandes complets mis en place lors du projet ICIBA.

Pour ces essais différentes variables agronomiques étaient évaluées. Les données mesurées dans les bandes sont résumées dans le tableau ci-dessous (cf. *Tableau 3*).

Tableau 3 : Données agronomiques mesurées dans les essais bandes du projet ICIBA.

Variables mesurées dans les essais bandes	Unités de mesure et explications
Densité du blé	Pieds/m ²
Densité couvert	Pieds/m ²
Hauteur du couvert	Cm
Notation visuelle qualité du couvert	(Note de 0 à 10) 0=pas de couvert et 10 = très bonne couverture du sol
Notation visuelle adventices	(Note 0 à 10) 0 = pas d'adventices et 10 = culture en péril à cause des adventices
Note visuelle quantité de virose au printemps	Pourcentage de la microparcelle visuellement touché par la virose (%)
Pourcentage de puits positifs (JNO et WDV)	Pourcentage de puits positif, calculé sur 8 puits
Variables agronomiques	Rendement grain aux normes, taux protéique du grain, humidité, PS, PMG
Date de destruction du couvert	Date (qui permet d'en déduire un temps de présence du couvert en nombre de mois)

Toutes ces variables ont permis de bien définir les impacts du couvert et la proportion de virose observées et mesurées dans les échantillons. Le but était de relier qualité du couvert, pression insecte et rendement final.

En outre en court de campagne 2022-2023 il a été choisi de résumer le développement des couverts pour venir compléter la notation visuelle. Cette variable notée « Note couvert » résume la densité du couvert par rapport à la densité semée, et la hauteur du couvert. Le calcul détaillé de cette note est présenté dans le tableau ci-dessous (cf. *Tableau 4*).

Tableau 4 : Explications de la note couvert synthétisant la densité et la hauteur des couverts.

Densité levée/densité semée en %	Hauteur en cm	Note attribuée	Note couvert (addition densité et hauteur)
100%	>=30 cm	5	10
Au moins 80%	>=25 cm	4	8
Au moins 60%	>=20 cm	3	6
Au moins 40%	>=15 cm	2	4
Au moins 20%	>=10 cm	1	2
Moins de 20%	<10 cm	0	0

En plus des variables agronomiques quantitatives nous avons mesuré quelques variables qualitatives comme le type de semoir ou la profondeur de travail du sol avant semis. Mais étant donné la faible variabilité des pratiques sur nos différents essais il n'y a pas eu de résultats intéressants du côté de ces variables.

Une fois les variables agronomiques mesurées il faut les faire corrélérer avec une pression insectes d'automne (pucerons et cicadelles). Pour ce faire des suivis de ces insectes ont été effectués et sont présentés dans la partie suivante.

Suivis d'insectes ou indicateurs de leurs effets

La principale variable étudiée dans la partie agronomique est le pourcentage d'échantillon positif à une des deux viroses au printemps. Pour ce faire au printemps est effectuée une notation visuelle du pourcentage de la bande touchée par les viroses et dans la foulée nous réalisons des prélèvements de blé. Ces prélèvements sont envoyés au laboratoire Eurofins Galys de Blois (41 000) qui renvoie un pourcentage de puits positifs à la JNO ou à la WDV après un test ELYSA. Ces valeurs sont ensuite ramenées en pourcentages que nous utilisons pour notre analyse.

En parallèle durant tout le suivi des parcelles (du suivi du blé jusqu'à novembre) des plaques jaunes engluées et des cuvettes jaunes sont relevées de manière hebdomadaire. Les échantillons sont envoyés à FREDON Centre Val-de-Loire qui identifient les ravageurs et analyse les résultats. Leur rapport fait partie des autres livrables du projet.

FREDON s'occupe aussi de prélever les hyménoptères parasitoïdes (du puceron) et d'autres auxiliaires volants censés être favorisés par la présence des plantes compagnes. Une fois prélevés les hyménoptères parasitoïdes sont envoyés à l'Institut Agro pour analyses biochimiques. Ces analyses permettent d'identifier la source de nourriture de ces auxiliaires et d'en déduire le potentiel impact sur les pucerons.

En plus de ces notations, des suivis de biodiversité sur la faune terricole ont été réalisés. Vous en trouverez les résultats et la méthodologie dans le rapport du Laboratoire d'Eco-entomologie d'Orléans (autre livrable). Et enfin lors des campagnes nous avons établi une caractérisation de l'environnement proche avec suivi de floraison des plantes non désirées (maïs à proximité, fleurs sauvages, repousses de céréales). Ces facteurs n'ont rien donné car trop peu de sites étaient concernés par une notation positive de ces variables. Ces notations sont résumées sur le calendrier de suivi biodiversité présenté ci-dessous (cf. Figure 7).

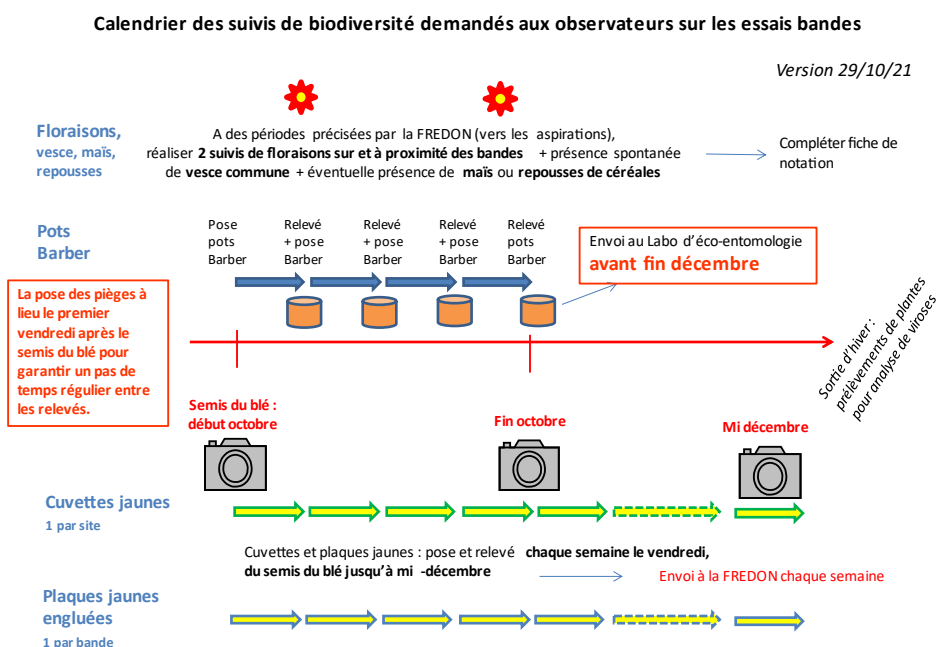


Figure 7: Calendrier des suivis de biodiversité des essais bandes ICIBA.

Toutes ces variables une fois traitées ont permis de produire les résultats présentés dans la partie suivante.

3.3 Résultats pluriannuels des essais bandes

Le rendement grain

Pour la partie résultats les rendements moyens de chaque modalité pour les 3 années d'essai sont présentés ci-dessous (cf. Figure 8).

