

L'Institut Agro Rennes-Angers  
 Site d'Angers  Site de Rennes

Année universitaire : 2023-2024

**Spécialité :**

Ingénieur agronome

**Spécialisation (et option éventuelle) :**

Sciences et Ingénierie du Végétal (SIV)

(Option Agrosystèmes : conception et  
évaluation)

**Mémoire de fin d'études**

d'ingénieur de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)

de master de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)

de l'Institut Agro Montpellier (étudiant arrivé en M2)

d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

# Etude des performances de cultures associées avec de la lentille dans un réseau de parcelles agricoles biologiques

Par : Margot PETIT



*Soutenu à Rennes le 18/09/2024*

*Devant le jury composé de :*

**Président :** Christine BISSUEL

Autres membres du jury (Nom, Qualité) :

**Maître de stage :** Laurent BEDOUSSAC, Justine  
LEMONNIER et Céline LE GARDIEN

Arnaud DELBAERE, rapporteur

**Enseignant référent :** Matthieu CAROF

*Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle de l'Institut Agro Rennes-Angers*

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation « Paternité-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 France » disponible en ligne <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>



## Remerciements

Je souhaiterais tout d'abord prendre le temps de remercier ceux sans qui ce rapport n'aurait pas pu voir le jour.

Laurent, merci pour ton temps qui je le sais est précieux, pour ta rigueur, tes conseils toujours avisés. Excel n'a désormais plus aucun secret pour moi !

Merci Céline pour tes conseils et ta disponibilité ; Merci Justine pour ta bienveillance et ton écoute.

A vous 3, un grand merci de m'avoir accordé votre confiance et la liberté d'un certain nombre de choix durant mon stage, cela a été particulièrement formateur. Je vous suis également reconnaissante pour votre accompagnement et vos relectures sur la rédaction de ce mémoire.

Merci aux collègues de l'Union des CUMA et GABBAnjou avec qui j'ai partagé les locaux et bien plus au cours de ces 6 mois. Merci à Antonin, Brigitte et Vanessa pour ces moments de bonne humeur partagés dans notre bureau.

Je tiens enfin à remercier les producteurs du groupe légumes secs qui ont été volontaires, disponibles et bienveillants avec moi et sans qui le stage n'aurait pas été possible.

Je suis particulièrement reconnaissante d'avoir eu l'opportunité de réaliser mon stage de fin d'études au sein de ces 3 structures, cela a été très enrichissant.

Enfin, je souhaite remercier ma famille et mes proches pour leur soutien au quotidien et tout au long de mes études.

# Table des matières

Remerciements

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

<b>PARTIE I : CONTEXTE ET ENJEUX</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Une transition alimentaire nécessaire</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Développer les légumineuses à graines dans l'alimentation humaine et les systèmes de culture</b> .....	<b>1</b>
2.1. Intérêts alimentaires et agronomiques des légumineuses.....	1
2.2. Consommation et culture des légumineuses encore marginales.....	2
2.3. La lentille, principale légumineuse à graines cultivée et consommée en France.....	2
2.4. Conduite de la culture de la lentille.....	2
<b>3. Les cultures associées : une réponse aux freins techniques de la culture de la lentille ?</b> .....	<b>4</b>
3.1. Définition et principes généraux sur les cultures associées.....	4
3.2. Les cultures associées pour lever les freins à la culture de la lentille.....	4
<b>4. Contexte du stage et problématique</b> .....	<b>5</b>
4.1. Le projet IntercropVALUES.....	5
4.2. Définition de la question de recherche.....	6
<b>PARTIE II : MATERIELS ET METHODES</b> .....	<b>9</b>
<b>1. Un réseau expérimental de 9 parcelles dans 5 exploitations</b> .....	<b>9</b>
<b>2. Mesures et indicateurs</b> .....	<b>9</b>
2.1. Placettes de cultures pures de lentille servant de témoin.....	10
2.2. Densités de semis et de levée pour évaluer l'implantation des cultures.....	10
2.3. Couverture du sol, hauteur et verse.....	11
2.4. Matière sèche et rendement.....	11
2.5. Taux de grains bruchés de la lentille.....	11
<b>3. Analyse statistiques</b> .....	<b>11</b>
<b>PARTIE III : RÉSULTATS</b> .....	<b>13</b>
<b>1. Des conditions climatiques pluvieuses</b> .....	<b>13</b>
<b>2. Itinéraires techniques des parcelles d'études</b> .....	<b>13</b>
<b>3. Implantation des cultures</b> .....	<b>15</b>
<b>4. Structure du couvert : hauteur et couverture du sol</b> .....	<b>15</b>
<b>5. Biomasses et rendements</b> .....	<b>16</b>
<b>6. Régulation des bruches</b> .....	<b>19</b>
<b>PARTIE IV : DISCUSSION</b> .....	<b>21</b>
<b>1. Implantation des cultures</b> .....	<b>21</b>
1.1. Le taux de germination : premier indicateur du rendement potentiel.....	21
1.2. La préparation du sol : une étape clé de la réussite du semis.....	22
1.3. Les conditions climatiques de 2024 : responsables de pertes à la levée.....	22
1.4. Point de vigilance et améliorations.....	22
<b>2. Couverture du sol, hauteur et verse</b> .....	<b>22</b>
2.1. La couverture du sol : indicateur de la capacité des cultures à concurrencer les adventices.....	22
2.2. Hauteur et verse.....	23
2.2.1. Hauteur des plantes : indicateur de la concurrence des plantes associées sur les lentilles.....	23
2.2.2. Limiter la verse de la lentille pour faciliter la récolte.....	23
<b>3. Salissement des parcelles</b> .....	<b>23</b>
<b>4. Rendement récoltable</b> .....	<b>24</b>
4.1. Biomasse et rendement de la lentille.....	24
4.2. Rendement total des espèces cultivées.....	24
<b>5. Bruches</b> .....	<b>25</b>
5.1. Estimations des dégâts des bruches.....	25
5.2. Encore beaucoup d'interrogations à propos des bruches.....	25
<b>PARTIE V : CONCLUSION</b> .....	<b>26</b>
<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	<b>27</b>
<b>ANNEXES</b> .....	<b>31</b>
Annexe 1 : Résumé des itinéraires techniques mis en place sur les parcelles	
Annexe 2 : Vue satellite des parcelles (géoportail) et plan d'échantillonnage	
Annexe 3 : Protocoles	
Annexe 4 : Modèle de collecte des itinéraires techniques	
Annexe 5 : Suivi des stades dans les parcelles	

## Liste des figures

Figure 1 : Principales régions de production de lentilles en France .....	2
Figure 2 : répartition spatiale des parcelles de l'expérimentation.....	8
Figure 3 : Taux de germination des différentes espèces selon les exploitations (M, R, P, T) .....	8
Figure 4 : Pourcentage de levée des différentes espèces selon les espèces et les exploitations (M, R, P, T).....	10
Figure 5 : Pourcentage de levée des plantes compagnes dans les zones hétérogènes des parcelles .....	10
Figure 6 : Densité observées pour la lentille et l'espèce associée en fonction des agriculteurs et des associations (LC = Lentille-Cameline ; LLi = lentille-Lin ; LO = Lentille-Orge .....	10
Figure 7 : Taux de couverture du sol (%) au stade début floraison de la lentille en association et en culture pure. A gauche, boîte à moustache pour les 7 parcelles. A droite, valeurs du témoin et de l'asso pour chaque parcelle, avec pour chacune l'écart type et la p value du test de Mann Whitney. (M, R, P, T correspond aux exploitations). .....	12
Figure 8 : Hauteur de la lentille (cm) au stade début floraison de la lentille en association et en pure (p-value < 0,001 = ***; p-value < 0,01 = **; p-value < 0,05 = *). A gauche, boîte à moustache pour les 7 parcelles. A droite, valeurs du témoin et de l'asso pour chaque parcelle, avec pour chacune l'écart type et la p value du test de Mann Whitney. (M, R, P, T correspond aux exploitations) .....	12
Figure 9 : Hauteur de la lentille (cm) au stade maturité de la lentille en association et en pure (p-value < 0,001 = ***; p-value < 0,01 = **; p-value < 0,05 = *). A gauche, boîte à moustache pour les 7 parcelles. A droite, valeurs du témoin et de l'asso pour chaque parcelle, avec pour chacune l'écart type et la p value du test de Mann Whitney. (M, R, P, T correspond aux exploitations).....	12
Figure 10 : Hauteur (cm) de la lentille en fonction de celle de la plante compagne au stade début floraison de la lentille (à gauche) et au stade maturité de la lentille (à droite) .....	14
Figure 11 : Pourcentage de verse (%) de la lentille en association et en pure estimé par le calcul (H-Flo - H- Mat)/H-Flo .....	14
Figure 12 : Biomasse sèche (g/m <sup>2</sup> ) des adventices en association et en pure. A gauche, boîte à moustache pour les 7 parcelles. A droite, valeurs du témoin et de l'asso pour chaque parcelle, avec pour chacune l'écart type et la p value du test de Mann Whitney. (M, R, P, T correspond aux exploitations) .....	16
Figure 13 : Rendement (g/m <sup>2</sup> ) de la lentille en association et en pure. A gauche, boîte à moustache pour les 7 parcelles. A droite, valeurs du témoin et de l'asso pour chaque parcelle, avec pour chacune l'écart type et la p value du test de Mann Whitney. (M, R, P, T correspond aux exploitations) .....	16
Figure 14 : Rendement (g/m <sup>2</sup> ) totale en association et en pure. (M, R, P, T correspondent aux exploitations) .....	16
Figure 15 : Rendement total des associations (g/m <sup>2</sup> ) en fonction de la biomasse sèche de la plante compagne (g/m <sup>2</sup> ) réalisé sur des prélèvements avant récolte mécanique .....	18
Figure 16 : Rendement total de l'association (g/m <sup>2</sup> ) en fonction de la biomasse sèche d'adventice (g/m <sup>2</sup> ) réalisé sur des prélèvements avant récolte mécanique.....	18
Figure 17 : Indice de récolte de la lentille en association et en pure. A gauche boîte à moustache pour les 7 parcelles et à droite pour chaque parcelle individuelle avec pour chacune l'écart type et la p value du test de Mann Whitney .....	18
Figure 18 : PMG (g) de la lentille en association et en pure. A gauche, boîte à moustache pour les 7 parcelles. A droite, valeurs du témoin et de l'asso pour chaque parcelle, avec pour chacune l'écart type et la p value du test de Mann Whitney. (M, R, P, T correspond aux exploitations).....	20
Figure 19 : Taux de grain bruché (en %) en association et en pure mesuré sur les prélèvements avant la récolte. A gauche, boîte à moustache pour les 7 parcelles. A droite, valeurs du témoin et de l'asso pour chaque parcelle, avec pour chacune l'écart type et la p value du test de Mann Whitney. (M, R, P, T correspond aux exploitations). .....	20
Figure 20 : Taux de grain bruché (en %) en fonction de la matière sèche plante compagne et des adventices(g/m <sup>2</sup> ).....	20

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Résumé des associations et parcelles et pratiques relatives au tri, stockage et séchage .....	7
Tableau 2 : Résumé des parcelles étudiées dans la suite du mémoire (en gras celles conservées dans l'analyse) .....	10

# **PARTIE I : CONTEXTE ET ENJEUX**

## **1. Une transition alimentaire nécessaire**

Les systèmes alimentaires occidentaux reposent aujourd'hui sur une forte proportion de produits d'origine animale qui représentent 65% de nos apports protéiques (Guéguen et al., 2016) mais qui ont un coût environnemental certain en termes de consommation de ressources et d'impacts sur les écosystèmes (Tukker et al., 2006 ; Garnett, 2013). A titre d'illustration, à l'échelle planétaire, les productions animales représentent 14% des émissions globales de gaz à effet de serre (GES) et 53% de celles liées à l'alimentation (Guéguen et al., 2016). Par ailleurs, une consommation excessive de viande tend à augmenter les risques de développer des maladies chroniques telles que le diabète, les maladies cardiovasculaires ou certains cancers (Fardet and Boirie, 2014). Dans un contexte de croissance démographique, de raréfaction des ressources, de perte de biodiversité et de préoccupation croissante pour la santé humaine, il apparaît nécessaire d'engager une transition alimentaire en réduisant notamment la part des protéines animales dans notre alimentation (Poux and Aubert, 2021 ; ANSES, 2013).

En France, les lois "EGAlim 1" et "EGAlim 2" ont eu pour ambition de rééquilibrer les relations commerciales dans le secteur agricole et alimentaire et de protéger la rémunération des agriculteurs (Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire, 2023). La loi "EGAlim 3", adoptée fin mars 2023, vise quant à elle à renforcer les relations entre fournisseurs et distributeurs et donne des orientations pour la transition alimentaire. Entre autres, elle intègre un ensemble de mesures concernant la restauration collective, et notamment une diversification des sources de protéines avec une augmentation de la part des protéines d'origine végétale et notamment des légumineuses à graines (CNRC, 2021). Ces orientations nécessitent dès lors d'accroître la culture des légumineuses à graines.

## **2. Développer les légumineuses à graines dans l'alimentation humaine et les systèmes de culture**

### **2.1. Intérêts alimentaires et agronomiques des légumineuses**

Les légumineuses à graines tels que les lentilles, les pois chiches et les haricots (Schneider and Huyghe, 2015) occupent une place centrale pour la transition alimentaire du fait qu'elles sont riches en protéines (jusqu'à 25% de leur poids ; INRAE, 2021), ont un indice glycémique bas, contiennent très peu de matière grasse et sont exemptes de gluten (INRAE, 2021).

D'un point de vue agronomique, les légumineuses sont capables de fixer le diazote atmosphérique grâce à une symbiose avec des bactéries du genre *Rhizobium* (Schwember et al., 2019) ce qui leur permet de satisfaire leurs besoins en azote sans apport de fertilisants azotés. De plus, leurs résidus riches en azote permettent de restituer de grandes quantités d'azote minéral à la culture suivante, ce qui en fait de bons précédents de culture (Peoples et al., 2009). Par ailleurs, les légumineuses fournissent d'autres services écosystémiques tels que la séquestration du carbone et la préservation de la biodiversité (Peoples et al., 2009). Enfin, l'introduction des légumineuses dans les systèmes de culture permet de diversifier et d'allonger les rotations permettant ainsi de rompre les cycles des ravageurs (Angus et al., 2015). Dès lors, les légumineuses apparaissent comme un levier majeur pour développer une agriculture à bas niveau d'intrants (Barbieri et al., 2023), et notamment pour l'Agriculture Biologique qui interdit l'usage des engrais azotés minéraux au profit des engrais organiques mais qui sont coûteux, moins efficaces et peu disponibles en l'absence d'un atelier d'élevage.

## Principales régions de production de lentille en France

Source : Terres Univia d'après FranceAgriMer (PAC 2023)

Centre-Val de Loire, Bourgogne-Franche-Comté, Nouvelle-Aquitaine, Grand Est.

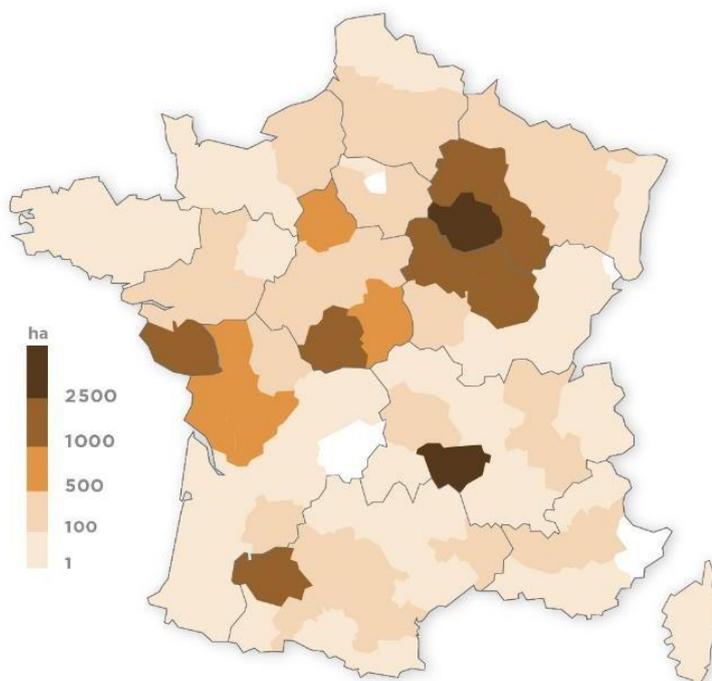


Figure 1 : Principales régions de production de lentilles en France (Terres Univia, 2023)

## 2.2. Consommation et culture des légumineuses encore marginales

La consommation française des légumineuses à graines ne représente que 1.4 kg/personne/an sur la période 2001-2008 (Schneider and Huyghe, 2015). A titre comparatif, la consommation de pâtes et de viande représentait respectivement 8.6 kg/personne/an et 49 kg/personne/an (Crédoc, 2018). La part marginale des légumineuses s'explique entre autres par une perception défavorable de la part des consommateurs (gustativité, digestibilité, temps de trempage et de cuisson long,... ; Champ et al., 2015). Dès lors, bien que leur développement soit en plein essor ces dernières années, les légumineuses à graines occupent moins de 3% de la surface agricole utile (SAU) française (Magrini et al., 2016). En effet, l'agriculture conventionnelle s'est développée autour de quelques espèces majeures, en premier lieu desquelles les céréales (Schott et al., 2010), conduisant à une simplification des rotations et à une utilisation importante d'engrais azotés entraînant *in fine* à une marginalisation des légumineuses à graines dans les systèmes de culture. Ainsi, l'amélioration des performances techniques et économiques des céréales s'est faite au détriment des légumineuses (Magrini et al., 2016). En effet, les légumineuses ont bénéficié d'un moindre investissement notamment en termes de sélection expliquant en partie leur plus grande sensibilité aux facteurs biotiques (Voisin et al., 2015) et par conséquent leurs rendements faibles et instables (Cernay et al., 2015), le tout accentué par des aides de la PAC ne suffisant pas à compenser l'écart de compétitivité avec les céréales ou le soja importé (Magrini et al., 2016).

