

EFFET DES MODES D'INSERTION ET DES CONDUITES DE LEGUMINEUSES SUR LA GESTION DES ADVENTICES



Stage du 7 avril au 21 août 2015

Lieu : UMR Agronomie
INRA de Versailles-Grignon
Avenue Lucien Brétignères
78 850 THIVERVAL-GRIGNON

Confidentiel : non

Marie REDON

**Organisme : UMR Agronomie
INRA**

Maître de stage : Mme Safia MEDIENE

Tutrice pédagogique : Mme Laure PERCHEPIED

ENGAGEMENT DE NON PLAGIAT

Je, soussigné(e)déclare être pleinement conscient(e) que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiée sur toutes formes de support, y compris l'internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée.

En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce rapport ou mémoire.

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je tiens à remercier ma maîtresse de stage et enseignant-chercheur, Safia Médiène, pour sa gentillesse, son accueil, sa pédagogie et la confiance qu'elle a pu m'accorder, mais aussi pour le temps qu'elle m'a consacré malgré son emploi du temps chargé. Merci également pour avoir partagé ses connaissances agronomiques et botaniques, notamment lors de la détermination des espèces inconnues.

Je tiens aussi à adresser un grand merci à Diana Doisy pour sa bienveillance et son aide précieuse pendant toute la rédaction du rapport et particulièrement concernant les traitements statistiques. Merci Diana pour ta disponibilité et pour tes conseils avisés !

Merci également à Laure Perchepied, ma tutrice pédagogique, pour avoir répondu à mes questions tout au long du stage.

Je remercie aussi Mathieu Bazot et Arnaud Butier de l'équipe technique, ainsi qu' Yvan Guiarvarc'h de l'IUT de Brest pour les très bons moments partagés ensemble, notamment sur le terrain. Des aventures et mésaventures qui pourraient constituer ce qu'on appellerait un livre d'or du projet Légitimes. Merci pour votre humour à tous les trois !

Je tiens également à remercier Elise Pelzer, chargée de recherche à l'UMR Agronomie, pour son aide dans la préparation de mon oral de concours et pour avoir répondu à mes questions sur le projet. Je remercie aussi Martine Mauline, Nicolas Carton et Clarisse Blanchard, l'équipe de l'ESA d'Angers, associée au même projet, pour l'organisation du planning et les échanges d'informations.

Un grand merci aussi à Damien Beillouin, doctorant, pour sa relecture intransigeante et ses conseils de rédaction, ainsi que pour sa précieuse aide concernant les statistiques.

Je remercie également Corentin Barbu de m'avoir accueillie dans son bureau et d'avoir partagé ses nombreuses connaissances.

Mille mercis à Michèle Fanucci de l'administratif pour sa formidable gentillesse et sa patience vis-à-vis de toutes mes sollicitations pour chacune de mes démarches.

Enfin, j'aimerais remercier toutes les personnes qui ont contribué à mon intégration au sein de l'unité et à la réussite de mon stage. Merci à toute la troupe de joyeux lurons des midis à la cantine pour tous ces bons moments passés et ces savoirs agronomiques partagés.

Table des matières

Table des figures.....	5
Table des tableaux.....	5
Introduction.....	2
I. Présentation de l'organisme d'accueil : l'Unité Mixte de Recherche (UMR) Agronomie.....	4
II. Contexte d'étude :	6
II.1. Place des légumineuses dans les systèmes de culture.....	6
II. 2. Rôle dans la gestion des adventices.....	8
III. Présentation du projet Légitimes :.....	10
IV. Problématique du stage :.....	12
V. Méthodologie.....	14
V.1. Présentation du dispositif suivi.....	14
V. 1a. Réseaux de parcelles des 2 observatoires.....	14
V. 1b. Enquêtes.....	16
V. 2. Observations de la flore adventice.....	16
V. 3. Analyse des données.....	18
V. 3a. Choix de la liste d'espèces pour l'analyse.....	18
V. 3b. Traitement statistique.....	18
VI. Résultats.....	22
VI. 1. OBSERVATOIRE DE BOURGOGNE.....	22
VI. 1a. Comparaison des indices de diversité.....	22
VI. 1b. Mise en évidence de l'effet parcelle.....	26
VI. 1c Répartition des espèces en fonction du mode d'insertion.....	26
VI. 1d. Analyse des espèces par conduite pour chaque culture.....	28
VI. 1e. Evolution de la flore en fonction du stade physiologique de la culture.....	30
VI. 2. OBSERVATOIRE DE PAYS DE LOIRE.....	34
VI. 2a. Comparaison des indices de diversité.....	34
VI. 2b. Mise en évidence de l'effet parcelle.....	36
VI. 2c. Répartition des espèces en fonction du mode d'insertion.....	36
VI. 2d. Analyse des espèces pour chaque culture en zone désherbée.....	38
VII. Discussion.....	40
VII. 1. OBSERVATOIRE DE BOURGOGNE.....	40
VII. 1a. Comparaison des indices de diversité.....	40
VII. 1b. Mise en évidence de l'effet parcelle.....	42
VII. 1c. Analyse des espèces par conduite pour chaque culture.....	42
VII. 1d. Evolution de la flore en fonction du stade physiologique de la culture.....	46