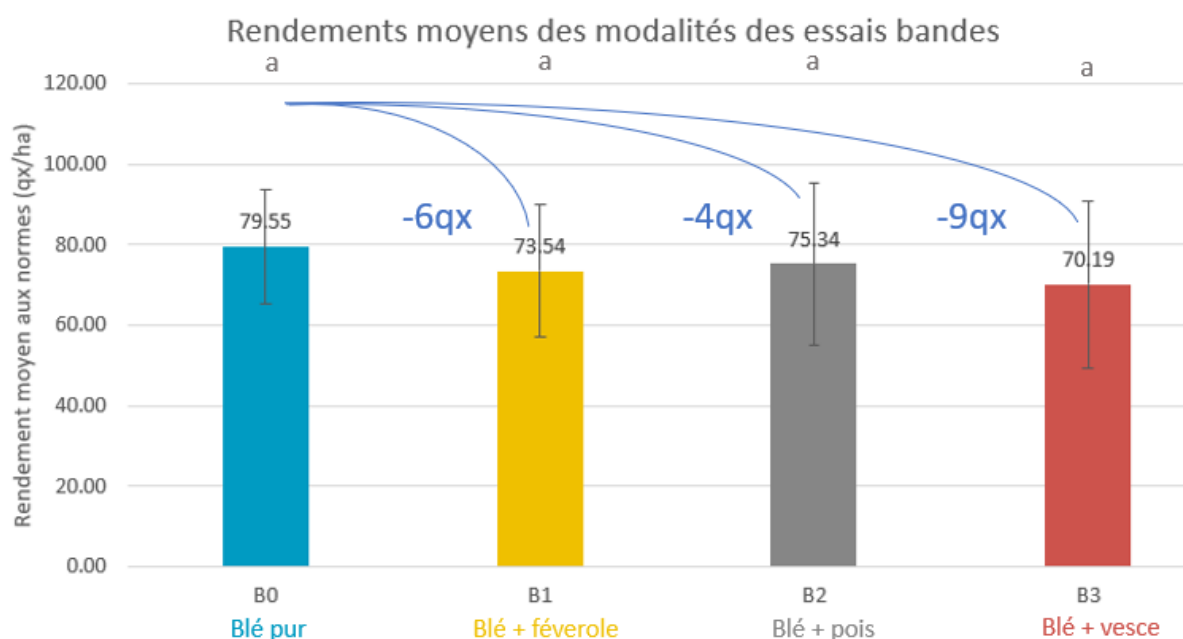


Figure 8 : Rendements moyens pluriannuels des différentes modalités de plantes associées des essais bandes du projet ICIBA.

A partir de l'analyse statistique (ANOVA) aucune différence significative n'a pu être démontrée principalement à cause de la forte variabilité des résultats entre les sites. Mais lorsque l'on regarde les moyennes on note que l'association sur les trois ans fait en moyenne moins bien que le témoin en pur. La meilleure des associations semble être le pois de printemps avec en moyenne -4qx/ha. La pire association est blé-vesce avec -9qx/ha, résultats qui avaient été encore plus catastrophiques pour cette modalité lors de la campagne 2021-2022 (avec -15.4qx/ha de moyenne).

Ces résultats sont assez décevants mais sont symptomatiques de la faible pression pucerons et cicadelles enregistrée dans nos essais. Même sans traitement le blé pur fait un bon rendement. S'il avait été plus fortement touché par les viroses son rendement aurait peut-être été inférieur. En tout cas sur nos trois années d'essais multisites le témoin a un meilleur rendement que les modalités associées.

Le taux protéique

En outre c'est à mettre en relation avec les taux protéiques car on peut supposer que les modalités avec des légumineuses en plantes compagnes (au moins celles détruites à l'automne) ont vu leur taux protéique augmenter. Or pour un rendement inférieur nous n'obtenons pas de taux protéique différents dans ces modalités (cf. Figure 9).

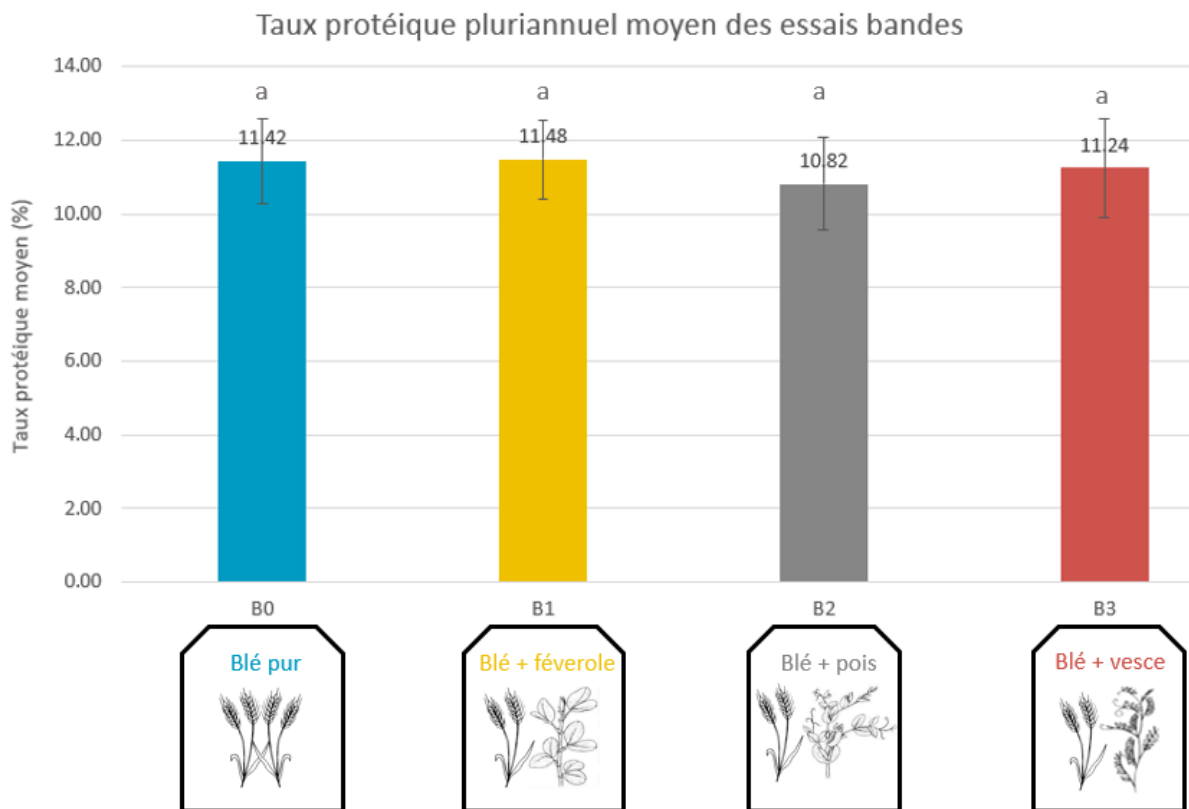


Figure 9 : Taux protéiques moyens des différentes modalités des essais bandes ICIBA (résultats pluriannuels sur 3 campagnes).

Sur ce graphique (cf. Figure 9) en moyenne la modalité du témoin blé pur a un taux protéique supérieur aux modalités associées à la vesce (B3) et au pois (B2). Seule la modalité associée féverole (B1) a un taux protéique proche de celui du témoin. Mais aucune des différences observées n'est significative, il est impossible de conclure sur l'intérêt de l'association vis-à-vis du taux protéique. Malgré tout, la féverole semble être un bon compromis entre le rendement et le taux protéique même si la modalité associée pois (B2) est plus productive.

Effet de l'association sur les viroses

Du point de vue des viroses et des ravageurs d'automne, l'hypothèse de base était que la présence d'un couvert perturberait les ravageurs et qu'en plus les couverts offriraient un refuge aux hyménoptères parasitoïdes et autres ennemis naturels des pucerons. On s'attend donc à voir moins de pucerons ou moins de viroses dans les cultures associées.

L'analyse se base surtout sur les résultats des tests ELISA pour la JNO et le virus WDV. Le graphique ci-dessous (cf. Figure 10) présente le pourcentage moyen de puits positifs à la JNO et au WDV pour chaque modalité des essais bandes.