## 2.3. La lentille, principale légumineuse à graines cultivée et consommée en France

Ces dernières années, la culture de la lentille (*Lens culinaris* Medikus) a connu un développement important avec des superficies qui ont doublé en cinq ans pour atteindre, en 2021, 34 900 hectares dont 49% en Agriculture Biologique pour une production de 28166 tonnes (Agreste, 2023). En 2020, les lentilles représentent plus de 50% des ventes de légumes secs en France (29% lentilles vertes et 21% lentilles corail, blonde ; Fédération nationale des légumes secs, 2020). Notons que la lentille verte, dont seules

deux variétés sont inscrites au catalogue par Agri Obtention (*Anicia*, la principale inscrite en 1966 et Clara en 2021), représente entre 80% et 90% des tonnages (Terres Univia, 2022). Ce développement s'est fait notamment en dehors des bassins de production traditionnels (Figure 1) que sont le Puy-en-Velay et le Berry (Terres Inovia, 2022) qui bénéficient de signes officiels (Appellation d'Origine Protégée pour la lentille verte du Puy-en-Velay et Indication Géographique Protégée et Label Rouge pour la lentille verte du Berry). Pour autant, la production française reste insuffisante par rapport à la consommation française, nécessitant l'importation chaque année de plus de 50% de la consommation nationale soit entre 25 et 30 000 tonnes en provenance du Canada et de la Chine principalement (Terres Inovia, 2022).

## 2.4. Conduite de la culture de la lentille

La lentille est une culture de printemps à cycle court (130 à 150 jours) qui se sème à une densité autour de 300 graines/m<sup>2</sup> entre mars et avril à une profondeur de 2-3 cm dans un sol suffisamment ressuyé et réchauffé et avec une préparation fine du lit de semence pour être récoltée pendant le mois de juillet (Terres Inovia, 2019b). Comme la plupart des légumineuses, la lentille présente des rendements relativement instables et globalement faibles (jusqu'à 2.2 t/ha en conventionnel et 1 t/ha en AB en moyenne) qui sont partiellement compensés par des prix de vente élevés. En particulier, la lentille présente une forte sensibilité aux stress hydriques pendant les stades de floraison et de remplissage des gousses qui peuvent entraîner des pertes de rendement importantes (Choukri et al., 2020). La lentille est également sensible à la verse en particulier lors de pluviométries importantes à partir de la floraison ce qui rend la récolte délicate notamment dans les sols caillouteux (Terres Inovia, 2019b). La lentille est également très sensible à la concurrence des adventices en particulier lors des premiers stades de développement et jusqu'à la fermeture des rangs (Terres Inovia, 2023) avec des pertes de rendement pouvant atteindre 60 à 100 % (Wang et al., 2013). Enfin, cette culture est particulièrement sensible à certaines maladies racinaires (*Aphanomyces euteiches*, *Sclerotinia sclerotiorum*) et foliaires (*Botrytis cinerea*, *Ascochyta lentis*) qui peuvent intervenir tout au long du cycle de développement de la lentille et causer des pertes de rendements importantes (Terres Inovia, 2023).

Par ailleurs, la lentille présente une forte sensibilité aux ravageurs des cultures, en particulier la Bruche, insecte appartenant au genre *Bruchus* (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae), dont les larves se développent dans les graines en formation et en consomment la quasi-totalité avec un taux d'infestation pouvant dépasser les 70% (Laserna-Ruiz et al., 2012 ; Vlachostergios et al., 2018 ; De-Los-Mozos-Pascual, 1992). Les bruches sont des espèces univoltines (Hoffmann, 1945) qui colonisent les parcelles de légumineuses au printemps pour s'y reproduire (Segers, 2021) et dont les femelles pondent sur les gousses en formation (Carrillo-Perdomo et al., 2019). Les larves émergent quant à elles à la fin de l'été pour passer l'hiver sous forme adulte dans le paysage environnant ou restent dans les grains pendant plusieurs mois avant d'en sortir au printemps suivant (Segers, 2021 ; Loiseau et al., 2021). La lutte conventionnelle contre les bruches repose principalement sur la lutte au champ et au stockage, souvent au moyen d'insecticides comme l'Endosulfan qui a été interdit dans de nombreux pays (Menezes et al., 2017). La lutte contre les bruches doit donc se concentrer sur la combinaison de méthodes agroécologiques alternatives comme par exemple la sélection de cultivars résistants, l'utilisation de pièges à kairomones/phéromones mais dont l'efficacité est discutée (Segers, 2021), l'utilisation de produits naturels peu préoccupants à visée répulsive, le décalage des dates de semis ou encore l'utilisation de cultures associées pour perturber la reconnaissance de la plante-hôte, sans oublier la lutte au stockage avec des méthodes non préoccupantes telles que la congélation ou l'inertage par saturation au CO<sub>2</sub> (Terres Univia, 2022).

### 3. Les cultures associées : une réponse aux freins techniques de la culture de la lentille ?

#### 3.1. Définition et principes généraux sur les cultures associées

Les cultures associées correspondent à la culture de plusieurs espèces dans une même parcelle pendant une période significative de leur développement (Willey, 1979) et qui peuvent être semées et récoltées simultanément et selon des arrangements spatiaux divers (en rang, en vrac, mixte...). Justes et al. (2021) identifient quatre formes d'interactions entre les espèces cultivées : (i) **facilitation** correspondant à la modification de l'environnement par une des espèces au bénéfice de l'autre (ex. : diminution de la pression des bioagresseurs au sein de la parcelle), (ii) **complémentarité** lorsque les besoins abiotiques d'une espèce diffèrent de ceux de l'autre espèce associée, (iii) **compensation** lorsque l'échec d'une espèce est compensé par l'autre du fait qu'elles diffèrent dans leur sensibilité aux stress biotiques et abiotiques, (iv) **compétition** lorsqu'une espèce a une meilleure capacité à utiliser les ressources du milieu au détriment de l'autre espèce associée.

L'ensemble de ces processus entraîne une meilleure efficacité dans l'utilisation des ressources disponibles conduisant à : (i) des rendements plus stables et plus élevés en culture associée qu'en culture pure (Bedoussac et al., 2015), (ii) une réduction de la pression biotique (ravageurs, adventices, maladies...) (Corre-Hellou et al., 2011), (iii) une amélioration de la teneur en protéines des céréales (Gooding et al., 2007 ; Bedoussac and Justes, 2010) et (iv) une réduction des émissions de GES (Naudin et al., 2014). Par ailleurs, le bénéfice des cultures associées apparaît plus important lorsque le rendement de l'une ou l'autre des cultures pures est assez faible, ce qui en fait une solution particulièrement intéressante en Agriculture Biologique (Bedoussac, 2018).

La réduction de la biomasse adventice est quantifiée dans des publications scientifiques, notamment pour les associations lentille-céréales. Une réduction de plus de 95% de la pression adventice est observée pour des densités de céréale équivalentes à 35% de la densité recommandée en pure (Tosti et al. 2023). Une autre étude relate une diminution de la biomasse adventice de 41% pour des densités de blé allant de 17% à 30% de celle en pure (Carton et al., 2019). Concernant les taux de grains bruchés, Tosti et al (2023) démontrent une réduction des pertes de rendement liées à la bruche de l'ordre de 16% en association avec une céréale par rapport à la culture en pure.

#### 3.2. Les cultures associées pour lever les freins à la culture de la lentille

A ce jour, plusieurs associations ont été testées avec de la lentille en France et en 2022, 32% des surfaces de lentilles ont été cultivées en association dont 43% avec de la cameline et 41% avec des céréales (W-SoLent, 2022). Il a ainsi été démontré, dans le cas de l'association de la lentille avec du blé, une augmentation du rendement total en grains, de la concentration en protéines des grains de blé et de la marge brute (Wang et al., 2012 ; Viguié, 2018). Une étude de Sarkar et al. (2003) portant sur l'association lentille-lin a également montré une augmentation de la marge brute, de la productivité totale et du rendement de la lentille dans le cas où la lentille est semée à 83% de sa densité normale et le lin à 17%. Enfin, l'association entre une lentille semée à sa densité normale avec de 1 à 3 kg de cameline apparaît également comme prometteuse notamment grâce au pouvoir concurrentiel de la cameline sur les adventices et son rôle de tuteur/compétition pour limiter la verse de la lentille (W-SoLent, 2022).

Les cultures associées apparaissent donc comme un moyen de lever les freins liés à la culture de la lentille pour en sécuriser la production et accroître la marge brute du fait d'une récolte de deux espèces permettant de compenser la forte variabilité du rendement de la légumineuse (Bedoussac et al., 2015) grâce notamment à une réduction : (i) de la verse dès lors que l'espèce compagne sert de tuteur/compétition à la lentille

(Viguier, 2018 ; Carr et al., 1995), (ii) des adventices par une meilleure couverture du sol permise par la plante compagne (Wang et al., 2012) et (iii) des bruches en perturbant la reconnaissance de la plante-hôte bien qu'à ce jour aucune publication n'a identifié de solution efficace (ex.: Viguier (2018) pour l'association lentille-blé). Bien que ces résultats soient encourageants, ils nécessitent des recherches plus approfondies notamment dans le choix des espèces, des cultivars et des densités afin de minimiser la compétition entre les espèces associées pour l'acquisition spatiale et temporelle des ressources (nutriments, eau, lumière...) (Fukai and Trenbath, 1993) et ceci afin de maximiser les avantages des cultures associées.

L'une des problématiques majeures des cultures associées concerne leur tri après la récolte, dès lors que les espèces sont récoltées simultanément. En effet, en vue de leur commercialisation, les graines doivent être le plus souvent séparées pour respecter les contrats de commercialisation qui exigent des normes de qualité strictes et définies par le Codex Standard 171-1989 en terme notamment d'impuretés (moins de 1% de matières étrangères dont 0.25% au plus d'origine minérale et 0.10% au plus d'origine animale, moins de 1% de grains endommagés avec sérieux défauts et moins de 7% de grains avec légers défauts dont 3% au plus de grains brisés). Le taux d'humidité doit également être compris entre 15 et 16% pour assurer une bonne conservation des graines. Ces éléments nécessitent dès lors des mesures particulières en termes de nettoyage, stockage et tri des récoltes et cette dernière opération peut s'avérer relativement complexe selon la forme et la taille des grains à séparer. Dans certains cas, le triage nécessite l'utilisation d'outils spécifiques plus coûteux avec des débits plus faibles, comme les trieurs alvéolaires, table densimétrique ou trieur optique ce qui *in fine* soulève des interrogations à propos de la valorisation économique des mélanges d'espèces (Magrini et al., 2013).

A noter que le choix des plantes associées dépend des objectifs agronomiques et débouchés des producteurs, de la maturité synchrone des espèces et de leur capacité à se trier sans engendrer trop de surcoût. Dans le cadre de la transition agro écologique, les cultures associées sont en plein essor et de nombreux projets émergent pour acquérir de nouvelles connaissances, pérenniser la production et développer le tri.

## 4. Contexte du stage et problématique

### 4.1. Le projet IntercropVALUES

Le stage s'inscrit dans le cadre du projet européen H2020 IntercropVALUES qui vise à exploiter les avantages des cultures associées pour concevoir et gérer des systèmes de culture productifs, diversifiés, résilients, rentables, respectueux de l'environnement et acceptables pour les agriculteurs et les acteurs des filières agroalimentaires. IntercropVALUES, qui s'inscrit dans le prolongement du projet européen H2020 ReMIX, est multi-disciplinaire et multi-acteurs (27 participants de 15 pays différents) avec entre autres la constitution d'un réseau de 13 études de cas de co-innovation (CICS) couvrant un large éventail d'objectifs et de situations (filieres courtes et longues, agriculture biologique et conventionnelle, ...). Les acteurs impliqués dans ces CICS mettent en œuvre des approches participatives afin de co-innover dans le développement de technologies de transformation, de méthodes de production et de valorisation des produits en fonction des objectifs identifiés avec pour finalité la production de solutions opérationnelles concrètes et validées pouvant être adoptées directement ou adaptées par les acteurs à leur situation spécifique.

Le projet dans lequel s'inscrit ce stage a débuté en 2020 avec l'idée de l'Union des CUMA Des Pays de la Loire<sup>1</sup> de développer l'approvisionnement de la restauration collective angevine en denrées agricoles locales, produites et transformées par plusieurs

agriculteurs. Le besoin en légumineuses cuites et précuites, et plus particulièrement en lentille bio, a incité l'Union des CUMA à se rapprocher du GABBAnjou<sup>2</sup> afin de développer l'aspect production et constituer un groupe de producteurs biologiques cultivant déjà de la lentille ou ayant comme objectif d'en cultiver. En parallèle, un besoin des producteurs concernant une chaîne de tri complète en Maine et Loire a émergé et l'achat d'un trieur optique en CUMA est toujours en réflexion. En 2023, le projet européen IntercropVALUES sélectionne le projet local de l'Union des CUMA qui deviendra la CICS10 avec pour objectif particulier de développer les connaissances sur les associations d'espèces à base de lentille en intégrant les problématiques relatives à la production, au tri, au stockage et aux débouchés notamment pour la restauration collective.

Une première campagne est menée en 2023 et s'est conclue par un atelier de restitution en décembre 2023 a été organisée pour : (i) présenter les résultats de cette campagne et (ii) faire le point sur l'organisation du projet. En janvier 2024, des rencontres individuelles ont été animées par Laurent BEDOUSSAC (ENSFEA-INRAE) et Céline LE GARDIEN (GABBAnjou) avec chacun des agriculteurs pour co-concevoir les itinéraires techniques de lentille associée à implanter en 2024 sur leur ferme en fonction des objectifs propres à chaque agriculteur et des possibilités aussi bien matérielles qu'agronomiques. Sur la base d'échanges d'expériences et des résultats obtenus en 2023, des prototypes d'itinéraires techniques ont été définis à l'issue de ces rencontres à savoir les espèces à associer, les densités de semis et les modalités d'implantation.

#### 4.2. Définition de la question de recherche

Ce stage a pour objectif d'évaluer les performances des itinéraires techniques de lentille associée mis en place en 2024 par les producteurs afin de répondre à la question de recherche suivante : **“dans quelles mesures la culture de la lentille en association permet-elle de résoudre les problématiques techniques liées à la culture de la lentille pure ?”** conduisant à émettre les hypothèses suivantes :

- **La verse de la lentille est réduite** en culture associée car l'espèce associée peut servir de tuteur/compétition aux lentilles (Viguié, 2018).
- **La biomasse des adventices est réduite** en culture associée par des mécanismes de compétition pour la lumière et l'azote (Bedoussac et al 2015 ; Corre-Hellou et al., 2011).
- **Le taux de grains bruchés est réduit** en culture associée par des effets de dilution et de confusion (Tosti et al., 2023).
- **Les performances** des cultures associées dépendent de l'espèce associée et des densités des deux espèces (Vandermeer, 1989).

Afin de répondre à cette problématique, dans un premier temps nous présenterons la démarche expérimentale mise en œuvre pour collecter les données agronomiques. Les résultats seront présentés et analysés dans un second temps avant d'être discutés au regard de ceux présents dans la littérature scientifique. Une prise de recul et des recommandations seront formulées avant de conclure.

---

<sup>1</sup> L'Union des CUMA Pays de la Loire correspond à la fédération de CUMA (Coopératives d'Utilisation de Matériel Agricole) sur 4 départements : Loire Atlantique, Maine et Loire, Vendée et Sarthe.

<sup>2</sup> Le Groupement des Agriculteurs Biologistes et Biodynamistes du Maine-et-Loire est un syndicat professionnel agricole.

Tableau 1 : Résumé des associations et parcelles et pratiques relatives au tri, stockage et séchage

Exploitation	Objectifs visés	Espèces associées	ID parcelle	Surface (ha)	Type de sol	Précédent	Disponibilité en azote	Trieur(s) utilisé(s)	Type stockage (plat, silo, big bag NOX...)	Séchage (oui / non + commentaires)
P	Effet tuteur/compétition de la plante compagne pour la lentille	Lentille/Orge	P_L281O117	2.4	Argilo-calcaire	Sarrasin (n-1) Orge (n-2)	Moyenne	Un passage au Nettoyeur séparateur	Big Bag NOX	Ventilation 1 nuit en benne double fond
		Lentille/Cameline	P_L281C158	3.6	Argilo-calcaire	Blé (n-1) Orge (n-2)	Moyenne			
M	Couverture du sol et débouchés commerciaux de la culture compagne	Lentille/Cameline	M_L322C90	0.9	Argilo-calcaire et sableux	Blé (n-1) Prairie (n-2)	Moyenne	Deux passages au nettoyeur séparateur	2 big bag NOX (866 kg) et 100 kg congelé	Ventilation pendant 4 jours puis chauffage
		Lentille/Cameline	M_L322C180	0.9	Argilo-calcaire et sableux	Bblé (n-1) Prairie (n-2)	Moyenne			
		Lentille/Lin	M_L322Li356	1	Argilo-calcaire et sableux	Blé (n-1) Prairie (n-2)	Moyenne			
		Lentille/lin	M_L322Li713	1	Argilo-calcaire et sableux	Blé (n-1) Prairie (n-2)	Moyenne			
R	Effet tuteur/compétition et couverture du sol	Lentille/Cameline	R_L397C153	3	Argilo-calcaire	Couvert (phacélie, trèfle, radis, avoine, féverole) Météil (n-1) Maïs (n-2)	Moyenne	Un passage au nettoyeur séparateur	Congélation en demi-big bag mais lot encore trop humide donc ventilation à nouveau	Ventilation pendant 1 nuit
T	Sécuriser la culture de la lentille, réduction des bruches et du salissement	Lentille/Cameline	T_L417C272	1.5	Argilo-calcaire	Triticale-Féverole (n-1) Luzerne (n-2)	Faible	Un passage au nettoyeur séparateur	Congélation	Ventilation pendant 2 jours