VII. 2. OBSERVATOIRE DE PAYS DE LOIRE.....	48
VII. 2a. Comparaison des indices de diversité	48
VII. 2b. Mise en évidence de l'effet parcelle	48
VII. 2c. Analyse des espèces par conduite pour chaque culture en zone désherbée	48
VII. 2d. Evolution de la flore en fonction du stade physiologique de la culture.....	50
Conclusion	52
Références bibliographiques.....	54
Table des annexes.....	58
Annexes.....	60

Table des figures

Figure 1 : Observatoires du projet Légitimes	9
Figure 2 : Dispositif type d'une parcelle de Pays-de-Loire	13
Figure 3 : Dispositif type d'une parcelle de Bourgogne	13
Figure 4 : Schéma expérimental	19
Figure 5 : Comparaison des cultures pour chaque indice	21
Figure 6 : Comparaison des conduites pour chaque indice	21
Figure 7 : Comparaison de l'abondance en adventices pour chaque culture, chaque conduite et en considérant les deux stades de relevés	23
Figure 8 : Analyse discriminante des espèces relevées pour l'observatoire de Bourgogne en fonction de la légumineuse et de sa conduite	25
Figure 9 : Comparaison de l'abondance en adventices pour chaque parcelle de Bourgogne	25
Figure 10 : Comparaison des conduites pour la culture de pois en fonction de l'abondance relative de chaque espèce	27
Figure 11 : Abondance totale par espèce en luzerne biologique avant chaque fauche	29
Figure 12 : Abondance totale par espèce en luzerne conventionnelle avant chaque fauche	30
Figure 13 : Comparaison de l'abondance en adventices entre la culture pure et l'association en considérant les deux stades de relevés	33
Figure 14 : Comparaison de la culture pure et de l'association pour chaque indice de diversité.....	33
Figure 15 : Comparaison de l'abondance en adventices pour chaque parcelle de Pays-de-Loire	35
Figure 16 : Comparaison du lupin pur et du lupin en association (zone désherbée) en fonction de l'abondance relative de chaque espèce.....	37

Table des tableaux

Tableau 1 : Représentation schématique de la problématique	11
Tableau 2 : Descriptif du réseau d'observation.....	15
Tableau 3 : Adaptation de l'échelle de Barralis.....	15
Tableau 4 : Choix de correspondance entre échelle de Barralis et nombre d'individus par m ²	17
Tableau 5 : Récapitulatif de l'ANOVA indiquant les effets significatifs des variables pour les quatre indices de diversité - Observatoire de Bourgogne	22
Tableau 6 : Comparaison de l'effet des conduites en fonction du stade de développement de la culture considérée	23
Tableau 7 : Liste des espèces observées pour chaque culture dans l'observatoire de Bourgogne (total de 50 espèces)	26
Tableau 8 : Liste des espèces relevées dans le pois en fonction de la conduite	28
Tableau 9 : Liste des espèces de luzerne biologique en fonction du stade de relevé	30
Tableau 10 : Liste des espèces de luzerne conventionnelle en fonction du stade de relevé	32
Tableau 11 : Récapitulatif de l'ANOVA indiquant les effets significatifs des variables pour les quatre indices de diversité - Observatoire des Pays-de-Loire	34
Tableau 12 : Liste des espèces observées dans l'observatoire des Pays-de-Loire (total de 52 espèces)	36
Tableau 13 : Liste des espèces observées en zone désherbée (total de 47 espèces)	38

Introduction

Face aux changements climatiques, géopolitiques et économiques attendus et observés, le monde agricole doit s'orienter vers une modification de ses systèmes de production. Ceci passe par la mise en place d'une agriculture plus efficiente reposant sur des principes écologiques fondamentaux, nécessaires à la prise en compte de la raréfaction de certaines ressources (eau, énergies fossiles) mais aussi des impacts environnementaux produits (émission de gaz à effets de serre, pollution azotée et par les pesticides des cours d'eau et des nappes souterraines) (IFEN, 2006).

