



Mémoire de fin d'études

Etude des performances de légumineuses à graines selon leur mode d'insertion dans les systèmes de culture en Midi-Pyrénées : suivi d'un observatoire de parcelles de lentille, d'association lentille-blé, et de soja.

Aurélie Madrid

ENSAIA filière agronomie

Spécialisation Développement durable des filières agricoles

Septembre 2015



Maître de stage : Etienne-Pascal Journet

Tutrice ENSAIA : Alice Michelot-Antalik

Remerciements

En premier lieu, je tiens à remercier l'ensemble des agriculteurs impliqués dans le projet pour leur participation, leur disponibilité et les échanges toujours enrichissants que nous avons pu avoir, parfois au-delà du simple suivi des essais. Merci à Jérémy Greve, de la coopérative Qualisol, pour son appui dans le suivi des essais.

Qui dit suivi de parcelles dit aussi déplacements sur le terrain, et traitement des échantillons au retour. Merci à Eric Lecloux, Marine, Yannick et Benoît pour leur aide sur le terrain et au labo, à Didier Raffailac, Michel Labarrère et Céline Colombet pour leurs conseils techniques, à Didier Chesneau pour l'analyse des prélèvements de sol et à Vladimir Goutiers pour ses conseils dans le choix d'un outil de géomètre adapté. Merci aussi à Julie et Eloi pour leurs « pauses » efficaces au labo entre deux lectures d'articles ou analyses statistiques !

Merci à Etienne-Pascal Journet pour son suivi tout au long de ce stage et le temps passé sur les nombreux points de protocole ou d'analyse des résultats, et la relecture des nombreuses versions successives de ce mémoire.

Merci à Eric Justes et Laurent Bedoussac pour leurs conseils, et à Eric Justes pour son aide sur l'analyse des résultats. Merci à Loïc Viguié pour les échanges sur les protocoles d'étude des échantillons de lentille, et pour les comptages des grains parasités.

Je remercie également Anne Glandières, de la Chambre d'Agriculture de Midi-Pyrénées, pour les références régionales et les échanges sur le sujet.

Enfin, merci à la joyeuse bande de stagiaires pour les déjeuners, pauses café et autres sorties qui ont rythmé ces six mois.

Table des matières

I. Introduction : contexte et hypothèses	1
II. Synthèse bibliographique	3
1. Avantages des cultures de légumineuses.....	3
a. Réduction des intrants azotés.....	4
b. Diversification	4
c. Bilan environnemental	5
d. Autonomie protéique	5
2. Freins et facteurs limitants.....	6
a. Conduite des cultures de légumineuses	6
b. Aspects techniques.....	6
3. Les cultures associées céréales-légumineuses.....	6
a. Interactions entre les espèces	7
b. Contrôle des bioagresseurs	8
c. Aspects économiques.....	9
d. Aspects environnementaux	9
4. Problèmes soulevés par les associations d'espèces.....	10
a. Au niveau agronomique.....	10
b. Au niveau des filières	10
c. Au niveau de la réglementation	11
d. Leviers d'action	11
III. Matériel et méthodes	12
1. Dispositif expérimental	12
a. Réseau de parcelles	12
b. Description des essais	12
2. Suivi des essais	13
a. Contexte pédoclimatique et pratiques agricoles.....	13
b. Suivi de la culture	14
c. Suivi des adventices, ravageurs et maladies	15
3. Analyse des données	16
a. Calculs	16
b. Analyses statistiques	17
IV. Résultats et discussion	18
1. Conditions pédoclimatiques	18
2. Déroulement et suivi des essais.....	18
3. Performances comparées de l'association lentille-blé.....	19
a. Rendements et biomasse produite.....	19
b. Land Equivalent Ratio	20
4. Composantes du rendement.....	21
a. Densités de levée	21
b. Evolution dans le temps des composantes du rendement	21
5. Azote minéral	23
6. Verse.....	23
7. Adventices	24
8. Qualité des récoltes	24
a. Protéines du blé.....	24
b. Bruches	25

V. Discussion générale et conclusions.....	25
1. Performances de la lentille	25
a. En culture pure.....	25
b. En association avec le blé	25
2. Impacts sur le prix payé à l'agriculteur	26
3. Bilan sur les essais en conditions agricoles	27
4. Perspectives	27

Table des illustrations

Figure 1 : Relation entre le rendement en lentille et la biomasse d'adventices (Fernandez et al. 2012)

Figure 2 : Rendements en lentille biologique (à gauche) et soja irrigué biologique (à droite) en Midi-Pyrénées (Chambres d'Agriculture Midi-Pyrénées n.d.)

Figure 3 : Schéma de principe des parcelles de lentille.

Figure 4 : Mesures et prélèvements réalisés.

Figure 5 : Localisation des zones d'observation et des prélèvements de sol dans une zone homogène et représentative d'une parcelle de soja.

Figure 6 : Position des sols des cinq parcelles dans le diagramme GEPPA (Baize & Jabiol 1995).

Figure 7 : Précipitations et températures au entre mars et juillet 2015, et moyennes décennales, aux stations Météo-France de Blagnac (31) et Estillac (47).

Figure 8 : Rendements de la lentille (L) et du blé (B), cultivés seuls (SC) ou associés (IC), sur les 5 parcelles du réseau.

Figure 9 : Rendements obtenus par récolte manuelle et mécanique, pour la lentille pure, et pourcentages de pertes.

Figure 10 : Biomasses de la lentille et du blé dans les parcelles de lentille pure (L-SC) et associée (IC), au stade floraison.

Figure 11 : Indices de récolte de la lentille (L) et du blé (B), cultivés seuls (SC) ou associés (IC).

Figure 12 : LER partiels de la lentille et du blé.

Figure 13 : LER partiel de la lentille en fonction du LER partiel du blé.

Figure 14 : Densités de levée et densités de semis visées en lentille (à gauche) et blé (à droite)

Figure 15 : Comparaison des composantes du rendement entre les deux modalités IC et SC, pour la lentille (à gauche) et le blé (à droite)

Figure 16 : Azote minéral ($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) sur les 90 premiers centimètres du profil.

Figure 17 : Hauteurs des lentilles dans le couvert.

Figure 18 : Biomasse des adventices (en qx/ha) en fonction du nombre d'espèces adventices présentes dans la placette de prélèvement, pour chaque parcelle et les deux modalités, au stade floraison (à gauche) et avant la récolte (à droite).

Figure 19 : Biomasse des adventices en fonction de la densité de blé, dans les placettes en cultures associées.

Figure 20 : Pourcentages de protéines du blé, cultivé seul (SC) ou en association avec la lentille (IC).

Figure 21 : Teneur en protéines (%) en fonction des rendements en blé.

Figure 22 : Taux de parasitage par la bruche et le parasitoïde de la bruche.

Tableau 1 : Modalités testées pour chaque espèce.

Tableau 2 : Comparaison des variétés de soja cultivées dans les essais (obtenue avec l'outil Myvar du CETIOM).

Tableau 3 : Analyses de sol réalisées par le laboratoire d'Arras sur les horizons 0-30 cm.

Tableau 4 : Déroulement des essais.

Tableau 5 : Conditions de semis (dates et azote minéral disponible).

Tableau 6 : Comparaison des rendements calculés à partir des composantes du rendement avec les rendements observés.

I. Introduction : contexte et hypothèses

Les récentes évolutions du contexte mondial dans lequel s'inscrit la production agricole obligent les systèmes de production à s'adapter pour répondre à ces nouveaux enjeux. De nouveaux modes de fonctionnement apparaissent, mais restent en marge du système dominant. Dans les nouveaux systèmes à mettre en place, plusieurs auteurs mettent en avant l'importance de la diversité (Altieri 1999).

Cette diversité peut être intégrée aux systèmes agricoles à plusieurs niveaux : à l'échelle temporelle en augmentant le nombre d'espèces et de familles d'espèces dans les rotations, ou à l'échelle spatiale en diversifiant les assolements, en associant des espèces et/ou des variétés différentes sur une même parcelle. Ces systèmes, par la complémentarité des individus qui les composent, utilisent de façon plus efficiente les ressources du milieu, sont moins sensibles aux aléas biotiques ou abiotiques, et peuvent ainsi stabiliser la production et sécuriser le revenu.

Les légumineuses, mises de côté dans les politiques de développement agricole depuis 1945, apportent pourtant de nombreux effets bénéfiques lorsqu'elles sont intégrées dans les systèmes de culture. Ces avantages se manifestent dans plusieurs registres : économies de fertilisation azotée à l'échelle de la culture et de la rotation, réduction de la pollution des eaux par les nitrates et des émissions de gaz à effet de serre, intérêts nutritionnels tant en alimentation humaine qu'animale...

Dans ce contexte, le projet [LEGITIMES](#) (LEGume Insertion in Territories to Induce Main Ecosystem Services) vise à *étudier et construire les conditions d'une plus grande insertion des légumineuses dans les systèmes agricoles*. Ce projet part des hypothèses que l'insertion d'une plus grande quantité de légumineuses dans les assolements permet d'apporter des réponses à plusieurs composantes du changement global qui impactent la production agricole et que l'échelle du territoire est pertinente pour évaluer l'intérêt des cultures de légumineuses. Il se décompose en trois axes de travail dont la tâche 2, qui consiste à *acquérir et synthétiser des connaissances sur les performances et services écosystémiques attendus des légumineuses au sein des systèmes de culture*. Les services écosystémiques sont les bénéfices que les êtres humains tirent du fonctionnement des écosystèmes. On distingue les services de support (fixation d'azote dans le cas des légumineuses), de production, de régulation (des maladies, parasites, climat...) et à caractère social (qualité de vie des acteurs).

Concrètement, cette acquisition de références passe par la mise en place et le suivi d'observatoires de parcelles dans des territoires définis au sein de trois régions de France : Midi-Pyrénées, Pays de la Loire et Bourgogne. Dans chaque territoire d'étude, un partenariat entre une coopérative et la recherche est établi. Les espèces à étudier et les modalités d'insertion dans les systèmes de cultures sont choisies en fonction du contexte local, des enjeux et besoins des acteurs du territoire, et des débouchés envisagés. En Midi-Pyrénées, la coopérative partenaire (Qualisol) voit la collecte de légumineuses diminuer en agriculture conventionnelle et augmenter en agriculture biologique. Les légumineuses peuvent par ailleurs répondre à plusieurs problématiques sur le territoire, qu'il s'agisse de réduire l'utilisation d'engrais de synthèse et ainsi répondre aux enjeux de qualité de l'eau et d'autonomie en azote, ou de contribuer à l'autonomie protéique des élevages de la région par l'intégration dans des filières territorialisées. Ces questionnements font l'objet d'une certaine dynamique sur le territoire d'étude, avec notamment la mise en place d'une Mesure Agro-Environnementale Territorialisée (MAET) dans le bassin de la Gimone, et dans la région Midi-Pyrénées avec l'ouverture d'une usine de trituration de soja dans le Lot-et-Garonne. En agriculture biologique, les légumineuses sont un levier pour répondre aux enjeux de diversification des rotations, production de blé meunier biologique (pour lequel la demande est actuellement plus importante que l'offre), et sécurisation du revenu des agriculteurs. Pour s'assurer des débouchés, la coopérative a mis en place des installations de tri et conditionnement de légumes secs (lentilles, pois chiche, haricots) qui sont ensuite commercialisés sous une marque propre dans les circuits de distribution de produits biologiques de la région. Cependant, ces cultures ont été moins étudiées que les cultures majoritaires, et des questions techniques restent à résoudre. Sur la lentille en particulier, les agriculteurs sont confrontés à des problèmes d'enherbement et de verse, qui occasionnent des pertes de rendement parfois non négligeables.

C'est en tenant compte de ces problématiques et en réponse à ce manque d'informations qu'ont été choisies les espèces à étudier et les modes d'insertion dans les systèmes de culture pour l'observatoire de Midi-Pyrénées : la lentille, cultivée seule ou associée avec du blé, et le soja, en agriculture biologique ou conventionnelle. Le choix d'associer la lentille au blé repose sur deux hypothèses :

- le blé pourra jouer le rôle de tuteur et limiter la verse de la lentille,
- du fait de sa meilleure compétitivité face aux adventices, il permettra aussi de mieux contrôler l'enherbement.

En plus de ces deux hypothèses principales, l'association lentille-blé devrait permettre de produire du blé avec un taux protéique élevé, et ainsi apporter une réponse à la question du déficit de production de blé meunier biologique.

Quant au soja, bien que l'espèce ait été plus étudiée que la lentille, il s'agit d'une part de répondre au constat de baisse de la collecte en agriculture conventionnelle, et d'autre part de mettre en avant le mode de culture biologique, à valeur ajoutée plus forte et impact environnemental plus faible. Le tout dans un contexte où la demande en soja non-OGM est croissante, notamment dans les filières sous sigle de qualité.

Chacune de ces modalités (lentille, lentille-blé, soja biologique, soja conventionnel) est suivie sur 5 parcelles cultivées par des agriculteurs différents. L'observatoire est donc constitué, en 2015, de cinq parcelles de lentille en culture pure jouxtant une association lentille-blé, cinq parcelles de soja en conduite conventionnelle et cinq parcelles de soja en agriculture biologique (AB). Le suivi d'une parcelle dure 2 ans : une première année où la légumineuse est cultivée, et l'année suivante où on évalue son effet précédent sur une culture non fixatrice. L'ensemble est répété sur deux séries de parcelles, en décalant d'un an entre les deux répétitions. Ce dispositif a pour objectifs de caractériser les performances et les services rendus par les légumineuses en conditions réelles, selon les modes d'insertion dans les systèmes de culture, d'étudier la variabilité de ces performances et la réponse de la culture suivante (espèce non-légumineuse) à ce précédent légumineuse.

Au moment de l'écriture de ce document, le soja est toujours en cours de culture. De ce fait, après une synthèse bibliographique, le dispositif sera décrit pour les deux espèces, mais les résultats présentés ne concerneront que la lentille.

II. Synthèse bibliographique

1. *Avantages des cultures de légumineuses*

Les cultures de légumineuses présentent de nombreux avantages, tant au niveau agronomique qu'environnemental. De plus, produire des légumineuses en France ou en Europe permettrait de réduire le déficit protéique récurrent dans les productions européennes.

a. Réduction des intrants azotés

Les légumineuses, parce qu'elles sont capables de fixer l'azote de l'air grâce à la symbiose avec des bactéries du genre *Rhizobium* hébergées dans des nodules racinaires, permettent de diminuer l'utilisation d'engrais minéraux à l'échelle de la rotation, et donc de réduire les émissions de gaz à effet de serre liées à la production et à l'utilisation de ces engrais (Voisin et al. 2013). Ainsi, on estime qu'en France, l'augmentation de la part des légumineuses dans l'assolement pour atteindre 7 % de la sole nationale permettrait d'économiser environ 216 000 T d'engrais minéraux par an, soit 10 % de la consommation annuelle (Commissariat Général au Développement Durable 2009).

Elles sont un bon précédent cultural, car les résidus de culture qui se minéralisent après la récolte sont riches en azote, ce qui permet de réduire aussi les apports d'azote sur la culture suivante (Voisin et al. 2013). Par exemple, l'introduction de soja à la place d'un maïs dans une monoculture de maïs permet de réduire les apports d'azote sur le maïs suivant de 30 à 50 unités par hectare (Labalette et al. 2010).

De ce fait, les légumineuses ont une importance particulière en agriculture biologique, notamment dans les systèmes sans élevage dans lesquels le déficit azoté est récurrent (David et al. 2005). Par exemple, le soja biologique présente de nombreux avantages. Bien conduit, il peut atteindre des rendements proches de ceux obtenus en conduite conventionnelle. Dans le Sud-Ouest, en 2007, 12 % des surfaces en soja étaient en AB, contre 2,12 % toutes cultures confondues en France en 2008 (Labalette et al. 2010). Les légumes secs sont une autre possibilité d'intégration de légumineuses dans les systèmes de culture. En Midi-Pyrénées, on estime que 90 % des légumineuses intégrées dans les assolements des fermes biologiques orientées grandes cultures étaient des lentilles et des pois-chiches (Agence bio 2013).

b. Diversification

L'introduction de légumineuses dans les rotations est un levier de diversification des systèmes de culture. L'augmentation dans le temps de la diversité des espèces cultivées, légumineuses ou non, s'accompagne d'une augmentation de l'activité biologique du sol, dont les champignons mycorhiziens (Gianinazzi et al. 2010; Wezel et al. 2014). De plus, la diversification des espèces dans une rotation casse le cycle de certaines maladies et adventices, limitant ainsi l'utilisation de pesticides (Wezel et al. 2014) ; et ce d'autant plus que les espèces introduites appartiennent à des familles différentes de celles qui étaient présentes initialement, et/ou ont des cycles de développement différents. Par exemple,

l'introduction de légumineuses de printemps dans une rotation principalement constituées de céréales d'hiver répond à ces deux critères.

La diversification des assolements, par des légumineuses ou d'autres familles, augmente la résilience de l'agroécosystème concerné face aux perturbations (Wezel et al. 2014), c'est-à-dire sa capacité à retrouver un état stable suite à une perturbation ou un aléa.

c. Bilan environnemental

La culture de légumineuses permet de limiter les émissions de CO₂ issu de combustibles fossiles émis lors de la production d'engrais de synthèse (Jensen et al. 2012). De plus, le rapport C/N des légumineuses est compris entre 15 et 20, donc leur incorporation entraîne une réorganisation de l'azote et ainsi peu d'émissions de N₂O par le sol (Duc et al. 2010). Le risque de lixiviation hivernale de nitrates après une culture de légumineuse peut par ailleurs être maîtrisé par l'implantation de cultures intermédiaires, ou de certaines cultures d'hiver capables de bien valoriser les reliquats (Vertès et al. 2010).

Des analyses plus approfondies de cycle de vie à l'échelle de la rotation ont confirmé que l'introduction de légumineuses dans des systèmes céréaliers intensifs à haut niveau de fertilisation azotée permet de diminuer la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre. Cela s'explique par la réduction de l'utilisation de fertilisants azotés du fait de la présence des légumineuses, la possibilité d'utiliser des techniques sans labour ou simplifiées, et par la diversification de la rotation, qui limite l'utilisation de pesticides. Les rotations avec légumineuses ont aussi une meilleure efficacité énergétique, et des résultats économiques légèrement supérieurs (Nemecek et al. 2008).

d. Autonomie protéique

La France ainsi que l'Europe ont un bilan protéique largement déficitaire, et sont donc dépendantes des importations. Par exemple, en 2009, les importations françaises de soja s'élevaient à 3,7 millions de tonnes de tourteaux et 0,5 millions de tonnes de graines, à 72 % en provenance du Brésil, alors que la production est de l'ordre de 100 000 à 300 000 tonnes par an selon les années. Ce soja importé est principalement utilisé pour l'alimentation des monogastriques, et des ruminants dans une moindre mesure. Par ailleurs, si au début des années 2000 la quasi-totalité de la production française était destinée à l'alimentation animale, aujourd'hui la valorisation en alimentation humaine est majoritaire, voire presque exclusive pour le soja biologique, pour lequel la demande est supérieure à l'offre (Labalette et al. 2010).

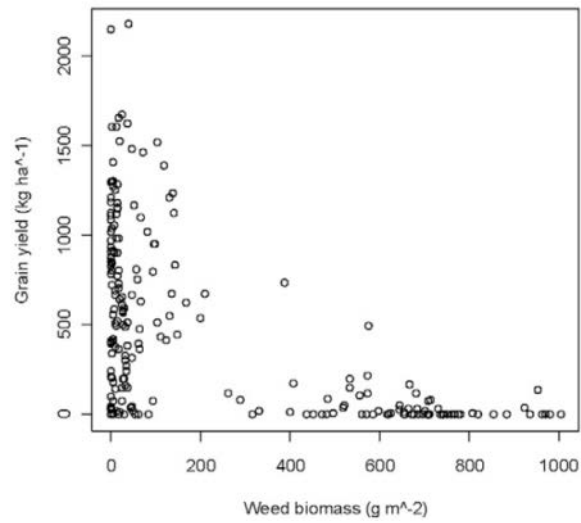


Figure 1 : Relation entre le rendement en lentille et la biomasse d'adventices (Fernandez et al. 2012)

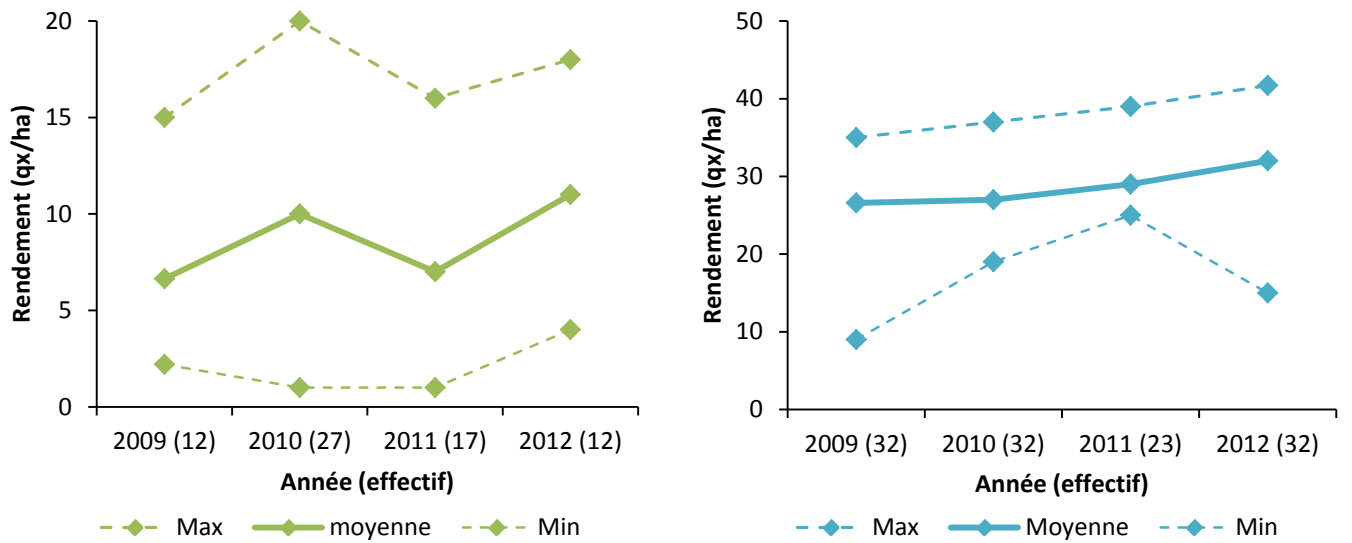


Figure 2 : Rendements en lentille biologique (à gauche) et soja irrigué biologique (à droite) en Midi-Pyrénées (Chambres d'Agriculture Midi-Pyrénées n.d.)