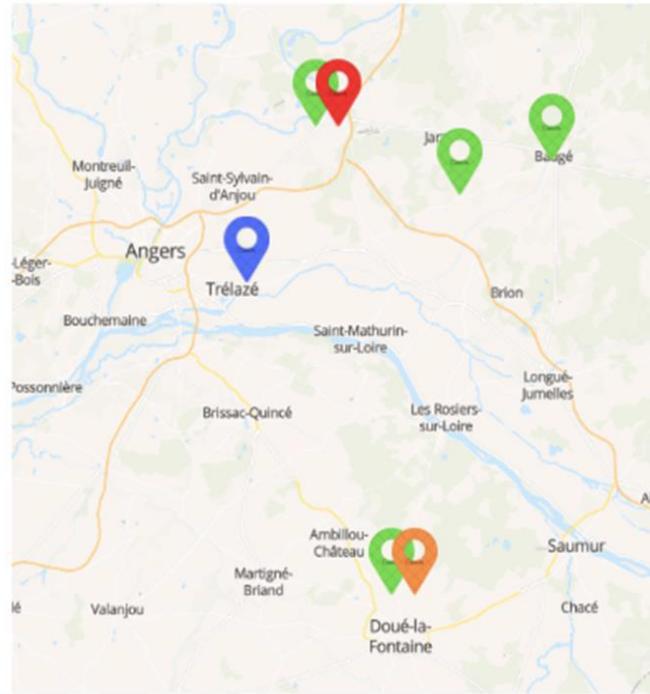


Figure 2 : répartition spatiale des parcelles de l'expérimentation

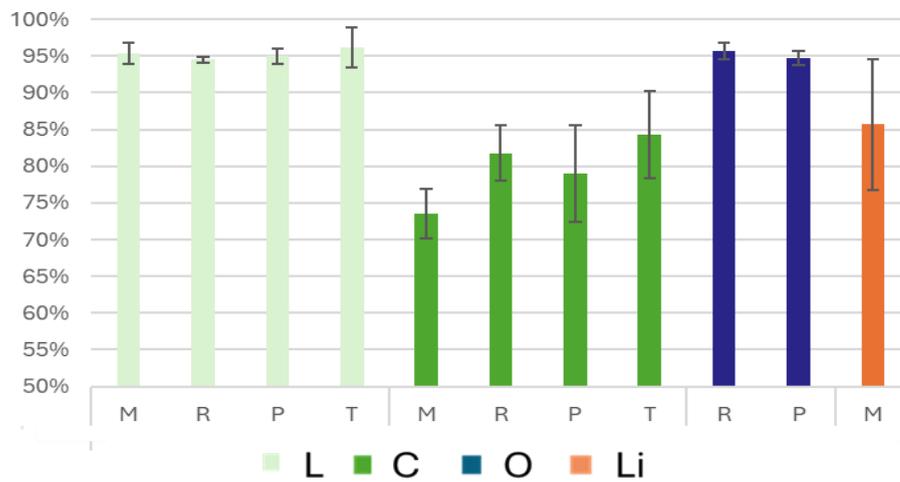


Figure 3 : Taux de germination des différentes espèces selon les exploitations (M, R, P, T)

## PARTIE II : MATERIELS ET METHODES

### 1. Un réseau expérimental de 9 parcelles dans 5 exploitations

Les cinq exploitations de la CICS10 sont situées dans le Maine et Loire (Figure 2). Deux sont en polyculture-élevage et les autres en grandes cultures, trois font de la vente directe à la ferme et quatre disposent d'un ou plusieurs ateliers de transformation (une boulangerie, deux huileries et trois meuneries). Au sein de chaque exploitation, une ou plusieurs parcelles sont suivies pour un total de 9 parcelles comprises entre 1.5 et 4.0 ha dans des conditions pédoclimatiques différentes (Tableau 1) et conduites selon des itinéraires techniques différents (Annexe 1). Les ID parcelles attribuées indiquent pour chaque parcelle l'association et les densités semées en grain/m<sup>2</sup> (ex : le producteur P a semé de la lentille à une densité de X grain/m<sup>2</sup> et de l'orge à une densité de Y grain/m<sup>2</sup>, ID parcelle = P\_LXOY). Les densités de semis et le choix des espèces compagnes ont été choisies en fonction des débouchés de chaque producteur mais aussi des services écosystémiques visés (régulations des ravageurs et maladies, pollinisation...). La lentille (variété *anicia*) est toujours la culture principale sauf chez un agriculteur ayant cultivé du lentillon de champagne. Pour chaque producteur, l'objectif premier est la récolte de la lentille.

Un certain nombre de divergences ont pu apparaître entre les prototypes d'itinéraires techniques conçus début 2024 (Annexe 1) et les itinéraires techniques réellement mis en œuvre du fait des conditions climatiques, des contraintes matérielles rencontrées mais aussi de la réflexion menée par les producteurs entre les ateliers et la mise en culture. De plus, l'un des producteurs a broyé sa parcelle de lentillon-seigle en mars du fait de l'invasion de folle avoine. Nous nous sommes ainsi concentrés sur les itinéraires techniques des huit autres parcelles regroupées chez quatre producteurs.

### 2. Mesures et indicateurs

#### 2.1. Placettes de cultures pures de lentille servant de témoin

Aucun agriculteur n'a souhaité cultiver une lentille pure en parallèle des cultures associées. Dès lors, au sein de chaque parcelle de culture associée, nous avons mis en place quatre placettes d'un mètre carré dans lesquelles nous avons enlevé manuellement, au stade 3- 4 feuilles des lentilles, toutes les plantes compagnes tout en conservant les adventices. Ces placettes dites témoins serviront à évaluer la performance de l'association par rapport à la culture pure de lentille. Par la suite nous utiliserons les suffixes L pour "lentille", C pour "cameline", O pour "orge", Li pour "lin" et Ad pour "adventices".

#### 2.2. Densités de semis et de levée pour évaluer l'implantation des cultures

La performance d'implantation des cultures dépend entre autres de la densité du peuplement (**D-Obs**) (Olivier et al., 2013) qui est fonction de la densité semée par l'agriculteur (**D-Sem**), du taux de germination des semences dans des conditions optimales (**%Ger**) et des pertes à la levée (**%Lev**) liées notamment à la date et aux conditions de semis. Ainsi : **D-Obs** = **D-Sem** \* **%Ger** \* **%Lev**. Ces différentes variables ont été mesurées ou calculées de la façon suivante :

- **%Ger** (%) a été déterminé sur trois répétitions de 100 grains après 72h à 20°C en boîte de pétri.
- **D-Sem** (grains/m<sup>2</sup>) a été calculée en divisant la masse de grains semée selon les dires de l'agriculteur par le **PMG<sub>semence</sub>** (g) mesuré sur trois répétitions de 100 grains.

Partie II : Matériels et méthodes

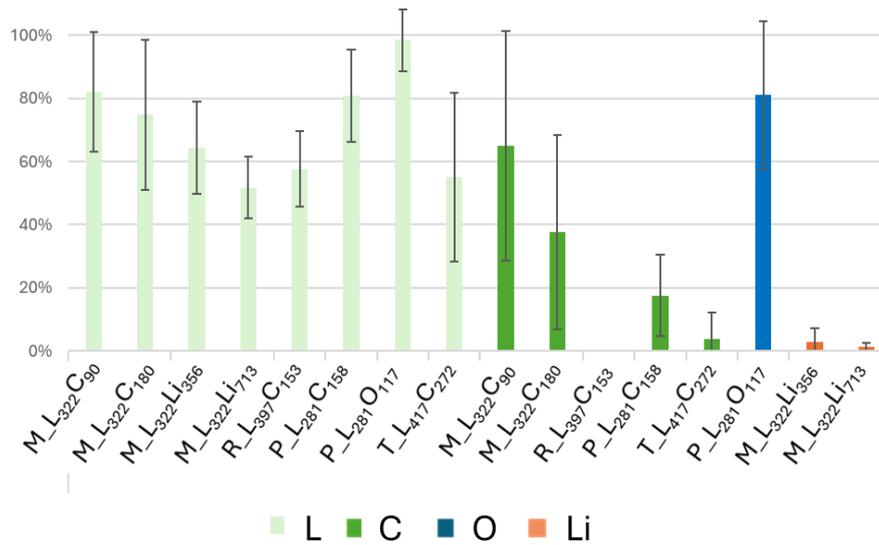


Figure 4 : Pourcentage de levée des différentes espèces selon les espèces et les exploitations (M, R, P, T)

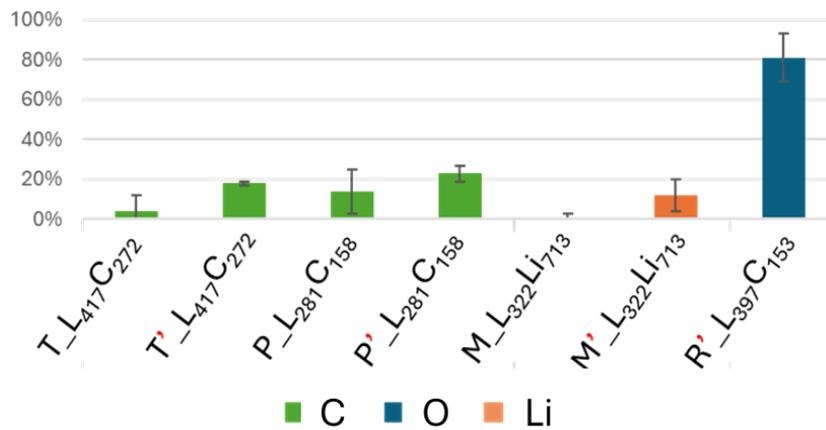


Figure 5 : Pourcentage de levée des plantes compagnes dans les zones hétérogènes des parcelles

Tableau 2 : Résumé des parcelles étudiées dans la suite du mémoire (en gras celles conservées dans l'analyse)

Nom initial	Nom final	Remarques	Témoin
P_L281O117	<b>P_L263O90</b>		<b>P_L263</b>
P_L281C158	<b>P_L216C19</b>	Majorité de la parcelle avec peu de cameline	<b>P_L216</b>
P_L281C158	<b>P_L216C29</b>	Zone de tournière plus dense en cameline que le reste de la parcelle	<b>P_L216</b>
T_L417C272	T_L221C9	Très peu de cameline sur la partie haute donc abandon de cette modalité	T_L221
<b>T_L417C272</b>	<b>T_L221C42</b>	Partie basse sableuse avec plus de cameline	<b>T_L221</b>
M_L322C90	<b>M_L241C47</b>	Pas de différence de levée entre les zones à 1 et 2 kg/ha de cameline (moyenne de A_L252C43 et A_L230C50)	<b>M_L241</b>
M_L322C180			
M_L322Li356	<b>M_L179Li18</b>	Très peu de lin et pas de différence entre les zones à 25 et 50kg/ha de lin	<b>M_L179</b>
M_L322Li713		donc regroupées ensemble (moyenne de M_L198Li19 et M_L159Li17)	
<b>M_L322Li713</b>	<b>M_L159Li72</b>	Zone avec forte densité de lin	<b>M_L159</b>
R_L397C153	<b>R_L216O269</b>	Croisement de semis entre de l'orge en pure et de la lentille réalisé accidentellement et donc avec forte densité d'orge	<b>R_L216</b>
R_L397C153	Abandonnée	Pas de levée de cameline	R_L216

- **D-Obs** (plantes/m<sup>2</sup>) a été mesurée au stade 3-4 feuilles de la lentille à raison de 10 répétitions de 40 cm linéaire, réparties sur chaque parcelle selon un plan d'échantillonnage en Z (voir annexe 2). Notons que nous avons considéré que les densités observées dans les placettes témoins étaient identiques à celles mesurées sur les parcelles de cultures associées.
- **D-Att.**(plantes/m<sup>2</sup>) = **D-Sem** \* **%Ger** correspond à la densité maximale atteignable en absence de pertes à la levée autres que celles liées à la germination des semences.
- **%Lev** (%) = **D-Obs** / **D-Att**

### 2.3. Couverture du sol, hauteur et verse

L'architecture aérienne du couvert est caractérisée par la densité du couvert (mesuré via le pourcentage de couverture) et la hauteur du couvert. Un couvert dense et haut peut réduire la quantité de lumière atteignant le sol, limiter la croissance des adventices et ainsi favoriser la compétitivité des cultures (Buhler, 2004). Celle-ci peut être caractérisée entre autres à travers :

(i) le taux de couverture (**%Couv**) qui correspond au pourcentage du sol couvert et (ii) la hauteur du couvert (**Haut**). Par ailleurs, les mesures de hauteur des plantes (en association et en pure) ont pour objectif la mise en évidence d'une éventuelle concurrence des plantes compagnes sur les lentilles.

Le logiciel d'analyse d'images PRESYS a été utilisé pour calculer le **%Couv** sur la base de quatre prises de vue horizontales réalisées au stade floraison de la lentille et réparties sur la parcelle. Il fonctionne sur la base d'une discrimination colorimétrique des pixels correspondant à la végétation verte et qui dès lors intègre également les adventices. Ainsi le **%Couv** mesuré par cette méthode correspond au pourcentage du sol couvert par de la végétation verte. La hauteur des cultures a, quant à elle, été mesurée sur la parcelle aux stades floraison (**Haut<sub>Flo</sub>**) et maturité (**Haut<sub>Mat</sub>**) de la lentille à raison de 10 plantes (4 pour les placettes témoins) choisies aléatoirement.

Le **%Verse** a été estimé par le calcul (**Haut<sub>Flo</sub>**-**Haut<sub>Mat</sub>**)/**Haut<sub>Flo</sub>** permettant indirectement de caractériser l'effet tuteur/compétition de la plante compagne et des adventices (Viguié, 2018). Cet indicateur a été calculé uniquement lorsque **Haut<sub>Mat</sub>** était inférieure à **Haut<sub>Flo</sub>**.

### 2.4. Matière sèche et rendement

La matière sèche (**MS**) et le rendement (**RDT**) des cultures ont été utilisés comme des indicateurs de performances traduisant l'effet des itinéraires techniques mis en œuvre en interaction avec les conditions pédoclimatiques. L'indice de récolte, correspondant au ratio entre RDT et MS a été calculé pour voir s'il y a une différence de répartition de la biomasse en association par rapport en pure.

Des prélèvements de toute la biomasse aérienne ont été réalisés à maturité sur six placettes de 0.50 m<sup>2</sup> (trois placettes en association et trois placettes témoins). Pour chaque placette, la lentille, l'espèce associée et les adventices ont été séparées, passées à l'étuve pendant 48 heures à 80°C puis pesées pour déterminer la matière sèche placette de chaque fraction. La cameline a été battu à la main tandis que la lentille, l'orge et le lin ont été battus à l'aide d'une batteuse expérimentale en poste fixe et les grains ont été pesés pour déterminer le rendement placette.

Pour chaque placette le **PMG** des espèces a été calculé en comptant, à l'aide d'un compteur à grains, l'ensemble des grains (orge, lin et lentille) et à partir de trois sous-échantillons de 100 grains pour la cameline dont les grains sont trop petits pour être détectés par le compteur à grains (Annexe 3).

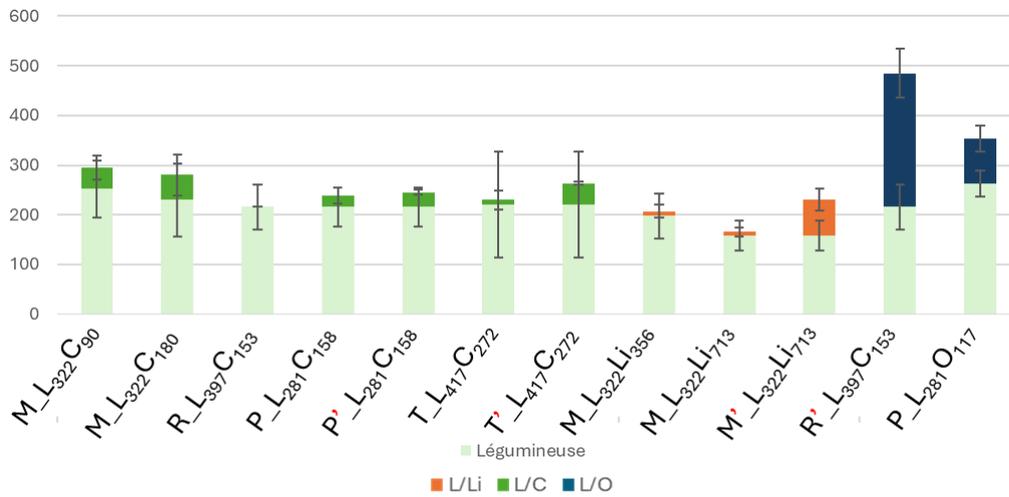


Figure 6 : Densité observées pour la lentille et l'espèce associée en fonction des agriculteurs et des associations (LC = Lentille-Cameline ; LLi = Lentille-Lin ; LO = Lentille-Orge).

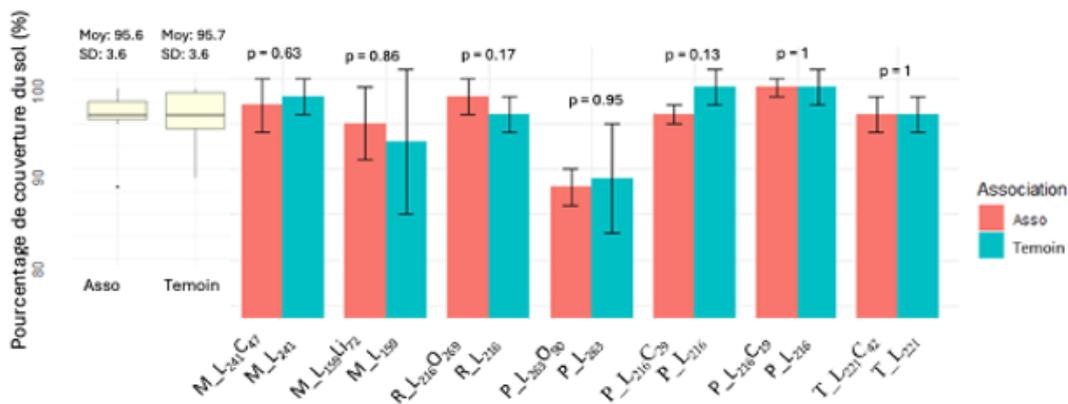


Figure 7 : Taux de couverture du sol (%) au stade début floraison de la lentille en association et en culture pure. A gauche, boîte à moustache pour les 7 parcelles. A droite, valeurs du témoin et de l'asso pour chaque parcelle, avec pour chacune l'écart type et la p value du test de Mann Whitney. (M, R, P, T correspond aux exploitations).

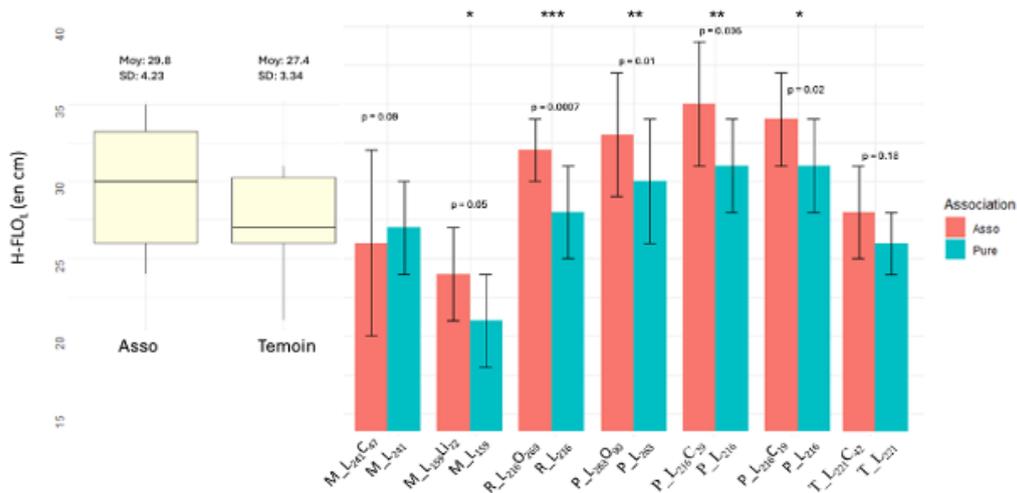


Figure 8 : Hauteur de la lentille (cm) au stade début floraison de la lentille en association et en pure ( $p$ -value  $< 0,001 = ***$ ;  $p$ -value  $< 0,01 = **$ ;  $p$ -value  $< 0,05 = *$ ). A gauche, boîte à moustache pour les 7 parcelles. A droite, valeurs du témoin et de l'asso pour chaque parcelle, avec pour chacune l'écart type et la p value du test de Mann Whitney. (M, R, P, T correspond aux exploitations).