Cette intensification écologique (Griffon 2007) peut s'appuyer sur la valorisation des services écosystémiques rendus par l'implantation de cultures de légumineuses : fixation symbiotique de l'azote atmosphérique, effets bénéfiques sur la culture suivante, intérêts nutritionnels (Nathalie Munier-Jolain et Carrouée 2003). Cependant, il faut admettre que leur déclin voire leur disparition en France n'est pas négligeable en ce qui concerne la proportion qu'elles occupent dans les surfaces agricoles actuelles : on estime à 2% des terres arables la surface de légumineuses à graines protéagineuses en France (Duc et al. 2010) . De plus, en 2011, les légumineuses n'étaient incluses que dans 10% des rotations (source *Agreste*). Plusieurs études montrent que ceci peut être dû à l'insuffisance des connaissances des acteurs concernés à propos de leurs atouts, mais aussi au manque de valorisation économique par rapport aux principales espèces cultivées comme le blé ou l'orge (Meynard et al. 2013). Les travaux de recherche sur la possibilité de réintroduction des légumineuses dans les systèmes de production se développent : c'est dans ce cadre que se positionne le sujet de mon stage à l'INRA.

I. Présentation de l'organisme d'accueil : l'Unité Mixte de Recherche (UMR) Agronomie

Lors de mon stage, j'ai été accueillie dans l'UMR Agronomie de l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) de Versailles-Grignon (sur le site de Grignon). L'INRA, premier organisme de recherche agronomique d'Europe, a pour principal but de produire et diffuser des connaissances scientifiques en recherche appliquée afin de répondre aux besoins des agriculteurs. Avec un enjeu majeur de développement durable, l'institut a pour mission de développer des stratégies agronomiques permettant d'assurer l'alimentation mondiale de demain et de valoriser les territoires tout en prenant en compte les défis que constituent l'épuisement des ressources fossiles et les changements climatiques.

Au sein de l'INRA, l'UMR Agronomie a pour but de fournir des connaissances et des outils relatifs à la création et l'évaluation de systèmes de culture durables. Les recherches s'articulent autour de 3 thèmes scientifiques :

- les régulations biologiques à l'échelle de la parcelle et du paysage, thème sur lequel travaille mon encadrante de stage et dans lequel se positionne mon stage
- la conception et l'évaluation de systèmes de cultures adaptés à des contextes variés
- l'évaluation à l'échelle globale des performances et des impacts des systèmes de cultures mondiaux actuels et futurs

II. Contexte d'étude :

II.1. Place des légumineuses dans les systèmes de culture

Avec l'intensification de l'agriculture depuis le milieu du XX^{ème} siècle, les surfaces de légumineuses cultivées (légumineuses à graines comme le pois et légumineuse fourragères comme la luzerne) n'ont pas cessé de décliner, jusqu'à atteindre 3% des grandes cultures françaises et européennes (Voisin et al. 2013). Cette évolution s'est faite dans le sens d'un raccourcissement des rotations en faveur d'espèces cultivées permettant la meilleure rentabilité à court terme, et au détriment d'espèces à l'origine d'autres services écosystémiques comme les légumineuses. Cependant, encouragé par une volonté de transition vers une agriculture plus durable, on note aujourd'hui un regain d'engouement pour ce type d'espèces. Ce sursaut écologique se heurte cependant à une organisation des filières construite à partir du système bâti ces cinquante dernières années et qui est pour le moment non propice à une intégration des légumineuses. Ainsi, il semble que les agriculteurs soient assez réticents à l'implantation de davantage de légumineuses, justifiant leur position par le fait qu'elles ne sont pas assez attractives économiquement par rapport aux céréales et qu'elles ont une moins bonne stabilité de rendement (Voisin et al. 2013)

Au sein des systèmes de culture, les légumineuses (ou Fabacées) constituent une famille de plantes dicotylédones bien à part : en effet, elles fixent l'azote atmosphérique grâce à des nodosités formées sur leurs racines au sein desquels se déroule une symbiose avec des bactéries du sol appelées rhizobium. Ainsi, les légumineuses ne nécessitent pas d'apport d'engrais azotés pendant leur cycle de développement. Elles permettent également une économie pour les cultures suivantes par l'enrichissement du sol en azote qu'elles assurent. Dans un contexte de développement durable, cette particularité devient un avantage capital au vu de l'impact environnemental négatif de l'utilisation des engrais azotés. Pour les systèmes en agriculture biologique sans élevage et donc pour lesquels les apports d'engrais azotés sont souvent coûteux, cette nutrition azotée « gratuite » du sol est d'autant plus essentielle (Malezieux et al. 2009).

Par ailleurs, au vu des systèmes de cultures actuels simplifiés à un nombre très restreints d'espèces, l'introduction de légumineuses dans les rotations permet une diversification des cultures et ainsi une baisse de la pression des ravageurs. Adventices, pathogènes et insectes se voient ainsi rompre leur cycle de développement.