La situation est similaire en ce qui concerne les légumes secs. Par exemple, en 2012, les importations françaises de lentilles s'élevaient à 25 500 tonnes, contre une production de l'ordre de 23 700 tonnes (FAOSTATS, 2015).

Une augmentation de la production de légumineuses en Europe permettrait la substitution de ces protéines importées par des protéines d'origine locale, et limiterait d'autant la dépendance vis-à-vis des pays exportateurs.

2. Freins et facteurs limitants

Toutefois, un certain nombre de facteurs limite la production de légumineuses, mis en évidence entre autres par une enquête menée dans le cadre du projet LEGITIMES (Cholez & Magrini 2014).

a. Conduite des cultures de légumineuses

Bien que toutes les espèces ne soient pas concernées au même niveau, les deux problèmes majeurs des cultures de légumineuses sont la variabilité des rendements due à leur manque de tolérance aux stress biotiques et abiotiques, et la maîtrise de l'enherbement (Corre-Hellou & Crozat 2005; Fernandez et al. 2012), comme le montre la Figure 1 pour la lentille. En effet, les légumineuses cultivées seules utilisent généralement l'azote du sol de manière moins efficace qu'une céréale, le laissant ainsi disponible pour les adventices (Hauggaard-Nielsen et al. 2001). Cette variabilité des rendements est plus marquée chez les légumineuses que chez les cultures majoritaires, et augmente donc le risque d'échec de la culture. On retrouve ce phénomène en Midi-Pyrénées, comme le montrent les références technico-économiques collectées par les Chambres d'Agriculture de la région (Figure 2).

b. Aspects techniques

Du fait de la sensibilité de la plupart des espèces à la verse, les chantiers de récolte sont difficiles et les pertes au sol sont parfois importantes. Les acteurs de la filière citent aussi le manque de références techniques comme un facteur limitant la production des légumineuses (Cholez & Magrini 2014).

3. Les cultures associées céréales-légumineuses

Associer les légumineuses avec des céréales permet de lever certains de ces freins.

Les cultures associées sont définies comme la culture simultanée de deux ou plusieurs espèces sur la même parcelle, pendant une majeure partie de leurs cycles de développement. Ces espèces ne sont cependant pas nécessairement semées et récoltées en même temps (Willey 1979).

a. Interactions entre les espèces

Les interactions entre les espèces associées se situent au niveau racinaire pour l'accès à l'eau et aux éléments minéraux, et au niveau aérien pour l'accès à la lumière. Les espèces cultivées ensemble interagissent entre elles, de façon positive ou négative.

Lorsque l'action des espèces sur une ressource induit un effet négatif pour au moins l'une d'entre elles, on parle de compétition, comme c'est souvent le cas pour l'accès à la lumière ou à l'azote minéral. Dans le cas contraire, lorsqu'une espèce améliore les conditions environnementales de développement de l'espèce associée (température, ombre, disponibilité des ressources...), on parle de facilitation (Louarn et al. 2010; Justes et al. 2014). L'interaction entre les espèces peut intervenir au niveau racinaire directement, ou par le biais des communautés microbiennes du sol. Le phénomène de facilitation a notamment été étudié sur l'acquisition du phosphore. En effet, seule une petite partie du phosphore du sol est assimilable par les plantes. Certaines produisent des exsudats racinaires, qui acidifient le milieu et augmentent la disponibilité du phosphore en libérant dans le sol des ions phosphates. Cette augmentation du phosphore assimilable profite alors à toutes les plantes, qu'elles aient ou non produit les exsudats racinaires responsables (Justes et al. 2014). De même, l'acidification de la rhizosphère se produit dans le cas des légumineuses fixatrices d'azote atmosphérique, ce qui augmente la disponibilité du phosphore pour l'absorption par la légumineuse mais aussi l'espèce associée (Hinsinger et al. 2003; Hinsinger et al. 2011).

Lorsque les espèces utilisent des sources différentes d'une même ressource, ou la même source de façon différée dans le temps ou l'espace, on parle de complémentarité de niche (Justes et al. 2014). Par exemple, dans une association céréale-légumineuse, la céréale, du fait de sa croissance racinaire plus rapide et plus précoce, épuise rapidement l'azote minéral contenu dans les premiers centimètres du sol (Vertès et al. 2010). Or, chez les légumineuses, la fixation symbiotique est d'autant plus importante que la disponibilité en azote du sol est faible. Dans un sol pauvre en azote minéral, la fixation peut dépasser les 80% de l'azote absorbé (Duc et al. 2010). L'absorption de l'azote par la céréale dans l'horizon superficiel lève donc toute inhibition de la fixation symbiotique chez la légumineuse, et limite ainsi la

compétition pour l'azote entre les deux espèces. De ce fait, la quantité d'azote disponible pour la céréale est pratiquement identique à ce qu'elle serait en culture pure, mais le nombre d'individus de blé étant plus faible qu'en culture pure et la compensation par de meilleures composantes du rendement n'étant que partielle, chaque pied, épi et grain dispose d'une plus grande quantité d'azote, ce qui se traduit par un meilleur taux protéique dans le grain à la récolte (Justes et al. 2014; Jensen 1996).

b. Contrôle des bioagresseurs

Les cultures associées permettent un meilleur contrôle des ravageurs et maladies, qui s'explique par plusieurs phénomènes (Trenbath 1993; Malézieux et al. 2009; Fernandez et al. 2015) :

- L'effet « dilution ». Lorsqu'un parasite attaque spécifiquement une des espèces de l'association, la « dilution » de cette espèce dans le couvert végétal (par rapport à une culture pure) le rend moins efficace pour trouver et coloniser les individus de cette espèce-hôte.
- L'effet « barrière physique ». Ce phénomène se produit lorsque les individus de l'espèce non-hôte empêchent ou limitent l'accès du parasite aux individus de l'espèce-hôte.
- L'effet « habitat ». L'association d'espèces végétales à architectures aériennes différentes peut mettre en place un milieu favorable à des espèces auxiliaires.
- L'effet chimique. Ce phénomène intervient lorsque l'une des espèces produit des substances qui ont un effet négatif sur les maladies ou ravageurs susceptibles d'attaquer l'autre espèce.

Certains de ces mécanismes sont par ailleurs impliqués dans les mélanges de variétés (Litrico et al. 2015).

On observe d'autre part une réduction de l'enherbement en cultures associées par rapport aux cultures pures (Corre-Hellou et al. 2006). Deux phénomènes peuvent expliquer ces observations : la complémentarité des espèces cultivées en association, qui leur permet d'utiliser plus efficacement les ressources disponibles et limite donc l'accès des adventices à ces mêmes ressources ; ainsi que les mécanismes d'allélopathie (Malézieux et al. 2009; Liebman & Dyck 1993).

c. Aspects économiques

Ces différents points (efficacité de l'utilisation des ressources, meilleur contrôle des bioagresseurs) permettent des meilleurs rendements en association (Hauggaard-Nielsen et al. 2001; Malézieux et al. 2009; Corre-Hellou et al. 2013), et des meilleurs résultats économiques. Par exemple, une étude menée en France sur 8 sites pendant deux ans a montré que la marge brute d'une association blé-pois est supérieure à la moyenne des marges brutes des deux espèces cultivées séparément, et ce avec ou sans fertilisation (Pelzer et al. 2012). Ce calcul ne prend cependant pas en compte les coûts liés au tri des deux espèces dans la récolte finale.

Les cultures associées peuvent être un facteur de stabilisation du revenu des agriculteurs, en particulier si les prix des composants du mélange ne sont pas corrélés. De plus, les coûts de production sont parfois moindres, car les besoins en fertilisants et pesticides sont réduits. (Malézieux et al. 2009). Par exemple, des essais menés en système conventionnel ont montré que la production d'une tonne de blé associé à une légumineuse nécessite moitié moins d'azote que la production d'une tonne de blé pur (Corre-Hellou et al. 2013).

De plus, le meilleur taux de protéines du blé cultivé en association avec une légumineuse lui confère une meilleure qualité boulangère, il est donc mieux payé aux agriculteurs.

Enfin, des résultats moins aléatoires en association qu'en culture de légumineuse pure mettent en évidence la robustesse de ces systèmes face à des contraintes biotiques ou abiotiques (Corre-Hellou et al. 2013).

d. Aspects environnementaux

En plus des services de production, les cultures associées ont des intérêts environnementaux, qui sont bien souvent partagés avec les autres systèmes multi-espèces.

L'augmentation de la diversité des espèces cultivées dans un champ augmente aussi le nombre d'espèces associées, et participe ainsi à la conservation de la biodiversité, qu'il s'agisse de la biodiversité « visible » ou des microorganismes du sol. Cette augmentation de la biodiversité cultivée comme de la biodiversité associée confère par ailleurs au système une meilleure résilience face aux stress biotiques ou abiotiques (Altieri 1999; Swift et al. 2004; Malézieux et al. 2009).

L'association d'espèces capables d'explorer différentes profondeurs du sol permet une utilisation des ressources du sol plus efficace. Dans le cas des associations céréales-

légumineuses, l'absorption d'azote minéral par les céréales limite les pertes par lixiviation (Malézieux et al. 2009).

Les systèmes multi-espèces, dont les cultures associées, peuvent limiter l'érosion des sols, par une bonne couverture du sol et la présence de racines dès les premiers centimètres (Swift et al. 2004; Malézieux et al. 2009).

Les associations ont aussi une moindre consommation d'énergie et un meilleur bilan environnemental. Par exemple, une association blé-pois consomme deux à trois fois moins d'énergie par tonne produite que du blé pur conventionnel (Pelzer et al. 2012) ; et à production équivalente, ses impacts environnementaux (consommation d'énergie mais aussi émission de gaz à effet de serre), sont 30 à 60 % inférieurs à ceux des cultures pures, d'après une analyse de cycle de vie (Corre-Hellou et al. 2013).

4. Problèmes soulevés par les associations d'espèces

a. Au niveau agronomique

Les variétés commercialisées actuellement ont été sélectionnées pour être cultivées seules. De ce fait, elles ne se comportent pas de la même façon lorsqu'elles sont associées à une autre espèce (Hauggaard-Nielsen & Jensen 2001) et les variétés les plus performantes en culture pure ne sont pas forcément les meilleures en association. Il serait donc intéressant de sélectionner des variétés spécifiquement pour la culture en association.

De même, la place des cultures associées dans les rotations, et les règles d'assemblage des différentes espèces méritent d'être étudiées, parfois au cas par cas, afin d'établir des guides techniques pour le choix des cultures à associer et leur conduite.

b. Au niveau des filières

Les cultures associées posent des problèmes techniques à l'aval de la filière, puisqu'il faut bien souvent trier les mélanges récoltés. Ce tri engendre un surcoût de 10 à 25 €/T, et parfois le déclassement du blé meunier en blé pour l'alimentation animale s'il reste des grains cassés de légumineuse. Dans ce cas-là, il y a une double perte, car ces grains cassés auraient été mieux valorisés comme protéagineux (Bousseau 2009).

Bien que l'utilisation sans tri soit possible pour l'autoconsommation en alimentation animale (Bousseau 2009; Corre-Hellou et al. 2013), l'étape de tri est généralement nécessaire, même pour une valorisation en alimentation animale via les usines d'aliments du bétail, car

les proportions des espèces varient d'un lot à l'autre alors que les industriels fonctionnent avec des lots homogènes. Le surcoût lié au tri peut cependant être acceptable en fonction de plusieurs paramètres tels que la valeur du grain produit pour les deux espèces, les charges opérationnelles, les aides... Par exemple, la coopérative Probiolor en Lorraine estime qu'une association blé-légumineuse est rentable si son rendement est au moins 30 % supérieur à celui du blé pur, tandis que Terrena en Pays de la Loire estime que le coût du tri ne doit pas dépasser 20 €/T.

c. Au niveau de la réglementation

Les acteurs du terrain citent aussi une limite au niveau réglementaire. En effet, la déclaration des surfaces en association n'est pas possible en tant que telle. Elles peuvent être déclarées « en tant que protéagineux si l'espèce représente plus de 50% », mais la réglementation ne précise pas s'il s'agit de 50% du mélange semé ou du mélange récolté. (Bousseau 2009).

d. Leviers d'action

D'un point de vue agronomique, l'un des principaux leviers d'action consiste à bien choisir les espèces et variétés à associer pour maximiser l'interception et l'utilisation des ressources dans le temps et l'espace, en jouant par exemple sur le décalage des cycles de développement ou des profondeurs d'enracinement. Dans les mélanges céréale-légumineuse, la fertilisation favorise la graminée donc sa part dans le mélange récolté (Louarn et al. 2010).

Le développement d'outils de tri précis, comme le trieur optique, ou des essais de valorisation industrielle de lots de grains avec des résidus d'une autre espèce peuvent lever les freins au niveau des filières.

Enfin, une reconnaissance du bilan environnemental positif des cultures associées dans les politiques publiques serait peut-être le levier le plus efficace pour encourager le développement de ces cultures.

Espèce	Modalités testées
Lentille	Culture pure Culture associée (lentille-blé)
Soja	Agriculture biologique Agriculture conventionnelle

Tableau 1 : Modalités testées pour chaque espèce.

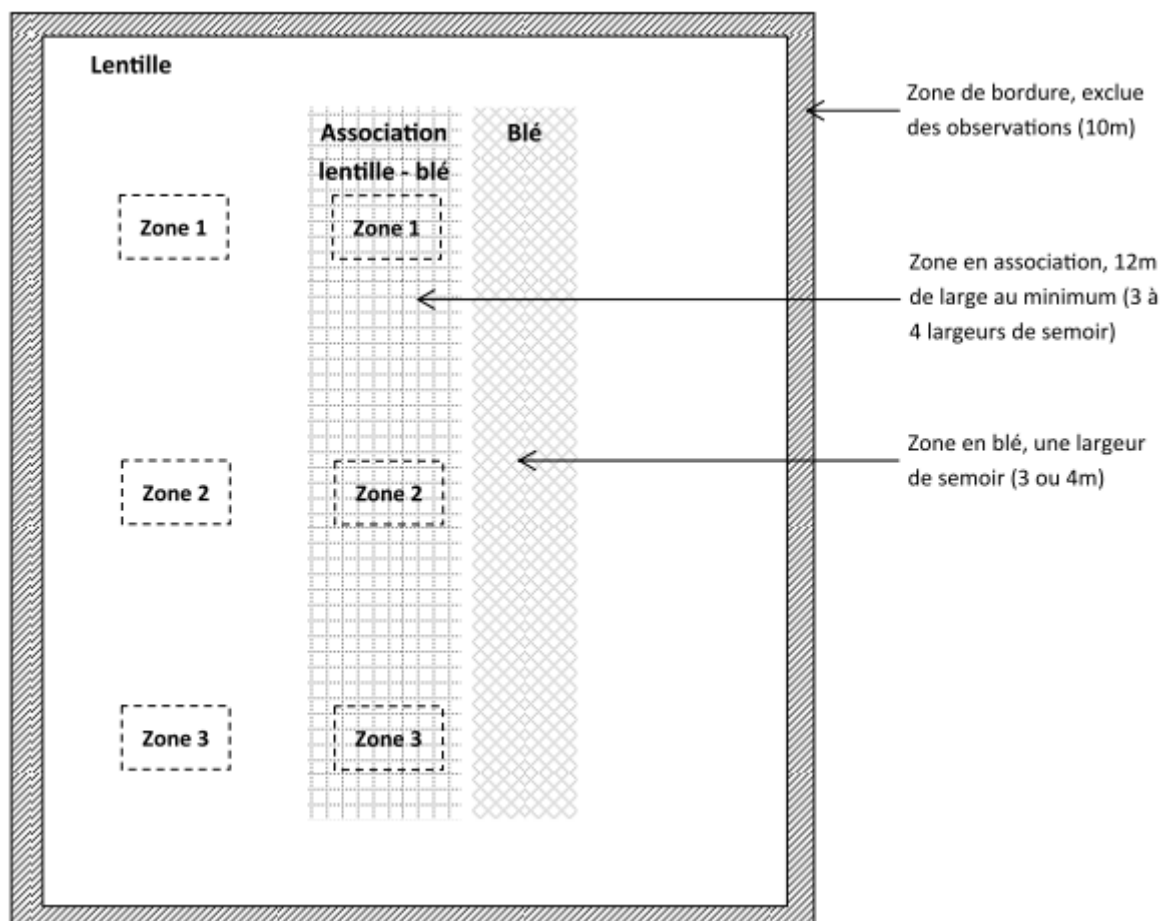


Figure 3 : Schéma de principe des parcelles de lentille.

Variétés	Groupe précocité	Année inscription	Pays inscription	Représentant France	Indice de rendement (%/moy.)	Sensibilité sclérotinia	Sensibilité verse	Richesse protéines	Classe hauteur	Classe hauteur 1ères Gous.
ASTAFOR	I/II	2007	France	Euralis Semences / Actisem	★★★★★	S	AS	★★	moyenne	moyenne
ECUDOR	II	2006	France	Euralis Semences / Actisem	★★★★★	AS	AS	★★	haute	haute
ISIDOR	I	2004	France	Euralis Semences / Actisem	★★	PS	PS	★★★	courte	moyenne
SANTANA	I/II	2007	France	RAGT Semences	★★★	PS	PS	★★	courte	moyenne

Tableau 2 : Comparaison des variétés de soja cultivées dans les essais (obtenue avec l'outil Myvar du CETIOM).
 Groupes de précocité : du plus précoce au plus tardif TTP, 000, 00, 0, I, II ; Indice de rendement : ** 95 à 98% du rendement moyen, *** 98 à 102%, **** 102 à 105%, ***** plus de 105% ; Sensibilité sclérotinia et verse : S : sensible, AS : assez sensible, PS : peu sensible ; Richesse en protéines : ** moyenne, *** élevée.

III. Matériel et méthodes

1. *Dispositif expérimental*

a. Réseau de parcelles

L'essai consiste en un suivi de 15 parcelles chez 11 agriculteurs adhérents de la coopérative Qualisol. Le suivi porte sur deux espèces (lentille et soja) et deux modes d'insertion dans les systèmes de culture, détaillés dans le Tableau 1.

Les parcelles sont situées dans le Gers et le Tarn-et-Garonne (cf. cartes en annexe 1). Par la suite elles seront numérotées de L1 à L5 pour la lentille, et de S1 à S10 pour le soja.

Une même parcelle est suivie pendant deux années consécutives. En 2015, le réseau est constitué de 5 parcelles de soja conduites en agriculture conventionnelle, 5 parcelles de soja en agriculture biologique, et 5 parcelles de lentille en agriculture biologique dans lesquelles sont semées une bande de lentille associée à du blé et une bande de blé pur. En 2016, ces mêmes parcelles seront suivies, pour évaluer l'effet précédent des légumineuses.

b. Description des essais

Les parcelles de soja suivies sont implantées par les agriculteurs selon leurs pratiques habituelles (en termes de densité de semis, variétés, inoculation...).

Dans le cas de la lentille, le dispositif comprend une bande d'association lentille-blé et une bande de blé (Figure 3). L'association et l'espèce non fixatrice doivent, dans la mesure du possible, être implantées sur plusieurs largeurs de semoir, pour limiter les effets de bordure. Cependant, pour l'association, la coopérative impose une limite de 10 ares par exploitant, car de trop grandes quantités imposeraient trop d'espace de stockage dédié et de travail de tri après la récolte.

➤ Choix des variétés

Les variétés de lentille et blé ont été choisies par la coopérative, qui a fourni les semences aux agriculteurs. Il s'agit des variétés Anicia (lentille verte) sur quatre parcelles et Flora (lentille blonde) sur une parcelle (L2), ainsi que Valbona (blé de force alternatif). Pour le soja, les semences utilisées sont des semences de ferme, des variétés Isidor (4 parcelles) et Eudor (1 parcelle) en agriculture biologique, et Eudor (1 parcelle), Astafor (1 parcelle) et Santana (1 parcelle) en agriculture conventionnelle. Le Tableau 2 présente les principales caractéristiques de ces variétés.

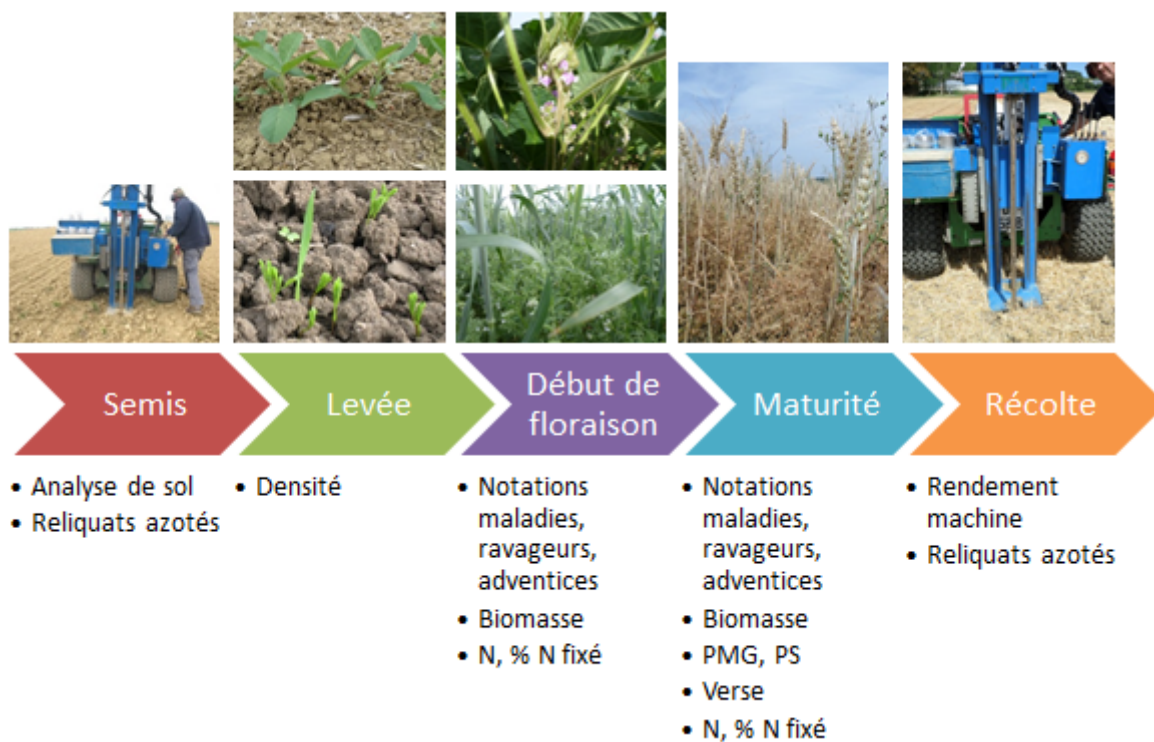


Figure 4 : Mesures et prélèvements réalisés.