## 2.5. Taux de grains bruchés de la lentille

Le taux de grain bruché a été calculé afin d'estimer les dégâts des bruches sur les lentilles (Viguié, 2018). Pour chaque placette nous avons d'abord éliminé les petits grains à l'aide d'un tamis à maille carrée de 3.75 mm en faisant l'hypothèse que ces grains n'étaient pas suffisamment développés pour être bruchés. Nous avons ensuite prélevé trois échantillons de

150 grains sur lesquels nous avons (i) identifié les grains bruchés en les pressant individuellement et en considérant que ceux ne résistant pas à la pression étaient bruchés puis

(ii) compté les grains ayant résisté à l'écrasement (considérés comme exempts de bruches) et calculé le pourcentage de grains bruchés (%GB) en divisant ce nombre par 150 (nombre de grain de chaque échantillon).

## 3. Analyses statistiques

Les analyses statistiques sont réalisées avec le logiciel R Studio (R Core Team, 2020) en utilisant le test non paramétrique Kruskal-Wallis, du fait de la taille des échantillons restreints, pour déterminer s'il existe des différences significatives entre les différentes modalités et le test non paramétrique de Mann-Whitney pour les comparaisons avec uniquement deux groupes.

# PARTIE III : RÉSULTATS

## 1. Des conditions climatiques pluvieuses

Le début de l'année 2024 a été marqué par des précipitations très au-dessus des normales de saison de février à mai avec des précipitations mensuelles cumulées successivement de 91 mm (+78%), 92 mm (+58%), 59 mm (+50%) et 76 mm (+27%) sur Angers par rapport à la période 2014-2023 alors que les températures moyennes journalières ont été, à l'exception du mois de février, comparables à la période 2014-2023 avec respectivement 10°C (+34%), 10°C (+3%), 12°C (0%) et 15°C (-3%) (Météo France).

## 2. Itinéraires techniques des parcelles d'études

Les fortes précipitations ont affecté les itinéraires techniques. Les semis des associations prévus en deux passages croisés ont dû être réalisés en un seul passage et les producteurs ont été contraints de retarder leurs semis, notamment dans les terres fortes ressuyant lentement. Les semis de lentille ont été réalisés entre le 17 février et le 22 mars (Annexe 1). L'écartement des rangs varient de 14 cm à 25 cm (pour permettre le passage de la bineuse). Les semis sont réalisés à 2-3 cm de profondeur, sauf chez un où le semis est réalisé à 4 cm de profondeur. Les semis ont été réalisés soit en 1 passage (5 parcelles) avec un mélange des graines dans la trémie et l'ajout d'huile alimentaire soit en 2 passages (2 parcelles) avec le semis de la lentille en rang puis de la plante compagne à la volée.

Les interventions de désherbage mécanique n'ont pas pu être réalisées en pré-levée comme souhaité (Annexe 1). 5 parcelles n'ont subi qu'un seul passage de herse étrille ou de houe rotative (entre s+6 et s+7 après le semis). 2 parcelles ont été binées puis hersées deux fois. Les interventions mécaniques ont été réalisées sur les parcelles et les placettes témoins. Enfin, les récoltes ont été échelonnées du 4 juillet au 22 juillet (Annexe 1), et réalisées soit en moisson directe soit en fauchage-andainage.

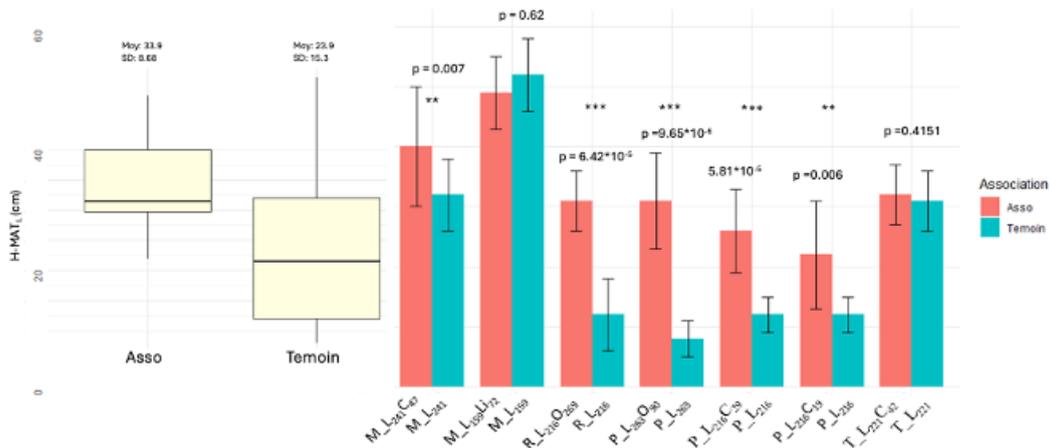


Figure 9 : Hauteur de la lentille (cm) au stade maturité de la lentille en association et en pure ( $p$ -value  $< 0,001 = ***$ ;  $p$ -value  $< 0,01 = **$ ;  $p$ -value  $< 0,05 = *$ ). A gauche, boîte à moustache pour les 7 parcelles. A droite, valeurs du témoin et de l'asso pour chaque parcelle, avec pour chacune l'écart type et la  $p$  value du test de Mann Whitney. (M, R, P, T correspond aux exploitations).

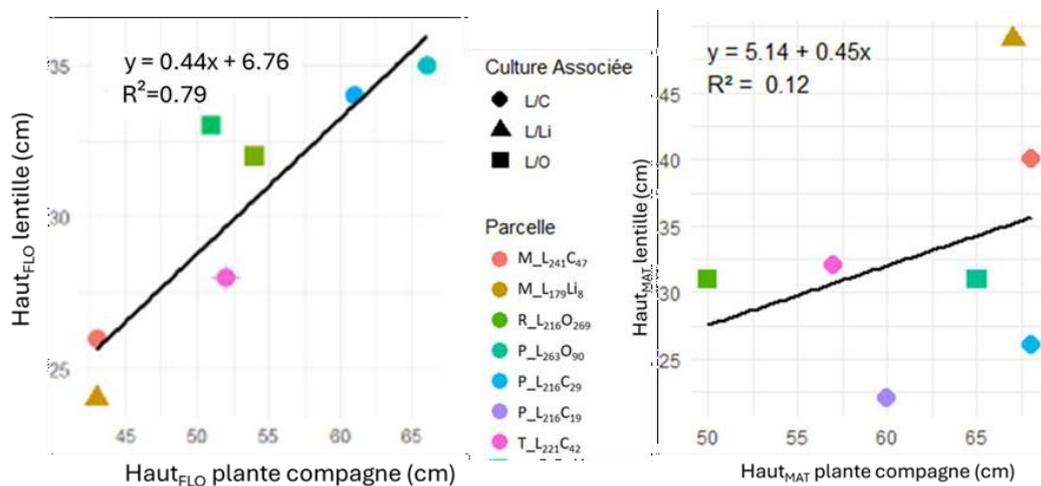


Figure 10 : Hauteur (cm) de la lentille en fonction de celle de la plante compagne au stade début floraison de la lentille (à gauche) et au stade maturité de la lentille (à droite).

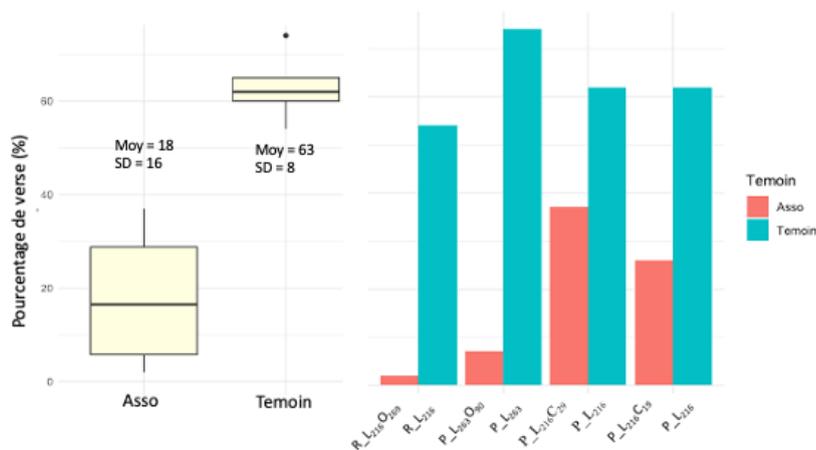


Figure 11 : Pourcentage de verse (%) de la lentille en association et en pure estimé par le calcul  $(H_{-}Flo - H_{-}Mat)/H_{-}Flo$

### 3. Implantation des cultures

Le taux de germination permet de calculer le rendement atteignable en absence de pertes à la levée liées à d'autres facteurs. En moyenne, le taux de germination de la lentille est de  $95\pm 1\%$  contre  $79\pm 4\%$  pour la cameline,  $86\%$  pour le lin et  $95\%$  pour le blé et l'orge (Figure 3). En comparant la densité atteignable avec les densités observées nous en déduisons le pourcentage de levée qui rend compte de la réussite d'implantation des cultures. En moyenne, le pourcentage de levée de la lentille est de  $68\pm 15\%$ ,  $21\pm 22\%$  pour la cameline et  $5\pm 6\%$  pour le lin et  $81\%$  pour l'orge (Figure 4).

Nous avons observé une forte variabilité inter-parcelles ( $52\%$  à  $99\%$  pour la lentille ;  $0\%$  à  $65\%$  pour la cameline et  $1\%$  à  $12\%$  pour le lin) mais également intra-parcelles (Figure 4). Cela nous a conduit à segmenter quatre parcelles identifiées par " " (P'\_L281C158, M'\_L322Li713, R'\_L397C153 et T'\_L417C272). Dans ces zones, le pourcentage de levée du lin est de  $52\%\pm 10\%$  sur la zone M'\_L322Li713 (contre  $1\pm 2\%$  dans la zone M\_L322Li713). Celui de l'orge est de  $81\pm 15\%$  sur la zone R'\_L397C153. Enfin, celui de la cameline est de  $23\pm 4\%$  sur la zone P'\_L281C158 (contre  $14\pm 11\%$  dans la zone P\_L281C158), et de  $18\%\pm 1\%$  sur la zone T'\_L417C272 (contre  $4\pm 8$  dans la zone T\_L417C272) (Figure 5).

*In fine*, pour les huit grandes parcelles (tableau 1), la densité de la lentille varie de 159 à 263 plantes/m<sup>2</sup>, celle de la cameline de 0 à 50 plantes/m<sup>2</sup>, celle du lin de 7 à 9 plantes/m<sup>2</sup>. La densité de l'orge est de 90 plantes/m<sup>2</sup> (Figure 6). Dans les zones que nous intégrons dans la suite de notre analyse, la densité de lentille varie également de 159 à 263 plantes/m<sup>2</sup> et celle de la cameline de 29 à 42 plants/m<sup>2</sup>. Celles du lin et l'orge sont respectivement de 72 plants/m<sup>2</sup> et de 269 plantes/m<sup>2</sup> (Figure 6).

Ces résultats nous ont conduits, pour la suite de l'étude, à (i) abandonner les parcelles dont l'espèce associée à la lentille n'avait pas levé et (ii) regrouper celles qui ne présentaient pas de différences significatives en termes de densité observées. Par ailleurs, toutes les parcelles ont été renommées au regard des densités observées (Tableau 2). Ainsi, la parcelle de l'agriculteur X sur laquelle on a décompté Y plants/m<sup>2</sup> de lentille et Z plants/m<sup>2</sup> d'orge sera nommée **X\_LyOz**.

### 4. Structure du couvert : hauteur et couverture du sol

La hauteur et la couverture du sol permettent de caractériser l'architecture aérienne du couvert. Au début de la floraison de la lentille, en moyenne sur l'ensemble du réseau, le taux de couverture du sol du témoin est comparable à celui de l'association ( $96\pm 4\%$  ; p-value = 0.8 ; Figure 7). Même observation pour chaque parcelle considérée individuellement (p-value > 0.05 ; Figure 7).

Au début de la floraison de la lentille, en moyenne sur l'ensemble du réseau, la hauteur de la lentille en association est identique à celle du témoin ( $30\pm 4$  cm et  $27\pm 4$  cm respectivement ; p-value = 0.18 ; Figure 8). Cependant, en considérant les parcelles individuellement, cinq parcelles présentent des différences significatives de hauteur entre les modalités pure et association :

- Les deux associations avec l'orge : (i) **P\_L263O90** ( $33\pm 4$  cm et  $30\pm 4$  cm ; p-value = 0.01) et (ii) **R\_L216O269** ( $32\pm 2$  cm et  $26\pm 3$  cm ; p-value = 0.0007 ; Figure 8).
- L'association avec le lin : **M\_L159Li72** ( $24\pm 3$  cm et  $21\pm 3$  cm ; p-value = 0.05 ; Figure 8).
- Deux des quatre associations avec la cameline : (i) **P\_L216C19** ( $34\pm 3$  cm et  $31\pm 3$  cm ; p-value = 0.02) et (ii) **P\_L216C29** ( $35\pm 4$  cm et  $31\pm 3$  cm ; p-value = 0.006 ; Figure 8).

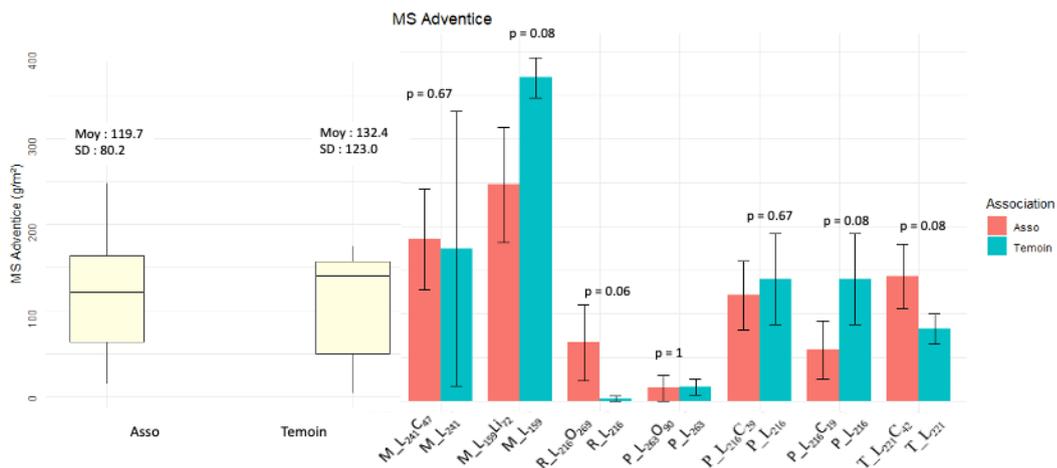


Figure 12 : Biomasse sèche (g/m<sup>2</sup>) des adventices en association et en pure. A gauche, boîte à moustache pour les 7 parcelles. A droite, valeurs du témoin et de l'asso pour chaque parcelle, avec pour chacune l'écart type et la p value du test de Mann Whitney. (M, R, P, T correspondent aux exploitations).

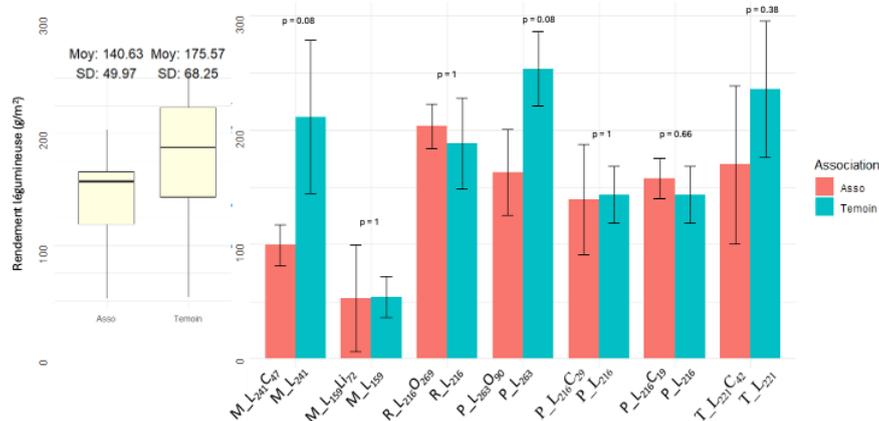


Figure 13 : Rendement (g/m<sup>2</sup>) de la lentille en association et en pure. A gauche, boîte à moustache pour les 7 parcelles. A droite, valeurs du témoin et de l'asso pour chaque parcelle, avec pour chacune l'écart type et la p value du test de Mann Whitney. (M, R, P, T correspondent aux exploitations).

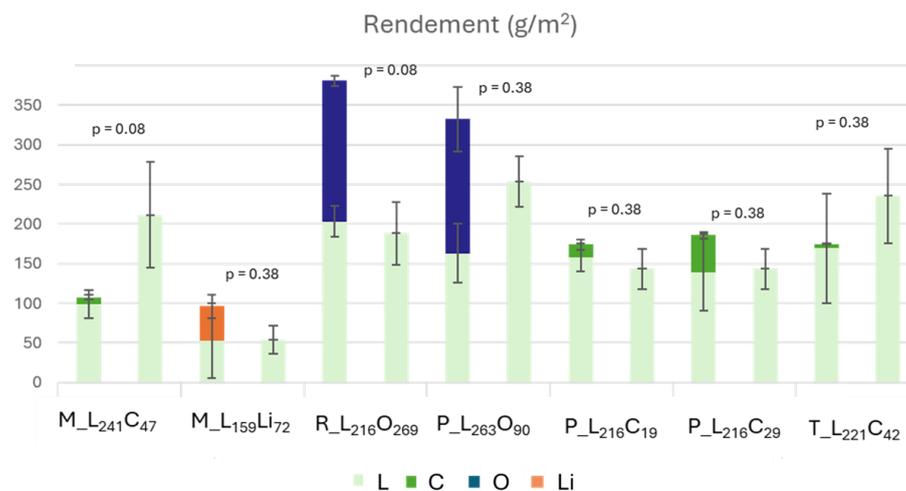


Figure 14 : Rendement (g/m<sup>2</sup>) totale en association et en pure. (M, R, P, T correspondent aux exploitations)

Au stade maturité, en moyenne sur l'ensemble du réseau, la hauteur des lentilles en association est identique à celle des témoins ( $33.0 \pm 9.0$  cm et  $22.7 \pm 16.2$  cm ; p-value = 0.22 ; Figure 8). Pour autant, l'analyse par parcelle montre une hauteur significativement supérieure en association par rapport au témoin pour cinq des sept parcelles (pas de différence pour les deux autres) à savoir :

- Les deux associations avec l'orge : (i) **P\_L263O90** ( $31 \pm 8$  cm et  $8 \pm 3$  cm ; p-value < 0.001) et (ii) **R\_L216O269** ( $31 \pm 5$  cm et  $12 \pm 6$  cm ; p-value < 0.05; Figure 9).
- Trois des quatre associations avec la cameline : (i) **P\_L216C29** ( $26 \pm 7$  cm et  $12 \pm 3$  cm ; p-value < 0.0001), (ii) **P\_L216C19** ( $22 \pm 9$  cm et  $12 \pm 3$  cm ; p-value = 0.006) et (iii) **M\_L241C47** ( $40 \pm 10$  cm et  $32 \pm 6$  cm ; p-value = 0.007; Figure 9).