Enfin, les légumineuses à graines telles que le soja, le pois ou le lupin, constituent une source importante de protéines végétales pour l'alimentation animale (apports indispensables d'acides aminés essentiels), mais aussi humaine de par leur statut de féculent et leur richesse en amidon et en fibres (Mollier 2014).

Cependant, les légumineuses à graines qui sont les plus représentées dans les systèmes de culture par rapport aux légumineuses fourragères (luzerne) posent tout de même des problèmes de gestion tout au long de leur implantation. Souvent réputées peu compétitives vis-à-vis des adventices comme c'est le cas pour le pois, leur rendement peut être réduit du fait d'une pression biotique trop importante.

Une des solutions de plus en plus mises en avant par les principes de l'agroécologie est de favoriser la biodiversité au sein des systèmes cultivés, notamment grâce à l'implantation de cultures en association. L'association consiste à cultiver au moins deux cultures simultanément sur la même surface (Willey 1979). Elles peuvent être semées et/ou récoltées à des dates différentes mais une partie significative de leur croissance doit se dérouler de manière conjointe. Elles permettent une production de biomasse plus constante en réduisant les risques de perte de rendement. Ceci est particulièrement crucial dans les régions sensibles aux aléas climatiques afin d'assurer un minimum de revenus aux agriculteurs (Malezieux et al. 2009). De plus, la pression des ravageurs est fortement réduite grâce à l'augmentation de la diversité génétique mais également de l'importance de la biomasse qui constitue une barrière physique non négligeable. En outre, les associations céréales-légumineuses font partie des plus plébiscitées par les agriculteurs car elles permettent d'augmenter le taux protéique de la céréale associée par rapport à celle cultivée en pure (Bedoussac et al. 2015).

Le phénomène de facilitation a également été observé entre les espèces associées : celles-ci partagent en effet un même espace et l'on parle de facilitation lorsqu'au moins une des plantes en association interagit avec les autres de manière positive. C'est souvent le cas lorsque l'on a plusieurs systèmes racinaires différents en présence qui permettent un meilleur accès aux nutriments et à l'eau aux plantes associées. Il s'agit de mutualisme lorsque la facilitation est exercée par au moins deux plantes complémentaires. (Malezieux et al. 2009). Il a ainsi été montré que plus la complémentarité entre les espèces cultivées est importante, plus elle permet d'optimiser l'acquisition des ressources essentielles aux besoins des cultures. Ces ressources sont alors moins accessibles pour les plantes non désirées comme les adventices (Liebman et Dyck 1993).

II. 2. Rôle dans la gestion des adventices

Alors que la réputation des légumineuses n'est plus à faire concernant leurs intérêts quant à la fertilisation azotée, elles permettent également de faciliter la gestion de la rotation dans sa globalité. C'est notamment le cas pour la maîtrise des adventices, ce qui est un point essentiel de l'amélioration des agroécosystèmes actuels. En effet, une pression adventice trop forte et un désherbage mal maîtrisé entraînent une concurrence vis-à-vis de la culture pour l'eau, la lumière et les nutriments qui constitue un facteur important de perte de rendement à l'échelle mondiale (selon Oerke 2006, en moyenne 34% de pertes de rendement). Dans une optique de réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires, il a été montré que l'introduction dans une rotation de cultures pluriannuelles telles qu'une luzerne modifie la flore adventice en place, ce qui permet de réduire l'usage d'herbicides pour les cultures suivantes (Nicolas Munier-Jolain et al. 2012). En effet, il a été observé une baisse du nombre d'adventices après une culture pluriannuelle, les graminées à germination hivernale problématiques des cultures céréalières étant particulièrement impactées. En effet, celles-ci sont soumises à un rythme de fauche plus ou moins important qui permet de rompre le cycle de développement de nombreuses adventices, notamment les espèces au port dressé (Meiss et al. 2010). La diminution des germinations est notamment permise grâce à la perturbation du développement des adventices par les fauches successives, à l'absence de travail du sol (condition favorable à la prédation par les organismes granivores, concentration du stock semencier en surface, développement préférentiel d'espèces vivaces) et à la réduction de leur croissance en biomasse due à la concurrence pour la lumière (Munier-Jolain et al. 2012). A l'inverse, les légumineuses annuelles à graines (pois, lupin, ...) sont connues pour être peu compétitives vis-à-vis des adventices. Par exemple, de par son système aérien grimpant, le pois ne permet pas d'utiliser le désherbage mécanique tel que le binage, ce qui constitue un problème majeur dans la gestion des adventices notamment en agriculture biologique. Un des enjeux de la recherche sur les légumineuses est donc d'identifier les modalités d'insertion des légumineuses (annuelles et pérennes) dans les systèmes de culture permettant de limiter le développement des adventices tout en assurant les autres services potentiels (apport d'azote en particulier). A ce jour, les associations de culture sont considérées comme une des solutions à la gestion du désherbage des légumineuses annuelles. Il a ainsi été souvent observé une réduction des adventices en association céréale-légumineuse plutôt qu'en légumineuse pure pour laquelle deux raisons principales ont été avancées :