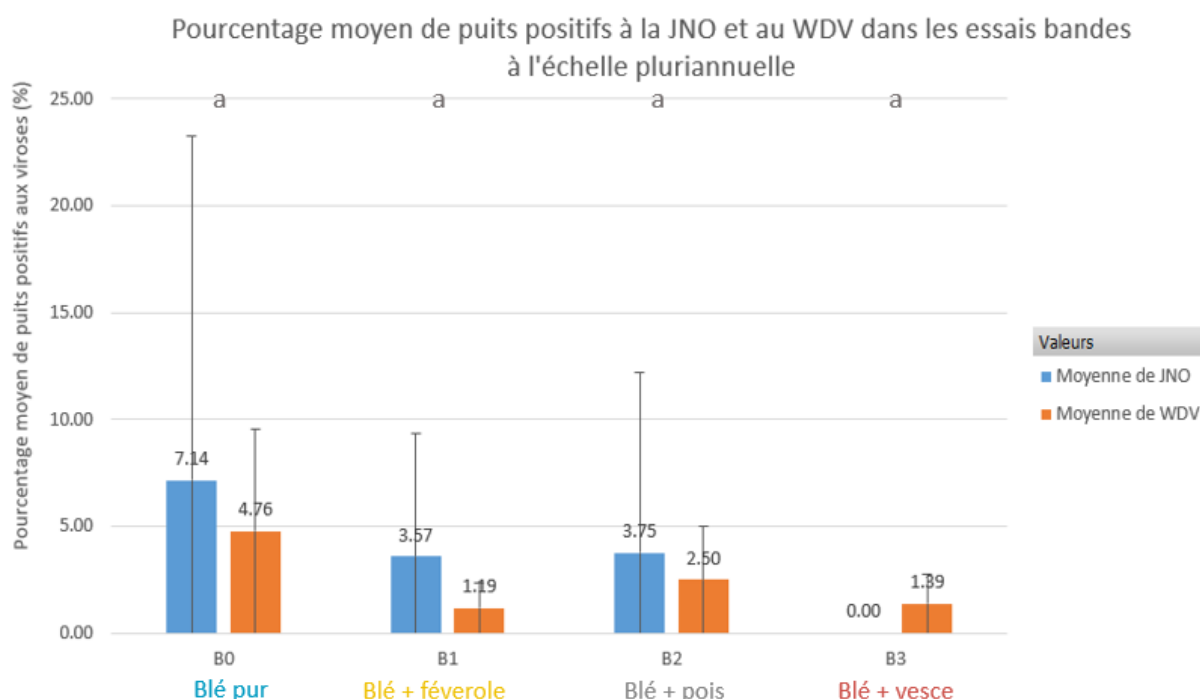


Figure 10 : Pourcentage moyen de puits positifs pour chaque modalité des essais bandes du projet ICIBA (résultats pluriannuels de 3 campagnes)

Sur le graphique présenté ci-dessus (cf. Figure 10), il est notable que durant les essais, la virose a été peu fréquente, atteignant un maximum de 6% pour le témoin B0 dans le cas de la JNO. Bien que les résultats ne soient pas statistiquement significatifs, une tendance se dégage pour la JNO, avec une charge virale moyenne plus élevée dans le cas du blé pur. Cela suggère que l'association d'une plante compagne au blé pourrait réduire l'impact des pucerons. En revanche, aucune tendance n'est observée pour la cicadelle. En termes de fréquence, l'effet est moins marqué, les modalités avec des plantes compagnes étant tout aussi touchées que les modalités avec du blé pur. Cela suggère que les charges virales sont moindres lors de l'association au blé, ce qui est d'ailleurs illustré par les écarts-types importants sur le graphique. Cependant, compte tenu de la faible pression observée dans nos essais, ces résultats restent indicatifs. D'un point de vue statistique, la présence de plantes compagnes n'a pas réduit de manière significative le pourcentage d'échantillons positifs pour la JNO ou le WDV. De plus, la présence de la JNO et le pourcentage d'échantillons positifs n'ont pas eu d'effet significatif sur le rendement des modalités. Il semble donc que dans nos essais les facteurs limitant le rendement ne soient pas liés aux viroses, mais plutôt à d'autres éléments. Enfin, il est à noter que les conditions de l'année en cours n'ont pas eu d'effet significatif sur les charges virales moyennes, ce qui est le résultat de trois années consécutives de faible pression en termes de pucerons et de cicadelles.

Pour les couverts, nous avons mis en place une note qui vient compléter les notations visuelles de la qualité des couverts. La « note couvert » mise en place est la somme d'une note attribuée à la hauteur du couvert et d'une note attribuée au pourcentage de plante levée par rapport aux grains semés. Cela peut servir à deux choses : avoir une donnée qui résume la capacité de la plante à pousser dans ces conditions et la quantité de biomasse mise en place. Cette quantité peut être un facteur limitant si les couverts concurrencent le blé, ou alors la quantité produite peut favoriser le blé vis-à-vis du rendement ou du taux protéique. Comme vu précédemment peu importe la modalité il n'y a pas eu d'effet significatif du couvert sur le rendement, sa qualité n'a pas joué non plus.

Cette donnée a en revanche servi à faire un choix final de couvert à préconiser. Sur le graphique ci-dessous (cf. Figure 11) sont illustrées la note couvert moyenne obtenue pour chaque modalité, ainsi que la hauteur moyenne du couvert et sa densité.

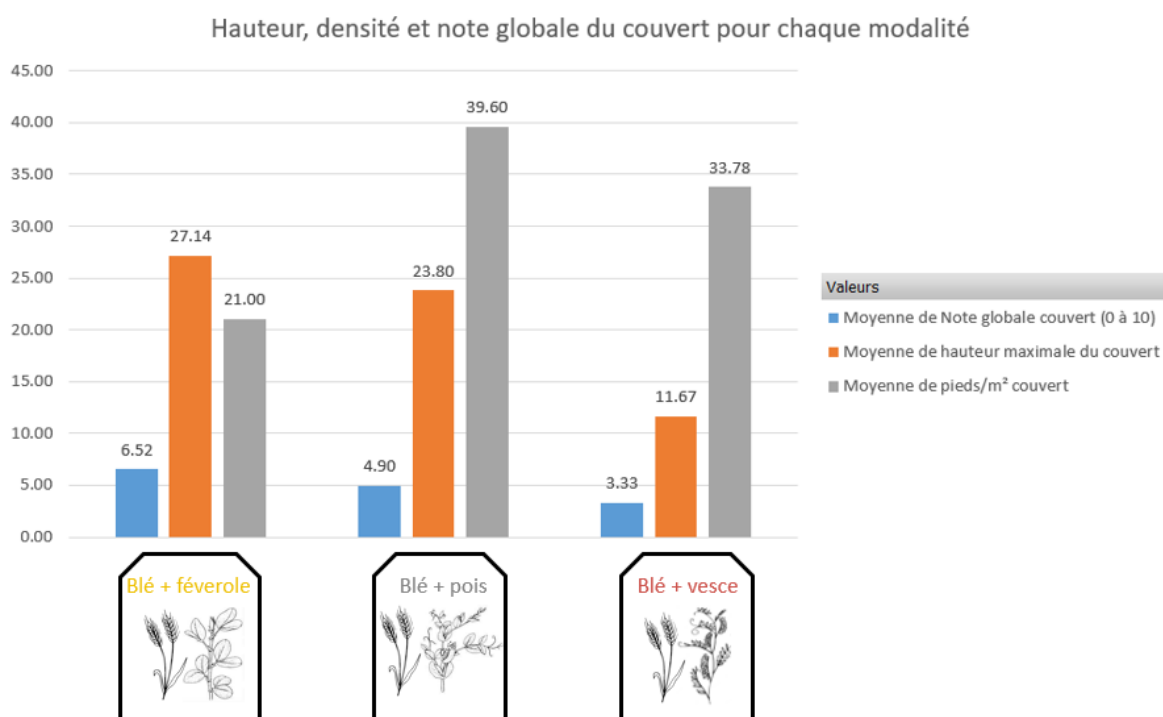


Figure 11 : Expression de la qualité des couverts exprimée par la Note couvert, la hauteur maximale moyenne du couvert et la densité moyenne du couvert. La hauteur en orange est exprimée en cm, la Note globale couvert est exprimée de 0 à 10 et la densité est exprimée en nombre de pieds/m².