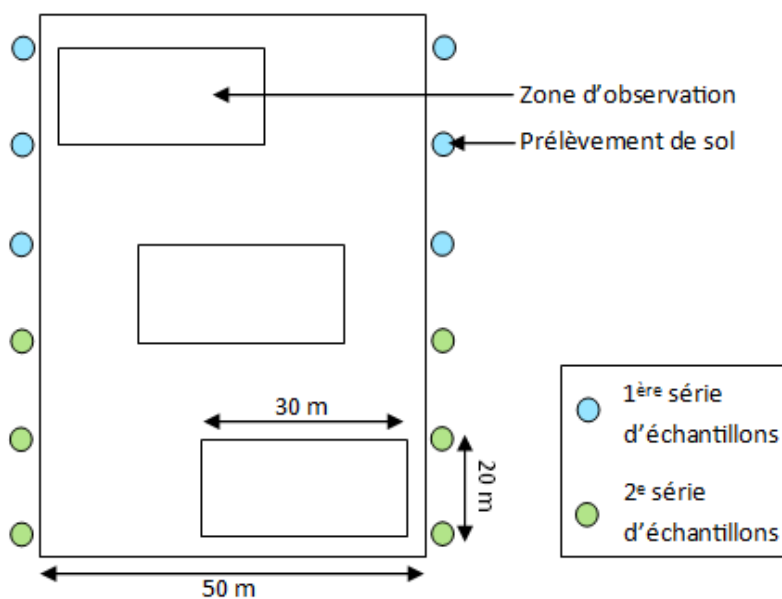


Figure 5 : Localisation des zones d'observation et des prélèvements de sol dans une zone homogène et représentative d'une parcelle de soja.

➤ Densités de semis

Les proportions du mélange lentille-blé pour la bande association ont été fixées à 60 kg/ha de lentille et 70 kg/ha de blé, soit respectivement 2/3 et 1/3 des densités habituelles pour ces deux espèces. Cela correspond à environ 200 grains/m² pour la lentille et 150 grains/m² pour le blé. La lentille pure est semée à 90 kg/ha soient 300 grains/m², le blé pur à 210 kg/ha soient 450 grains/m² et le soja selon les pratiques habituelles des agriculteurs.

➤ Conduite des cultures

Les agriculteurs conduisent leur parcelle comme à leur habitude. Deux d'entre eux ont désherbé mécaniquement avec une herse étrille en cours de culture (L1 et L4), et deux ont arrosé les parcelles à la floraison de la lentille (L1 et L3). La parcelle L1 a été arrosée une nouvelle fois à la fin de la floraison.

2. Suivi des essais

Le suivi permet de caractériser la situation de départ (situation géographique, historique de la parcelle, analyse de sol...) et d'étudier la culture tout au long de son cycle (à la levée, au stade 3-4 feuilles, à la floraison et à maturité). La méthodologie est commune aux trois territoires d'étude du projet Légitimes, et est adaptée de la méthode du diagnostic agronomique régional (Doré et al. 1997). Diverses mesures sont réalisées à différents stades (Figure 4).

A la levée, des zones d'observation sont délimitées dans les parcelles. Dans les parcelles de lentille, trois zones dans la bande d'association lentille-blé et trois autres zones dans la partie lentille, assez proches de l'association (Figure 3), homogènes et représentatives de l'ensemble de la parcelle sont choisies lors du premier passage de suivi. Pour le soja, une zone homogène de 50 x 100 m est délimitée sur avis des agriculteurs. Les trois zones d'observation seront réparties dans cette zone, comme représenté sur la Figure 5.

a. Contexte pédoclimatique et pratiques agricoles

➤ Prélèvement et analyses de sol

Au moment du semis, douze prélèvements sont faits dans chaque parcelle. Dans le cas des parcelles de lentille, ils sont répartis autour de la zone en association. Pour les parcelles de soja, ils sont répartis autour des zones d'observation, comme représenté en Figure 5. Ils sont

Analyse	Norme	Objectif
Granulométrie	NF X 31-107	Quantités d'argiles, limons fins, limons grossiers, sables fins et sables grossiers
pH eau	NF ISO 10390	Mesure de la concentration en ions K^+ et Al^{3+} dans la solution du sol.
pH KCl	NF ISO 10390	Mesure de la concentration en ions K^+ et Al^{3+} dans la solution du sol et le complexe d'échange.
Calcaire total	NF ISO 10693	Taux de calcaire du sol.
Carbone organique	NF ISO 10694	Taux de carbone organique. Permet de calculer la quantité de matières organiques : $MO = 1,72 \times C$
Azote total	NF ISO 13878	Azote minéral + organique.
Phosphore	NF ISO 11263	
Capacité d'Echange Cationique	AFNOR NF X 31-130	Mesure la charge négative potentielle du sol, à pH=7.
Calcium	AFNOR NF X 31-108	
Magnésium	AFNOR NF X 31-108	Permet de calculer le taux de saturation, qui mesure la part de la charge potentielle occupée par les cations d'acidité négligeable.
Potassium	AFNOR NF X 31-108	
Sodium	AFNOR NF X 31-108	

Tableau 3 : Analyses de sol réalisées par le laboratoire d'Arras sur les horizons 0-30 cm.

ensuite regroupés en deux séries pour l'analyse. Chaque série est composée de quatre échantillons correspondant aux horizons 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm et 90-120 cm.

L'analyse consiste en un dosage de l'azote minéral (NH_4^+ et NO_3^-) par spectrophotométrie avec analyseur à flux continu pour chacun des 4 horizons, après extraction au KCl à 1 mol/L des ions NH_4^+ , fortement retenus par les feuillets d'argile. Cette méthode s'apparente à celle décrite dans la norme NF ISO 14256.

D'autres mesures sont réalisées pour l'horizon travaillé (0-30 cm) par le Laboratoire d'Analyse des Sols d'Arras, elles sont détaillées dans le Tableau 3.

Après la récolte, une autre série de dosages d'azote minéral est réalisée. Dans les parcelles de lentille, six prélèvements sont faits dans chacune des trois modalités (lentille pure, association lentille-blé, blé pur).

➤ Données climatiques

Les paramètres climatiques (températures, précipitations) sont collectés auprès des stations de relevés météorologiques de Blagnac près de Toulouse et d'Estillac près d'Agen (cf. annexe 1). Chaque parcelle est rattachée à la station la plus proche.

➤ Historique et pratiques agricoles

L'historique de la parcelle (espèces, rendements, apports, accidents...) est établi avec les agriculteurs. Ils remplissent aussi une fiche sur laquelle ils détaillent les différentes interventions techniques réalisées. Des échanges ont lieu régulièrement, à l'occasion des différentes interventions sur le terrain.

b. Suivi de la culture

➤ A la levée

Des comptages sont réalisés à la levée, sur deux placettes de trois rangs adjacents sur 1 m de long dans chaque zone d'observation.

➤ Au stade floraison

Des prélèvements de biomasse sont réalisés au début de la floraison de la légumineuse, sur deux placettes par zone, délimitées comme précédemment. Les plantes sont coupées au ras du sol, puis séchées 48 h à 80°C et pesées. Pour la partie en association, la lentille et le blé sont traités séparément.

Les prélèvements sont ensuite regroupés en trois échantillons par parcelle (lentille pure, lentille associée, blé associé) puis broyés pour déterminer le taux d'azote et le pourcentage d'azote issu de la fixation symbiotique en laboratoire. Le pourcentage d'azote mesuré permet de calculer le pourcentage de protéines ($\% \text{Protéines} = \% \text{N} \times 5,7$ en alimentation humaine). La mesure de l'azote atmosphérique fixé se fait selon la méthode de l'abondance naturelle (Shearer & Kohl 1988), qui nécessite de prélever un échantillon d'une plante non fixatrice avec les échantillons de légumineuse. Dans les parcelles de lentille, le blé joue ce rôle de plante-témoin non fixatrice ; dans le soja, on utilise les prélèvements d'adventices.

➤ A maturité physiologique

À maturité physiologique et avant la récolte, des prélèvements de biomasse sont réalisés comme précédemment dans la lentille pure et l'association. On fait aussi trois prélèvements dans le blé pur. Les échantillons sont ensuite battus, séchés et les grains et les pailles sont pesés séparément. Les grains sont comptés pour calculer le PMG, et pesés dans un volume connu pour déterminer le poids spécifique. Pailles et grains sont ensuite broyés séparément pour l'analyse du taux d'azote et du pourcentage d'azote issu de la fixation symbiotique, selon la même méthode que précédemment. La même procédure sera appliquée pour les parcelles de soja.

Un bottillon de 15 plantes de lentille est prélevé dans chaque zone avant la récolte, afin d'étudier les composantes du rendement et la morphologie de la lentille. Les composantes du rendement du blé sont déterminées à partir de la totalité des pieds récoltés dans les placettes.

La verse de la lentille est estimée par des mesures de hauteur au champ. Dans chaque zone, on mesure les hauteurs minimale, maximale et moyenne du couvert de lentille.

c. Suivi des adventices, ravageurs et maladies

Les adventices sont étudiées au stade début de floraison et avant la récolte, dans les mêmes placettes que pour les prélèvements de la culture. Elles sont caractérisées par leur répartition (homogène, intermédiaire ou hétérogène) à l'échelle de la zone d'observation, leur hauteur comparée à celle de la culture, leur pourcentage de recouvrement dans chaque placette, estimé à partir d'une photographie de la placette après prélèvement des cultures, et par le nombre d'espèces présentes, pour chaque placette.

Les trois adventices dominantes sont ensuite identifiées et le nombre d'individus est compté à partir du prélèvement de chaque placette.

Les ravageurs et maladies étudiés sont ceux qui sont habituellement rencontrés sur le territoire pour ces cultures. La liste a été établie avec le responsable du pôle agronomique de la coopérative, elle comprend la bruche de la lentille, les rouilles jaune et brune du blé, la septoriose et la fusariose du blé, le sclérotinia et la punaise verte sur le soja. Les sitones, fréquemment observées sur le pois, sont aussi surveillées sur la lentille bien qu'elles n'aient pas été observées les années précédentes. En réalité, seule la bruche de la lentille a été fortement présente cette année, un pourcentage de grains bruchés a donc été mesuré pour chaque zone de chaque parcelle. Pour cela, le nombre de grains parasités par la bruche (saine ou elle-même infectée par son parasitoïde) dans les échantillons issus des bottillons de 15 plantes a été compté, puis rapporté au nombre total de grains dans l'échantillon.

Les protocoles détaillés présentant les différentes opérations réalisées sur le terrain puis sur les échantillons prélevés figurent en annexes 2 à 5.

3. Analyse des données

a. Calculs

➤ Composantes du rendement

Les rendements se décomposent de la façon suivante :

$$Rdt_{\text{leg}} = \frac{\text{Nb plantes}}{m^2} \times \frac{\text{Nb gousses}}{\text{plante}} \times \frac{\text{Nb grains}}{\text{gousse}} \times \frac{\text{PMG}}{1\,000}$$

$$Rdt_{\text{blé}} = \frac{\text{Nb plantes}}{m^2} \times \frac{\text{Nb épis}}{\text{plante}} \times \frac{\text{Nb grains}}{\text{épi}} \times \frac{\text{PMG}}{1\,000}$$

Le nombre de plantes par unité de surface est établi lors de comptages après la levée. Toutes les autres composantes sont déterminées à maturité.

Pour la lentille, on compte le nombre total de gousses issues des 15 plantes du bottillon, en distinguant les gousses fertiles, les gousses ouvertes et les gousses stériles. On calcule ensuite le nombre de gousses par plante à partir du nombre de gousses fertiles et ouvertes. Les gousses sont ensuite battues et le nombre de grains obtenu est rapporté au nombre de gousses fertiles. L'ensemble des grains est ensuite séché à 80°C pendant 48 h puis pesé pour déterminer le PMG.

Pour le blé, on compte le nombre d'épis récoltés dans chaque placette, puis le nombre de grains issus de ces épis. On détermine ainsi le nombre d'épis par m² et le nombre de grains par épi. Les grains sont ensuite séchés et pesés pour déterminer le PMG.

➤ Indice de récolte

Il s'agit du rapport entre la biomasse sèche en grains et la biomasse sèche aérienne totale à la récolte. Il permet d'évaluer l'efficacité de la production. Cet indice a été calculé à partir des prélèvements des placettes en culture pure, des bottillons de 15 plantes en lentille, et séparément pour chaque espèce dans les placettes en cultures associées.

➤ Land Equivalent Ratio (Mead & Willey 1980)

Le LER compare les rendements obtenus en cultures associées avec ceux obtenus en culture pure à pleine densité. On calcule les LER partiels pour chaque espèce :

$$LER_{lentille} = \frac{Rdt\ lentille\ IC}{Rdt\ lentille\ SC} \quad LER_{blé} = \frac{Rdt\ blé\ IC}{Rdt\ blé\ SC}$$

où IC = culture associée (intercrop) et SC = culture pure (sole crop).

Comme la lentille de l'association est semée aux 2/3 de sa densité usuelle en culture pure, on attend un LER partiel théorique égal à 2/3. De même, on attend un LER partiel égal à 1/3 pour le blé.

Le LER est la somme des LER partiels. Il représente la surface relative qui aurait été nécessaire pour produire les mêmes quantités de grains en cultures pures, et traduit ainsi l'efficacité de l'association. Un LER supérieur à 1 indique que l'association est plus efficace que les cultures pures pour produire une quantité donnée de grain, un LER inférieur à 1 indique le contraire.

Les LER partiels ont été calculés pour chaque zone d'observation, en utilisant au dénominateur la valeur moyenne des rendements en culture pure sur les trois zones de chaque parcelle.

b. Analyses statistiques

Les analyses ont été réalisées avec le logiciel R 3.1.1.

Pour toutes les mesures réalisées sur deux placettes par zone (densité de levée, biomasses, rendements...), la valeur moyenne ± erreur standard a été conservée pour chaque zone. Des

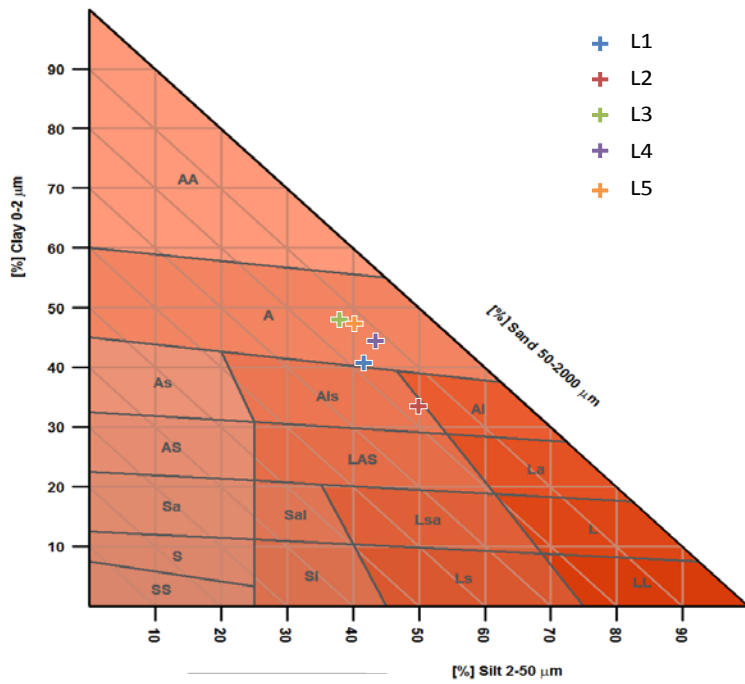


Figure 6 : Position des sols des cinq parcelles dans le diagramme GEPPA (Baize & Jabiol 1995).

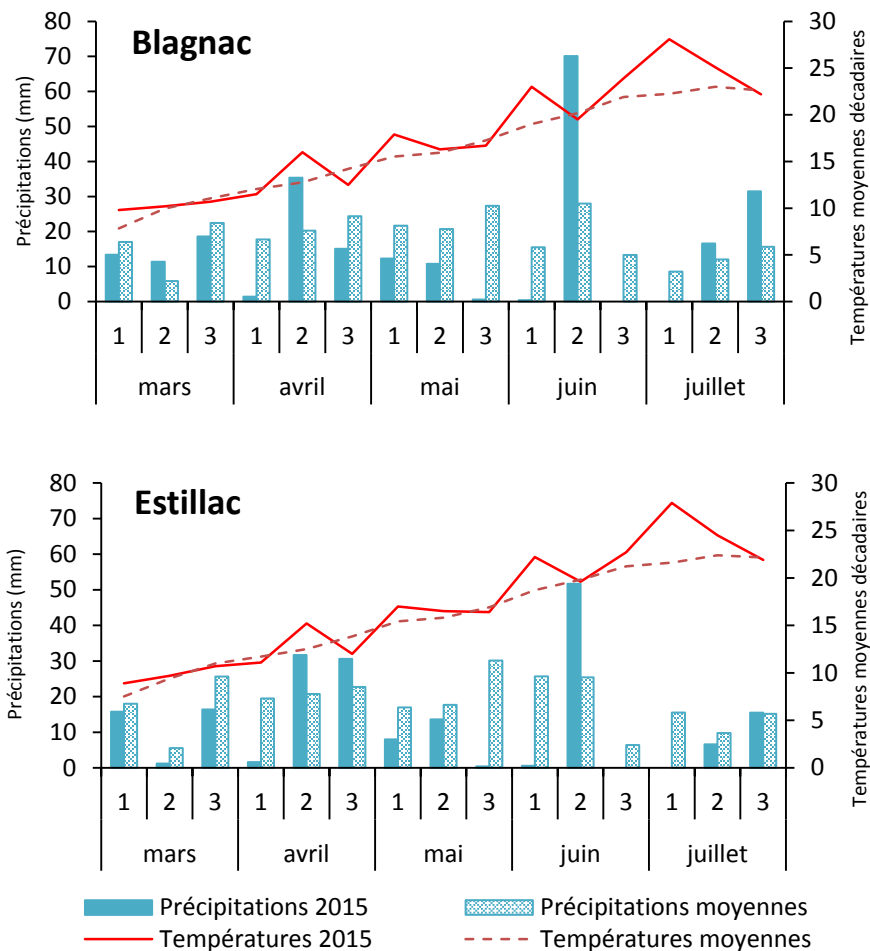


Figure 7 : Précipitations et températures au entre mars et juillet 2015, et moyennes décennales, aux stations Météo-France de Blagnac (31) et Estillac (47). Données issues de la base de données agroclimatiques de l'INRA.

analyses de variances suivies de tests de Tukey ont permis de mettre en évidence les différences significatives. Pour ces analyses, le jeu de données complet a été utilisé.

Les rendements selon les modalités ont été comparés grâce à la méthode des couples : pour chaque parcelle, on calcule la différence de rendement entre les deux modalités, puis on teste si cette série de valeur est significativement différente de zéro avec un test de Student unilatéral.

Les LER partiels ont été comparés aux valeurs attendues (0,66 pour la lentille et 0,33 pour le blé) par un test de Student. De même, le LER total a été comparé à 1 par un test de Student.

IV. Résultats et discussion

La culture du soja étant toujours en cours à la fin de mon stage, ce mémoire ne présente que nos résultats concernant la lentille, en culture pure ou en association avec le blé.

1. Conditions pédoclimatiques

D'après les analyses granulométriques et le digramme GEPPA (Baize & Jabiol 1995), les sols sont argileux, ou argileux à tendance limono-sableuse dans le cas de la parcelle L2 (Figure 6).

Concernant les caractéristiques climatiques de l'année, les précipitations de mars (Figure 7) ont conditionné les dates de semis, en particulier pour la parcelle L5 qui a été semée plus tard que prévu, et limité les possibilités de faux-semis. Puis l'été a été marqué par une alternance de périodes sèches, qui ont conduit certains agriculteurs à irriguer les lentilles, et d'orages très localisés. De ce fait, la pluviométrie enregistrée aux stations de relevés météorologiques n'a pas pu être analysée, car elle ne correspond pas aux précipitations réellement tombées sur les parcelles. Les températures ont été élevées à partir de juin (Figure 7), ce qui a avancé la phénologie des différentes espèces.

2. Déroulement et suivi des essais

La parcelle L3 a été implantée juste après destruction et enfouissement superficiel d'un couvert de moutarde, vesce, féverole et avoine.

	Prélèvement de sol	Semis	Comptage densité	Prélèvement floraison	Prélèvement maturité	Récolte machine	Prélèvement de sol
L1	27/03	12/03	15/04 (393)	26/05 (1 040)	02/07 (1 825)	06/07 (1 932)	15/07
L4	01/04	15/03	29/04 (590)	26/05 (1 041)	22/07 (2 353)	28/07 (2 490)	03/08
L2	01/04	16/03	28/05 (1 070)	26/05 (1 035)	02/07 (1 840)	03/08 (2 607)	03/08
L5	27/03	06/04	12/06 (1 137)	12/06 (1 137)	07/07 (1 704)	15/07 (1 886)	15/07
L3	01/04	15/04	12/06 (1 038)	12/06 (1 038)	24/07 (2 037)	26/07 (2 081)	03/08

Tableau 4 : Déroulement des essais.

Dates de réalisation des différentes opérations, les valeurs entre parenthèses correspondent aux sommes de températures depuis le semis, calculées à partir des températures moyennes mesurées aux stations de Bagnac ou Estillac.

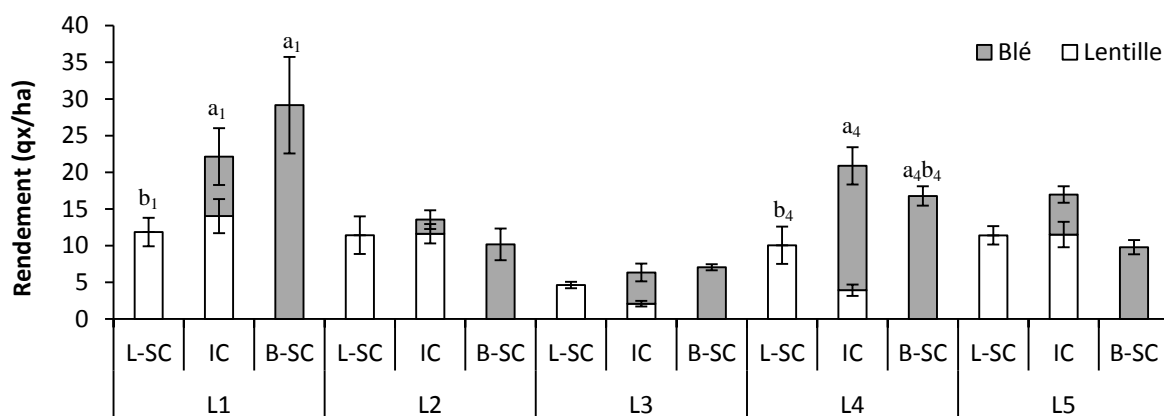


Figure 8 : Rendements de la lentille (L) et du blé (B), cultivés seuls (SC) ou associés (IC), sur les 5 parcelles du réseau. Les valeurs sont les moyennes des rendements des trois zones de chaque parcelle \pm l'erreur standard. Pour la lentille seule et l'association, les valeurs pour chaque zone sont elles-mêmes la moyenne des deux prélèvements de chaque zone. La présence de lettres signifie que les différences de rendement total entre les trois modalités sur une même parcelle sont significativement différentes (à 5%).