- une compétition plus importante pour les ressources : eau, lumière, nutriments
- le phénomène d'allélopathie : inhibition de la croissance d'une plante grâce à l'émission de substances chimiques dans le sol ou dans l'air par une plante voisine (Malezieux et al. 2009)

De plus, l'enrichissement du sol en azote par les légumineuses est particulièrement favorable au développement des adventices. C'est pourquoi, les associer à une céréale peut permettre de contourner ce problème : en effet, il a été montré que les céréales sont plus compétitives que les légumineuses concernant la vitesse et la quantité d'azote absorbée. Elles épuisent ainsi plus facilement les ressources en azote mises à disposition par les légumineuses, qui sont alors moins accessibles aux adventices, ceci au détriment de leur développement (Corre-Hellou, Fustec, et Crozat 2006).

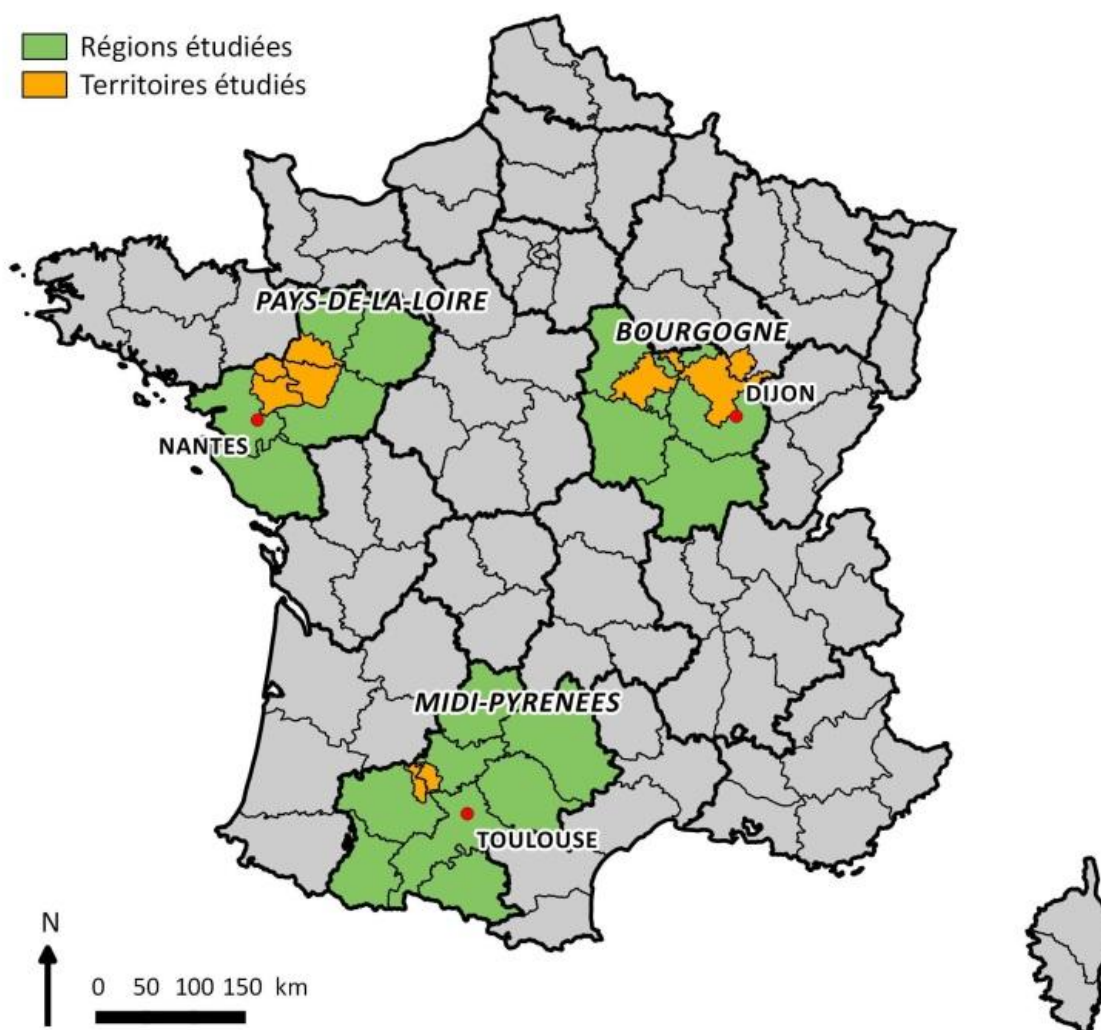


Figure 1 : Observatoires du projet Légitimes

III. Présentation du projet Légitimes :

Mon stage s'inscrit dans le cadre du projet LEGITIMES (LEGume Insertion in Territories to Induce Main Ecosystem Services), débuté fin 2014 et qui se terminera en 2017. L'objectif de ce projet est d'évaluer et de mettre en place les conditions d'une plus grande insertion des légumineuses dans les systèmes agricoles actuels, ceci à l'échelle de plusieurs territoires afin de tendre vers une agriculture durable, soucieuse de la gestion de ses ressources. L'essentiel du travail sera donc réalisé en collaboration avec les acteurs des territoires concernés, notamment agriculteurs et coopératives, afin de déterminer la manière de mettre en place ces scénarios d'insertion des légumineuses tout en assurant des débouchés économiquement viables (Meynard et al. 2013).

Pour cela, le projet s'articule autour de 3 axes principaux appelés « tâches » :

- T1 : analyse des raisons du déclin des légumineuses et mise en évidence des leviers de déverrouillage du système socio-technique actuel au niveau des exploitations agricoles et des filières