Le graphique présenté (cf. Figure 11) met en évidence en premier lieu la note globale moyenne attribuée aux couverts, elle prend en compte la densité levée par rapport à la densité semée et la hauteur maximale du couvert. Le graphique révèle que le couvert B1 (féverole) est celui qui présente le développement le plus favorable, obtenant une note moyenne de 6.52. La levée de féverole se caractérise généralement par son homogénéité, et la hauteur du couvert est souvent satisfaisante. En revanche, pour les autres cultures, la densité est plus élevée, principalement en raison d'une densité de semis plus importante. En moyenne, 21 plants de féverole émergent sur 25 grains semés, tandis que les pois et la vesce, semés avec 80 grains, en produisent entre 30 et 40, soit moins de 50% de réussite. Par conséquent, la féverole est considérée comme la plante qui prospère le mieux dans ce contexte de cultures associées. Elle s'avère également plus résistante aux désherbages de pré-levée appliqués au blé. Enfin, même si elle n'est pas la culture la plus productive, elle conserve un rendement et un taux protéique satisfaisants, contrairement au pois qui semble favoriser le rendement au détriment du taux protéique. La féverole est donc recommandée comme plante compagne idéale du blé, en accord avec les résultats.

De plus, l'étude a montré que la durée de présence du couvert semble influencer le rendement du blé. En effet, plusieurs modalités de couverts n'ont pas été détruites ou l'ont été tardivement, et elles ont souvent montré des performances prometteuses. Cependant, il est important de noter que ces résultats ne sont pas statistiquement significatifs. Le graphique ci-dessous (cf. Figure 12) illustre cette corrélation. La corrélation linéaire attendue est relativement faible ($R^2 = 0.1686$). En revanche, lorsque le même graphique est réalisé exclusivement pour les modalités de couverts détruits au printemps, le coefficient de corrélation atteint 0.444. Cela suggère qu'un couvert associé composé de légumineuses et détruit au printemps favorise légèrement le rendement du blé, bien que ce rendement reste inférieur à celui du blé pur, comme précisé précédemment.

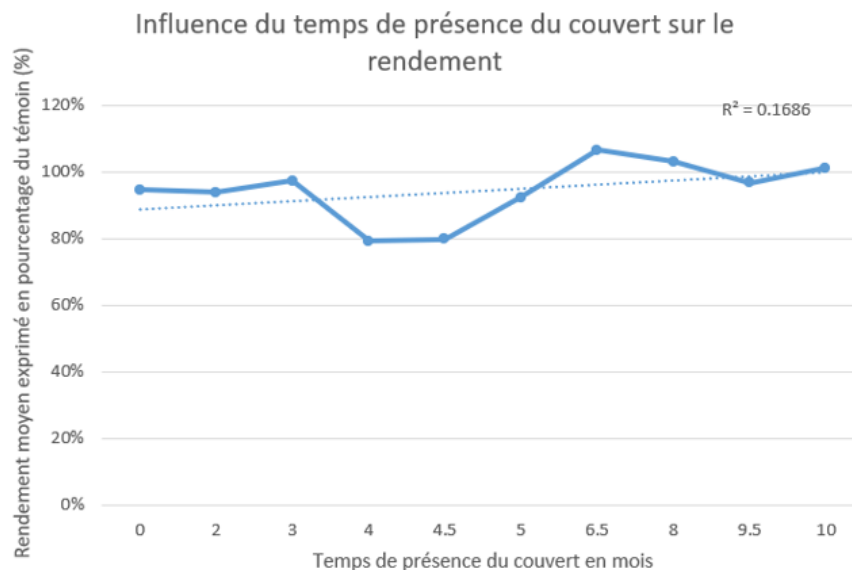


Figure 12 : Corrélation entre le temps de présence du couvert exprimé en mois et le rendement des modalités associées exprimées en pourcentage du témoin.

Suites à ces résultats en demi-teinte nous ne pouvons pas conclure sur un intérêt réel d'associer une plante compagne au blé afin de réduire l'impact des viroses sur céréales. Ce résultat est valable lorsque les années ne présentent pas de pression viroses importante. Enfin nous n'avons pas démontré de quelconque intérêt pour la gestion des cicadelles. Le résultat fort du projet reste l'itinéraire technique complet que nous avons construit pour la conduite du blé associé à la féverole.

4 Discussion et limites du projet

Dans le cadre de ce projet, de nombreuses limites à l'association du blé avec des légumineuses ont été identifiées. Contrairement à la plupart des études antérieures et des références bibliographiques, notre recherche a révélé que l'association du blé avec une légumineuse entraînait en moyenne une perte de rendement d'environ 5 à 10 %, en fonction du type d'association. Plusieurs facteurs expliquent cette perte. Tout d'abord, dans notre étude, les couverts ont été semés bien avant la culture de blé, une différence notable par rapport aux autres études. Cette précocité pourrait amplifier l'effet positif du couvert sur la réduction des ravageurs. Cependant, il est plausible que les couverts aient puisé des éléments minéraux, tels que l'azote, dans le sol avant l'arrivée du blé, réduisant ainsi la disponibilité en azote pour la culture principale. De plus, il est probable que tout au long du cycle de culture, le couvert et le blé soient entrés en concurrence pour l'eau, bien que cette

compétition soit moins préjudiciable pendant l'automne et l'hiver. Elle pourrait néanmoins avoir un impact plus significatif au printemps, avant la destruction complète du couvert.

Un autre objectif d'ICIBA était d'évaluer la viabilité économique du blé associé. Les rendements inférieurs des associations par rapport au blé cultivé seul rendent cette variable économique moins favorable. Cependant, une discussion détaillée sur ce point est abordée dans la section suivante.

4.1 Etude de la rentabilité technico-économique

Les associations de culture ne se sont pas avérées rentables du point de vue technico-économique, principalement en raison de la baisse de rendement attribuable à la présence de la plante compagne. L'analyse qui suit apporte un éclairage économique complémentaire aux parties intéressées par les associations de cultures ou pour les futurs projets.

L'analyse de la rentabilité économique s'est principalement portée sur les surcoûts résultant de l'implantation, de la gestion et de la perte de rendement liés aux couverts. Cette étude repose sur deux facteurs clés, à savoir le produit brut et le produit net de chaque association, rapportés à l'hectare cultivé. Le produit brut correspond au prix de vente à un moment donné (en l'occurrence, celui d'octobre 2023), multiplié par la production en tonnes de blé. Le produit net, quant à lui, est obtenu en soustrayant du produit brut les charges opérationnelles moyennes, calculées par le Groupe d'Étude et de Développement Agricole d'Arçay lors d'un projet de groupe pour la campagne 2022-2023. On y soustrait également les coûts liés aux passages de semoirs supplémentaires et le prix des semences de couvert. Les prix des semences de couvert ont été fournis en 2023 par un acteur local de la production de semences pour les semences certifiées, tandis qu'ils ont été estimés pour les semences de ferme à l'aide du logiciel ACACIA du GIEE Magellan. Les résultats de cette analyse économique sont présentés dans le graphique ci-dessous (cf. Figure 13) et sont exprimés en euros par hectare. Les variables prises en compte dans l'analyse sont présentées dans les deux tableaux associés à ce graphe (cf. Tableau 5).