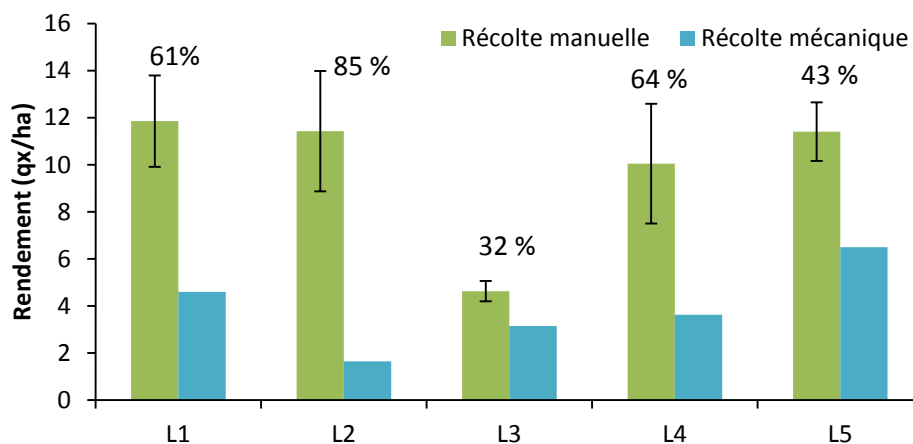


Figure 9 : Rendements obtenus par récolte manuelle et mécanique, pour la lentille pure, et pourcentages de pertes.

Les valeurs pour la récolte manuelle sont les moyennes (n=3) par parcelle des rendements moyens des deux prélèvements par zone. Les valeurs pour la récolte mécanique issues des pesées par Qualisol après un premier tri.

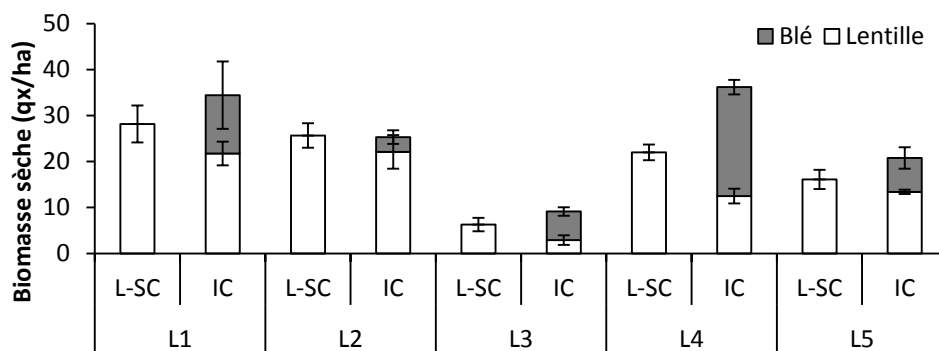


Figure 10 : Biomasses de la lentille et du blé dans les parcelles de lentille pure (L-SC) et associée (IC), au stade floraison.

Les valeurs sont les moyennes par parcelle des biomasses moyennes par zone \pm l'erreur standard.

La parcelle L2 n'a pas pu être récoltée « classiquement » à cause d'un fort enherbement en fin de cycle, principalement de renouées et matricaires : les matricaires se seraient enroulées dans les rabatteurs de la moissonneuse-batteuse. L'agriculteur a donc fauché la parcelle pour laisser sécher les adventices avant de récolter. Les prélèvements manuels ont tout de même pu être réalisés.

Le Tableau 4 présente les dates des différentes interventions sur les parcelles.

3. Performances comparées de l'association lentille-blé

a. Rendements et biomasse produite

La Figure 8 représente les rendements des deux espèces selon les parcelles et les modalités de culture. Les rendements en lentille indiqués correspondent au grain brut (non trié), dont une fraction variable mais parfois élevée a été endommagée par les bruches. Ce grain brut ne présente pas la qualité visée pour une commercialisation en alimentation humaine, et le rendement final après tri sera donc sensiblement plus faible.

On note d'emblée une forte variabilité des profils de rendements entre les cinq parcelles d'observation. Dans l'ensemble, les rendements globaux de l'association sont significativement supérieurs aux rendements de la lentille pure, et les rendements du blé associé sont significativement inférieurs à ceux du blé pur (comparaisons par la méthode des couples). Par contre, on ne distingue pas d'effet général de la modalité sur les rendements en lentille (d'après la méthode des couples et une analyse de variance). De plus, mise à part la parcelle L3, les rendements de la lentille cultivée seule sont similaires, et statistiquement non-différents. La variabilité des rendements de lentille, qui était mentionnée par les acteurs de la filière comme un problème récurrent, est donc limitée cette année sur ces parcelles. Cette mesure du rendement doit néanmoins être comparée au rendement réel de lentille pure obtenu par récolte mécanique sur les mêmes parcelles (Figure 9). L'écart, important, traduit les pertes au sol lors de la récolte et souligne l'importance de limiter la verse, voire de sélectionner des variétés portant les gousses plus haut. On le verra plus loin (page 23), mais on peut dès à présent mettre en relation ces rendements machine avec la verse observée sur les cultures. En effet, les lentilles de la parcelle L5 n'étaient pas versées, et c'est la parcelle avec le rendement machine le plus élevé.

Les différences importantes entre parcelles se retrouvent dès le stade floraison, comme le montrent les biomasses des deux espèces en Figure 10. Les raisons de cette variabilité sont

Parcelle	Date de semis	Azote minéral (kg.ha ⁻¹)			Cumul 0-90 cm
		0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm	
L1	11 mars	18	18 ± 2	16 ± 1	51 ± 4
L2	18 mars	11	13 ± 1	16 ± 2	40 ± 4
L3	14 avril	5	3	0	8 ± 1
L4	15 mars	13 ± 1	16 ± 1	10	39 ± 1
L5	6 avril	11	4 ± 1	2	16 ± 2

Tableau 5 : Conditions de semis (dates et azote minéral disponible).

Les valeurs d'azote minéral sont les moyennes de 2 dosages ± l'erreur standard. Chaque dosage est réalisé sur le regroupement des prélèvements de 6 trous répartis dans la zone de l'essai.

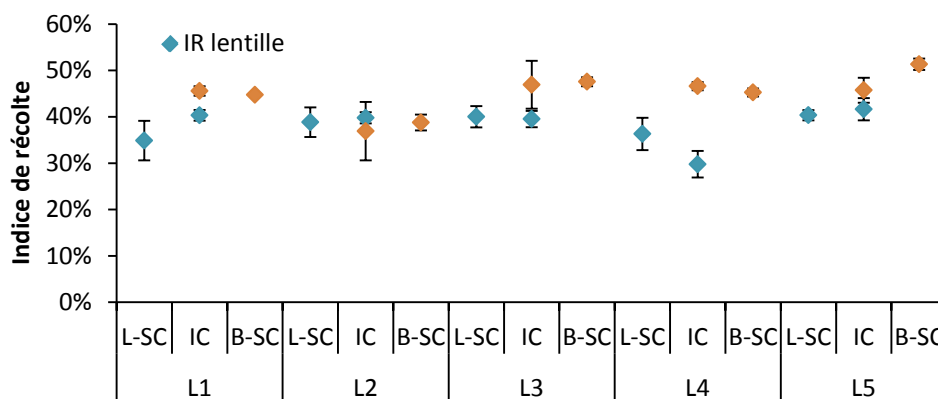


Figure 11 : Indices de récolte de la lentille (L) et du blé (B), cultivés seuls (SC) ou associés (IC).

Les valeurs sont les moyennes ± erreur standard des indices de récolte des 2 placettes et du bottillon pour chaque zone en lentille, des indices de récolte des 2 placettes par zone pour le blé IC et d'une placette par zone pour le blé SC.

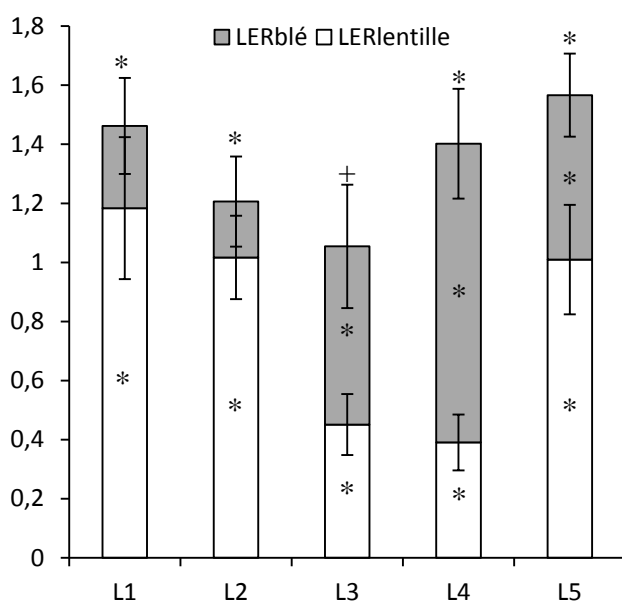


Figure 12 : LER partiels de la lentille et du blé.

Les valeurs sont les moyennes (n=3) par parcelle des moyennes (n=2) par zone, ± l'erreur standard. Les symboles * dans les barres indiquent que les LER partiels de la lentille et du blé sont significativement différents respectivement de 2/3 et 1/3, à 5% près. Les symboles *et + au-dessus des barres indiquent que le LER total est significativement différent de 1, respectivement à 5% et 10%.

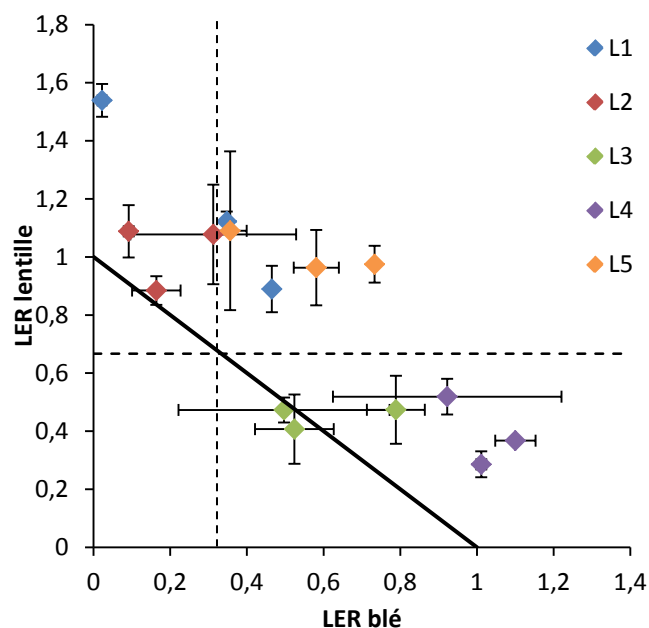


Figure 13 : LER partiel de la lentille en fonction du LER partiel du blé.

Les valeurs des LER partiels sont des moyennes (n=2) par zone ± l'erreur standard. La ligne verticale correspond au seuil (1/3 à partir duquel on peut dire que le blé a été plus performant en association qu'en culture pure. La ligne horizontale correspond au seuil équivalent pour la lentille (2/3), et la ligne oblique correspond au seuil à partir duquel le LER total vaut 1, donc l'association est efficace.

donc à chercher dès les premiers stades de développement, et notamment au moment du semis (Tableau 5). Il semblerait qu'un semis précoce dans les sols où il a été mesuré le plus d'azote minéral (L1, L2 et L4) ait favorisé le développement des cultures et les rendements finaux. Des événements pendant le développement de la culture peuvent aussi être à l'origine de la variabilité inter-parcelle des rendements. Par exemple, dans la parcelle L1, une partie de la bande en association avait une densité de blé très faible. De même, dans la parcelle L2, des problèmes à la levée (lapins, oiseaux...) seraient à l'origine du rendement faible du blé. Les observations au champ au moment de la floraison laissent penser que le blé est reparti ensuite, mais difficilement car la lentille était déjà développée. La parcelle L3, semée juste après la destruction d'un couvert, avait des taux d'azote minéral très faibles (de l'ordre de 5 kg/ha dans les 30 premiers centimètres), ce qui a pu pénaliser l'implantation de la culture. Enfin, la parcelle L4 a été échantillonnée et récoltée tardivement, une part importante des gousses était déjà ouverte lors du prélèvement ; les rendements de lentille auraient donc pu être plus élevés dans cette parcelle.

La Figure 11 présente les indices de récolte (IR) des deux espèces selon les modalités de culture et les parcelles. Dans l'ensemble, les IR de la lentille sont inférieurs à ceux du blé, ce qui traduit une moindre efficacité de la lentille pour la production de grain. Pour chaque espèce, les rares différences détectées entre les deux modalités ne sont pas significatives à 5%.

b. Land Equivalent Ratio

La Figure 12 présente les valeurs des LER partiels de la lentille, du blé, et des LER globaux de l'association (somme des LER partiels), pour chacune des 5 parcelles. Tous les LER sont supérieurs à 1, ce qui signifie que dans tous les cas l'association est plus performante que les cultures pures à pleine densité. Cependant, les 2 espèces ne contribuent pas de la même façon au LER d'une parcelle à l'autre, comme le montre plus précisément la Figure 13.

Deux cas apparaissent :

- Celui des parcelles L3 et L4 où le rendement de la lentille en association est inférieur au rendement en culture pure ($LER_{\text{lentille}} < 1$) et même au rendement attendu vues les densités de semis ($LER_{\text{lentille}} < 0,67$), alors que les rendements en blé sont supérieurs aux attentes ($LER_{\text{blé}} > 0,33$) voire au rendement du blé pur.

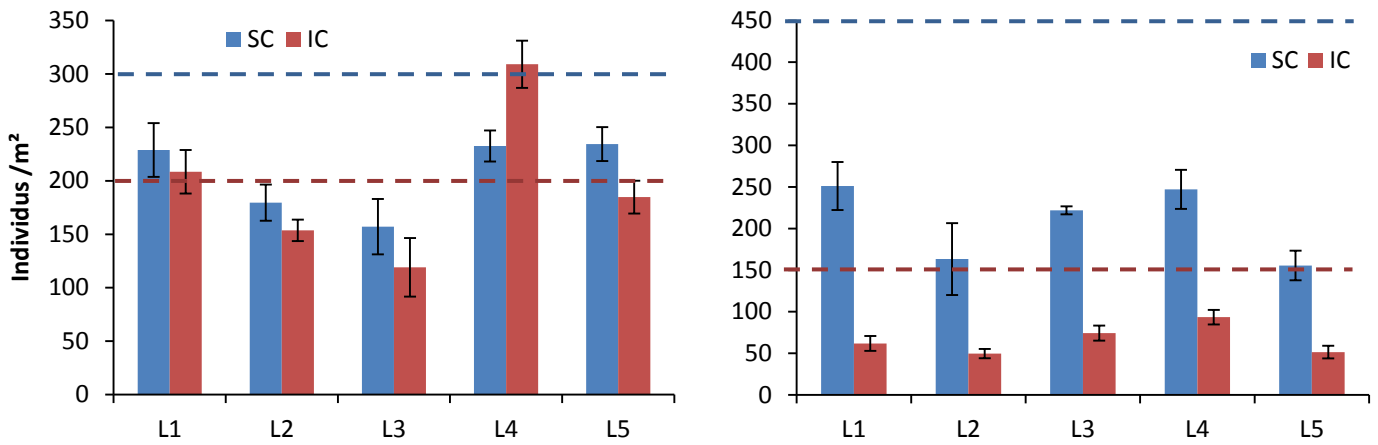


Figure 14 : Densités de levée et densités de semis visées en lentille (à gauche) et blé (à droite)

Les barres représentent les densités de levée mesurées et les lignes en pointillés représentent les densités de semis. Les valeurs sont les moyennes (n=3) par parcelle des valeurs moyennes (n=2) par zone \pm l'erreur standard, sauf pour le blé pur pour lequel il n'y a qu'une valeur par zone.

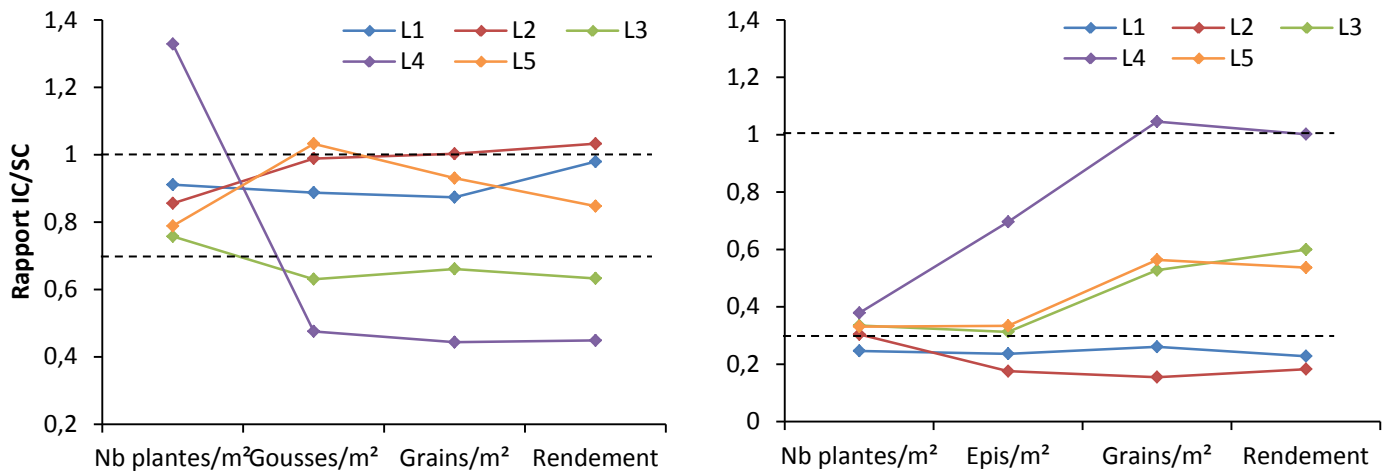


Figure 15 : Comparaison des composantes du rendement entre les deux modalités IC et SC, pour la lentille (à gauche) et le blé (à droite)

Un rapport égal à 1 signifie que les composantes sont égales entre les deux modalités, un rapport égal à 0,67 pour la lentille et 0,33 pour le blé correspond au différentiel des densités de semis.

- Celui des trois autres parcelles où le rendement de la lentille en association est similaire à celui en culture pure (LER partiels proches de 1), et ce malgré que la densité de semis soit réduite. Cela laisse penser que la lentille associée au blé s'est plus développée. Pour L2, le blé était très peu développé dans l'association, ce que traduisent les $LER_{\text{blé}}$ inférieurs à 0,33 alors que pour L1 et L5, les deux espèces sont plus performantes en association qu'en pur (le point excentré pour L1 correspond à une zone dans laquelle le blé était très peu développé).

Nous allons tenter dans la suite de proposer un diagnostic pour interpréter les différences observées entre parcelles, à l'aide des composantes du rendement.

4. Composantes du rendement

a. Densités de levée

La Figure 14 présente les densités observées de levée de la lentille et du blé, comparées aux densités semées. En agriculture biologique, on attend en général un taux de levée de l'ordre de 80 %.

Les densités sont variables d'une parcelle à l'autre. Le blé est assez loin en dessous des densités visées, quelles que soient la parcelle et la modalité. Cela laisse penser que le lot de semences avait un faible taux de germination. Les écarts de densité de lentille entre les deux modalités sont par ailleurs inférieurs à 1/3.

b. Evolution dans le temps des composantes du rendement

Le détail des composantes individuelles du rendement, ainsi que les poids spécifiques et la morphologie de la lentille sont disponibles en annexes 6 et 7. L'architecture des pieds de lentille (nombre de ramifications) est variable d'un individu à l'autre, mais les variations entre parcelles et modalités sont dans l'ensemble logique vues les densités des deux espèces.

La Figure 15 permet de comparer la mise en place du rendement entre les modalités et les parcelles, en suivant pour chaque espèce l'évolution du rapport IC/SC des valeurs pour chaque composante exprimée par unité de surface. Cela permet d'interpréter les différences de rendement et de LER observées précédemment.

En ce qui concerne la lentille, on retrouve les deux groupes de parcelles observées précédemment, à partir du stade de la formation des gousses :

Parcelle	Modalité	Rendement calculé	Rendement observé	« Pertes »
L1	SC	24,9	11,9	52 %
	IC	24,0	14,0	42 %
L2	SC	16,1	11,4	29 %
	IC	16,2	11,6	28 %
L3	SC	7,9	4,6	42 %
	IC	5,1	2,1	59 %
L4	SC	23,1	10,0	57 %
	IC	10,3	3,9	62 %
L5	SC	15,8	11,4	28 %
	IC	13,3	11,5	14 %

Tableau 6 : Comparaison des rendements calculés à partir des composantes du rendement avec les rendements observés.

- L1, L2 et L5 pour lesquelles la lentille associée se comporte de façon similaire à la lentille pure, donc au-dessus des valeurs attendues,
- L3 et L4, pour lesquelles la lentille associée a des performances moindres que la lentille pure. Dans la parcelle L3, les composantes du rendement de la lentille associée sont cohérentes avec le ratio des densités de semis, alors que dans la parcelle L4, malgré une densité de levée supérieure à la valeur visée, la lentille associée est moins performante que prévu.

Les ratios pour le blé se comportent dans le sens inverse de ceux de la lentille : les parcelles L1 et L2 ont les ratios les plus faibles, tandis que ceux de la parcelle L4 sont les plus élevés et ceux des parcelles L3 et L5 sont intermédiaires.

En définitive, quatre cas apparaissent :

- Les parcelles L1 et L2, dans lesquelles la lentille dans l'association est proche de son développement en pur, et le blé associé peu développé ou moins développé qu'en culture pure.
- La parcelle L4, dans laquelle les deux espèces ont des comportements inverses, ce qui s'explique par le différentiel de développement du blé au stade tallage qui a pu freiner celui de la lentille.
- La parcelle L5, dans laquelle la lentille et le blé ont des ratios supérieurs aux valeurs attendues, du fait d'un développement de la lentille entre la floraison et la formation des gousses, et du blé au moment de la floraison.
- La parcelle L3, dans laquelle la lentille n'est pas plus performante en association qu'en culture pure, tandis que le blé a un meilleur ratio à partir de la floraison .