Nous observons que la hauteur de la lentille est positivement corrélée à celle de la plante compagne au stade début floraison ( $R^2 = 0.79^{**}$  ; Figure 10) mais que cette relation n'est pas significative au stade maturité ( $R^2 = 0.12$  ; Figure 10).

Enfin, nous avons étudié la verse sur les parcelles, grâce au calcul de l'indicateur pourcentage de verse. Cet indicateur a été calculé pour les parcelles dont la hauteur à maturité était inférieure à la hauteur en début de floraison (4 parcelles). Il est significativement réduit en association ( $18 \pm 16\%$  et  $63 \pm 8\%$  ; p-value = 0.03 ; Figure 11), ce qui témoigne donc d'une verse de la lentille moins importante en association. Au sein de chaque parcelle prise individuellement, le pourcentage de verse est significativement moindre en association par rapport au témoin.

## 5. Biomasses et rendements

L'étude de la production de biomasse des espèces cultivées i.e. de la lentille et de la plante compagne ainsi que celle des adventices permettent d'évaluer la performance des cultures en intégrant également l'analyse des rendements. En moyenne sur l'ensemble du réseau, la biomasse des adventices n'est pas significativement différente entre les associations et les témoins (respectivement  $120 \pm 80$  g/m<sup>2</sup> et  $132 \pm 123$  g/m<sup>2</sup> ; p-value = 0.9 ; Figure 12). Il en est de même pour chaque parcelle considérée individuellement. La parcelle **P\_L263O90** est celle ayant la plus faible biomasse d'adventices ( $15 \pm 15$  g/m<sup>2</sup>) qui est la parcelle pour laquelle le nombre d'interventions de désherbage mécanique a été le plus important (un passage de herse étrille et trois passages de bineuses).

Le rendement total des associations est compris entre 96 g/m<sup>2</sup> et 381 g/m<sup>2</sup>. Celui des témoins, qui correspond donc uniquement au rendement lentille, est compris entre 54 et 253 g/m<sup>2</sup>. Pour les associations, il se décompose entre :

- Le rendement lentille compris entre  $52.8 \pm 46.7$  g/m<sup>2</sup> à  $203.3 \pm 19.4$  g/m<sup>2</sup>
- Le rendement plante compagne compris entre  $4.9 \pm 0.6$  et  $46.9 \pm 4.3$  g/m<sup>2</sup> pour la cameline, entre  $169.6 \pm 40.9$  et  $177.3 \pm 6.6$  g/m<sup>2</sup> pour l'orge et entre  $43.4 \pm 14.5$  g/m<sup>2</sup> pour le lin.

En moyenne dans le réseau, on n'observe pas de différence significative entre association et témoin pour :

- Le rendement lentille (respectivement  $141 \pm 50$  g/m<sup>2</sup> et  $181 \pm 73$  g/m<sup>2</sup> ; p-value = 0.2 ; Figure 13)
- Le rendement total (respectivement  $207 \pm 109$  g/m<sup>2</sup> et  $175 \pm 68$  g/m<sup>2</sup> ; p-value = 0.9 ; Figure 14)

### Partie III : Résultats

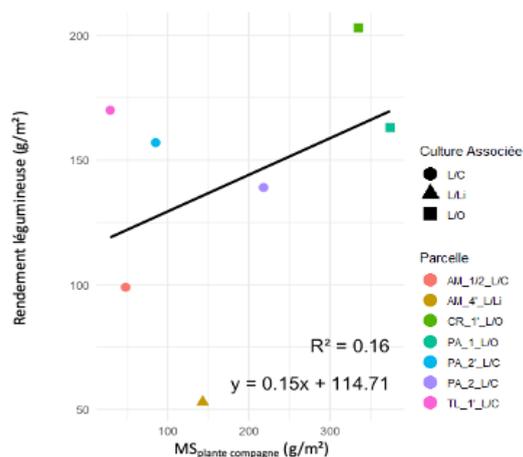


Figure 15 : Rendement total des associations (g/m<sup>2</sup>) en fonction de la biomasse sèche de la plante compagne (g/m<sup>2</sup>) réalisé sur des prélèvements avant récolte mécanique

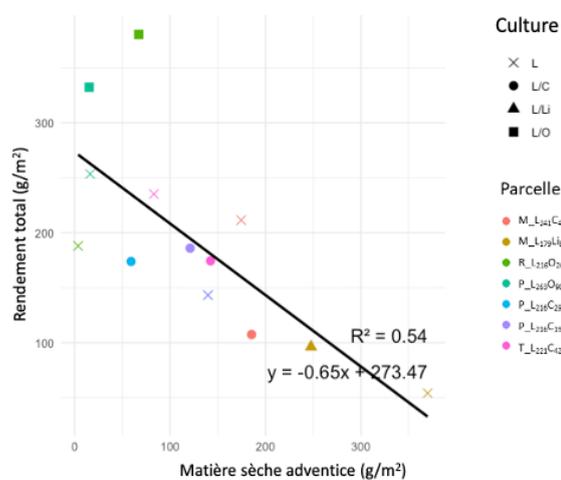


Figure 16 : Rendement total de l'association (g/m<sup>2</sup>) en fonction de la biomasse sèche d'adventice (g/m<sup>2</sup>) réalisé sur des prélèvements avant récolte mécanique

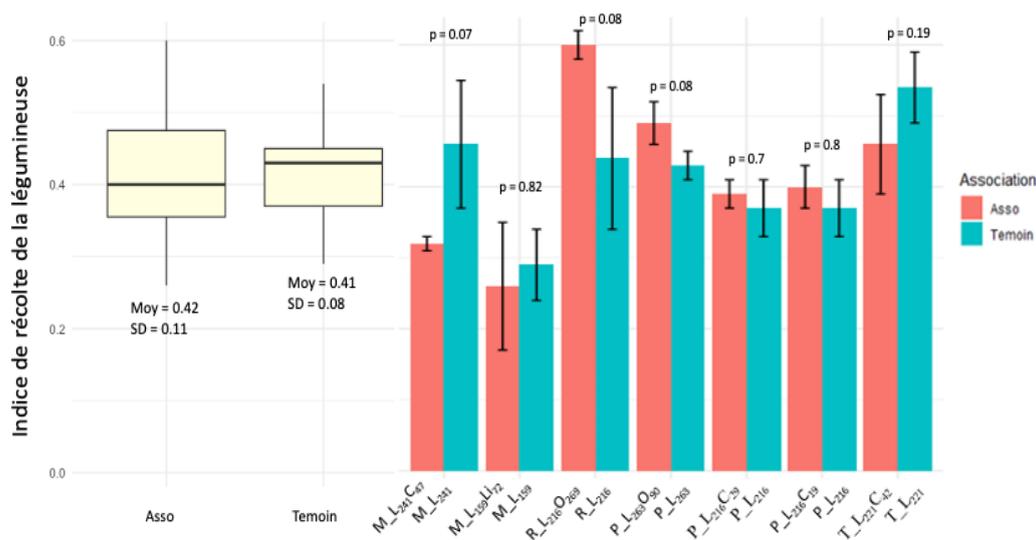


Figure 17 : Indice de récolte de la lentille en association et en pure. A gauche boîte à moustache pour les 7 parcelles et à droite pour chaque parcelle individuelle avec pour chacune l'écart type et la p value du test de Mann Whitney.

Même observation au sein de chaque parcelle prise individuellement. On n'observe pas de différence significative de rendement total et de rendement lentille entre les modalités en association et pures. Enfin, on n'observe pas de corrélation significative entre le rendement en grain des lentilles et la biomasse sèche des plantes compagnes ( $R^2 = 0.16$  ; Figure 15). A l'inverse, le rendement total est négativement corrélé à la matière sèche des adventices ( $R^2 = 0.54^*$  ; Figure 16).

L'indice de récolte n'est pas significativement différent entre les associations et les témoins (respectivement  $0.42 \pm 0.11$  et  $0.41 \pm 0.08$  ; p-value = 0.9), il en est de même pour chaque parcelle considérée individuellement (p-value > 0.05 ; Figure 17).

Enfin, nous n'observons pas de différence significative entre les associations et les témoins en termes de PMG ( $22 \pm 2$  g et  $23 \pm 2$  g ; p-value = 0.5 ; Figure 18) tout comme pour chaque parcelle prise individuellement (p-value > 0.05 ; Figure 18).

## 6. Régulation des bruches

L'étude de l'impact des bruches sur les cultures de lentilles permet d'une part de mettre en évidence les pertes de rendements liées à ce coléoptère et dans un second de voir un potentiel effet réduction des dégâts en association. En moyenne sur l'ensemble du réseau, le taux de grains bruchés n'est pas significativement différent entre les associations et les témoins (respectivement  $27 \pm 15\%$  et  $19 \pm 7\%$  ; p-value = 0.3 ; Figure 19). Il en est de même pour chaque parcelle considérée individuellement. Nous observons par ailleurs un taux de grain bruché particulièrement important chez le producteur M.

L'étude d'une relation entre le taux de grain bruché et la matière sèche des adventices et des plantes compagnes permet de mettre en évidence une potentielle réduction du taux de grain bruché par des mécanismes de dilution et de confusion. On n'observe aucune relation entre le taux de grain bruché et la somme des matières sèches de la plante compagne et des adventices ( $R^2 = 0.13$  ; Figure 20).

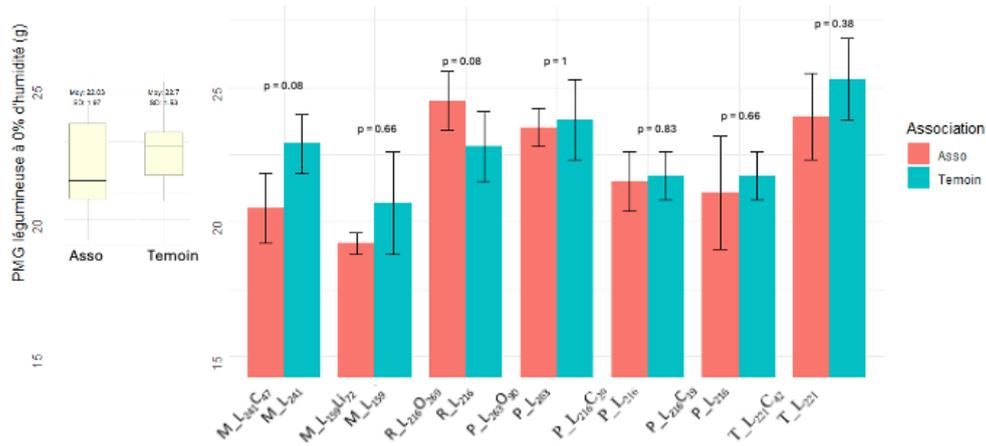


Figure 18 : PMG (g) de la lentille en association et en pure. A gauche, boîte à moustache pour les 7 parcelles. A droite, valeurs du témoin et de l'asso pour chaque parcelle, avec pour chacune l'écart type et la p value du test de Mann Whitney. (M, R, P, T correspond aux exploitations).

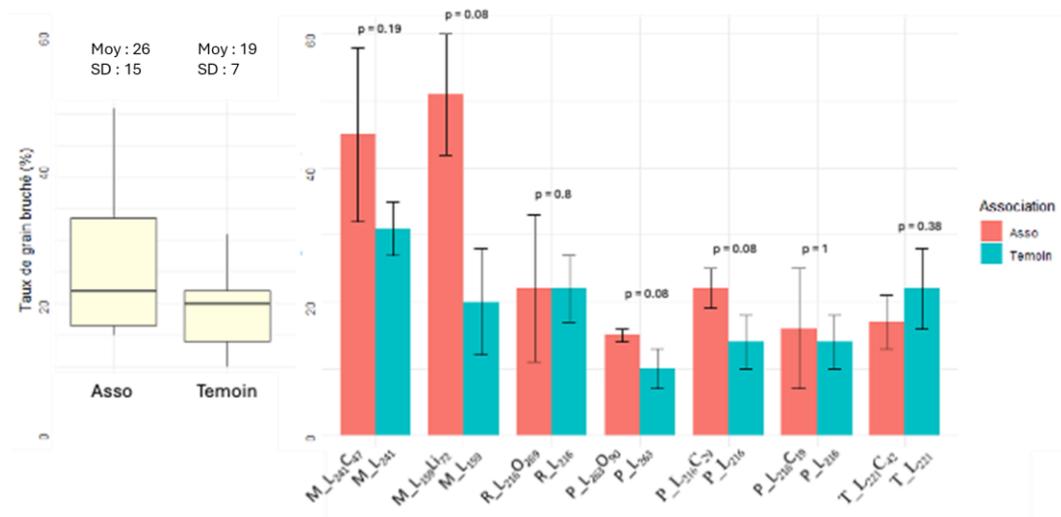


Figure 19 : Taux de grain bruché (en %) en association et en pure mesuré sur les prélèvements avant la récolte. A gauche, boîte à moustache pour les 7 parcelles. A droite, valeurs du témoin et de l'asso pour chaque parcelle, avec pour chacune l'écart type et la p value du test de Mann Whitney. (M, R, P, T correspond aux exploitations).

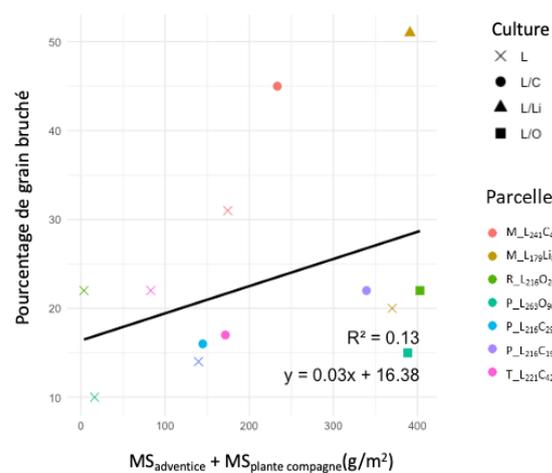


Figure 20 : Taux de grain bruché (en %) en fonction de la matière sèche plante compagne et des adventices (g/m<sup>2</sup>).

# **PARTIE IV : DISCUSSION**

## **1. Implantation des cultures**

### **1.1. Le taux de germination : premier indicateur du rendement potentiel**

Les densités observées au stade 3-4 feuilles de la lentille montrent de grandes divergences par rapport aux densités semées avec une variabilité importante entre espèces, entre parcelles et entre agriculteurs. Or, la densité du peuplement est la première composante du rendement (Arvalis, 2022) et dans le cas des associations conditionne pour partie les équilibres compétitifs entre espèces (Justes et al., 2021). Dans notre étude, l'absence de mesure du taux de germination des semences par les producteurs, a conduit dans le cas notamment de la cameline et du lin à une densité de peuplement réduite de 21% et 14% respectivement qui auraient pu être anticipés, d'autant plus qu'il s'agit de semences fermières. En conséquence, il est essentiel de mesurer, en amont du semis, le taux de germination des semences pour adapter la densité de semis au regard des densités de peuplement souhaitées et ainsi ne pas affecter le potentiel de rendement dès l'implantation.

### **1.2. La préparation du sol : une étape clé de la réussite du semis**

Les différents travaux réalisés sur les associations témoignent souvent d'une difficulté d'implantation de la cameline et du lin en association (W-SoLent, 2022). De bonnes conditions de semis sont essentielles pour limiter les pertes à la levée (Terres Inovia, 2019b), estimée dans notre étude par le rapport entre la densité atteignable et la densité observée. C'est le cas notamment des espèces à petites graines comme la cameline (PMG = 1.1g) et le lin (PMG = 7.0 g) qui ne disposent pas d'importantes réserves et pour lesquelles les pourcentages de levée ont été très faibles (21% et 5% respectivement). Pour ces espèces, encore plus que pour celles à grosses graines, il est nécessaire d'assurer un bon contact entre la terre et la graine. Cela passe par une structure fine du lit de semence et un éventuel roulage post-semis le tout combiné à un semis superficiel et à des conditions hydriques satisfaisantes. Par exemple, nous avons pu constater au champ une absence de levée de cameline sur une parcelle où le semis avait été semé profond (3-4 cm). A l'inverse, nous avons observé un taux de levée de la cameline plus important dans les zones de tournières (zone où l'agriculteur fait demi-tour lors du semis) plus tassées. Cela suggère qu'un roulage aurait sûrement permis d'améliorer le contact terre-graine et favoriser la germination des graines de cameline. A noter que les épisodes pluvieux du début de l'année 2024 n'ont pas toujours permis une préparation satisfaisante du lit de semence, et un roulage post-semis. Cependant, du fait de la succession d'épisodes pluvieux et de la présence de limons, cette opération aurait pu créer une croûte de battance également préjudiciable à la levée.

### **1.3. Les conditions climatiques de 2024 : responsables de pertes à la levée...**

A l'exception de l'orge (taux de levée de 81%), les autres espèces (lentille, cameline et lin) présentent en moyenne des taux de levée relativement faibles (68%, 24% et 2%) qui peuvent s'expliquer par les conditions climatiques de l'année. Ces dernières ont entraîné une humidité trop importante tout au long de la phase de levée et donc certainement des pertes. En effet, nous avons pu constater des taux de levée particulièrement faibles dans les zones hydromorphes de certaines parcelles.