- T2 : acquisition, quantification et synthèse des services écosystémiques rendus par les légumineuses au sein des territoires d'étude en vue de les utiliser lors de la construction des scénarios territoriaux (étude de 2 ans, répétée 2 fois : performance de la légumineuse l'année n et réponse de la céréale suivante l'année n+1)
- T3 : construction des scénarios territoriaux comprenant des systèmes de cultures avec légumineuses, organisation des filières et évaluation des performances

Le projet est mené dans trois observatoires, correspondant à trois territoires en fonction desquels dépendent les modalités d'insertion des légumineuses étudiées (**Figure 1**). En effet, celles-ci ont été choisies de manière à correspondre aux besoins et aux spécificités des régions et des acteurs locaux :

- Pays-de-la-Loire : parcelles en agriculture conventionnelle uniquement (lupin d'hiver pur, lupin de printemps pur, lupin d'hiver en association avec du triticale)
- Bourgogne : parcelles en agriculture conventionnelle et en agriculture biologique (luzerne et pois de printemps pur)
- Midi-Pyrénées : parcelles en agriculture conventionnelle (soja pur) et en agriculture biologique (soja pur, lentille pure et lentille-blé)

Tableau 1 : Représentation schématique de la problématique

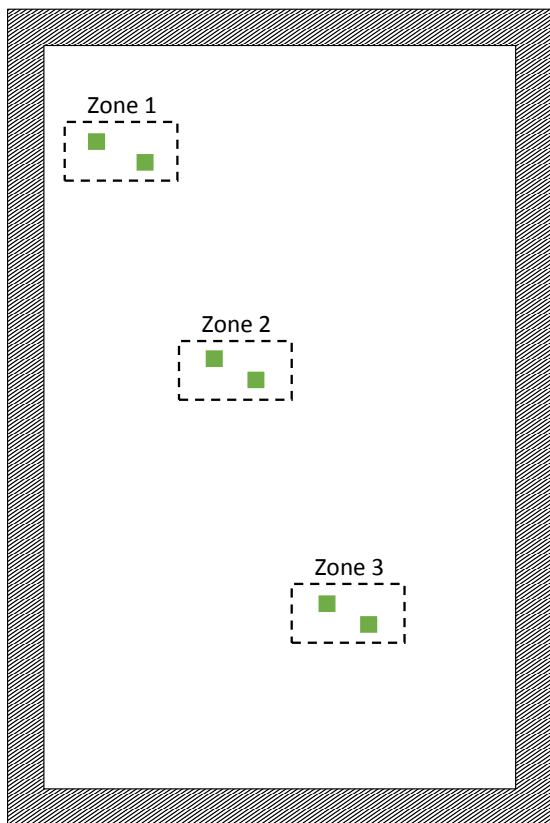
Contexte général	<ul style="list-style-type: none">• Limiter les impacts environnementaux de l'agriculture → Projet Ecophyto: réduire l'utilisation des produits phytosanitaires utilisés pour la gestion des adventices
Hypothèse	<ul style="list-style-type: none">• Il est possible de valoriser les services écosystémiques rendus par l'implantation de légumineuses pour gérer les adventices• Ces services dépendent de leur mode d'insertion
Objectif	<ul style="list-style-type: none">• Identifier et comparer les modalités d'insertion de légumineuses permettant de gérer au mieux les adventices
Démarche	<ul style="list-style-type: none">• Comparaison de la flore adventice en terme d'abondance et de diversité selon différents modes d'insertion et conduite des légumineuses