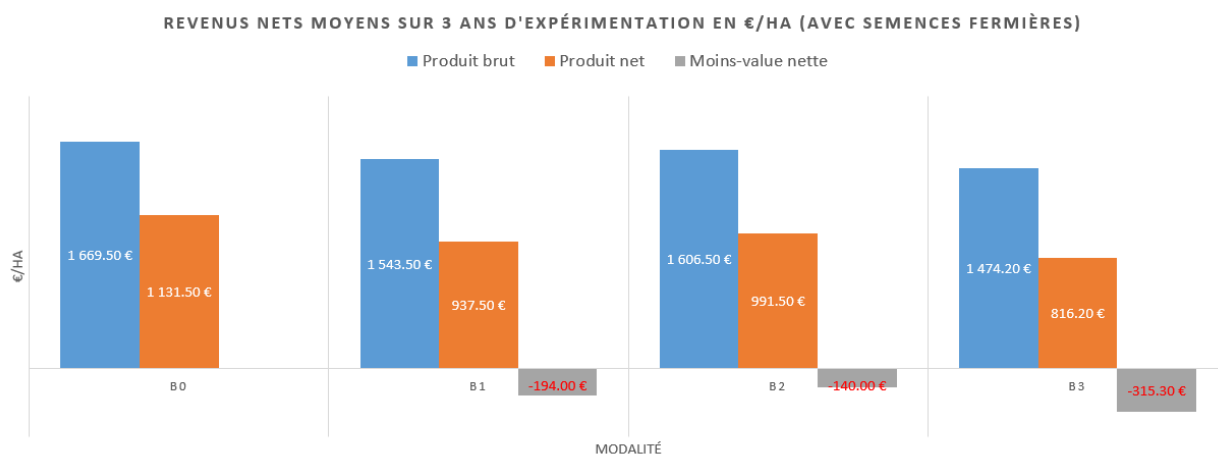


Figure 13 : Revenus nets moyens sur 3 années d'expérimentation pour les 4 modalités des essais bandes du projet ICIBA.

Prix du blé 2023	Charges opéré blé 2023 €/ha	
210.00 €	538 €	
	Prix semence fermière couvert €/ha	Coût supplémentaire semis
B1	31.00 €	37.00 €
B2	40.00 €	37.00 €
B3	83.00 €	37.00 €

Blé classique TCS	Déchaumage Sup	Semis tcs dents	Roulage	Ferti	Trait.	Récolte	Transport	Anti limace	
Nombre de passages	2	1	1	3	4	1	1	1	
Blé associé Semis direct	Déchaumage Sup	Semis tcs dents	Semis direct	Roulage	Ferti	Trait.	Récolte	Transport	Anti limace
Nombre de passages	2	1	1	1	3	4	1	1	1

Tableau 5 : Tableau résumant les variables prises en compte lors de l'analyse économique.

En plus des produits bruts et nets, la moins-value nette est présentée sur le graphique, correspondant au produit net de la modalité associée moins le produit net du témoin de blé pur. On observe sur ce graphique que le produit brut ainsi que le produit net sont toujours inférieurs pour les modalités associées. On constate également que la moins-value la moins importante est celle du pois, principalement grâce à son rendement. La féverole semble aussi intéressante car elle ne génère pas trop de frais supplémentaires. En revanche, la vesce a un impact négatif marqué sur le rendement, et les semences, même de ferme, sont assez chères. Ces données sont donc valables lorsque l'agriculteur produit ses propres semences. Si l'on fait la même analyse avec des semences certifiées, la moins-value pour B1 est de 323 €, celle de B2 est de 321 €, et celle de B3 est de 332 €. On constate que les prix des semences certifiées sont plus élevés pour les pois de printemps et la féverole par rapport aux semences de ferme, lissant la différence entre les modalités. En revanche, le surcoût engendré par l'achat de semences certifiées pour le couvert est d'environ 50 à 150 €/ha, selon l'association.

En résumé, on peut dire qu'associer une plante compagne au blé génère une **moins-value de l'ordre de 150 € à 300 €/ha les années où il y a peu de JNO**. Ce surcoût augmente si l'on décide de se procurer des semences certifiées. La moins-value est principalement liée à la baisse de rendement mesurée lors de l'étude.

Dans cette étude économique, le désherbage est pris en compte comme s'il était réalisé de manière classique. En réalité, des doses moindres de produits désherbants étaient appliquées dans le cas d'une conduite associée. Cependant, ce n'est pas tant un choix technique qu'une stratégie visant à préserver les couverts en place.

4.2 Gestion du désherbage complexe

Comme illustré précédemment, le désherbage du blé est un facteur essentiel dans la gestion d'une association blé-légumineuse. Au cours des premières années du projet, de très faibles doses de désherbants ont été utilisées sur les blés associés des essais en bandes. Cependant, les résultats de ces désherbages étaient médiocres, et les agriculteurs chez qui les essais étaient menés se plaignaient même de problèmes de salissement. C'est pourquoi, au cours des années suivantes, nous avons cherché à définir les limites du désherbage de cette culture associée.

Il est maintenant acquis que la vesce commune et le pois de printemps sont très sensibles au glyphosate, bien plus que la féverole, capable de résister à des doses beaucoup plus élevées (jusqu'à 2 L/ha de glyphosate normé à 600g/L). Malgré les ralentissements parfois observés et les dommages occasionnés, la féverole conserve une capacité significative de repousser, que ce soit à partir de sa hampe principale ou parfois même à partir des bourgeons axillaires de sa base. En termes de recommandations, il est préférable de se limiter à 360 g de glyphosate pour désherber les blés associés (pour garantir la conservation de la féverole). Pour les pois et la vesce, la limite est deux fois inférieure (180 g de glyphosate), mais même à cette dose, la vesce commune peine à se développer en automne, tout comme le pois.

De plus, lorsque la féverole est la plante compagne, il est possible d'appliquer un désherbage classique du blé, que ce soit en post-précoce, ou en pré-levée suivie d'une application post-levée. Toutefois, il est recommandé d'éviter des doses élevées de produits contenant du DFF (diflufenican), tels que le FOSBURI ou le COMPIL.

En ce qui concerne la destruction de la féverole dans le blé, cette plante n'est pas toujours facile à éliminer. Cependant, les produits à base d'hormones utilisés au printemps sont tout à fait capables de gérer la situation. Si possible, laissez la féverole en place le plus longtemps possible pour bénéficier de son effet positif sur le rendement du blé associé. Si le gel n'a pas complètement détruit les féveroles pendant l'hiver, les produits à base de clopyralide sont efficaces au printemps. Si votre principale préoccupation est le taux de protéines dans le blé, une destruction en décembre favorise davantage une augmentation du taux protéique par rapport à un gain de rendement.

Il est essentiel de noter que la présence d'une plante compagne ne doit en aucun cas entraîner un surcoût en matière de désherbage. Si la plante compagne est trop développée dès l'automne et qu'elle concurrence fortement le blé pour la lumière, il est possible d'effectuer un broyage mécanique de la féverole sans toucher au blé, notamment si la féverole est au stade de floraison. Cependant, étant donné que les doses d'herbicides sont limitées dans ces pratiques, il est important de cibler des parcelles exemptes de mauvaises herbes graminées. Les parcelles idéales sont celles intégrées dans des rotations agricoles longues et diversifiées. Enfin, si le pois est choisi pour l'association, il convient d'éviter les parcelles qui ont reçu du pois au cours des 4 années précédentes pour gérer prophylactiquement des maladies telles que l'aphanomyces.

Malgré des résultats agronomiques mitigés, il est essentiel de noter que les résultats des suivis de biodiversité et des suivis de pucerons étaient beaucoup plus encourageants.