On retrouve bien les conclusions tirées de l'analyse des LER partiels et totaux.

Il est important de noter que les composantes (ou certaines d'entre elles) en lentille sont surestimées : en effet le rendement final calculé en multipliant les composantes est nettement supérieur au rendement observé, même en prenant en compte les pertes au sol (Tableau 6). Cela peut traduire des pertes au niveau du nombre de pieds entre la levée et la maturité (car la densité a été mesurée entre la levée et la floraison, contrairement aux autres composantes mesurées à la récolte), une perte de gousses ou de grains lors du traitement des prélèvements de biomasse issus des placettes ou un biais dans le choix des plantes du bottillon. En effet, lors du prélèvement des bottillons on a parfois dû choisir les pieds les plus tardifs pour

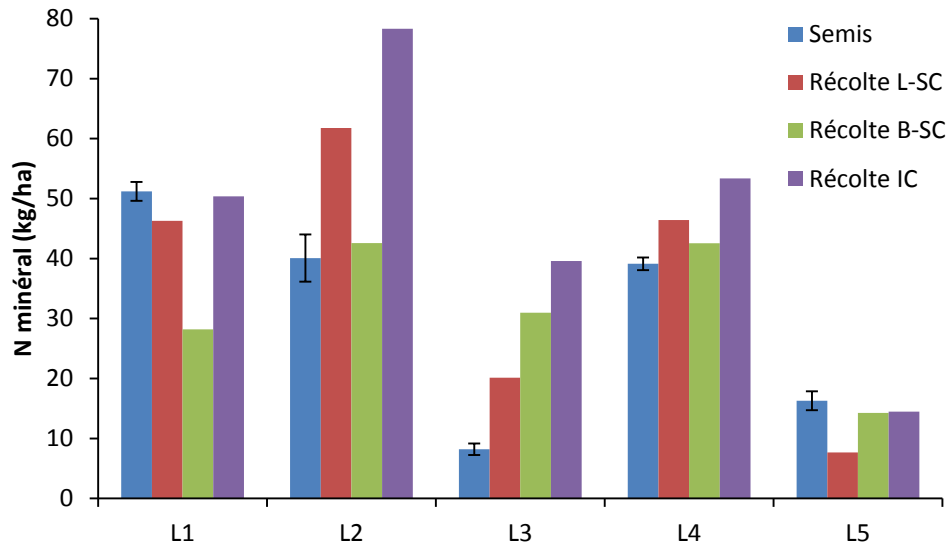


Figure 16 : Azote minéral ($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) sur les 90 premiers centimètres du profil.

Les valeurs au semis sont les moyennes \pm erreur standard de deux dosages sur des échantillons provenant chacun du regroupement de 6 prélèvements, les valeurs à la récolte sont des dosages sur des échantillons de 6 trous dans chaque modalité de la parcelle.

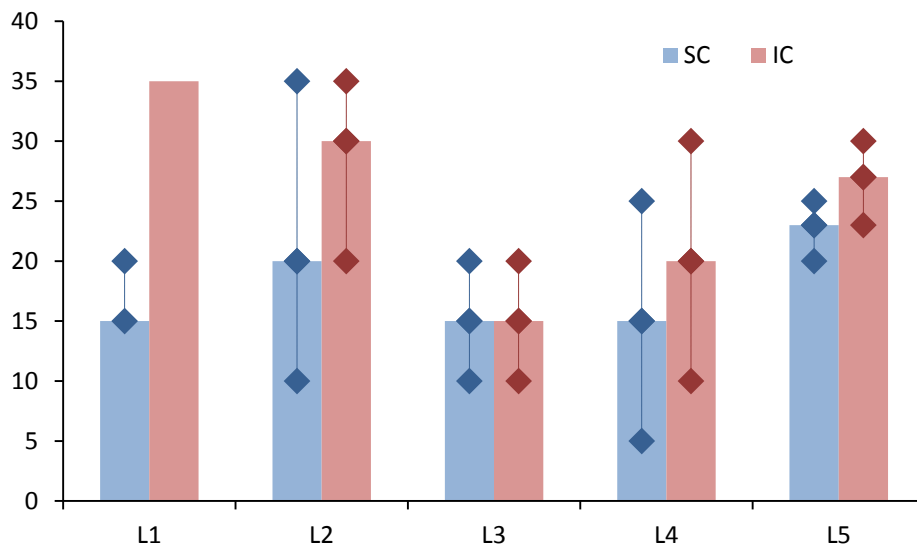


Figure 17 : Hauteurs des lentilles dans le couvert.

Les points représentent les hauteurs au-dessus du sol minimale, moyenne et maximale que prennent les plantes de lentille. Pour la parcelle L1, les hauteurs minimales et la hauteur maximale en association sont manquantes.

prélever des pieds entiers, car les autres étaient secs donc cassants. Ces individus tardifs étaient peut-être plus développés que les autres. Le protocole de prélèvement des bottillons mérite donc d'être revu, il pourrait être plus juste de prélever 15 plantes consécutives sur une même ligne de semis, et d'intervenir plus tôt avant la récolte machine. Cependant, pour chaque parcelle, le différentiel est du même ordre entre les deux modalités, cela ne remet donc pas en cause fondamentalement l'analyse du rapport IC/SC.

5. Azote minéral

La Figure 16 présente les résultats des dosages d'azote minéral réalisés à partir des prélèvements de sol au semis et après la récolte. Les valeurs au semis ont été présentées dans le Tableau 5 et discutées dans le paragraphe IV.3.a. page 19.

Après la récolte, on s'attend à trouver les reliquats azotés les plus élevés dans la lentille pure, puis dans l'association et enfin dans le blé. Or ce n'est pas le cas. Ces résultats pourraient s'expliquer en partie par des prélèvements d'azote par les adventices, et seront à comparer avec les pourcentages de fixation symbiotique de la lentille qui seront calculés à partir des analyses de teneur en ^{15}N .

Il est difficile de tirer des conclusions plus précises à ce stade.

6. Verse

La Figure 17 présente les hauteurs des couverts de lentille à maturité. Cette variable reflète la résultante du développement des plantes et de la verse. Plusieurs facteurs peuvent jouer sur l'un ou l'autre de ces paramètres et donc sur les valeurs de hauteur, notamment la compétition avec le blé qui pourrait être à l'origine d'un allongement plus important des tiges dans l'association.

Dans l'ensemble, les lentilles des parcelles L3 et L5, semées le plus tard, étaient moins allongées (données non montrées). On n'a pas observé de verse sur la parcelle L5, ce qui se traduit par la faible gamme de hauteurs de couvert observées. La parcelle L3 a été arrosée, ce qui a fait verser les lentilles. Dans les trois autres parcelles (L1, L2 et L4), les longueurs des plantes étaient plus importantes. De plus, la parcelle L1 a été arrosée à deux reprises, et la parcelle L4 a subi deux orages violents peu avant la récolte, avec des précipitations de l'ordre de 60 mm à chaque fois (d'après l'agriculteur), ce qui a contribué à la verse.

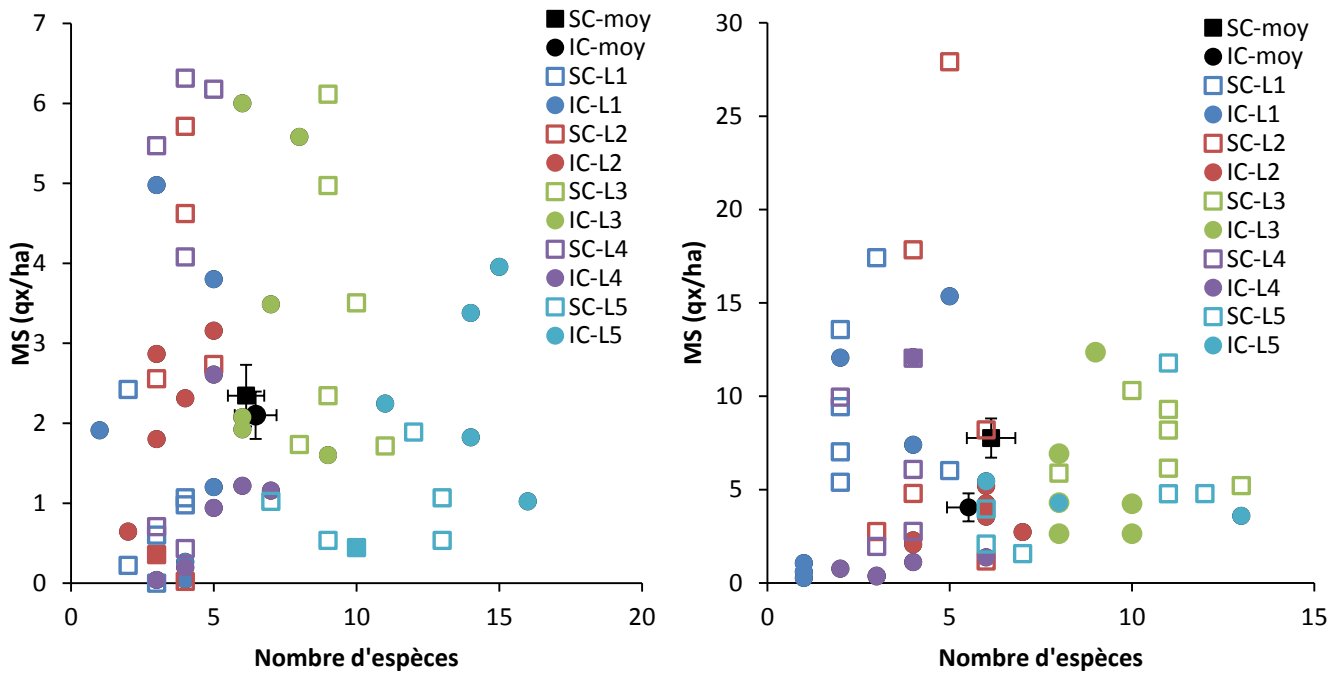


Figure 18 : Biomasse des adventices (en qx/ha) en fonction du nombre d'espèces adventices présentes dans la placette de prélèvement, pour chaque parcelle et les deux modalités, au stade floraison (à gauche) et avant la récolte (à droite). Chaque point représente la biomasse rapportée à l'hectare et le nombre d'espèces adventices d'un prélèvement. Les points noirs sont les moyennes par modalité \pm erreur standard. Au stade floraison, les moyennes ne sont pas significativement différentes. A la récolte, seules les biomasses moyennes sont significativement différentes, à 5%.

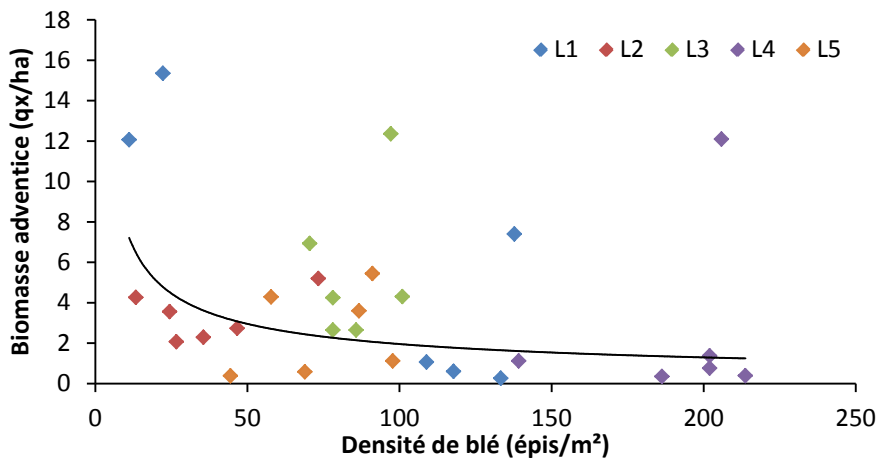


Figure 19 : Biomasse des adventices en fonction de la densité de blé, dans les placettes en cultures associées.

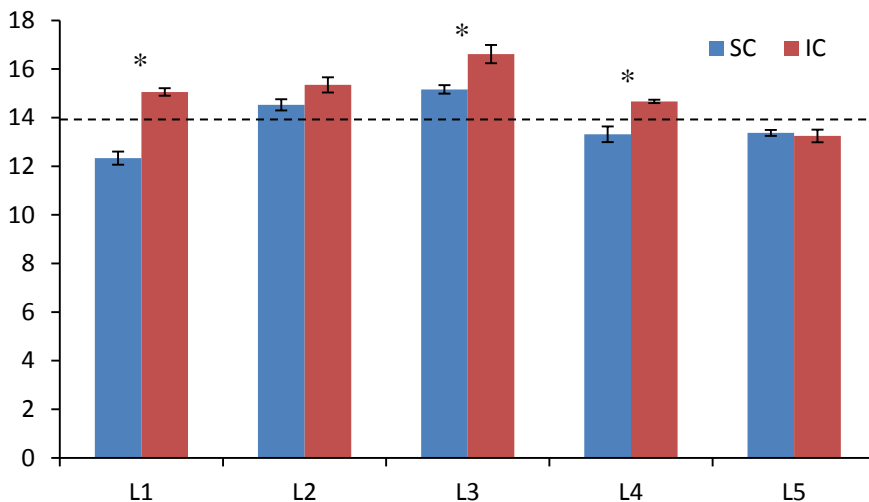


Figure 20 : Pourcentages de protéines du blé, cultivé seul (SC) ou en association avec la lentille (IC). Les valeurs sont les moyennes de 3 analyses par modalité, \pm l'erreur standard. Le seuil de 14 % est la valeur au-delà de laquelle le blé Valbona est considéré comme blé de force pour Qualisol. Les symboles * signifient que les différences entre les modalités sur une même parcelle sont significatives à 5%. Dans l'ensemble, l'effet de la modalité est significatif, de même que l'effet de la parcelle.

Dans tous les cas, d'un point de vue technique, l'important n'est pas tant la verse en elle-même que le fait que des gousses se retrouvent au ras du sol, donc difficile voire impossibles à récolter. Et quelles qu'en soient les raisons, il semble que les hauteurs minimales du couvert soient fréquemment supérieures en association qu'en lentille pure.

D'autre part, les observations visuelles au champ confirment ce résultat : même à des faibles densités de blé (L2 en particulier), l'effet tuteur est clairement visible.

7. Adventices

La Figure 18 représente la biomasse des adventices présentes dans les placettes d'échantillonnage. Dans l'ensemble, la variabilité est importante, même au sein d'une même zone d'observation.

A la floraison, trois cas de figure apparaissent :

- Celui des parcelles L1, L2 et L4, avec peu d'espèces adventices et une variabilité importante des biomasses,
- Celui de la parcelle L5, avec beaucoup d'espèces adventices mais peu de biomasse,
- Celui de la parcelle L3, avec un nombre d'espèces intermédiaire et des biomasses importantes.

A la récolte, on retrouve les parcelles L1, L2 et L4 d'une part, et les parcelles L3 et L5 d'autre part. Dans chaque parcelle, les biomasses en association sont nettement inférieures aux biomasses en culture pure, ce qui n'était pas le cas à la floraison. Cependant, il semble que cette réduction de l'enherbement soit conditionnée par la densité de blé (Figure 19).

8. Qualité des récoltes

a. Protéines du blé

Les valeurs du taux de protéines du blé sont élevées, tant en culture pure qu'en association, comme le montre la Figure 20. Dans trois parcelles sur les cinq, le taux dans l'association est significativement plus élevé que dans le blé pur. Par ailleurs, les teneurs en association sont dans la majorité des cas supérieures au seuil de 14 %, donc la récolte serait considérée comme blé de force, mieux valorisée par la coopérative et mieux payée à l'agriculteur. Pour les parcelles L3 et L4, dans lesquelles le rendement de la lentille en association est sensiblement plus faible qu'en culture pure (Figure 8), les primes associées à

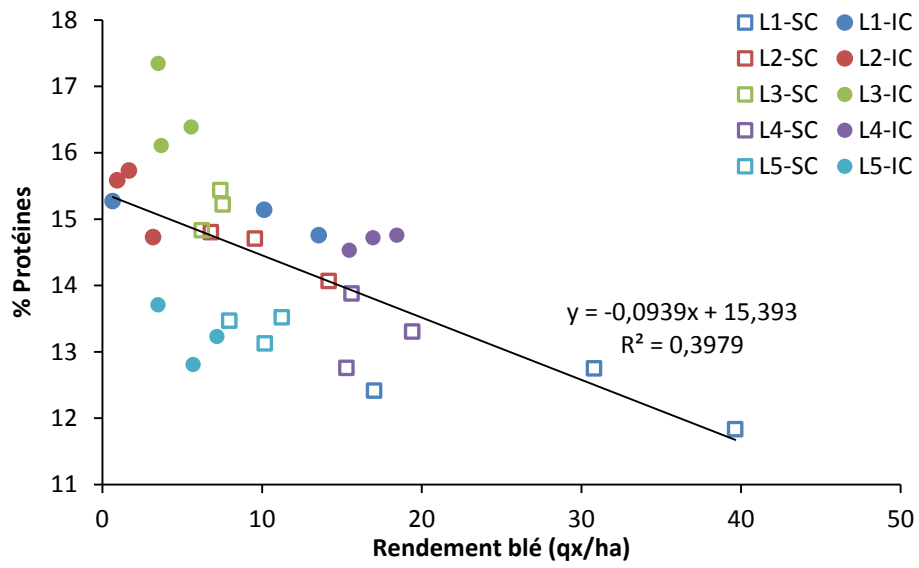


Figure 21 : Teneur en protéines (%) en fonction des rendements en blé.

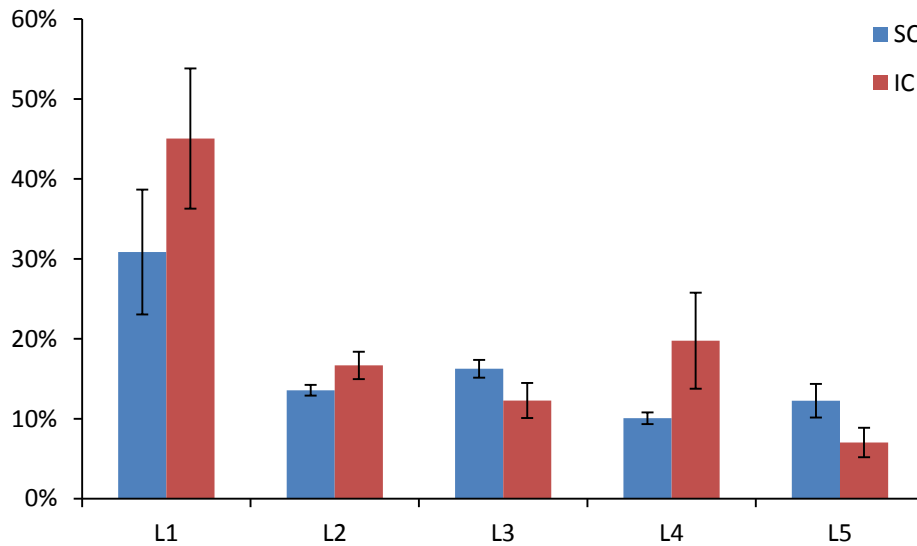


Figure 22 : Taux de parasitage par la bruche et le parasitoïde de la bruche.

Les valeurs sont les moyennes de trois comptages par parcelle, \pm l'erreur standard.%

ce surplus de protéines dans le blé pourraient en partie compenser la perte de revenu causée par les faibles rendements en lentille. Dans le cas de la parcelle L1, les rendements en lentille sont similaires (Figure 8), donc le blé produit en plus permet d'augmenter le produit brut de la culture, et ce d'autant plus que son taux de protéines est élevé.

Par ailleurs, les taux de protéines des blés, quelle que soit la modalité, décroissent avec l'augmentation du rendement, comme le montre la Figure 21, ce qui est cohérent avec la conduite limitante en azote minéral des parcelles étudiées.

b. Bruches

La Figure 22 présente les taux de parasitage des récoltes par la bruche de la lentille et le parasitoïde de la bruche. Les résultats sont variables d'une parcelle à l'autre, parfois entre les modalités sur une même parcelle (L1 et L4) et entre les zones d'une même modalité (L1 et L4-IC).

V. Discussion générale et conclusions

1. Performances de la lentille

a. En culture pure

Cultivée seule, la lentille a posé les problèmes habituels : des taux d'enherbement élevés, allant jusqu'à empêcher la récolte sur une parcelle, et des cultures versées dans quatre cas sur cinq, entraînant des difficultés mécaniques à la récolte, et donc d'importantes pertes de rendement. Le taux de grains bruchés est important, dans toutes les parcelles. Cependant, les rendements sont assez stables, au moins dans quatre des cinq parcelles.

Les services écosystémiques attendus rendus par la lentille seront à étudier sur la culture suivante, il s'agira de mesurer en particulier les reliquats azotés en sortie d'hiver et l'effet sur la céréale en année n+1.

b. En association avec le blé

L'association lentille-blé a été mise en place pour répondre à ces enjeux d'enherbement et de verse de la lentille, et produire du blé de force riche en protéines.

Au vu des résultats et des observations au champ, il apparaît que l'enherbement de la lentille n'est réduit que lorsque le blé est assez dense. Aux densités de blé visées au semis

(120 à 150 grains/m²) et à partir d'une centaine d'épis présents par m², l'enherbement est sensiblement réduit, comme cela a été observé dans la parcelle L4 et deux zones sur trois dans la parcelle L1.

L'effet tuteur du blé est d'autant plus important que la lentille est susceptible de verser, c'est-à-dire dans les parcelles où elle est le plus développée en hauteur. Il s'observe même à de faibles densités de blé, mais dans une moindre mesure, et de façon plus hétérogène dans l'espace.

La diminution de la verse était clairement visible sur le terrain dans la parcelle L1, moins dans la parcelle L4 du fait des forts orages. Les densités de semis étaient donc bien choisies, et auraient pu confirmer ou infirmer ces observations dans l'ensemble des parcelles si les densités de levée avaient été plus homogènes.

Enfin, l'augmentation du taux de protéines du blé associé, significative dans trois parcelles sur cinq, est à mettre en relation avec les plus faibles rendements des blés associés par rapport aux blés cultivés seuls, du fait de plus faibles densités de semis : le rendement du blé associé étant plus faible que celui du blé pur, pour une même quantité d'azote disponible, la disponibilité de l'azote est supérieure (Jensen 1996; Justes et al. 2014).

Par conséquent, l'objectif d'augmenter la teneur en protéines du blé va à l'encontre de la maîtrise de l'enherbement et la verse par une densité suffisante de blé. Il faut donc trouver un compromis entre ces deux objectifs en fonction des priorités dans chaque situation (dans le cas de la parcelle L4 et de 2 zones sur 3 de la parcelle L1, ce compromis a été obtenu correctement).