IV. Problématique du stage :

Ma thématique de stage est liée à la tâche T2.2 du projet et s'intitule « Services écosystémiques des légumineuses et leurs facteurs limitants ». Celle-ci a pour but de quantifier le panel de services offert par les légumineuses dans 3 territoires différents, correspondant aux 3 observatoires d'étude du projet. Cette tâche inclut également l'analyse de la variabilité et des facteurs limitants de ces services.

L'objectif de mon stage est de s'attacher en particulier à étudier les services écosystémiques rendus par les légumineuses en ce qui concerne la gestion des adventices (**Tableau 1**). Cette étude portera en particulier sur l'étude de l'influence de l'espèce (luzerne, pois, lupin), de son mode d'insertion (culture pluriannuelle, culture annuelle pure ou en association) et de sa conduite (agriculture biologique ou conventionnelle) sur les communautés adventices. Ainsi, il est tout particulièrement attendu de montrer en quoi il est intéressant de cultiver les légumineuses annuelles en association (lupin associé à du triticale) afin de limiter l'infestation par les adventices, dans un objectif d'une agriculture durable moins consommatrice de pesticides. De même, concernant la luzerne, l'hypothèse émise est que, s'agissant d'une culture pluriannuelle, elle permet une régulation biologique des adventices. Ainsi, l'infestation par les adventices devrait être plus importante dans le pois (espèce annuelle) que dans la luzerne.

Pour des raisons pratiques, mon stage n'inclut que les territoires de Bourgogne et de Pays-de-Loire, avec l'étude de la luzerne et du pois dans le premier et l'étude de l'association lupin-triticale dans le second. Je chercherai tout d'abord à comparer les effets des différents modes d'insertion et des conduites sur la gestion des adventices tant en abondance (nombre d'individus) qu'en richesse (nombre d'espèces présentes). Cette comparaison sera menée en fonction du stade de relevé et donc de développement de la culture afin d'éventuellement dégager une tendance temporelle. On s'attend par exemple à une meilleure compétitivité de la luzerne vis-à-vis des adventices après la première fauche de l'année plutôt qu'avant du fait de la non résistance de beaucoup d'adventices à la fauche. Il s'agira ensuite de déterminer si chaque espèce cultivée et chaque mode d'insertion mis en place montrent des gammes d'adventices caractéristiques : telle adventice est-elle spécifique de tel mode de culture donné ? On se demandera également si ces groupes d'adventices comportent des caractéristiques communes (type de port, annuelle/vivace, etc).






-  Zone de bordure, exclue du prélèvement
-  Zone de mesures
-  Placettes de prélèvement