4.3 Pistes de réflexion sur l'amélioration de la conduite du blé associé

Les premières pistes de réflexion portent sur la concurrence entre le couvert et le blé. Comme évoqué précédemment, nous supposons que le couvert implanté tôt entre en concurrence précoce avec le blé pour les ressources nutritionnelles (notamment l'azote) et l'eau. Ces suppositions soulèvent la question de l'épuisement des ressources par les plantes compagnes avant le semis du blé. Même durant l'automne, notamment dans des conditions de forte croissance comme à l'automne 2022, le couvert peut prendre l'avantage sur le blé et concurrencer sa croissance en termes de lumière. Dans les essais en microparcelle, aucune différence significative de rendement n'a été observée entre le témoin et les modalités associées. Cependant, dans ces essais, les couverts ont été semés beaucoup plus tard et étaient donc moins développés. Le doute subsistait quant à l'utilité de ces couverts et à leur efficacité contre les ravageurs. C'est pourquoi nous avons avancé les dates de semis des couverts. Il est possible qu'il faille encore déterminer la date optimale de semis des plantes compagnes qui permettrait d'obtenir un couvert ni trop développé ni insuffisamment développé. Ce couvert idéal ne concurrencerait pas le blé tout en maintenant son efficacité contre les ravageurs. Cependant, cela s'avère être une tâche complexe, car même dans des modalités où le couvert est peu développé (par exemple la vesce à Allouis dans le Cher en 2023), il y a une concurrence manifeste entre le couvert et le blé. Il est possible que la réduction de la densité de semis des couverts puisse avoir un impact sur cette concurrence. En diminuant cette densité, il est envisageable de conserver un éventuel effet positif sur les ravageurs tout en limitant la concurrence avec le blé. Cette piste d'amélioration, combinée à la date de semis, pourrait permettre de réduire l'effet négatif du couvert sur le blé.

Deuxièmement, nous pourrions envisager de changer la position de la plante compagne dans la parcelle. Au lieu de la semer au sein des cultures, il serait peut-être possible de créer des dispositifs en bandes le long des bordures des parcelles. Il faudrait évaluer l'effet de ce type de dispositif sur les ravageurs. Si la présence en bordure se révèle inefficace, nous pourrions tester des bandes alternées de blé et de féverole, avec un passage de semoir en féverole suivi d'un passage en blé, et ainsi de suite. Une autre option serait de réaliser plusieurs passages de semoir en blé, avec une bande de féverole

tous les 50 mètres ou 100 mètres. Bien que cette pratique puisse sembler complexe du point de vue logistique, si elle s'avère efficace contre les ravageurs, elle constitue une alternative envisageable. Enfin, nous pourrions explorer l'impact d'une parcelle de féverole située à proximité d'une parcelle de blé. Est-ce qu'une parcelle composée de légumineuses, distante d'environ cinquante mètres d'une parcelle de blé, aurait un effet sur les ravageurs d'automne ? Nous cherchons actuellement à mettre en place de tels dispositifs expérimentaux pour gérer les grosses altises dans le colza, en utilisant des parcelles à proximité de couverts de radis. Toutes ces propositions restent des expérimentations à réaliser pour confirmer leur effet positif sur les ravageurs d'automne.

Pour conclure, il serait intéressant de mesurer l'impact d'une légumineuse pérenne intégrée dans l'ensemble du système agricole. Des expérimentations de ce type ont déjà été menées par la FDGEDA du Cher entre 2018 et 2021 au sein du GIEE "Semons dans le vivant". Ces essais avaient pour objectif d'évaluer la faisabilité technique d'une association pérenne avec une légumineuse, par exemple la luzerne, dans une rotation colza-blé-orge. L'objectif était de maintenir la luzerne tout au long de la rotation. Plusieurs variables ont été mesurées, notamment les reliquats azotés, l'impact sur la microflore du sol, l'effet sur le taux de matière organique et les résultats agronomiques classiques tels que le rendement et le taux protéique. Les résultats ont montré que sur le plan technique, cela était réalisable, avec des avantages pour la biologie du sol et le taux de matière organique. Cependant, du point de vue agronomique, les résultats étaient mitigés, la luzerne étant la plante compagne la plus prometteuse. Elle était l'une des rares à être présente en quantité satisfaisante trois ans après son implantation.

Il convient de noter que les effets de la légumineuse pérenne sur les ravageurs d'automne n'ont pas été évalués lors de ces essais. Cette piste de recherche pourrait être intéressante, bien que ce type de culture soit davantage adapté aux systèmes d'agriculture de conservation des sols.

Enfin, la littérature spécialisée indique que l'association blé-légumineuse est mieux adaptée aux systèmes à faibles intrants. Dans les systèmes où le blé seul montre des performances moindres par rapport à l'agriculture conventionnelle, l'association avec une légumineuse peut potentiellement améliorer la productivité du blé. Ces méthodes semblent moins adaptées à l'agriculture conventionnelle.

Et pour finir il est clair dans la littérature que l'impact négatif des plantes compagnes sur le rendement pourrait être compensée par la récolte de la plante compagne en même temps que le blé. Le rendement de cette double culture serait supérieur et pourrait permettre de compenser la perte économique. Mais ces pratiques nécessitent un système de triage du grain pour être correctement valorisées.

5 Elaboration de supports et valorisation des acquis de la méthode

Cette section consiste en une discussion concernant les livrables et les résultats du projet ICIBA. L'objectif principal du projet était de communiquer les résultats et les éléments de compréhension, en premier lieu aux agriculteurs, puis à la profession agricole, et enfin au grand public.

Pour cela, la valorisation du projet s'est articulée autour de trois principaux volets : la production de supports, la diffusion de ces supports, et la publication de rapports.

Tout d'abord, plusieurs rapports sont disponibles, offrant une compréhension approfondie des tenants et aboutissants du projet ICIBA. Il y a ce rapport sur les résultats agronomiques des essais, ainsi que différents rapports agronomiques intermédiaires, y compris un rapport sur les essais en microparcelle. Pour la partie liée aux ravageurs et aux auxiliaires volants, vous pouvez vous référer au rapport de FREDON Centre-Val de Loire. Pour la faune terricole, le rapport du Laboratoire d'Éco-Entomologie d'Orléans est également disponible. Enfin un rapport reprenant toutes les conclusions du projet est aussi disponible.

En ce qui concerne les supports de diffusion, divers outils ont été développés. Des posters ont été créés pour présenter les premiers résultats du projet ICIBA ainsi que les méthodes de suivi. Ces posters ont été utilisés lors de visites d'essais. De plus, sur le site internet du projet, accessible au public, vous pouvez retrouver plusieurs éléments relatifs au projet ICIBA, notamment la méthodologie, les résultats, des photographies, etc. Comme initialement prévu, des collections d'insectes capturés pendant le projet ont été constituées et distribuées aux membres du projet ICIBA. Ces collections d'auxiliaires de culture peuvent servir d'illustration lors de réunions techniques avec des agriculteurs. Enfin, un album photo des auxiliaires et des ravageurs rencontrés dans le projet a également été constitué. Cet album est une base de données utilisable telle quelle ou valorisable dans divers supports. Pour en finir avec cette partie, une plaquette technique est disponible pour toute personne intéressée par le blé associé. Cette plaquette résume tout l'itinéraire technique du blé associé. C'est un support important et directement valorisable par un agriculteur ou un conseiller agro.

En ce qui concerne la diffusion, des visites des essais en microparcelle ont eu lieu à l'automne 2021, ainsi que des visites des essais en bandes à l'automne 2022. Principalement, ce sont des groupes GEDA qui se sont rendus sur les lieux des essais pour les visiter et comprendre le projet. De plus, une vidéo retraçant l'ensemble du projet ICIBA a été produite et est accessible sur le site. Ce support de diffusion s'avère très utile et sera diffusé auprès d'un large public. Pour annoncer la restitution des résultats, ainsi que pour atteindre un public spécifique, des articles ont été publiés dans les journaux agricoles locaux. Cela a également permis d'annoncer le webinaire. Enfin, dans le cadre de la diffusion, un webinaire de restitution a été créé et s'est tenu le 16 novembre 2023. L'invitation a été diffusée à un large public via des e-mails, des réseaux interposés et les réseaux sociaux. Cet événement de valorisation constitue un moment phare du projet ICIBA.

D'autres support auraient pu être choisis comme la production d'un guide technique ou la restitution des éléments lors d'un colloque classique. Mais le panel de diffusion était déjà très bien fourni et avait même dépassé les attentes du projet.