2. Impacts sur le prix payé à l'agriculteur

La lentille est une culture à forte valeur ajoutée, bien valorisée et qui n'occasionne que peu de charges opérationnelles. C'est donc, quand elle est réussie, une culture très rémunératrice. Remplacer une partie de la lentille par du blé, malgré des avantages agronomiques certains, pourrait impacter négativement la marge brute de la culture.

Cependant, associer la lentille avec du blé n'entraîne pas toujours une diminution du rendement en lentille (Figure 8). De plus, si l'association permet de limiter la proportion de gousses près du sol donc impossibles à récolter (Figure 17), le rendement machine pourrait ne pas être impacté malgré une densité plus faible. Enfin, le blé produit en complément est un blé

riche en protéines (Figure 20), donc bien valorisable lui aussi. Il pourrait donc, dans une certaine mesure, compenser une éventuelle perte de rendement en lentille.

Cette estimation économique mérite d'être développée plus en détail avec les acteurs de terrain, agriculteurs et coopérative.

3. Bilan sur les essais en conditions agricoles

La mise en place d'un réseau de parcelles sur un territoire pour y mener des essais en conditions agricoles ne permet pas de tester autant de modalités qu'un essai agronomique en micro-parcelles sur un même site. Cependant, cela permet de se confronter à des situations contrastées, en termes de sol, de pratiques agricoles, d'aléas biotiques ou abiotiques et de gestion de ces aléas. Cette diversité de situations diminue la valeur statistique des résultats et rend l'analyse et le diagnostic agronomique plus difficiles, mais permet de répondre à des questions de terrain, portées par les acteurs.

Dans le cas des cultures lentille-blé en association, des questions techniques ou de machinisme agricole ont été mises en évidence. En particulier, des problèmes au semis restent à résoudre afin de mieux atteindre les objectifs de densité et d'homogénéité du mélange.

D'autre part, la distance géographique entre les parcelles a limité la fréquence du suivi, et la distance avec les stations de relevés météorologiques n'a pas permis l'étude fine des précipitations. L'utilisation de pluviomètres sur les exploitations aurait pu permettre de pallier ce problème, mais aurait été plus contraignant pour les agriculteurs. Les interactions avec les agriculteurs, très constructives et stimulantes de façon générale, ont parfois été limitées par le manque de disponibilité dû aux différents travaux agricoles, en particulier pendant les moissons.

Enfin, toutes les données présentées ici sont issues de prélèvements manuels, donc ne prennent pas en compte les aspects techniques liés à la récolte.

4. Perspectives

Les dosages des taux d'azote (N total et ^{15}N) dans les parties aériennes permettront d'étudier la nutrition azotée des deux espèces selon les modalités et les parcelles. La détermination du pourcentage d'azote de la lentille issu de la fixation symbiotique permettra

d'évaluer l'efficacité de la lentille en termes de fixation d'azote atmosphérique, et la variabilité de la fixation entre les parcelles et les modalités.

L'analyse des observations réalisées sur les parcelles de soja devrait mettre en évidence des différences selon le type de conduite (conventionnelle ou biologique) et les pratiques (notamment en termes d'irrigation), différences qui s'observaient déjà sur le terrain au stade floraison.

L'étude des cultures suivantes en année n+1 permettra d'analyser l'effet précédent des légumineuses cultivées cette année, et ainsi de préciser leur intérêt dans une rotation.

Enfin, la répétition de l'observatoire sur d'autres parcelles dans le territoire étudié et dans un autre contexte bisannuel (2016-2017) permettra de d'approfondir les résultats obtenus cette année.

Liste bibliographique

- Agence bio, 2013. *Chiffres clés. L'agriculture biologique, ses acteurs, ses produits, ses territoires.*,
- Altieri, M.A., 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74, pp.19–31.
- Baize, D. & Jabiol, B., 1995. *Guide pour la description des sols* Quae.,
- Bousseau, D., 2009. Associations céréales-légumineuses et mélanges de variétés de blé tendre : point de vue agronomique et pratique d'une coopérative. *Innovations Agronomiques*, 7, pp.129–137.
- Chambres d'Agriculture Midi-Pyrénées, *Références technico-économiques Grandes cultures bio annuelles*,
- Cholez, C. & Magrini, M.-B., 2014. Cultiver des légumineuses à graines en pure ou en association avec des céréales : points de vue d'acteurs du système sociotechnique agricole. *Innovations Agronomiques*, 40, pp.43–59.
- Commissariat Général au Développement Durable, 2009. *La relance des légumineuses dans le cadre d'un plan protéine : quels bénéfices environnementaux ?*,
- Corre-Hellou, G. et al., 2013. Associations céréale-légumineuse multi-services. *Innovations Agronomiques*, 30, pp.41–57.
- Corre-Hellou, G. & Crozat, Y., 2005. N₂ fixation and N supply in organic pea (*Pisum sativum* L.) cropping systems as affected by weeds and pea weevil (*Sitona lineatus* L.). *European Journal of Agronomy*, 22, pp.449–458.
- Corre-Hellou, G., Fustec, J. & Crozat, Y., 2006. Interspecific competition for soil N and its interaction with N₂ fixation, leaf expansion and crop growth in pea-barley intercrops. *Plant and Soil*, 282, pp.195–208.
- David, C. et al., 2005. Yield variation in organic winter wheat: a diagnostic study in the Southeast of France. *Agronomy for Sustainable Development*, 25, pp.213–223.
- Doré, T., Sebillotte, M. & Meynard, J.-M., 1997. A diagnostic method for assessing regional variations in crop yield. *Agricultural Systems*, 54(2), pp.169–188.
- Duc, G. et al., 2010. Importance économique passée et présente des légumineuses : Rôle historique dans les assolements et facteurs d'évolution. *Innovations Agronomiques*, 11, pp.1–24.
- Fernandez, A.L. et al., 2012. Yield and weed abundance in early- and late-sown field pea and lentil. *Agronomy Journal*, 104(4), pp.1056–1064.

- Fernandez, A.L., Sheaffer, C.C. & Wyse, D.L., 2015. Productivity of field pea and lentil with cereal and brassica intercrops. *Agronomy Journal*, 107(1), pp.249–256. Available at: <https://dl.sciencesocieties.org/publications/aj/abstracts/107/1/249>.
- Gianinazzi, S. et al., 2010. Agroecology: The key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. *Mycorrhiza*, 20(8), pp.519–530.
- Hauggaard-Nielsen, H., Ambus, P. & Jensen, E.S., 2001. Interspecific competition, N use and interference with weeds in pea-barley intercropping. *Field Crops Research*, 70(2), pp.101–109.
- Hauggaard-Nielsen, H. & Jensen, E.S., 2001. Evaluating pea and barley cultivars for complementarity in intercropping at different levels of soil N availability. *Field Crops Research*, 72, pp.185–196.
- Hinsinger, P. et al., 2003. Origins of root-mediated pH changes in the rhizosphere and their responses to environmental constraints: A review. *Plant and Soil*, 248(1-2), pp.43–59.
- Hinsinger, P. et al., 2011. P for two, sharing a scarce resource: soil phosphorus acquisition in the rhizosphere of intercropped species. *Plant physiology*, 156(3), pp.1078–1086.
- Jensen, E.S., 1996. Grain yield, symbiotic N₂ fixation and interspecific competition for inorganic N in pea-barley intercrops. *Plant and Soil*, 182, pp.25–38.
- Jensen, E.S. et al., 2012. *Legumes for mitigation of climate change and the provision of feedstock for biofuels and biorefineries. A review*,
- Justes, E. et al., 2014. Les processus de complémentarité de niche et de facilitation déterminent le fonctionnement des associations végétales et leur efficacité pour l'acquisition des ressources abiotiques. *Innovations Agronomiques*, 40, pp.1–24.
- Labalette, F. et al., 2010. Panorama et futur de la filière du soja français. *OCL - Oleagineux Corps Gras Lipides*, 17(6), pp.345–355.
- Liebman, M. & Dyck, E., 1993. Crop rotation and intercropping strategies for weed management. *Ecological Applications*, 3, pp.92–122. Available at: http://www.planta.cn/forum/files_planta/1452_1194313350.pdf_743.pdf.
- Litrice, I., Goldringer, I. & Enjalbert, J., 2015. Plus-value de la diversité génétique intra-parcelle pour la stabilité de la production et autres services écosystémiques. *Innovations Agronomiques*, 43, pp.7–18.
- Louarn, G. et al., 2010. Déterminants écologiques et physiologiques de la productivité et de la stabilité des associations graminées-légumineuses. *Innovations Agronomiques*, 11, pp.79–99.
- Malézieux, E. et al., 2009. Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, pp.43–62.

- Mead, R. & Willey, R.W., 1980. The concept of a "Land Equivalent Ratio" and advantages in yields from intercropping. *Experimental Agriculture*, 16(3), pp.217–228.
- Nemecek, T. et al., 2008. Environmental impacts of introducing grain legumes into European crop rotations. *European Journal of Agronomy*, 28, pp.380–393.
- Pelzer, E. et al., 2012. Pea-wheat intercrops in low-input conditions combine high economic performances and low environmental impacts. *European Journal of Agronomy*, 40, pp.39–53. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2012.01.010>.
- Shearer, G. & Kohl, D.H., 1988. Natural ¹⁵N abundance as a method of estimating the contribution of biologically fixed nitrogen to N₂-fixing systems: Potential for non-legumes. *Plant and Soil*, 110(2), pp.317–327.
- Swift, M.J., Izac, A.-M.N. & van Noordwijk, M., 2004. Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes - Are we asking the right questions? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 104, pp.113–134.
- Trenbath, B.R., 1993. Intercropping for the management of pests and diseases. *Field Crops Research*, 34, pp.381–405.
- Vertès, F. et al., 2010. Connaître et maximiser les bénéfices environnementaux liés à l'azote chez les légumineuses, à l'échelle de la culture, de la rotation et de l'exploitation. *Innovations agronomiques*, 11, pp.25–44.
- Voisin, A.-S. et al., 2013. Legumes for feed, food, biomaterials and bioenergy in Europe: a review. *Agronomy for Sustainable Development*.
- Wezel, A. et al., 2014. Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(1), pp.1–20.
- Willey, R.W., 1979. Intercropping - Its importance and research needs. 1.Competition and yield advantages. *Field Crop abstracts*, 32(1), pp.1–10.

ANNEXES

Annexe 1 : Localisation des parcelles et des stations de relevé météorologiques.

Annexe 2 : Protocoles de suivi au champ.

Annexe 3 : Protocoles de traitement des échantillons lentille-blé au laboratoire.

Annexe 4 : Protocoles de traitement des échantillons soja au laboratoire.

Annexe 5 : Schémas récapitulatifs du traitement des échantillons.

Annexe 6 : Composantes du rendement, morphologie et poids spécifique de la lentille.

Annexe 7 : Composantes du rendement et poids spécifique du blé.

Annexe 8 : Biomasses adventices aux stades floraison et maturité

Annexe 9 : Principales espèces adventices rencontrées dans les parcelles.

Annexe 1 : Localisation des parcelles et des stations de relevé météorologiques.

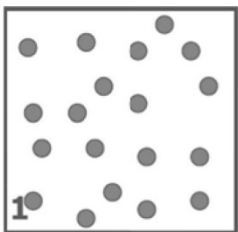
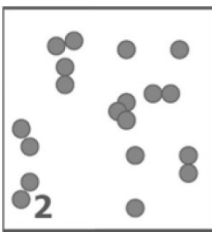
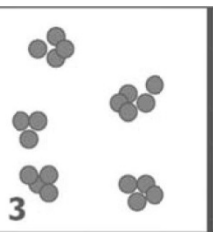
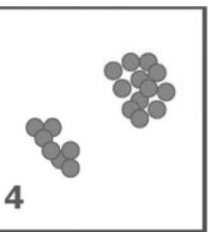
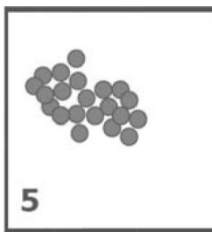


TERRAIN FLORAISON

Stade idéal : lorsque 50 % des plantes ont au moins une fleur ouverte. 2 à 3 jours après l'apparition des premières fleurs dans le champ.

I. A l'échelle de la zone d'observation

1. Photo
2. Répartition des adventices, indice de sociabilité : homogène, intermédiaire, hétérogène

				
1	2	3	4	5
Homogène	Intermédiaire			Hétérogène

3. Hauteur relative des adventices par rapport au couvert

Tableau 9 : Echelle de notation enherbement (CETIOM)

NOTES					
0	1	3	5	7	9
Notation impossible	Enherbement nul	Enherbement faible (les adventices sont peu nombreuses et restent bien en dessous de la culture)	Enherbement moyen (les adventices sont nombreuses mais ne dépassent pas la culture)	Enherbement important (les adventices sont nombreuses et dépassent ou commencent à dépasser la culture)	Enherbement total ou quasi-total (les adventices dominent largement la culture, la récolte est compromise)

II. A l'échelle de la placette (3rgs x 1 m, 2 par zone)

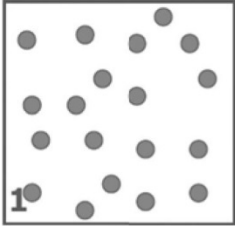
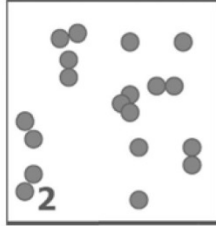
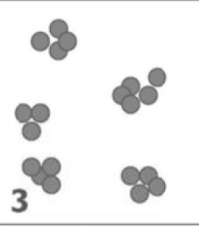
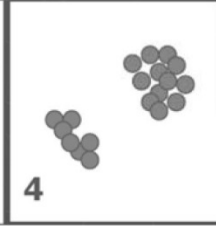
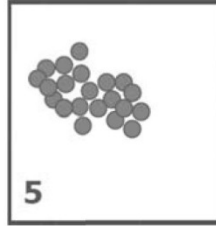
- Délimiter la placette
- Prendre une photo
- Rabattre les plantes à prélever vers le milieu de la placette
- Prélever la culture
- Prendre une photo
- Prélever les adventices

TERRAIN MATURITE

Théoriquement 3 semaines avant la date de récolte prévue.

I. A l'échelle de la zone d'observation

1. Photo
2. Répartition des adventices, indice de sociabilité : homogène, intermédiaire, hétérogène

				
1	2	3	4	5
Homogène	Intermédiaire			Hétérogène

3. Hauteur relative des adventices par rapport au couvert

Tableau 9 : Echelle de notation enherbement (CETIOM)

NOTES					
0	1	3	5	7	9
Notation impossible	Enherbement nul	Enherbement faible (les adventices sont peu nombreuses et restent bien en dessous de la culture)	Enherbement moyen (les adventices sont nombreuses mais ne dépassent pas la culture)	Enherbement important (les adventices sont nombreuses et dépassent ou commencent à dépasser la culture)	Enherbement total ou quasi-total (les adventices dominent largement la culture, la récolte est compromise)

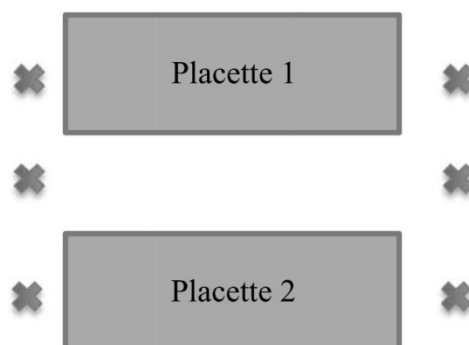
II. Placettes biomasse (3 rangs x 1 m, 2 par zone)

- Délimiter la placette
- Prendre une photo
- Rabattre les plantes à prélever vers le milieu de la placette
- Prélever la culture
- Prendre une photo
- Prélever les adventices

III. Bottillons composantes de rendement

Prélever un bottillon de 30 plantes, en 6 prélèvements de 5 plantes chacun, répartis autour des placettes « biomasse »

✕ : Prélèvement de 5 plantes.



Protocole de traitement des échantillons au laboratoire

I. Echantillons générés lors des prélèvements à la floraison

1. Cultures

1. Photo de l'échantillon avec étiquette, en séparant suffisamment les plantes sur la paille.
2. Observation maladies et ravageurs :
 - Blé : septoriose, rouille, autres (mineuses, lapins...)
 - Lentille : insectes... (pas de maladie détectée)
3. Observations morphologiques

Blé. Compter les épis et noter stade de développement (avancée de la floraison)

Lentille. Choisir 5 plantes représentatives de l'ensemble (dans une placette par zone), puis compter :

- Le nombre de ramifications importantes,
- le nombre d'étages sur la tige principale,
- le nombre d'étages florifères sur la tige principale.

- Compter les ramifications qui partent du tiers inférieur de la plante et vont jusqu'au tiers supérieur.
- Compter la tige principale dans le nombre de ramifications.
- Ne pas compter les nœuds dont les feuilles ne sont pas encore complètement étalées.
- Tous les étages au-dessus du 1^{er} florifère sont comptés comme florifères aussi. On considère qu'un étage est florifère s'il y a une fleur sur la tige elle-même. Un nœud qui porte une ramification avec des fleurs ne compte donc pas nécessairement comme étage florifère.

4. Peser le sachet papier identifié vide puis avec les plantes. Si trop de biomasse (> 500g environ), extraire et peser un sous-échantillon **représentatif** de la biomasse à passer à l'étuve.
5. Mettre à l'étuve à 80°C pendant 48h. Peser la MS immédiatement après refroidissement en sortie d'étuve.
6. Avant broyage, repasser les sacs à l'étuve à 60°C pendant 6h.

2. Adventices

1. Trier par espèces
2. Photo de l'échantillon avec étiquette, en séparant suffisamment les plantes sur la paillasse.
3. Compter le nombre d'espèces = richesse spécifique
4. Identifier les 3 adventices principales. Pour chacune :
 - Compter le nombre d'individus,
 - Noter le stade de développement selon le tableau

Plantule	Stade végétatif	Floraison	Grenaison
A	B	C	D

5. Mettre à l'étuve à 80°C pendant 48h. Peser la MS immédiatement après refroidissement en sortie d'étuve.

II. Echantillons générés lors des prélèvements à maturité

1. Lentille

a. Echantillons des placettes (3 rangs x 1m)

- Peser l'ensemble avant toute manipulation,
- Séparer les tiges des gousses avant de battre,
- Battre,
- Peser les grains,
- Peser l'ensemble des tiges et cosses ensemble,
- Dans une placette par zone, extraire 7,5g de grains pour la manip bruches.
- Sécher pendant 48h à 80°C.
- Peser immédiatement en sortie d'étuve.
- Compter les grains
- Regrouper par zone pour mesurer le poids spécifique.
- Regrouper les 6 échantillons d'une même modalité avant broyage.
- Repasser les pailles à l'étuve (6h, 60°C) avant broyage.

b. Bottillons

- Compter les ramifications principales sur 10 plantes
- Compter les étages fructifères sur ces 10 plantes,
- Compter le nombre de gousses fertiles, stériles et ouvertes sur l'ensemble des 15 plantes du bottillon.

2. Blé

- Peser l'ensemble avant toute manipulation,
- Couper les tiges,
- Compter les épis. S'il y a moins de 60 épis dans les 2 placettes d'une même zone, battre aussi l'échantillon complémentaire.
- Battre les épis,
- Peser les grains,
- Peser les tiges et « déchets de battage »,
- Passer à l'étuve 48h à 80°C,
- Peser immédiatement en sortie d'étuve,
- Regrouper les 2 placettes pour mesurer le PMG et PS, et éventuellement l'échantillon complémentaire.
- Regrouper tous les échantillons d'une parcelle avant broyage,
- Repasser les pailles à l'étuve avant broyage,

3. Adventices

Cf. floraison.

Protocole de traitement des échantillons au laboratoire

I. Echantillons générés lors des prélèvements à la floraison du soja

1. Cultures

1. Peser la masse fraîche de l'échantillon.
2. Photo de l'échantillon avec étiquette, en séparant suffisamment les plantes sur la paille.
3. Observations morphologiques
Choisir 5 plantes représentatives de l'ensemble, puis déterminer le stade de développement à partir de l'échelle du CETIOM.

➤ Ne pas compter les nœuds dont les feuilles ne sont pas encore complètement étalées.

4. Compter le nombre de pieds entiers et de pieds accidentés.
5. Peser une caissette puis peser celle-ci avec un sous échantillon (environ 500g) représentatif de la biomasse pour le passer à l'étuve.
6. Mettre à l'étuve à 80°C (ne pas oublier l'étiquette !) pendant 48h. Peser la MS immédiatement après refroidissement en sortie d'étuve.
7. Avant broyage, repasser les sacs à l'étuve à 60 °C pendant 6h.