Les fortes précipitations ont également favorisé l'activité des limaces, notamment dans les zones motteuses des parcelles (Ecophyto, 2014). A titre d'exemples, nous observons une très faible levée de la lentille dans la partie motteuse d'une parcelle (non quantifiée), malgré l'application de molluscicide bio et des dégâts de limaces ont été observés dans les semis tardifs.

Concernant la lentille, il est conseillé une densité de levée d'environ 220-250 plantes/m<sup>2</sup> (Terres Inovia, 2019b), ce qui dans notre étude est quasiment atteint pour toutes les parcelles à l'exception d'une. En effet, malgré des pertes à la levée importantes, les producteurs ont tendance à semer particulièrement dense (souvent plus de 350 grains/m<sup>2</sup>), pour assurer *in fine* une implantation correcte de la lentille. Dans le cas du lin, le faible taux de levée peut s'expliquer par un semis réalisé mi-février dans un sol pas suffisamment réchauffé. On peut supposer également des attaques d'altises comme *Longitarsus parvulus* et *Aphthona euphorbiae* (Terres Inovia, 2019a). Notons que dans cette même parcelle, une zone de 20 m<sup>2</sup> présentait une densité plus importante de lin sans qu'il soit possible d'identifier un changement de structure du sol. Enfin, les mesures de densité des espèces ont été réalisées avant les désherbages mécaniques et il aurait été pertinent de réaliser une nouvelle mesure pour quantifier les pertes liées aux actions mécaniques.

#### 1.4. Point de vigilance et améliorations

*In fine*, du fait de l'importance des densités du peuplement, plus encore que dans les cultures pures, il est essentiel que les agriculteurs prennent en considération et anticipent autant que possible les différents niveaux de pertes qui interviennent successivement à la germination, à la levée et lors du désherbage. Il est important de garder à l'esprit que les pertes estimées dans ce travail sont basées sur les densités de semis transmises par l'agriculteur et qui sont parfois imprécises pouvant conduire à une sur ou sous-estimation de ces pertes. C'est le cas par exemple pour une parcelle où le pourcentage de levée de la lentille est de 98% ce qui apparaît particulièrement élevé comparativement aux autres situations et suggère donc que l'agriculteur a très certainement semé à une densité plus importante que celle déclarée. Enfin, il aurait été pertinent de semer des modalités de lentilles en pures, pour pouvoir étudier l'effet potentiel de l'espèce et de la densité de la plante compagne sur la levée de la lentille.

## 2. Couverture du sol, hauteur et verse

### 2.1. La couverture du sol : indicateur de la capacité des cultures à concurrencer les adventices

Les cultures associées fournissent une couverture du sol plus rapide, plus étendue et plus dense que les cultures pures (Anil et al., 1998) permise par la complémentarité de la plante compagne (Wang et al., 2012). Nous supposons dès lors une couverture du sol plus importante en association qu'en pure mais aucune différence n'est apparue significative. Nous avons observé au stade début floraison de la lentille, une couverture du sol de plus de 90% et ce aussi bien dans les cultures pures que dans les associations. Ces taux de couverture très élevés s'expliquent entre autres par la présence importante d'adventices dans les parcelles. En effet, en raison de la méthode utilisée il n'est pas possible de différencier la part de couverture liée aux plantes principales (lentille et plante compagne) de celle liée aux adventices. Par conséquent, nous ne sommes pas en mesure de conclure sur la capacité des cultures associées à couvrir le sol plus rapidement et plus fortement que les cultures pures.

Des mesures à des stades de développement plus précoces auraient pu permettre une analyse plus fine de la dynamique de couverture du sol. En particulier, au stade 3-4 feuilles et 6-7 feuilles de la lentille lorsque celle-ci est encore peu compétitive, pour voir si les modalités en associations ont un pouvoir couvrant supérieur à celles en pures.

## 2.2. Hauteur et verse

### 2.2.1. Hauteur : indicateur de la concurrence des plantes associées sur la lentille

En association, les plantes compagnes exercent une concurrence sur la culture principale, notamment pour l'acquisition de la lumière (Vandermeer, 1989). Cela se manifeste par une augmentation de la hauteur de la culture principale pour accéder à une quantité suffisante de lumière. Tosti et al. (2023) démontrent ainsi que le triticale augmente la hauteur de la lentille en association. La corrélation positive observée au stade début floraison entre la hauteur de la lentille et celle de la culture associée confirme ces résultats, tout comme les différences de hauteurs des lentilles entre les modalités en pures et en association. Nous observons donc bien une compétition pour la lumière qui se met en place, entraînant une augmentation de la hauteur de la lentille. A noter que les différences importantes de hauteur de lentille entre les parcelles au stade début floraison peuvent être dues aux conditions climatiques (sols se réchauffant plus ou moins vite) en interaction avec des densités de levées de plantes différentes.

### 2.2.2. Limiter la verse de la lentille pour faciliter la récolte

Le pourcentage de verse traduit la facilité de récolte qui influence le rendement final de la culture (Viguié, 2018). En effet, les gousses des plants versés sont au ras du sol et peuvent être difficilement récoltées à la moissonneuse-batteuse. Le rôle tuteur/compétition de la plante compagne a déjà été démontré dans de nombreuses publications scientifiques notamment dans le cas des associations céréale-lentille (Carr et al, 1995). Viguié (2018) observe quant à lui une verse moyenne de 15% en culture associée (avec un blé semé à 17% de sa densité en pure) contre 40% en culture pure. Une réduction de la verse est également observée pour les associations lentille-orge et lentille-cameline pour des densités d'orge et de cameline en moyenne de 95 plantes/m<sup>2</sup> et 29 plantes/m<sup>2</sup> (W-SoLent, 2022). Nos observations confirment ces résultats avec une réduction significative de la verse en association par rapport aux cultures pures.

L'orge, à 90 plantes/m<sup>2</sup>, semble être la plante compagne avec le meilleur pouvoir tuteur/compétition de par son effet entonnoir qui contient la lentille entre ses talles (pourcentage de verse compris entre 2 et 7% contre 62% et 74% en culture pure). Une réduction de la verse des lentilles est également observée pour les associations avec la cameline et ce pour des densités observées allant de 19 à 29 plantes/m<sup>2</sup>.

Le pourcentage de verse n'a pas pu être calculé pour certaines modalités en raison d'une hauteur à maturité supérieure à celle au début floraison. Dans ce cas, la hauteur à maturité peut être utilisée comme un indicateur de la récoltabilité. De manière générale, la hauteur à maturité est significativement supérieure en association par rapport en pure et témoigne de l'effet de tuteur/compétition de la plante compagne.

Toutefois, il est important de souligner la présence très importante d'adventices notamment dans la parcelle avec l'association lentille-lin. Dans cette parcelle, l'effet tuteur/compétition semble assuré autant par le lin que les matricaires et coquelicots. On peut donc conclure à un effet de réduction de la verse dans l'association lentille-lin sans pour autant attribuer cette réduction uniquement au lin contrairement aux autres parcelles où les adventices sont moins présentes.

## 3. Salissement des parcelles

Les cultures associées légumineuses-céréales permettent une réduction de la biomasse adventice par rapport à la culture de légumineuse en pure, par des mécanismes de compétition pour la lumière et l'azote entre autres (Bedoussac et al 2015; Corre-Hellou et al., 2011). Tosti et al. (2023) observent une réduction de la pression des adventices de

plus de 95%, pour des densités de céréale équivalente à 35% de celle en culture pure. Dans le même sens, Carton et al. (2019) constatent en moyenne une réduction de la biomasse adventice de 41%, pour des densités de blé allant de 17 à 30% de celle en pure. De même, des réductions de salissement sont observées pour l'association lentille-cameline à des densités de 3 kg/ha de cameline (non quantifiées ; Chambre d'agriculture des Hauts de France, 2018). Nous supposons dès lors une réduction de la biomasse adventice en association par rapport à la lentille pure mais nous n'observons aucune différence significative et ce pour toutes les associations.

Pour les associations avec l'orge, la biomasse d'adventice était faible si bien que l'effet de l'association peut difficilement être évalué. Dans le cas des associations avec le lin et la cameline, on peut supposer que ces espèces compagnes ne sont pas assez compétitives vis-à-vis des adventices, notamment au vu des faibles densités observées (moins de 50 plantes/m<sup>2</sup>). De même, une densité de lin de 72 plantes/m<sup>2</sup> ne parvient pas à concurrencer une flore adventice, qui était très importante dans cette parcelle. Nous pourrions préconiser des semis de cameline et lin plus denses, au vu des faibles taux de levées pour assurer une plus forte compétition sur les adventices. Néanmoins, le risque est à l'inverse de trop concurrencer la lentille. C'est pourquoi, il nous paraît préférable de maintenir un semis de 2 kg/ha pour la cameline et de 25 à 50 kg/ha pour le lin et de mettre l'accent sur la préparation du lit de semence et le roulage en post-semis pour maximiser la levée de ces deux espèces à petites graines.

Certaines parcelles présentent des biomasses adventices particulièrement importantes, qui s'expliquent par l'impossibilité de réaliser des interventions de désherbage mécanique en raison des sols fortement détrempés. Des passages de herses étrilles en pré-levée auraient permis une destruction précoce des adventices.

## 4. Rendement récoltable

### 4.1. Biomasse et rendement de la lentille

Une réduction de la biomasse de la lentille est observée lorsqu'elle est en association avec du blé (Carton et al., 2019) du fait d'une compétition pour l'acquisition des ressources. Cette forte compétitivité est observée y compris pour des densités de semis de céréales comprises entre 17% et 33% de celle conseillée en pure (Carton et al., 2019; Tosti et al., 2003). Cette perte de biomasse s'accompagne d'une perte de rendement de la lentille par rapport à la culture pure (Viguié, 2018 ; Nargis et al., 2004). Tosti et al. (2023) évaluent des pertes de rendement de lentille de l'ordre de 59%, lorsque la densité de céréale représente 35% de celle en pure. Carton et al. (2019) estiment des pertes de rendement allant de 13% à 36% pour des densités de blé variant respectivement de 17 à 33% de celles en pure. De même, une perte de rendement de plus de 30% a été observée pour des associations de lentilles avec de la cameline semée à 2 kg/ha, dans des expérimentations en Vendée (W-SoLent, 2022). Pourtant, nous n'observons aucune différence significative, ni de biomasse totale de la lentille, ni de rendement lentille entre les modalités en pure et celles en association et ce quelles que soit les associations. De plus, la biomasse allouée au grain semble être la même eu égard à l'absence de différence significative dans l'indice de récolte et le PMG.

Pour les associations avec le lin et la cameline, on peut supposer que la compétition exercée sur la lentille n'est pas suffisamment importante pour affecter le rendement. En effet, au vu des densités de levées, respectivement inférieures ou égales à 50 plantes/m<sup>2</sup> pour la cameline et 50 plants/m<sup>2</sup> pour le lin, nous sommes très loin des objectifs visés.

En revanche, les résultats sur les deux associations lentille-orge sont surprenants.

En effet, compte tenu des densités très importantes d'orge, nous supposons une diminution de rendement importante. Pour la modalité avec une densité d'orge égale à 30% de celle recommandée en pure, nous n'observons pas de différence significative et il en est de même pour l'autre modalité avec l'équivalent de 100% d'orge en pure. On peut supposer que l'année particulièrement pluvieuse accompagnée d'une croissance lente des plantes a permis à la lentille de suivre le développement de l'orge. L'année 2024 semble avoir été particulièrement favorable au développement de la lentille au vu des rendements que nous avons mesuré ; certains allant jusqu'à 2t/ha. En revanche, pour l'orge les rendements sont plus modérés, malgré des densités levées importantes, nous obtenons entre 1.6 et 1.7 t/ha. Nos résultats obtenus sont à mettre au regard des rendements mesurés.

## 4.2. Rendement total des espèces cultivées

Associer les légumineuses assure également une augmentation du rendement total à l'échelle de la parcelle (Bedoussac et al., 2015), assuré par la récolte de deux espèces complémentaires. Dès lors, nous supposons un rendement total supérieur en association par rapport à la culture pure de lentille mais nous n'observons aucune différence significative. Pour l'orge, même si les résultats ne sont pas significatifs, nous observons tout de même une tendance à favorable à l'association. A noter que ces rendements manuels correspondent aux rendements récoltables et non au rendement réellement récolté par une moissonneuse-batteuse. Ils ne permettent donc pas de mettre en évidence le gain de rendement lié à l'association du fait d'une moindre verse par exemple. Viguié (2018) a démontré une meilleure efficacité de la récolte mécanique de la lentille en association avec du blé ce qui mériterait d'être également étudié avec le lin et la cameline comme plante compagne. De plus, la majorité des travaux comme Bedoussac et al. (2015) comparent le rendement de l'association avec le rendement moyen des deux cultures pures alors que dans notre étude nous n'avons que la lentille pure et au regard des densités de lin et de cameline il est probable que les rendements de ces espèces en pures auraient été proche de zéro conduisant à conclure à un avantage certain de la culture associée.

Par ailleurs, les cultures associées permettent une stabilisation des rendements (Bedoussac et al 2015 ; Raseduzzaman & Jensen, 2017) notamment grâce à la récolte de deux espèces complémentaires. Néanmoins, nous ne sommes pas en mesure d'étudier cette stabilisation qui ne peut se faire que sur une échelle de temps plus longue sur plusieurs campagnes. Cela suggère donc de reproduire ces essais pour pouvoir confirmer ou infirmer nos conclusions.

## 5. Bruches

### 5.1. Estimations des dégâts des bruches

Des résultats assez mitigés à propos de l'impact des cultures associées sur la pression des bruches ont été publiés dans la littérature scientifique. D'un côté, Tosti et al (2023) constatent une réduction de la perte de rendement liée à la bruche de 16% en culture associée par rapport à la culture de lentille en pure. De l'autre, aucune réduction du taux de grain bruché n'est observée en association avec du blé par rapport à la culture pure (Viguié, 2018). Nos résultats ne montrent aucune différence significative des taux de grains bruchés en association par rapport à la culture en pure, et ce pour toutes les associations. Néanmoins, il est nécessaire de rappeler que les modalités témoins étaient situées au sein des parcelles en association, ce qui a pu entraîner un biais dans les résultats. Il serait pertinent à l'avenir de réaliser des essais plus structurés sur des parcelles entières de lentilles pures à proximité de lentille en association pour pouvoir comparer précisément les taux de grains bruchés entre ces modalités.

Par ailleurs, accroître la biodiversité végétale en intégrant notamment des plantes non hôtes au sein du couvert végétal induirait un effet dilution (Tibi et al., 2022). Face à cette ressource végétale dispersée, les bioagresseurs phytophages mettraient davantage de temps à localiser et à coloniser leur plante hôte. Nous supposons donc que l'accroissement de la biodiversité à l'échelle de la parcelle réduirait le taux de grains bruchés. L'absence de tendance ou de corrélation significative pourrait être expliquée par la forte dépendance du comportement de la bruche à d'autres facteurs tels que les conditions locales et saisonnières ou bien la structure paysagère.

## 5.2. Encore beaucoup d'interrogations à propos des bruches...

Une étude sur la qualité des grains a révélé un taux de grain bruché en moyenne de 11.9% à l'échelle nationale, dans les principaux bassins de production et selon des conduites conventionnelles (Terres Inovia, 2023). Cependant, la méthode d'identification des grains bruchés n'étant pas précisée, il est difficile de comparer nos résultats avec ces données. Nous constatons toutefois des taux de grains bruchés globalement similaires entre l'ensemble des parcelles, hormis pour un producteur qui présente des taux de grains bruchés dépassant les 50%. La floraison plus précoce que les autres parcelles, au moment du pic d'activité des bruches, ou tout simplement des conditions locales spécifiques peuvent être des suppositions sans pour autant être vérifiées. Par ailleurs, chez le producteur ayant planté une bande de féverole, il n'y a pas de différence de grain bruché entre la parcelle ayant une bande de féverole autour et celle n'en ayant pas sachant que ces deux parcelles avaient des plantes compagnes différentes (cameline et orge respectivement). Encore une fois, l'écologie de la bruche est complexe et encore peu connue si bien que des essais analytiques plus structurés autour notamment de l'usage de bandes tampons permettraient de confirmer ou non des effets sur la bruche.

## **PARTIE V : CONCLUSION**

Les essais conduits dans ce réseau en 2024 montrent la difficulté d'implantation des associations lentille-lin et lentille-cameline contrairement aux associations lentille-orge. Les associations, lorsqu'elles sont bien implantées, se sont montrées efficaces pour réduire la verse à l'échelle de la parcelle permettant ainsi de faciliter a priori la récolte de la lentille. Cette étude n'a pas pu démontrer d'effet significatif de l'association sur la gestion de l'enherbement, et ce quel que soit la plante compagne. Par ailleurs, aucune perte de rendement grain des lentilles par rapport à la culture de la lentille en pure n'a été observée dans l'ensemble des associations testées par rapport à la lentille en pure. Enfin, aucun effet de l'association sur la pression des bruches n'a pu être mis en évidence. Les récoltes de la lentille sur l'année 2024 ont été satisfaisantes, notamment pour une production biologique alors que celles des plantes compagnes sont plus mitigées.

L'aspect économique n'a pas été abordé dans cette étude. Pourtant il nous paraît important d'étudier la rentabilité des cultures associées et notamment le bénéfice financier que peut apporter la récolte de la plante compagne à l'échelle de la parcelle sachant que cela nécessite ensuite de trier ces mélanges ce qui peut s'avérer complexe et coûteux. Enfin, il serait intéressant de continuer ces suivis sur une échelle de temps plus longue, pour étudier l'effet des associations sur la stabilisation du rendement.