Conclusion

Le projet ICIBA (Intérêt des Cultures Innovantes de Blé Associé) a vu le jour en réponse à l'interdiction des néonicotinoïdes et à l'arrêt de l'utilisation d'insecticides pour le traitement des semences, tels que le Gaucho en 2018. Depuis lors, la lutte contre les ravageurs des céréales (pucerons et cicadelles) se réalise par des traitements en cours de végétation. Ces ravageurs sont particulièrement problématiques car ils sont vecteurs de viroses. Les pucerons des céréales transmettent la Jaunisse Nanisante de l'Orge (JNO), tandis que la cicadelle propage la maladie des pieds chétifs (virus WDV). Ces viroses peuvent entraîner d'importantes pertes de rendement si les ravageurs ne sont pas maîtrisés.

Les objectifs du projet ICIBA étaient donc les suivants : évaluer la faisabilité technique et économique de cette approche, démontrer son efficacité dans la lutte contre les pucerons et les cicadelles, et prouver les avantages qu'elle offre en termes de biodiversité fonctionnelle (auxiliaires de culture).

La première phase d'essais en microparcelle a permis de sélectionner trois plantes compagnes favorables pour le blé, à savoir la féverole, le pois de printemps et la vesce.

Cependant, les essais en bandes n'ont pas produit des résultats aussi encourageants. En moyenne, l'association du blé avec l'une de ces trois espèces a entraîné une perte de rendement d'environ 5 à 10 % (soit 4 à 9 quintaux par hectare) par rapport au blé pur. De plus, il n'a pas été possible de démontrer un bénéfice significatif en termes de gestion des ravageurs, même si l'on observe une tendance positive avec moins de viroses dans les parties associées. En fin de compte, du point de vue agronomique le résultat le plus marquant de l'étude est l'élaboration d'un itinéraire technique clair pour la gestion et la conduite d'un blé associé à une féverole.

Du point de vue économique, l'association engendre un manque à gagner d'environ de l'ordre de 150 € à 300 € par hectare, principalement dû à la baisse de rendement combinée au coût des semences. Ainsi, l'hypothèse selon laquelle l'association aurait un impact positif sur le blé n'a pas pu être validée au cours de notre étude. La principale limite de celle-ci résidait dans la faible pression des pucerons des céréales et des cicadelles observées au cours des trois années d'essais. Une autre limite potentielle réside dans la gestion du désherbage du blé, qui est rendue complexe par la présence du couvert. À l'avenir, il serait intéressant de vérifier la tendance suggérant que la plante compagne permet une meilleure gestion des pucerons des céréales. Il pourrait être utile de réaliser un suivi des pucerons dans un système d'agriculture de conservation basé sur une rotation colza-blé-orge avec une légumineuse pérenne sous culture (comme la luzerne), afin de confirmer ces observations.

Dans les conditions de nos expérimentations, aucun effet significatif de l'association sur les populations de pucerons des céréales et de cicadelles n'a été observé. De plus, une réduction du rendement du blé associé par rapport au blé pur a été notée, et cela semble être dû à la concurrence entre le couvert et le blé en automne. Ces résultats sont valables en cas de faible pression des pucerons des céréales et des cicadelles.

Références bibliographiques :

Arvalis-Institut du végétal – Diaporama Journées techniques automne 2018 : « JNO : derniers résultats et recommandations »

Arvalis-ESA-INRA, article dans Perspective agricole octobre 2013 – Association céréales légumineuses en grain

Arvalis-AgroParisTech-Terres Inovia - article dans Perspectives agricoles avril 2017 - Pratiques culturales des couverts permanents

Bedoussac L., Journet E-P, Rouet P., Josse C., Ledoux S. Justes E. (Université de Toulouse, ENFA, UMR INRA-INPT/ENSAT 1248 AGIR, CNRS), 2011, Cultiver du blé en association avec une légumineuse à graine : un moyen efficace pour accroître la production et la qualité des graines en agriculture biologique

Bedoussac L., Triboulet P., Magrini M-B., Rambault G., Foissy D., Corre-Hellou G. Conséquences de l'introduction des cultures associées céréale-légumineuse à graines dans les filières. Analyse du point de vue des agriculteurs et des coopératives, 2013, (ENFA, INRA UMR1248 AGIR, Université Toulouse INPT UMR AGIR, TERRENA, INRA Mirecourt UR0055 ASTER, LUNAM Université, Groupe ESA) dans Innovations Agronomiques 32 (2013), 199-212

Bedoussac L. Université de Toulouse. Analyse du fonctionnement des performances des associations blé dur-pois d'hiver et blé dur-féverole d'hiver pour la conception d'itinéraires techniques adaptés à différents objectifs de production en systèmes bas-intrants. Rapport de thèse soutenue le 29 sept 2019, 238p. Unité de recherche : INRA, UMR 1248 AGIR, Equipe VASCO. Directeur(s) de Thèse : JUSTES Eric et WALLACH Daniel

Betencourt Elodie, Montpellier SupAgro. Interactions entre céréale et légumineuse en association et acquisition de phosphore du sol : processus rhizosphériques sous-jacents. Rapport de thèse dirigée par Philippe HINSINGER, INRA, soutenue le 2 octobre 2012. 244p.

Cadoux S., Sauzet G, Valantin-Morison M., Pontet C., Champolivier L., Robert C., Lieven J., Flénet F., Mangenot O., Fauvin P., Landé N., (CETIOM, UMR 211 Agronomie, INRA-Agro Paris Tech), 2015, Intercropping frost-sensitive legume crops with winter oilseed rape reduces weed competition, insect damage, and improves nitrogen use efficiency. Dans OCL-OI Corps Gras Lipides 22, 11 p.

Casdar ALLIANCE – améliorer les performances écologiques et économiques par association de plantes de services légumineuses dans des systèmes de cultures à base de blé et de colza, 2014-2017, INRA Grignon-AgroParisTech :

Casdar ALLIANCE, AAP Recherche et Innovation – diaporama pédagogique

Projet ALLIANCE, colloque de restitution, 30 janvier 2017 à Paris, résumé des interventions

Colloque Alliance, 30 janv 2017, Blé associé à des plantes de services en agriculture conventionnelle, diaporama-intervention de Muriel Valantin-Morison et Valentin Verret, INRA de Grignon – UMR Agronomie

Casdar APPACH 2014-2017, Associations de plantes en agro-écologie – résultats du colloque de restitution du 22/01/2018, CIVAM du Pays Châtelleraudais

Casdar Concilier productivité et services écologiques, associations céréales-légumineuses multiservices, 2009-2011, ESA d'Angers

Casdar Cultiver des associations céréales-protéagineux : des intérêts agronomiques, économiques, et environnementaux à découvrir, 2006-2008, UNIP, rapport technique final, 112 pages

Chambres d'agriculture Centre-Val de Loire et FDGEDA 18, fiches techniques (cadre PRDAR – action 121) :

Association colza sarrasin (2017) ;

Colza associé à des légumineuses (2016) ;

Cultiver des protéagineux associés à des céréales : quels bénéfices ? (2018)

Cultiver du blé associé à une plante compagne : avec la féverole des effets positifs sur la teneur en protéines (février 2019)

Chambres d'agriculture de Poitou-Charentes/Vendée, 2012, Cultiver du colza d'hiver associé avec des plantes de service, bilan de 3 ans de références, 22 pages

Cholez C., Magrini M.-B., Cultiver des légumineuses à graines en pure ou en association avec des céréales : points de vue d'acteurs du système sociotechnique agricole, 2014, (UMR 1248 AGIR, INRA-Toulouse), dans Innovations agronomiques 40 (2014), 43-59

Corre-Hellou G., Baranger A., Bedoussac L., Cassagne N., Cannavacciuolo M., Joëlle J., Pelzer E., Piva G. (LUNAM Université, Groupe ESA, UMR INRA Agrocampus Ouest Université Rennes 1 IGEPP, ENFA, INRA UMR 1248 AGIR, INRA-AgroParisTech, UMR 211 Agronomie), 2014, Interactions entre facteurs biotiques et fonctionnement des associations végétales

Corre-Hellou G., Bédoussac L., Bousseau D., Chaigne G., Chataigner C., Célette F., Cohan J.P., Coutard J.P., Emile J.C., Floriot M., Foissy D., Guibert S., Hemptinne J.L., Le Breton M., Lecompte C., Marceau C., Mazoue F., Merot E., Metivier T., Morand P., Naudin C., Omon B., Pambou I., Pelzer E., Prieur L., Rambaut G., Tauvel O. 2013. Associations céréale-légumineuse multi-services. Innovations Agronomiques 30, 41-57.