2. Adventices

1. Trier par espèces
2. Photo de l'échantillon avec étiquette, en séparant suffisamment les plantes sur la paille.
3. Compter le nombre d'espèces = richesse spécifique
4. Identifier les 3 adventices principales. Pour chacune :
 - Compter le nombre d'individus,
 - Noter le stade de développement selon le tableau

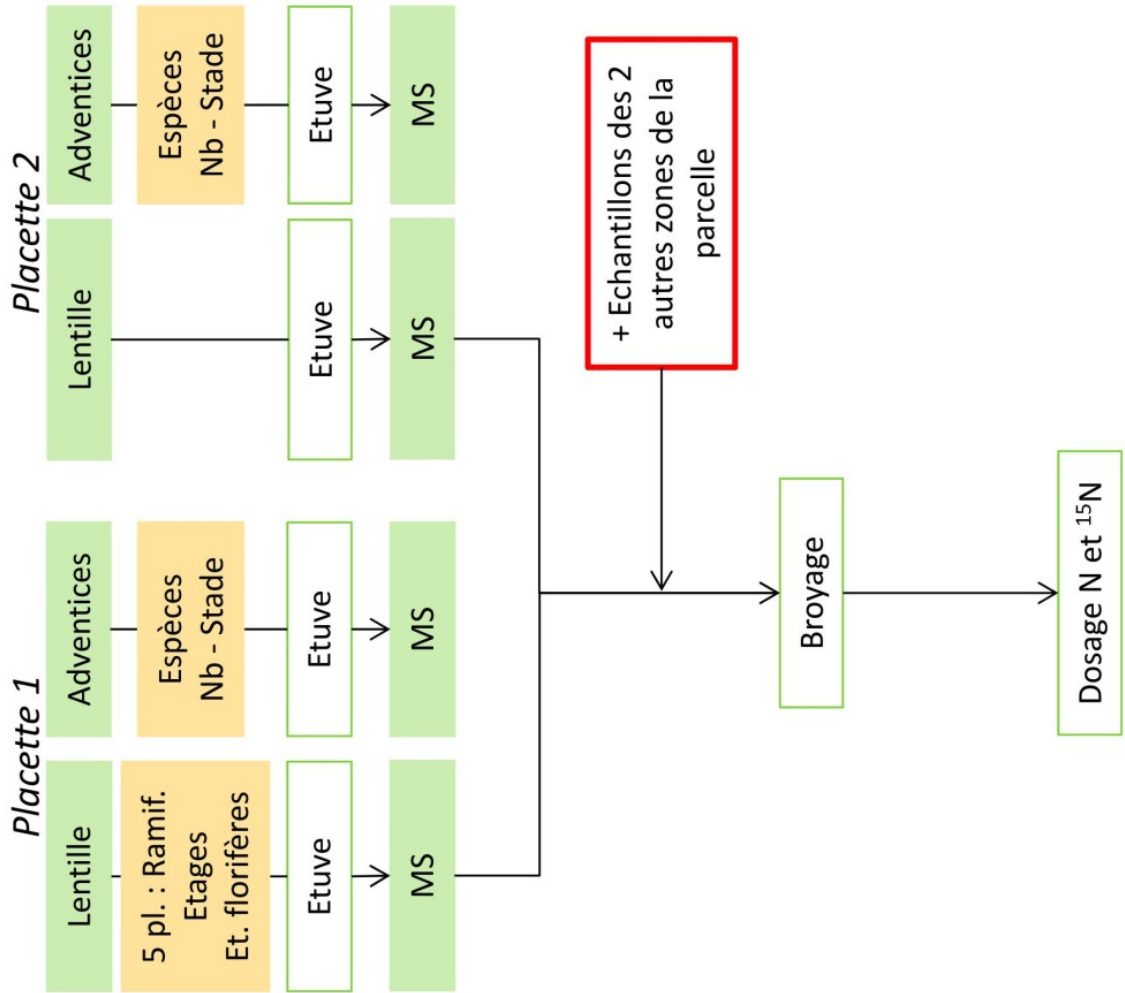
Plantule	Stade végétatif	Floraison	Grenaison
A	B	C	D

5. Mettre à l'étuve à 80°C pendant 48h. Peser la MS immédiatement après refroidissement en sortie d'étuve. Sécher à part d'éventuelles adventices légumineuses.
6. Repasser à l'étuve avant broyage des adventices non-légumineuses.

LENTILLE - FLORAISON

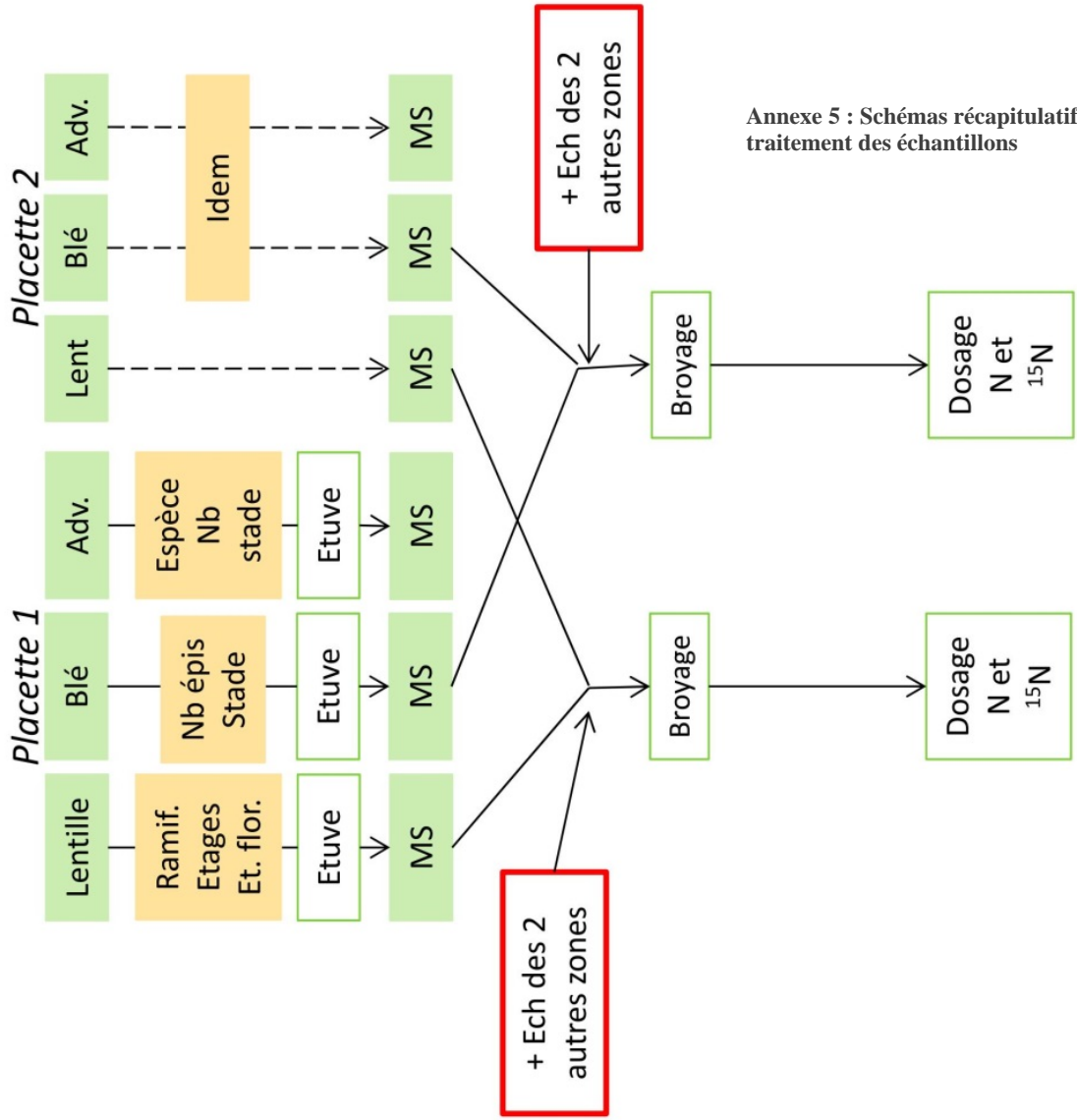
Lentille pure

Dans chacune des 3 zones de la parcelle



Association lentille-blé

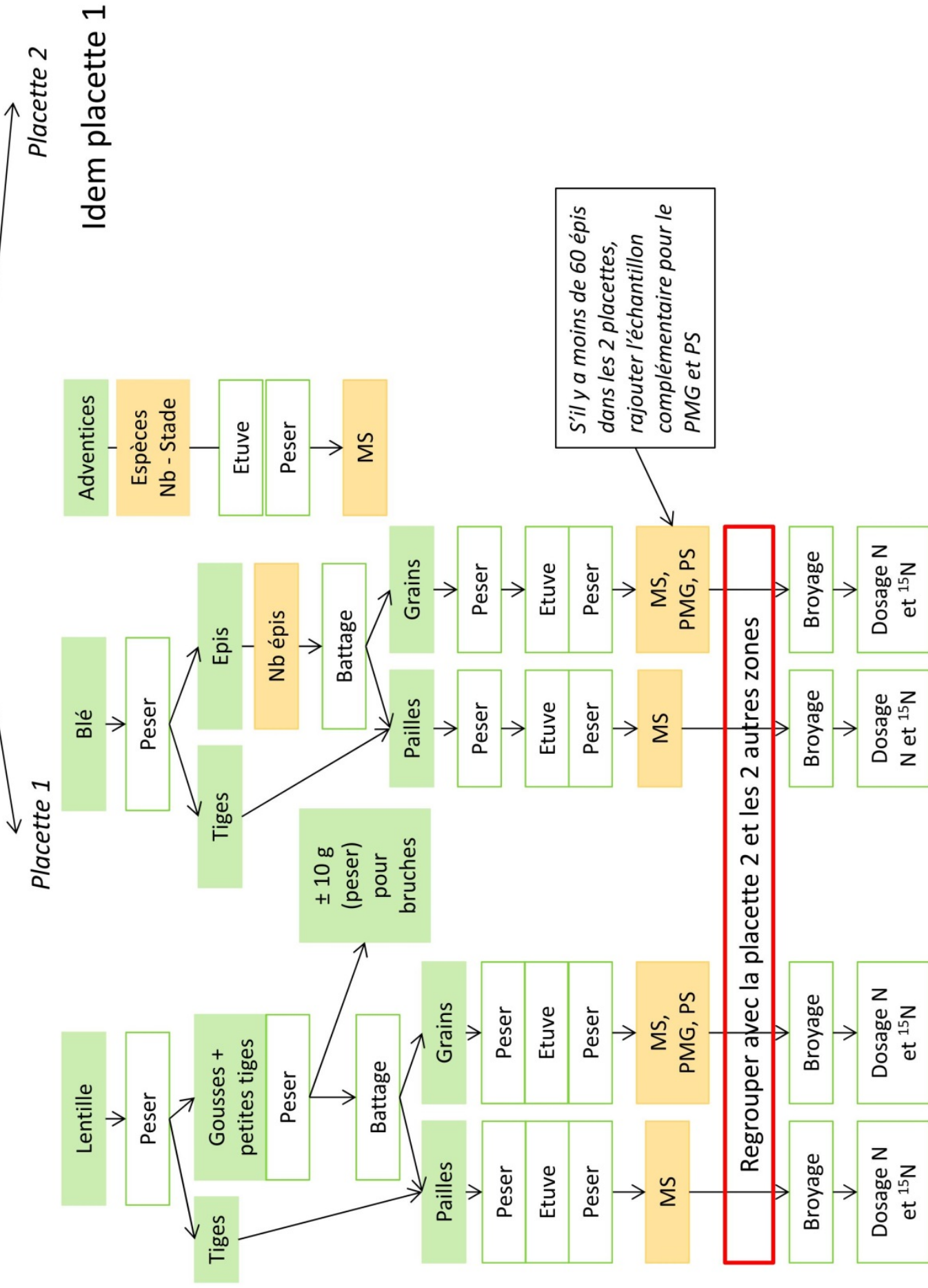
Dans chacune des 3 zones de la parcelle



Annexe 5 : Schémas récapitulatifs du traitement des échantillons

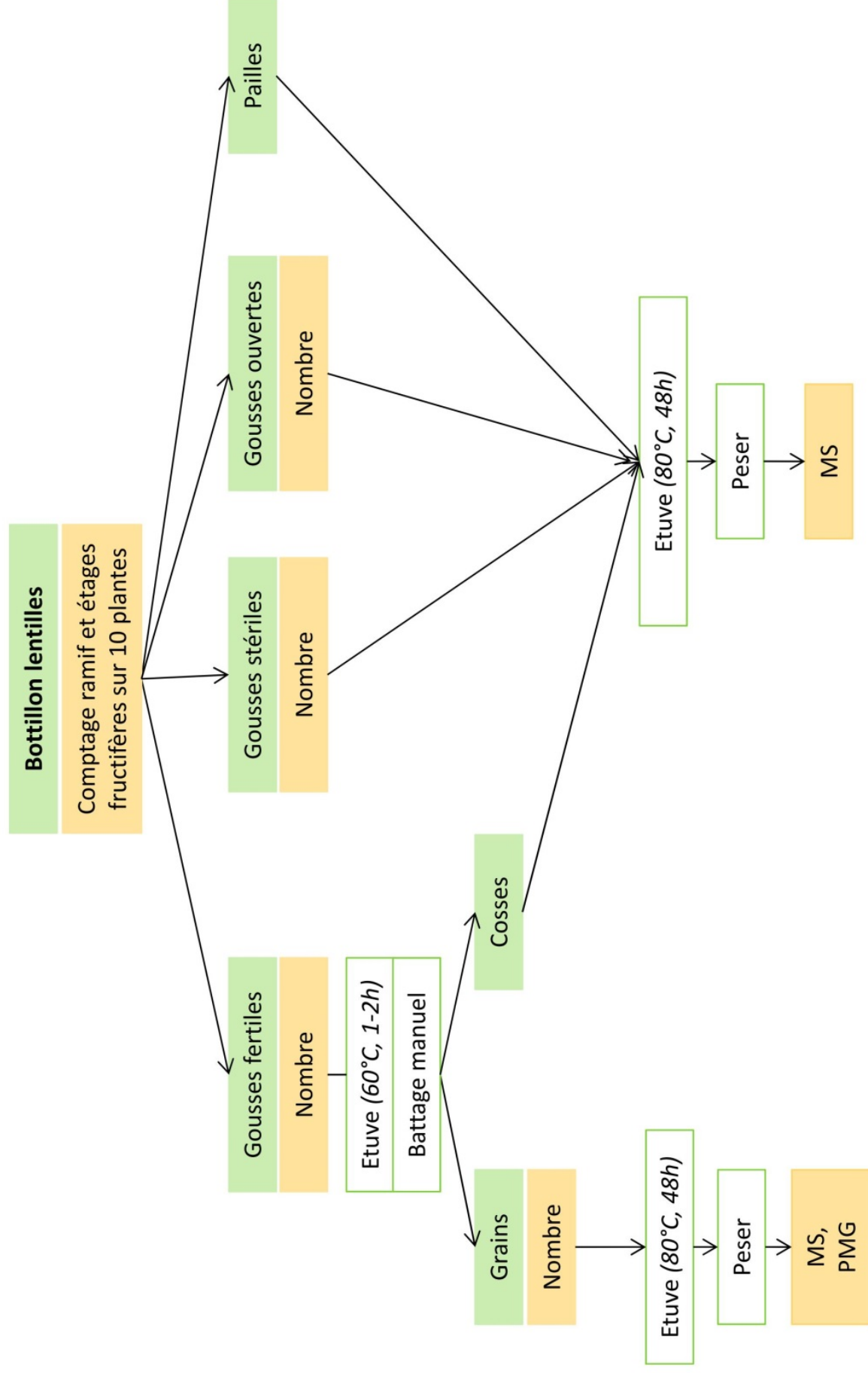
LENTILLE ET ASSOCIATION LENTILLE-BLE - MATURITE

Dans chacune des 3 zones de la parcelle



LENTILLE ET ASSOCIATION LENTILLE-BLE – MATURITE

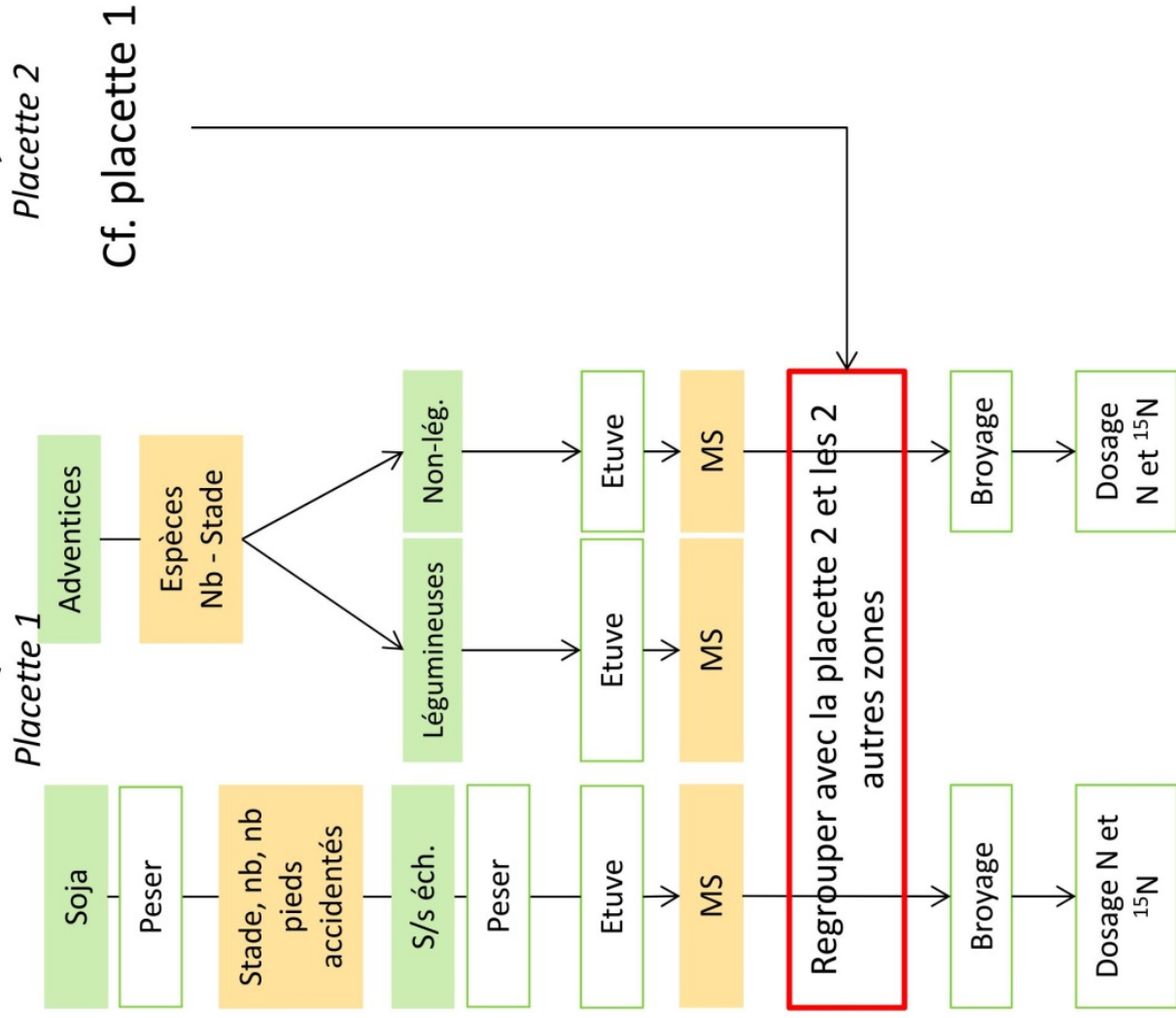
Composantes du rendement : bottillon de 15 plantes par parcelle



SOJA

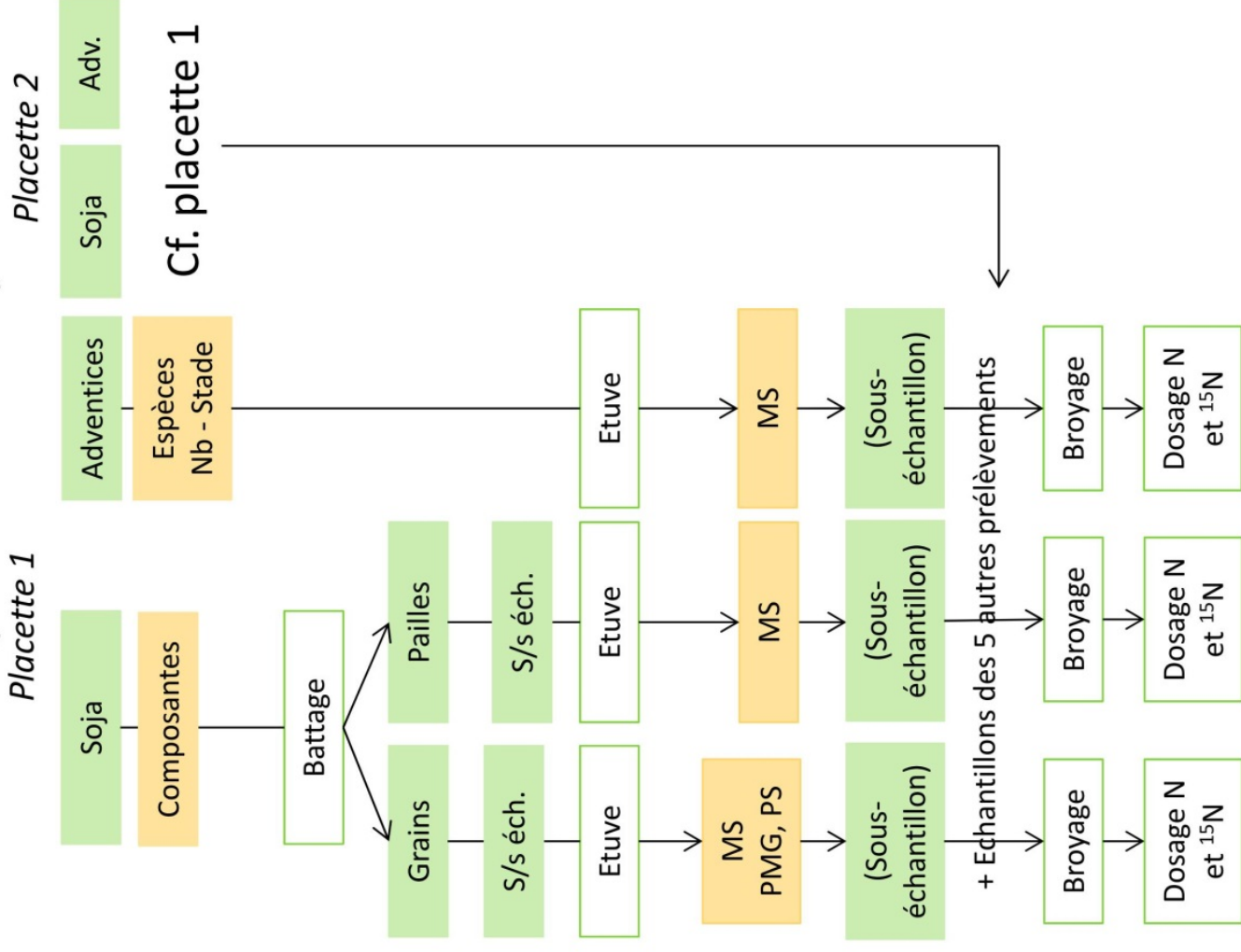
Floraison

Dans chacune des 3 zones de la parcelle

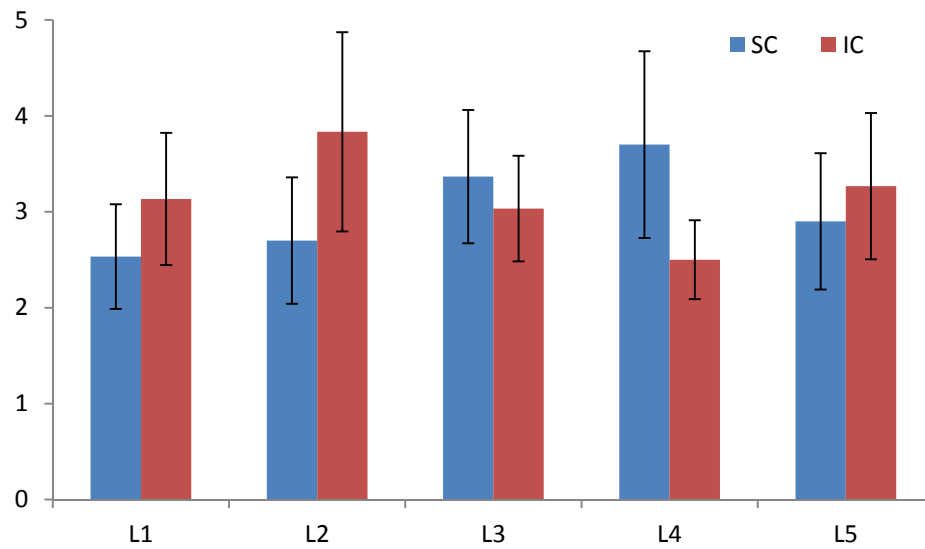


Maturité

Dans chacune des 3 zones de la parcelle

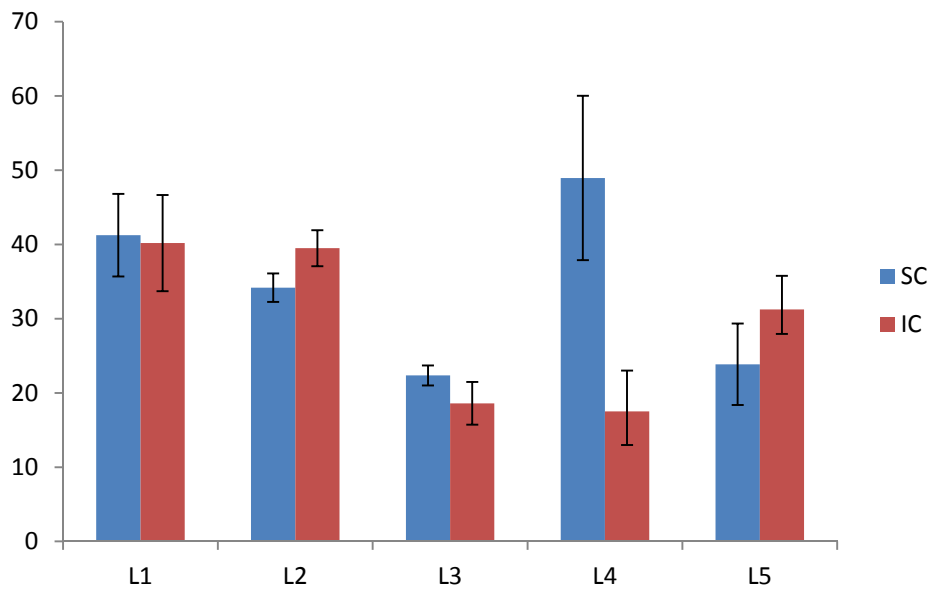


Annexe 6 : Composantes du rendement, morphologie et poids spécifique de la lentille



Nombre de ramifications par plante de lentille.