Finalement, compte tenu des rendements satisfaisants de l'année pour les quatre producteurs, l'objectif principal des prochains mois est de développer une chaîne de tri et des débouchés au niveau local.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agreste. (2023). *Les lentilles, on en voit de toutes les couleurs !* Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire. <https://agriculture.gouv.fr/les-lentilles-en-voit-de-toutes-les-couleurs>
- Angus, J., Kirkegaard, J., Hunt, J., Ryan, M., Ohlander, L., & Peoples, M. (2015). Break crops and rotations for wheat. *Crop and Pasture Science*, 66, 523. <https://doi.org/10.1071/CP14252>
- Anil, L., Park, J., Phipps, R., & Miller. (1998). Temperate intercropping of cereals for forage : A review of the potential for growth and utilization with particular reference to the UK. *Grass and Forage Science*, 53, 301-317. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2494.1998.00144.x>
- ANSES. (2013, janvier 24). *Les protéines*. Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. <https://www.anses.fr/fr/content/les-prot%C3%A9ines>
- Arvalis. (2022, juin 9). *Les Essentiels d'ARVALIS - Comment s'élabore le rendement des céréales à paille ?* ARVALIS. <https://www.arvalis.fr/infos-techniques/comment-selabore-le-rendement>
- Barbieri, P., Starck, T., Voisin, A.-S., & Nesme, T. (2023). Biological nitrogen fixation of legumes crops under organic farming as driven by cropping management : A review. *Agricultural Systems*, 205, 103579. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103579>
- Bedoussac, L. (2018). *De l'analyse des performances et du fonctionnement des associations d'espèces à leur insertion dans les systèmes de culture et les filières* [Thesis, Institut National Polytechnique (Toulouse)]. <https://hal.inrae.fr/tel-02788109>
- Bedoussac, L., Journet, E.-P., Hauggaard-Nielsen, H., Naudin, C., Corre-Hellou, G., Jensen, E. S., Prieur, L., & Justes, E. (2015). Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal-grain legume intercrops in organic farming. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(3), Article 3. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0277-7>
- Bedoussac, L., & Justes, E. (2010). The efficiency of a durum wheat-winter pea intercrop to improve yield and wheat grain protein concentration depends on N availability during early growth. *Plant and Soil*, 330, 19-35. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0082-2>
- Buhler, D. D. (2004). Weed-Crop Competition : A Review. Second Edition. By Robert L Zimdahl. *The Quarterly Review of Biology*, 79(4), Article 4. <https://doi.org/10.1086/428237>
- Carr, P. M., Gardner, J. J., Schatz, B. G., Zwinger, S. W., & Guldan, S. J. (1995). Grain Yield and Weed Biomass of a Wheat-Lentil Intercrop. *Agronomy Journal*, 87(3), Article 3. <https://doi.org/10.2134/agronj1995.00021962008700030030x>
- Carrillo-Perdomo, E., Raffiot, B., Ollivier, D., Deulvot, C., Magnin-Robert, J.-B., Tayeh, N., & Marget, P. (2018). Identification of Novel Sources of Resistance to Seed Weevils (*Bruchus* spp.) in a Faba Bean Germplasm Collection. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1914. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01914>
- Carton, N., Viguier, L., Bedoussac, L., Journet, E.-P., Naudin, C., PIVA, G., Corre-Hellou, G., & Justes, E. (2019). *Produire des légumineuses à graines au moyen de l'association avec une céréale : Cas de la lentille et du lupin blanc d'hiver*. 74, 129-141.
- Chambres d'agriculture des Hauts de France. (2018). *Compte rendu des essais réalisés en 2017 «2ème partie – Les cultures de printemps»*. [https://hautsdefrance.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user\\_upload/National/FAL\\_commun/publications/Hauts-de-France/essais-AB-cultures-printemps-2017.pdf](https://hautsdefrance.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Hauts-de-France/essais-AB-cultures-printemps-2017.pdf)
- Champ, M., Magrini, M.-B., Simon, N., & Guillou, C. (2015). *Les légumineuses pour l'alimentation humaine : Apports nutritionnels et effets santé, usages et perspectives* (p. 263).

- Choukri, H., Hejjaoui, K., El-Baouchi, A., El haddad, N., Smouni, A., Maalouf, F., Thavarajah, D., & Kumar, S. (2020). Heat and Drought Stress Impact on Phenology, Grain Yield, and Nutritional Quality of Lentil (*Lens culinaris* Medikus). *Frontiers in Nutrition*, 7, 596307. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.596307>
- CNRC. (2021, juin 14). *Plan de diversification des sources de protéines- CNRC*. DRAAF Auvergne-Rhône-Alpes. <https://draaf.auvergne-rhone-alpes.agriculture.gouv.fr/plan-de-diversification-des-sources-de-proteines-cnrc-a4093.html>
- Corre-Hellou, G., Dibet, A., Hauggaard-Nielsen, H., Crozat, Y., Gooding, M., Ambus, P., Dahlmann, C., Fragstein, P., Pristeri, A., Monti, M., & Jensen, E. (2011). The competitive ability of pea-barley intercrops against weeds and the interactions with crop productivity and soil N availability. *Fuel and Energy Abstracts*, 122, 264-272. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.04.004>
- Crédoc. (2018). *Les nouvelles générations transforment la consommation de viande*. <https://www.credoc.fr/publications/les-nouvelles-generations-transforment-la-consommation-de-viande>
- De-Los-Mozos-Pascual, M. (1992). Brúquidos (Coleoptera : Bruchidae) asociados al cultivo de la lenteja (*Lens culinaris* Medikus) en Castilla-La Mancha: ensayos de lucha química en cultivo. *Boletín de sanidad vegetal. Plagas*, ISSN 0213-6910, Vol. 18, N° 2, 1992, pags. 355-363.
- Ecophyto. (2014). *Limaces : Surveiller, prévenir les risques et privilégier les méthodes de luttés intégrées*. [https://ecophytopic.fr/sites/default/files/Limaces\\_Note\\_nationale\\_BSV\\_141010\\_cle84efec\\_0.pdf](https://ecophytopic.fr/sites/default/files/Limaces_Note_nationale_BSV_141010_cle84efec_0.pdf)
- Fardet, A., & Boirie, Y. (2014). Associations between food and beverage groups and major diet-related chronic diseases : An exhaustive review of pooled/meta-analyses and systematic reviews. *Nutrition Reviews*, 72, 741-762. <https://doi.org/10.1111/nure.12153>
- Fédération nationale des légumes secs. (2020). *Infographie—Les légumineuses, graines d'avenir*. Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire. <https://agriculture.gouv.fr/infographie-les-legumineuses-graines-davenir>
- Fukai, S., & Trenbath, B. R. (1993). Processes determining intercrop productivity and yields of component crops. *Field Crops Research*, 34(3), Article 3. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(93\)90117-6](https://doi.org/10.1016/0378-4290(93)90117-6)
- Gooding, M., Kasyanova, E., Ruske, R., Hauggaard-Nielsen, H., Jensen, E., Dahlmann, C., Fragstein, P., Dibet, A., Corre-Hellou, G., Crozat, Y., Pristeri, A., Romeo, M., Monti, M., & Launay, M. (2007). Intercropping with pulses to concentrate nitrogen and sulphur in wheat. *Journal of Agricultural Science - J AGR SCI*, 145. <https://doi.org/10.1017/S0021859607007241>
- Guéguen, J., Walrand, S., & Bourgeois, O. (2016). Les protéines végétales : Contexte et potentiels en alimentation humaine. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 51(4), Article 4. <https://doi.org/10.1016/j.cnd.2016.02.001>
- Hoffman, A. (1945). *Faune de France n°44, Coléoptères Bruchides et Anthribes*.
- INRAE. (2021). *Plus de protéines végétales, chiche ?* INRAE Institutionnel. <https://www.inrae.fr/alimentation-sante-globale/proteines-vegetales>
- Justes, E., Bedoussac, L., Dordas, C., Frak, E., Louarn, G., Boudsocq, S., Journet, E.-P., Lithourgidis, A., Pankou, C., Zhang, C., Carlsson, G., Jensen, E., Watson, C., & Li, L. (2021). The 4C approach as a way to understand species interactions determining intercropping productivity. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*. <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2021414>
- Laserna-Ruiz, I., De-Los-Mozos-Pascual, M., Santana-Méridas, O., Sánchez-Vioque, R., & Rodríguez-Conde, M. F. (2012). Screening and selection of lentil (*Lens Miller*) germplasm resistant to seed bruchids (*Bruchus* spp.). *Euphytica*, 188(2), Article 2. <https://doi.org/10.1007/s10681-012-0752-7>
- Loiseau, S., Chapelin-Viscardi, J.-D., Riquet, G., Rocher, F., Cordaillat, L., & Lacroffrette, P. (2021, octobre 1). *Etude de la Bruche de la lentille (*Bruchus signaticornis*) dans le*

*Berry* (Coleoptera, Chrysomelidae, Bruchinae). Actes de la 12ème conférence internationale sur les ravageurs et auxiliaires en agriculture, Végéphyll, Montpellier, 1-10.

- Magrini, M.-B., Anton, M., Cholez, C., Corre-Hellou, G., Duc, G., Jeuffroy, M.-H., Jean-Marc, M., Pelzer, E., Voisin, A.-S., & Walrand, S. (2016). Why are grain-legumes rarely present in cropping systems despite their environmental and nutritional benefits? Analyzing lock-in in the French agrifood system. *Ecological Economics*, 126, 152-162. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.03.024>
- Magrini, M.-B., Triboulet, P., & Bedoussac, L. (2013). Pratiques agricoles innovantes et logistique des coopératives agricoles. Une étude ex-ante sur l'acceptabilité de cultures associées blé dur-légumineuses. *Économie rurale. Agricultures, alimentations, territoires*, 338, Article 338. <https://doi.org/10.4000/economierurale.4145>
- Menezes, R. G., Qadir, T. F., Moin, A., Fatima, H., Hussain, S. A., Madadin, M., Pasha, S. B., Al Rubaish, F. A., & Senthilkumaran, S. (2017). Endosulfan poisoning : An overview. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 51, 27-33. <https://doi.org/10.1016/j.jflm.2017.07.008>
- Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire. (2023). *Loi Egalim 3 : Vers un équilibre dans les relations commerciales entre l'agroalimentaire et la grande distribution*. <https://entreprendre.service-public.fr/actualites/A16537>
- Nargis, A., Alim, M., Islam, M., Naher, Z., Maksuder, R., & Hossain, A. (2004). Evaluation of Mixed and Intercropping of Lentil and Wheat. *Journal of Agronomy*, 3. <https://doi.org/10.3923/ja.2004.48.51>
- Naudin, C., van der Werf, H. M. G., Jeuffroy, M.-H., & Corre-Hellou, G. (2014). Life cycle assessment applied to pea-wheat intercrops : A new method for handling the impacts of co-products. *Journal of Cleaner Production*, 73, 80-87. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.029>
- Peoples, M., Brockwell, J., Herridge, D., Rochester, I., Alves, B., Urquiaga, S., Boddey, R., Dakora, F., Bhattarai, S., Maskey, S. L., Sampet, C., Rerkasem, B., Khan, D., Hauggaard-Nielsen, H., & Jensen, E. (2009). The contributions of nitrogen-fixing crop legumes to the productivity of agricultural systems. *Symbiosis*, 48, 1-17. <https://doi.org/10.1007/BF03179980>
- Poux, X., & Aubert, P.-M. (2021). *Demain, une Europe agroécologique*.
- Raseduzzaman, M., & Jensen, E. (2017). Does intercropping enhance yield stability in arable crop production? A meta-analysis. *European Journal of Agronomy*, 91, 25-33. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.09.009>
- Sarkar, R. K., Malik, G. C., & Pal, P. K. (2003). *Effect of intercropping lentil (Lens culinaris) and linseed (Linum usitatissimum) under varying plant density and row arrangement on productivity and advantages in system under rainfed upland*. <https://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:ija&volume=49&issue=4&article=008&type=pdf>
- Schneider, A., & Huyghe, C. C. (2015). *Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables* (p. 512p). Editions Quae. <https://hal.inrae.fr/hal-02800648>
- Schott, C., Mignolet, C., & Jean-Marc, M. (2010). Les oléoprotéagineux dans les systèmes de culture : Évolution des assolements et des successions culturales depuis les années 1970 dans le bassin de la Seine. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 17, 276-291. <https://doi.org/10.1051/ocl.2010.0334>
- Schwember, A. R., Schulze, J., del Pozo, A., & Cabeza, R. A. (2019). Regulation of Symbiotic Nitrogen Fixation in Legume Root Nodules. *Plants*, 8(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/plants8090333>
- Segers, A., Caparros Megido, R., Lognay, G., & Francis, F. (2021). Overview of *Bruchus rufimanus* Boheman 1833 (Coleoptera : Chrysomelidae): Biology, chemical ecology and semiochemical opportunities in integrated pest management programs. *Crop Protection*, 140, 105411. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105411>
- Terres Inovia. (2019a, février 20). *Gestion des petites altises (altises des crucifères)*. Terres Inovia. <https://www.terresinovia.fr/-/surveillance-et-lutte-contre-la-petite-altise>
- Terres Inovia. (2019a, février 20). *Gestion des petites altises (altises des crucifères)*. Terres

- Inovia. <https://www.terresinovia.fr/-/surveillance-et-lutte-contre-la-petite-altise>
- Terres Inovia. (2019b, mars 6). Le cycle de la culture de la lentille. Terres Inovia. <https://www.terresinovia.fr/-/le-cycle-de-la-culture-de-la-lentille>
- Terres Inovia. (2023a). Guide de culture : Lentille BIO et conventionnelle. <https://www.terresinovia.fr/o/commerce-media/products/146226/guidelentille/5223312/Guide%20de%20culture%20lentille%202023.pdf?download=false&title=fichier.pdf>
- Terres Inovia. (2023b). Stratégies de lutte contre la bruche de la lentille. [https://www.terresinovia.fr/documents/20126/6113013/06+-+Bruche+de+la+lentille\\_vdiff.pdf/bebb0edd-052f-6d19-2e51-1b7fc7e58690?t=1711549870240](https://www.terresinovia.fr/documents/20126/6113013/06+-+Bruche+de+la+lentille_vdiff.pdf/bebb0edd-052f-6d19-2e51-1b7fc7e58690?t=1711549870240)
- Terres Univia. (2022). La filière de la lentille en France. [https://www.terresinovia.fr/documents/20126/726505/CP\\_la-filiere-lentille-en-juillet-2022.pdf/c41b322b-10a7-1729-d2ea58ccb0015aac?t=1664800781400#:~:text=La%20France%20a%20importé%207,de%20l'entille%20en%202020%2F21.&text=la%20conserverie%20mais%20aussi%20de,industrie%20en%20diversifiant%20les%20origines](https://www.terresinovia.fr/documents/20126/726505/CP_la-filiere-lentille-en-juillet-2022.pdf/c41b322b-10a7-1729-d2ea58ccb0015aac?t=1664800781400#:~:text=La%20France%20a%20importé%207,de%20l'entille%20en%202020%2F21.&text=la%20conserverie%20mais%20aussi%20de,industrie%20en%20diversifiant%20les%20origines)
- Tibi, A., Martinet, V., Vialatte, A., Alignier, A., Angeon, V., Bohan, D., Bougherara, D., Cordeau, S., Courtois, P., Deguine, J.-P., Enjalbert, J., Fabre, F., Fréville, H., Grateau, R., Grimonprez, B., Gross, N., Hannachi, M., Launay, M., Lelievre, V., ... Thoyer, S. S. (2022). *Protéger les cultures en augmentant la diversité végétale des espaces agricoles. Synthèse de l'expertise scientifique collective* (p. 86 p.) [Report, INRAE]. <https://doi.org/10.17180/awsn-rf06>
- Tosti, G., Falcinelli, B., & Guiducci, M. (2023). Lentil-cereal intercropping in a Mediterranean area : Yield, pests and weeds. *Agronomy Journal*, 115(5), Article 5. <https://doi.org/10.1002/agj2.21413>
- Tukker, A., Huppes, G., Guinée, J., Heijungs, R., Koning, A., Oers, L., Suh, S., Geerken, T., Van Holderbeke, M., Jansen, B., & Nielsen, P. (2006). Environmental Impact of Products (EIPRO) Analysis of the life cycle environmental impacts related to the final consumption of the EU-25. *Technical Report Series, EUR 22284 EN, 1 - 136 (2006)*.
- Vandermeer, J. H. (1989). *The Ecology of Intercropping*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511623523>
- Viguié, L. A. (2018). *Analysis of the agronomic and economic performances of lentil-spring wheat intercrops in organic farming* [Phdthesis, Institut National Polytechnique de Toulouse - INPT]. <https://theses.hal.science/tel-04227235>
- Vlachostergios, D., Tzantarmas, C., Kargiotidou, A., Ninou, E., Pankou, C., Gaintatzi, C., Mylonas, I., Papadopoulos, I., Foti, C., Chatzivassiliou, E., Sinapidou, E., Lithourgidis, A., & Tokatlidis, I. (2018). Single-plant selection within lentil landraces at ultra-low density : A short-time tool to breed high yielding and stable varieties across divergent environments. *Euphytica*, 214. <https://doi.org/10.1007/s10681-018-2139-x>
- Voisin, A.-S., Cellier, P., & Jeuffroy, M.-H. (2015). Fonctionnement de la symbiose fixatrice de N<sub>2</sub> des légumineuses à graines : Impacts agronomiques et environnementaux. *Innovations Agronomiques*, 43, 139-160.
- Wang, L., Gruber, S., & Claupein, W. (2012). Optimizing lentil-based mixed cropping with different companion crops and plant densities in terms of crop yield and weed control. *Organic Agriculture*, 2(2), Article 2. <https://doi.org/10.1007/s13165-012-0028-5>
- Willey, R. W. (1979). *Intercropping : Its importance and research needs. Part 1, competition and yield advantages*. Commonwealth Agricultural Bureaux.
- W-SoLent. (2022). *La lentille en association en agriculture biologique*. [https://www.terresinovia.fr/documents/20126/726505/Fiche+W-solent\\_asso\\_lentille\\_VF.pdf/efce7251-b307-4249-4fe1-11e0bcc7b222?t=1706619149668](https://www.terresinovia.fr/documents/20126/726505/Fiche+W-solent_asso_lentille_VF.pdf/efce7251-b307-4249-4fe1-11e0bcc7b222?t=1706619149668)

# ANNEXES

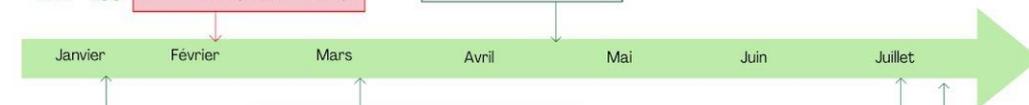
## Annexe 1 : Résumé des itinéraires techniques mis en place sur les parcelles

Les encadrés verts indiquent les opérations culturales mises en place et les encadrés rouges les opérations culturales prévisionnelles qui n'ont pas pu être réalisées.