Fontaine L., Coulombel A., Belleil A., (ITAB), 2013, Association céréales/légumineuses – des atouts agronomiques indéniables, dossier dans AlterAgri 119

GAB/FRAB Bretagne - Les fiches techniques du réseau GAB/FRAB. Grandes Cultures fiche n°3 - Mélanges céréaliers, 2009

Hellou G. 2014. Les systèmes basés sur les associations d'espèces. Session Systèmes de cultures innovants. Académie d'Agriculture. 5 février 2014, Paris, France

INRA, Carrefours de l'innovation agronomique : Associations végétales – actes du colloques, 20 novembre 2014 à Angers, 131 pages

Iverson, A.L., Marin, L.E., Ennis, K.K., Gonthier, D.J., Connor-Barrie, B.T., Remfert, J.L., Cardinale, B.J., Perfecto, I., 2014. Do polycultures promote win-wins or trade-offs in agricultural ecosystem services? A meta-analysis. J. Appl. Ecol. 51, 1593-1602.

Jamont M., Crépellière S., Jaloux B. Effect of extrafloral nectar provisioning on the performance of the adult parasitoid *Diaeretiella rapae*, 2013, (Agrocampus Ouest UMR 1349 IGEPP, Nunam Université Angers) dans Biological Control 65 (2013) 271-277

Jeuffroy M.-H., Pelzer É., Bedoussac L. 2017. Construction et évaluation de scénarios territoriaux d'insertion de légumineuses. Compte-rendu du projet ANR LEGITIMES. 70 p.

Meynard, J.-M., Messéan, A., Charlier, A., Charrier, F., Farès, M., Bail, M.L., Magrini, M.B., Savini, I., 2013. Freins et leviers à la diversification des cultures. Étude au niveau des exploitations agricoles et filières. Synthèse du rapport d'étude. Éd. INRA, France, p. 52 p.

Moreau Coline, AgroParistech-INRA, Master 2017-2018 dans le cadre du projet ReMIX : Démarche de co-conception d'associations de cultures dans un dispositif multi-acteurs en région Occitanie. 15 p.

Moschard M., rapport de Master 2 - Caractérisation et quantification des dégâts de sitones sur les cultures de féverole, Université de Strasbourg – Agrocampus Ouest UMR IGEPP – 2017

Ndzana, R.A., Magro, A., Bedoussac, L., Justes, É., Journet, É.P., Hemptinne, J.L., 2014. Is there an associational resistance of winter pea–durum wheat intercrops towards *Acyrtosiphon pisum* Harris? *J. Appl. Entomol.* 138, 577-585.

Pelzer E., Bédoussac L., Hellou G., Jeuffroy M.-H., Métivier T., Naudin C. 2014. Association de cultures annuelles combinant une légumineuse et une céréale : retours d'expériences d'agriculteurs et analyse. *Innovations Agronomiques* 40, 73-91.

PerfCom programme Systerra ANR, 2012, Cultures Associée Céréale / Légumineuse en agriculture « bas intrants » dans le Sud de la France, rapport déc. 2012 - INRA, Sup'Agro Montpellier, Arvalis, ESA, CIRAD, IRD, CIVAM bio Aude

Stenger J.L., Pottier M. (Corab Centr'Atlantique) Partage d'expérience sur blé féverole récolte 2015, 1ères rencontres des grandes cultures bio 24 novembre 2016-Paris

Terres Inovia, article dans l'Aurore paysanne 14/07/2017 – Associer son colza à des légumineuses gélives

Valantin-Morison M. and al. 2017 - Colza et blé tendre cultivés avec des plantes de service

Valantin-Morison M., David C, Cadoux S. Lorin M. Celette F., Amossé C., Basset A. (INRA-AgroParisTech, ISARA, CETIM, Jouffray Drillaud), 2014, Association d'une culture de rente et espèces compagnes permettant la fourniture de services écosystémiques. Dans *Innovations Agronomiques* 40 (2014), 93- 112

Verret, V., Gardarin, A., Makowski, D., Lorin, M., Cadoux, S., Butier, A., Valantin-Morison, M., 2017. Assessment of the benefits of frost-sensitive companion plants in winter rapeseed. *Eur. J. Agr.* 91, 93-103.

Verret, V., Gardarin, A., Pelzer, É., Médiène, S., Makowski, D., Valantin-Morison, M., 2017. Can legume companion plants control weeds without decreasing crop yield? A meta-analysis. *Field Crop. Res.* 204, 158-168.

Végépolys Valley, Région Pays de la Loire. Diaporama Webinaire du projet PEI Santé du végétal, 20 septembre 2019 : Episode 4 « Plantes de service et gestion des adventices »

http://www.fiches.arvalis-infos.fr/fiche_accident/fiches_accidents.php?mode=fa&type_cul=1&type_acc=7&id_acc=54

<https://www.arvalis-infos.fr/observer-les-cicadelles-pendant-la-periode-la-plus-chaude-de-la-journee-@/view-20120-arvarticle.html>

Carr, P. M., B. G. Schatz, J. C. Gardner, et S.f. Zwinger. « Grain Yield and Returns from Intercropping Wheat and Flax ». *Journal of Production Agriculture* 6, n° 1 (1993): 67-72.

<https://doi.org/10.2134/jpa1993.0067>.

Carr, Patrick M., John J. Gardner, Blaine G. Schatz, Steven W. Zwinger, et Steven J. Guldán. « Grain Yield and Weed Biomass of a Wheat–Lentil Intercrop ». *Agronomy Journal* 87, n° 3 (1995): 574-79.

<https://doi.org/10.2134/agronj1995.00021962008700030030x>.

Lopes, Thomas, Séverin Hatt, Qinxuan Xu, Julian Chen, Yong Liu, et Frédéric Francis. « Wheat (*Triticum Aestivum* L.)-Based Intercropping Systems for Biological Pest Control ». *Pest Management Science* 72, n° 12 (2016): 2193-2202. <https://doi.org/10.1002/ps.4332>.

Mandal, Bijan K., et Susanta K. Mahapatra. « Barley, Lentil, and Flax Yield under Different Intercropping Systems ». *Agronomy Journal* 82, n° 6 (1990): 1066-68.

<https://doi.org/10.2134/agronj1990.00021962008200060007x>.

- « Projet Asso céréales-légumineuses | Ecophytopic ». Consulté le 13 septembre 2023.
<https://ecophytopic.fr/recherche-innovation/prevenir/projet-asso-cereales-legumineuses>.
- Stefan, Laura, Nadine Engbersen, et Christian Schöb. « Crop–Weed Relationships Are Context-Dependent and Cannot Fully Explain the Positive Effects of Intercropping on Yield ». *Ecological Applications* 31, n° 4 (2021): e02311. <https://doi.org/10.1002/eap.2311>.
- Verret, Valentin, Mathieu Lorin, Safia Médiène, Elise Pelzer, Florian Celette, et Christophe Naudin.
« ALLIANCE : Amélioration des performances écologiques et économiques par association de plantes de services Légumineuses dans des systèmes de grandes cultures », 1 février 2019, 349-65.
- « Yield of Corn, Cowpea, and Soybean Under Different Intercropping Systems1 | Agronomy Journal ». Consulté le 30 juin 2023.
<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/agronj1983.00021962007500060032x>.