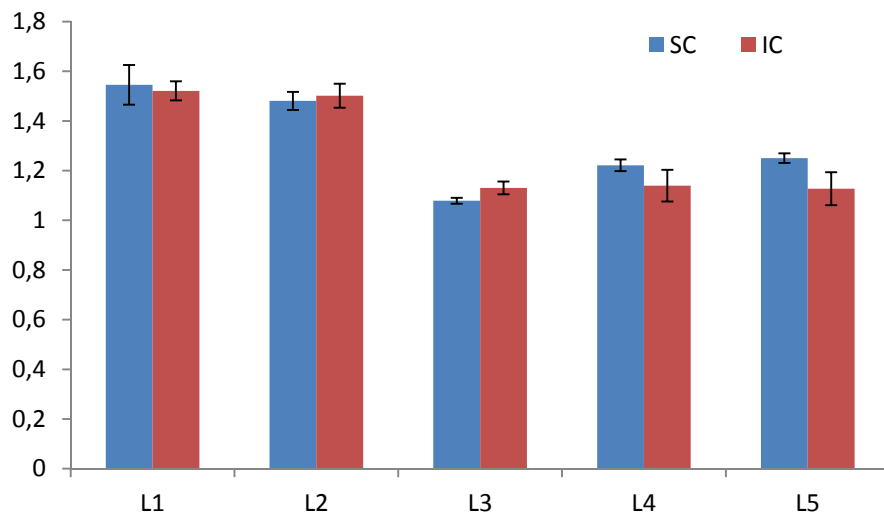
Les valeurs sont les moyennes (n=3) par zone des moyennes des 10 plantes étudiées \pm l'erreur standard.



Nombre de gousses fertiles par plante.

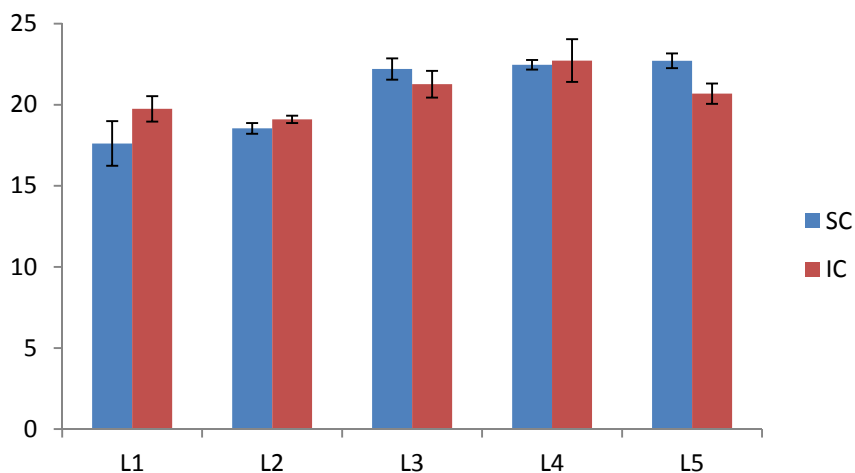
Moyennes (n=3) par parcelle \pm erreur standard, obtenues par comptage du nombre de gousses d'un échantillon de 15 plantes par zone.

NB : ce nombre de gousses prend en compte les gousses dont les grains sont tombés, au champ ou pendant le transport.



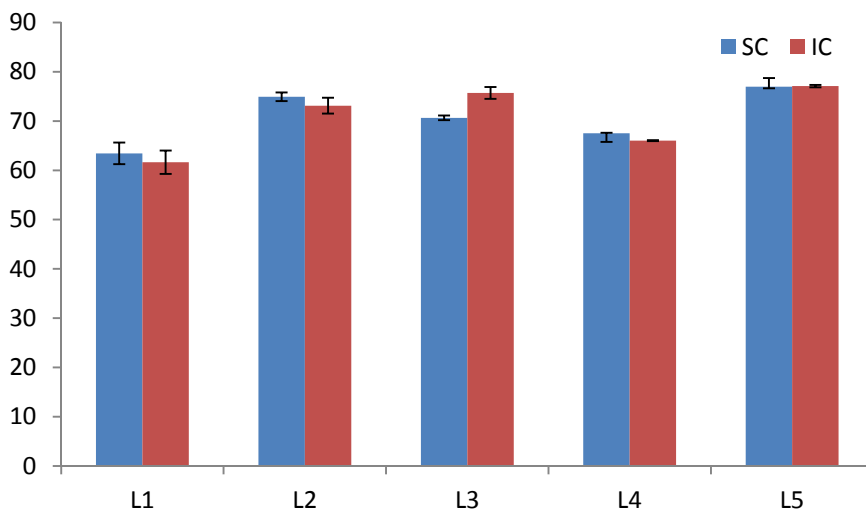
Nombre de grains par gousse fertile de lentille.

Moyennes (n=3) par parcelle du nombre de grains d'un échantillon de 15 plantes divisé par le nombre de gousses fertiles de ce même échantillon.



Poids de mille grains (g) de lentille.

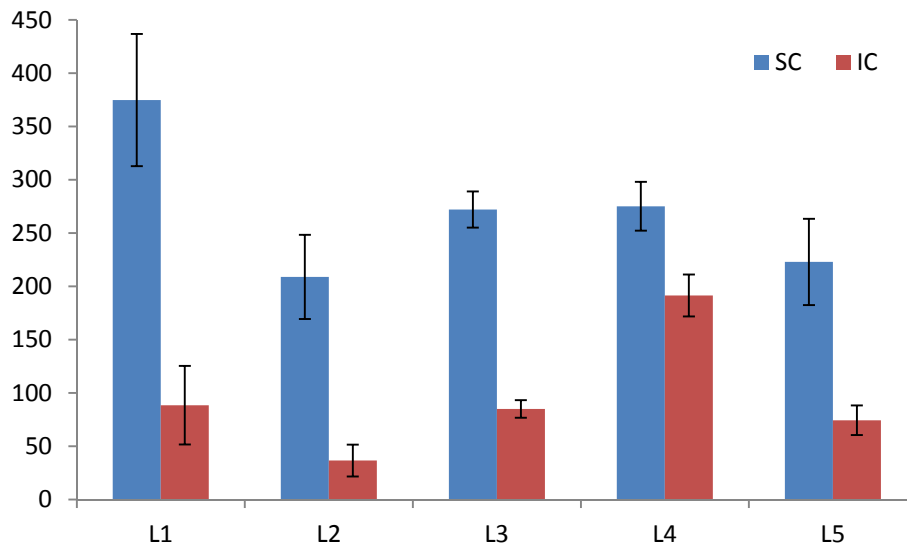
Moyennes par parcelle des PMG des 3 bottillons de 15 plantes et des 6 placettes.



Poids spécifique de la lentille, en kg/hL.

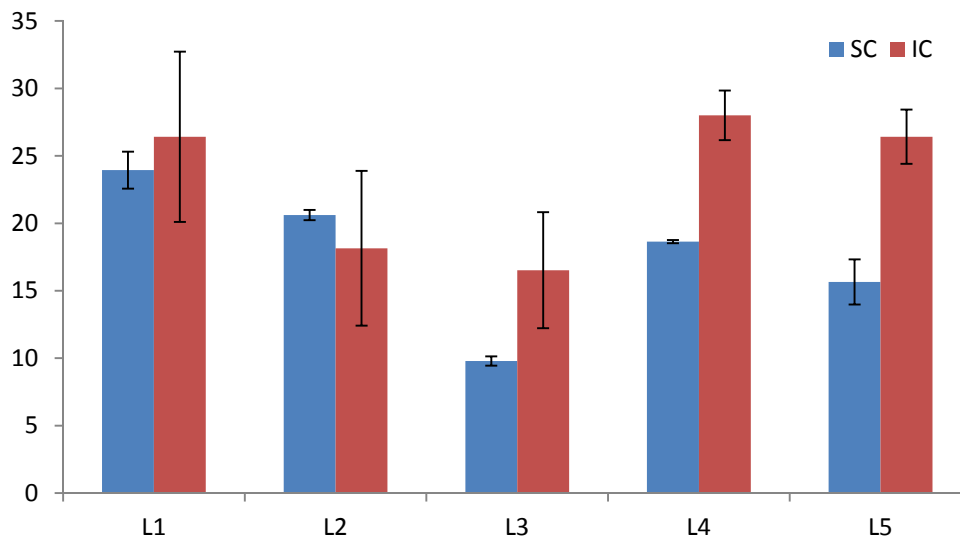
Les valeurs sont les moyennes de trois mesures par parcelle et modalité, ± l'erreur standard

Annexe 7 : Composantes du rendement et poids spécifiques du blé.



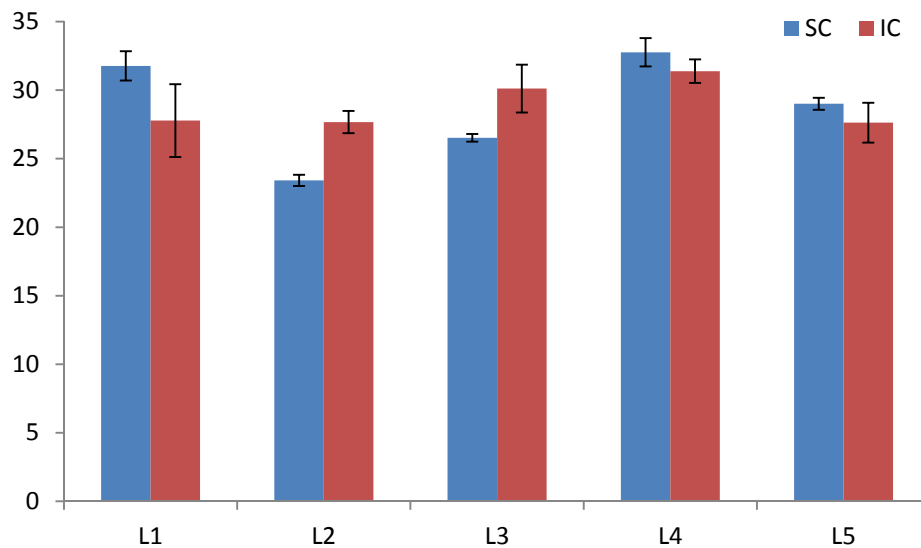
Nombre d'épis par m².

Comptages à maturité à partir des placettes de prélèvement (3 dans le blé SC et 2 par zone dans le blé IC).



Nombre de grains par épi de blé.

Comptages à maturité à partir des placettes de prélèvement (3 dans le blé SC et 2 par zone dans le blé IC).



Poids de mille grains de blé (g).

Comptages à maturité à partir des placettes de prélèvement (3 dans le blé SC et 2 par zone dans le blé IC).

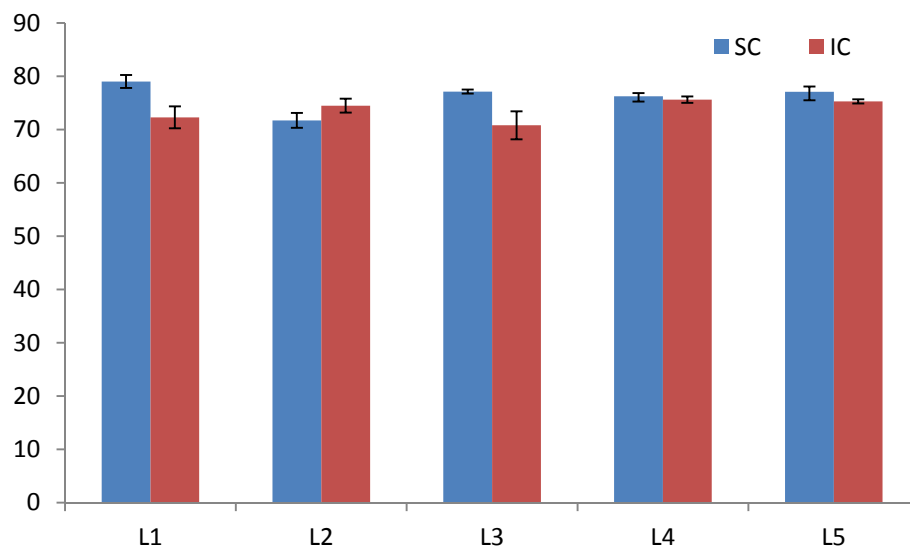
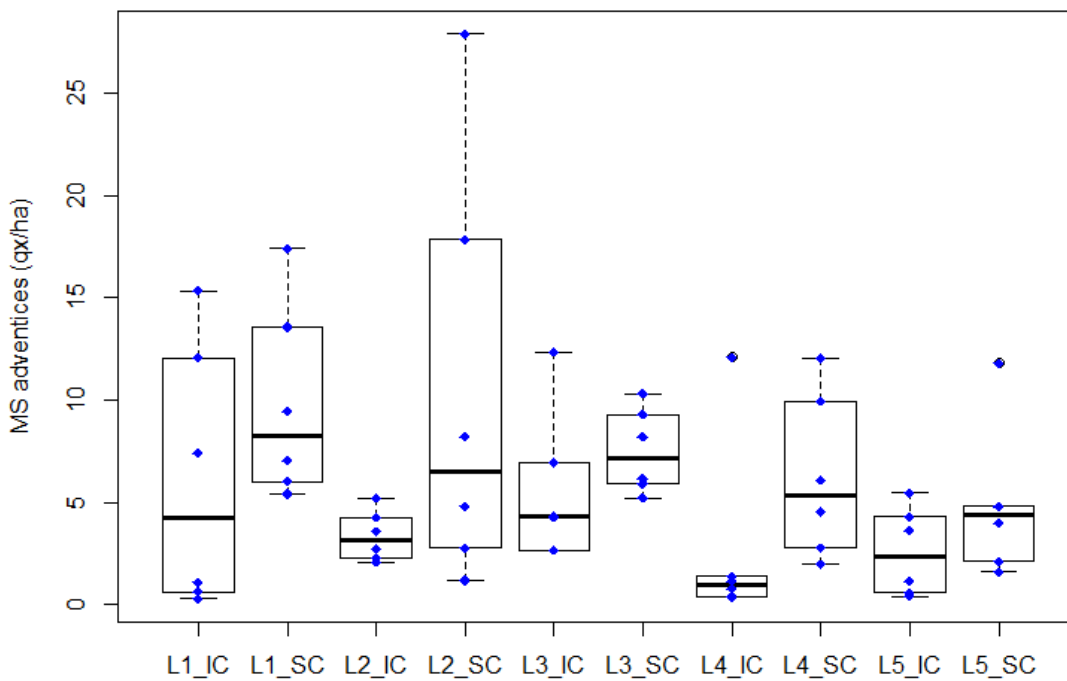
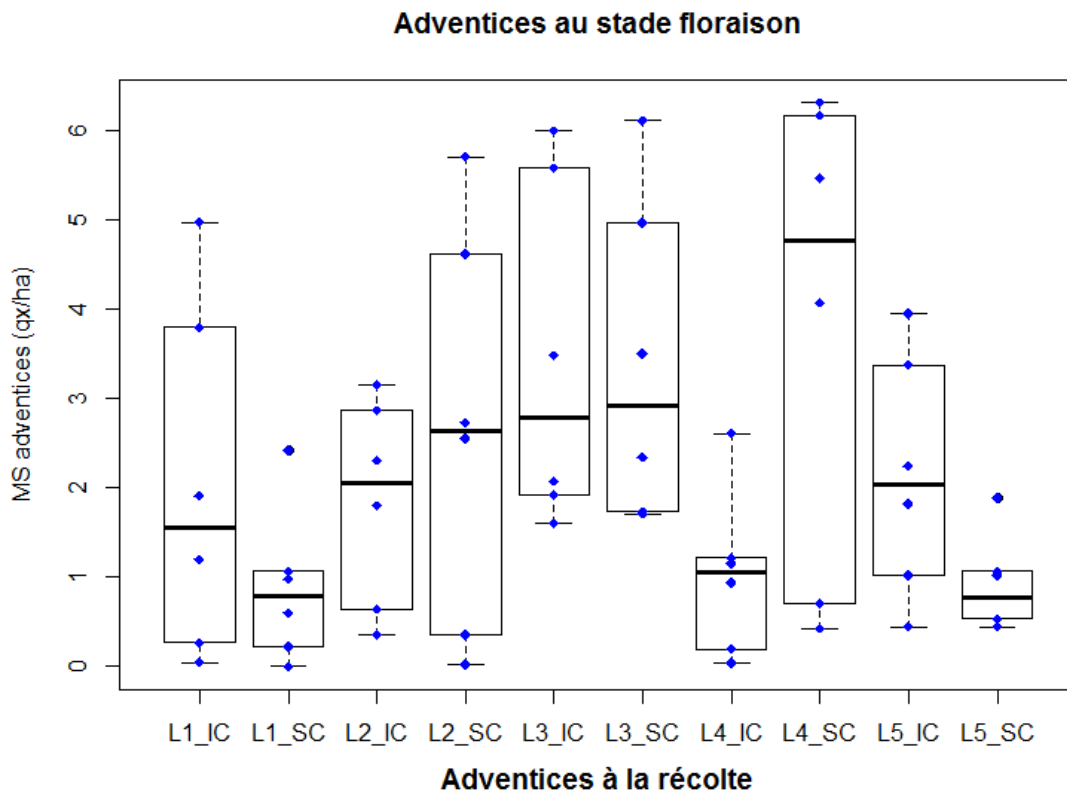


Figure 1 : Poids spécifique du blé, en kg/hL.

Les valeurs sont les moyennes de trois mesures par parcelle et modalité, \pm l'erreur standard

Annexe 8 : Biomasses adventices aux stades floraison et maturité.



Biomasses des adventices à la floraison et à la récolte.

Les points bleus représentent les valeurs individuelles prises par les six prélèvements de chaque parcelle.

Annexe 9 : Principales espèces adventices rencontrées dans les parcelles.

RÉSUMÉ

Les légumineuses représentent aujourd'hui moins de 2 % des surfaces européennes en grandes cultures. Cependant, leur capacité à fixer l'azote atmosphérique leur confère un certain nombre d'avantages agronomiques. Leur insertion dans les systèmes de culture est donc un levier essentiel de réponse aux changements globaux.

Dans le cadre du projet ANR LEGITIMES, un observatoire de parcelles d'adhérents de la coopérative Qualisol en Midi-Pyrénées a été constitué en 2015 pour étudier les performances de la lentille et du soja en conditions agricoles selon différents modes d'insertion. La lentille a été suivie en AB en culture pure ou associée avec du blé, et le soja en agriculture conventionnelle ou AB.

Les rendements sur pied en lentille pure ont peu varié entre les parcelles. En association, la contribution de chacune des deux espèces dans le rendement final est variable, mais l'association est toujours plus efficace que les cultures pures pour la production de grains. Lorsque le blé est assez dense, on observe une réduction de l'enherbement et de la verse dans l'association par rapport à la lentille pure. D'autre part, le blé cultivé associé à la lentille présente un meilleur taux protéique qu'un blé cultivé seul.

Ces résultats devront être confirmés par la répétition de l'observatoire une deuxième année, incluant l'étude de l'effet précédent des légumineuses sur la culture suivante.

Legumes currently cover less than 2% of European cropping area. However, legumes provide a number of agronomic benefits thanks to their ability to fix atmospheric nitrogen. Their insertion into cropping systems is thus a key lever for addressing global change.

As part of the french project LEGITIMES, a field observatory has been set up in 2015 among members of the cooperative Qualisol (Midi-Pyrénées), in order to study performances of lentil and soybean crops introduced under various management strategies. Lentil crops have been studied in organic farming as sole crop and intercropped with wheat, and soybean in conventional or organic farming.

Sole crop lentil showed similar yields across plots under study. Contribution of the two intercropped species in the final yield was variable, but intercrops were indeed always more efficient than sole crops for grain production. When associated wheat density was high enough, weed abundance and lodging in the intercrop was reduced compared to lentil sole crops. Moreover, intercropped wheat showed higher protein rates than sole crop wheat.

This work will be continued through repeating the observations for a second year, and evaluating the legume preceding effect on the next crop.