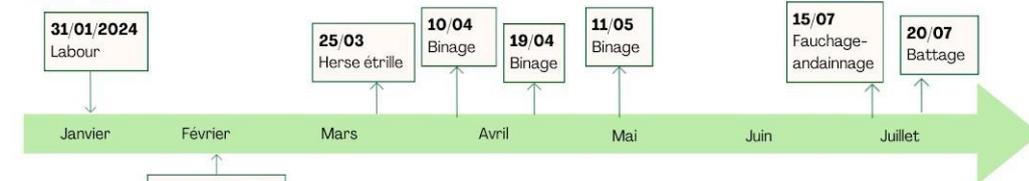
**T\_L 417 C 272**



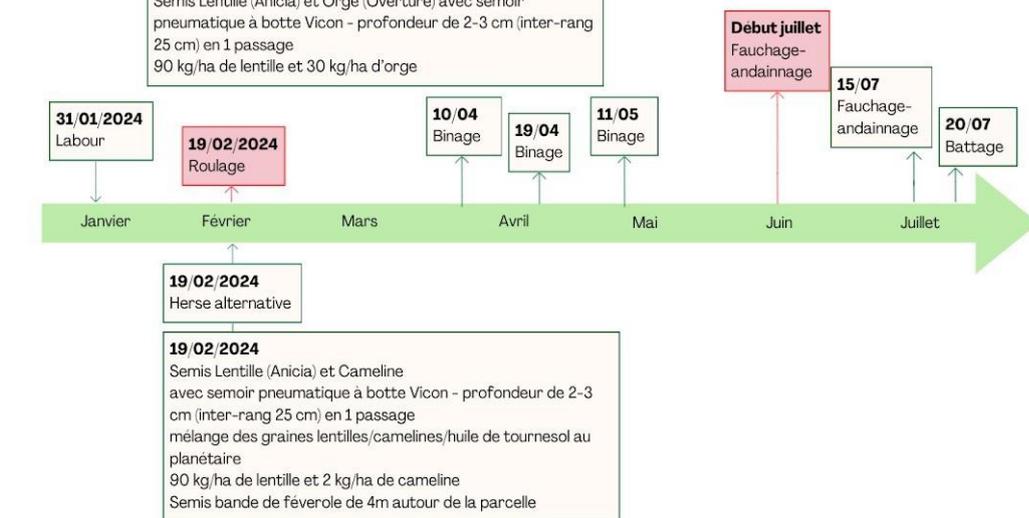
**R\_L 397 C 153**



**P\_L 281 O 117**

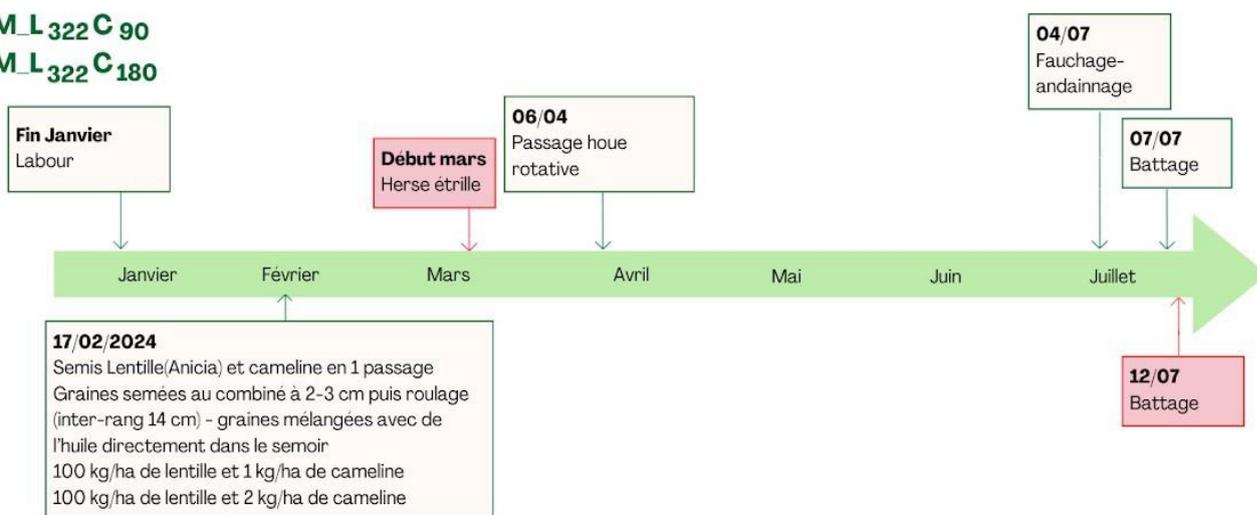


**P\_L 281 C 158**

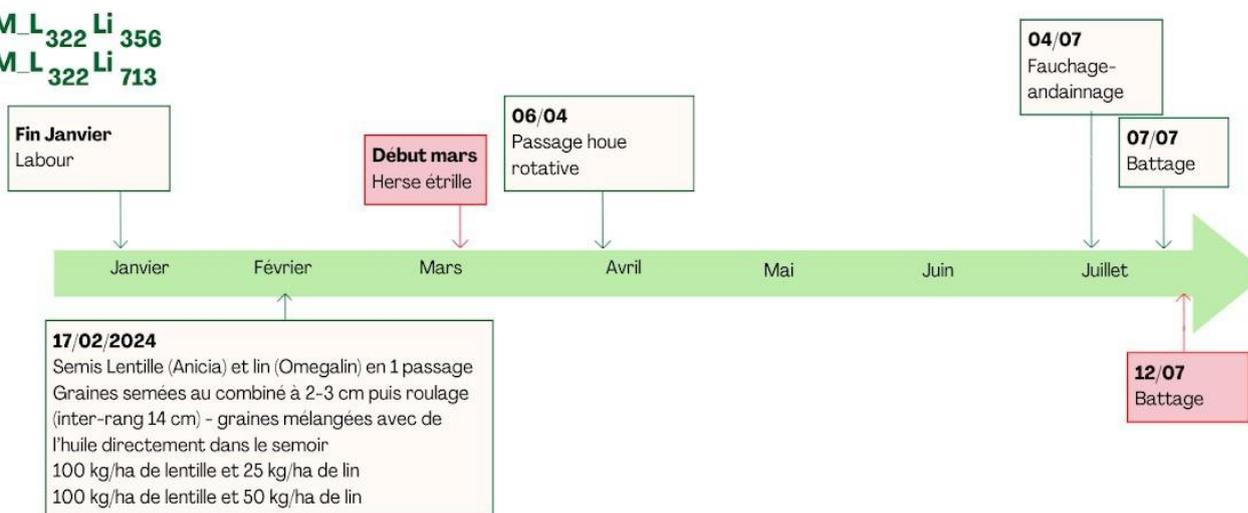


## Annexe 1 : Résumé des itinéraires techniques mis en place sur les parcelles

**M\_L 322 C 90**  
**M\_L 322 C 180**



**M\_L 322 Li 356**  
**M\_L 322 Li 713**



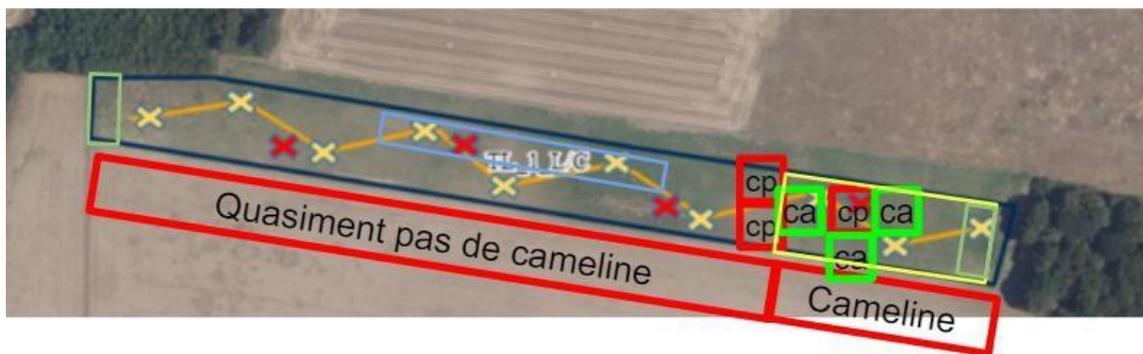
## Annexe 2 : Vue satellite des parcelles (géoportail) et plan d'échantillonnage



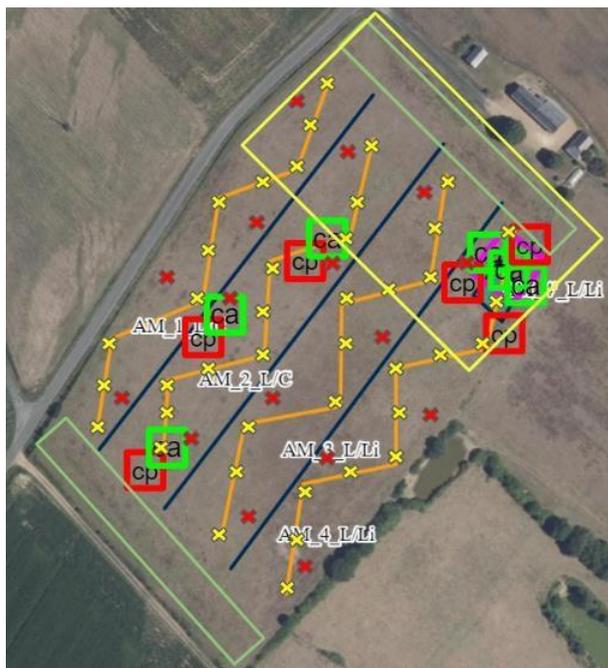
### Annexe 2A : Parcelles du producteur P



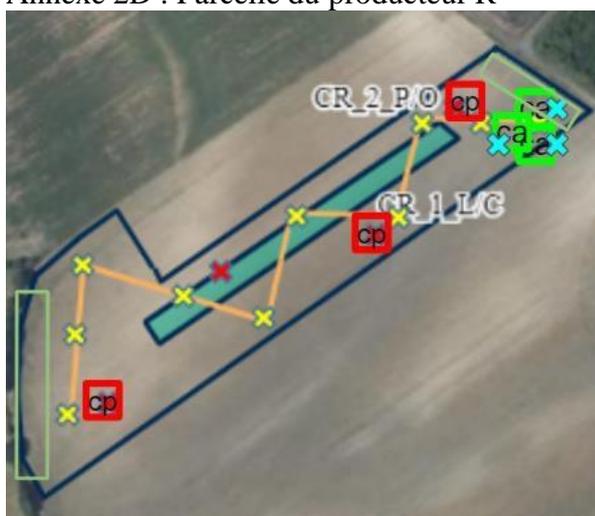
### Annexe 2B : Parcelle du producteur T



Annexe 2C : Parcelle du producteur M

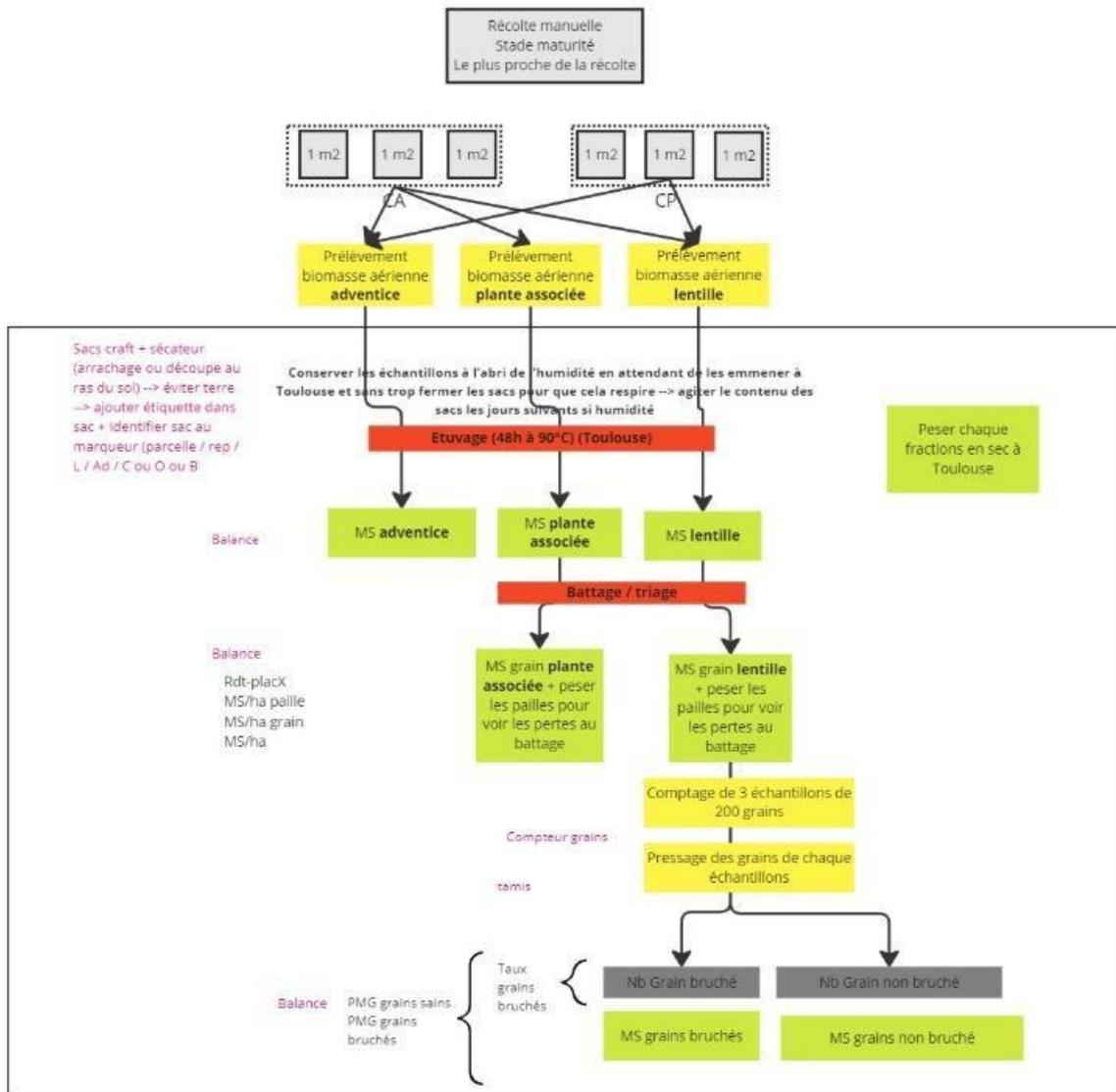


Annexe 2D : Parcelle du producteur R



# Annexe 3 : Protocoles

Variable    Matériel    Action    Toulouse



## Annexe 4 : Modèle de collecte des itinéraires techniques

	Espèce 1	Espèce 2
<b>GENERALITES</b>		
Surface parcelle (ha)		
Précédents		
Principales caractéristiques parcelle		
Disponibilité en N (faible / moyenne / forte)		
<b>PRÉPARATION</b>		
Labour / TCS / Faux semis...		
<b>SEMIS</b>		
Variétés		
Densité en nombre de grains / m <sup>2</sup> (à défaut en kg/ha)		
Date de semis		
Nombre passage		
Semoir utilisé (modèle et réglage particulier)		
Inter-rang		
Préparation mélange		
<b>ADVENTICES</b>		
Date d'intervention et outil		
Adventices principales		
<b>RÉCOLTE</b>		
Date de récolte		
Maturité des 2 espèces		
<b>TRI-STOCKAGE-SÉCHAGE</b>		
Date de tri et trieur(s) utilisé(s)		
Type stockage (plat, silo, big bag NOX...)		
Séchage (oui / non + commentaires)		
<b>PRODUCTION</b>		
Rendement		
Taux de grains bruchés		
Teneur en protéines		

Annexe 5 : Suivi des stades dans les parcelles

Exploitation	Semis	Stade 3/4 feuilles	Début floraison	Maturité	Récolte	
					Fauchage- andainage	Battage
Date						
P	19-févr	22-mars	22-mai	08-juil	15-juil	20-juil
M	17-févr	22-mars	17-mai	04-juil	04-juil	08-juil
T	22-mars	22-avr	22-mai	11-juil	/	29-juil
R	22-mars	16-avr	31-mai	12-juil	16-juil	19-juil

	Diplôme : Ingénieur agronome Spécialité : Sciences et Ingénierie du Végétal Spécialisation / option : Agrosystèmes Enseignant référent : Matthieu CAROF
Auteur(s) : Margot PETIT Date de naissance* : 01/11/2001	<b>Organisme d'accueil</b> : Union des CUMA Pays de la Loire <b>Adresse</b> : 3 rue Carl Linné – 49004 Angers
Nb pages : 24                      Annexe(s) : 5	<b>Maître de stage</b> : Laurent BEDOUSSAC, Justine LEMONNIER et Céline LE GARDIEN
Année de soutenance : 2024	
Titre français : <b>Etude des performances de cultures associées avec de la lentille dans un réseau de parcelles agricoles biologiques</b>	
Titre anglais : <b>Study of the Performance of Intercropping with Lentils in a Network of Organic Agricultural Fields</b>	
Résumé (1600 caractères maximum) :  La transition alimentaire implique une plus grande intégration de protéines d'origine végétale dans notre alimentation. Les légumes secs ont donc toute leur importance dans cette transition notamment les lentilles. La culture de la lentille fait face à différents freins qui empêchent son développement : i) des rendements instables, ii) une verse très importante qui impacte la récolte et iii) une sensibilité aux bioagresseurs (adventices, ravageurs...). Nous cherchons ainsi à évaluer si l'association de la lentille à une plante compagne permet de lever une partie de ces freins sans pour autant trop impacter le rendement de la lentille. Pour cela, le réseau étudie la performance des cultures associées, conduites selon des itinéraires techniques co-conçus et mis en place par cinq producteurs en agriculture biologique dans la région angevine. Une difficulté d'implantation de la plante compagne dans le cas du lin et de la cameline est observée. Les associations semblent efficaces pour réduire la verse de la lentille et faciliter la récolte, en particulier l'association lentille-orge. En revanche, nous n'observons aucune diminution significative de la biomasse adventice en association, ni de la pression des bruches. In fine le rendement de la lentille est identique en association et en culture pure. L'étude doit être poursuivie pour acquérir des données sur une échelle de temps plus longue.	
Abstract (1600 caractères maximum) :  The dietary transition implies greater integration of plant-based proteins in our diet. Pulses, and in particular lentils, have an important role in this transition. The cultivation of lentils is hampered by a number of factors: i) unstable yields, ii) high lodging, which affects the harvest, and iii) susceptibility to pests (weeds, pests, etc.). Our aim is to assess whether lentil intercropping can overcome some of these problems, without having too great an impact on lentil yield. To this end, the network is studying the performance of intercrops, grown according to crop management co-designed and implemented by five organic growers in the Anjou region. In the case of flax and camelina, difficulties were observed in establishing the companion plant. Intercrops appear to be effective in reducing lentil lodging and facilitating harvesting, particularly the lentil-barley intercrop. However, no significant reduction in weed biomass or bruchid pressure was observed. Ultimately, lentil yields were identical in intercrop and sole crop. The study needs to be continued to acquire data over a longer time scale.	
Mots-clés : Lentille – Cultures associées – salissement – bruche – rendement – adventice – verse – itinéraire technique	
Key Words: Lentil – Intercropping – Weeds – Bruchid – Yield – Weed control – Lodging – Crop management	