Figure 3 : Dispositif type d'une parcelle de Bourgogne

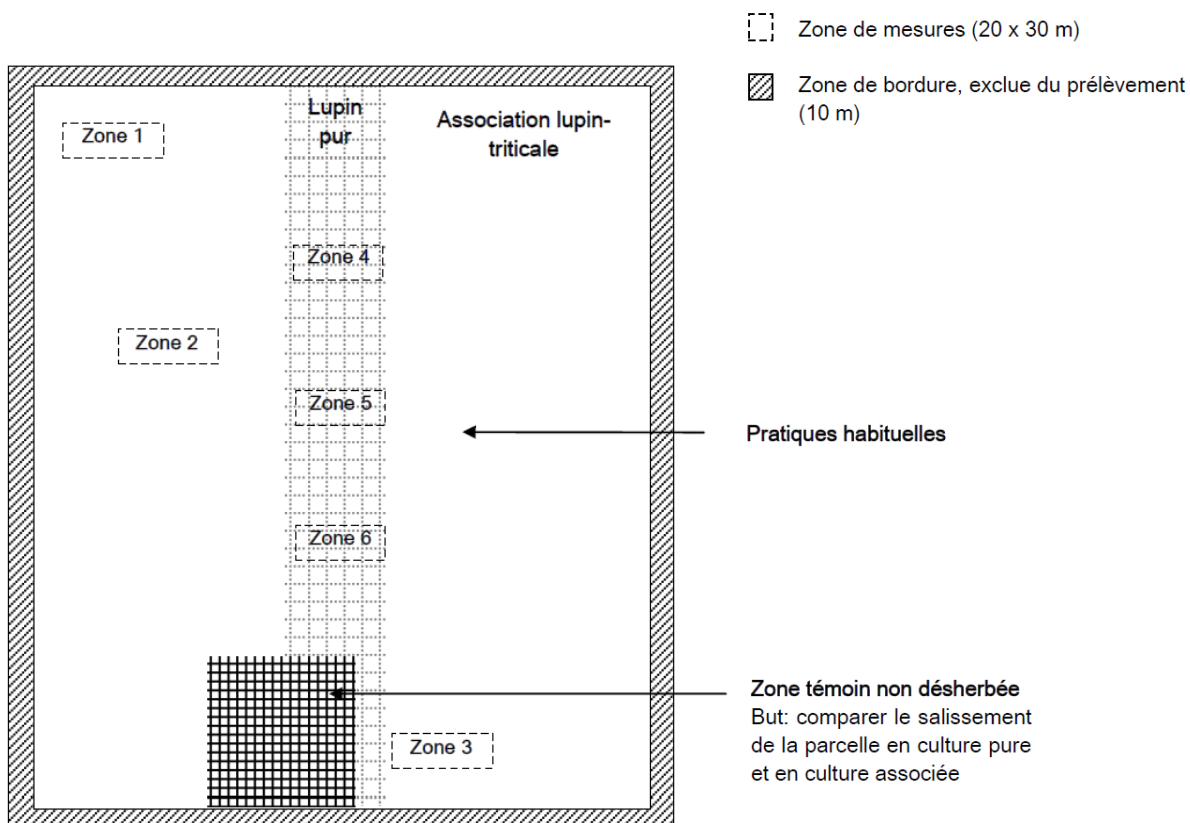


Figure 2 : Dispositif type d'une parcelle de Pays-de-Loire

V. Méthodologie

V.1. Présentation du dispositif suivi

V. 1a. Réseaux de parcelles des 2 observatoires

Mon stage comprend l'observatoire de Bourgogne dans sa totalité (23 parcelles) ainsi que les parcelles de Pays-de-Loire pour l'étude de l'association (5 parcelles avec modalités différentes au sein de ces parcelles). Le réseau est exclusivement constitué de parcelles d'agriculteurs, ceux-ci suivant leurs pratiques habituelles et certaines préconisations pour la mise en place des cultures (variétés, disposition).

En Bourgogne, deux légumineuses différentes ont été étudiées, le pois de printemps et la luzerne, en agriculture biologique et en agriculture conventionnelle, soit 4 modalités différentes pour cet observatoire. Dans chaque parcelle, 3 grandes zones d'observation ont été définies, chacune comprenant 2 placettes d'observation de 0.5 m² (soit 6 répétitions par parcelle) (**Figure 3**). De nouvelles placettes sont délimitées avant chaque nouveau stade de relevé, dans les mêmes zones d'observation.

Le codage des parcelles est le suivant :

- **BP** pour le **pois biologique** (5 parcelles numérotées de BP1 à BP5)
- **CP** pour le **pois conventionnel** (6 parcelles de CP1 à CP6)
- **BL** pour la **luzerne biologique** (7 parcelles de BL1 à BL7)
- **CL** pour la **luzerne conventionnelle** (5 parcelles de CL1 à CL5)

Contrairement au réseau de Bourgogne, le réseau Pays-de-Loire se compose de 5 parcelles conventionnelles, permettant de comparer la culture de lupin d'hiver pur à celle de lupin d'hiver en association avec du triticale. Dans une parcelle, on retrouve donc le dispositif suivant (**Figure 2**) :

- une bande de lupin pur
- le reste de la parcelle en association avec du triticale
- une « zone non désherbée » (sauf pour une parcelle), à cheval sur la bande en pure et l'association, afin de pouvoir mesurer le potentiel d'infestation de la parcelle et d'avoir un témoin non désherbé de comparaison de l'effet association.

A l'exception de la partie non désherbée, chaque parcelle présente 6 grandes zones d'observation d'environ 20 x 30 m : 3 zones en lupin pur et 3 zones en association. Dans chacune des zones sont délimitées 3 placettes d'observation dans lesquelles sont réalisés les relevés, ce qui permet d'obtenir 9 répétitions pour le lupin pur comme pour le lupin en association. Ces placettes représentent environ 3 rangs linéaire x 1m. Comme en Bourgogne, de nouvelles placettes sont délimitées dans les mêmes zones pour chaque stade de relevé, à proximité des placettes précédentes.

Les zones non désherbées sont traitées séparément car elles ne comportent pas de placettes. Les observations sont réalisées dans toute la zone par une évaluation globale.

Tableau 2 : Descriptif du réseau d'observation

REGION	CULTURE	CONDUITE	PARCELLES	ENQUETES	PLACETTES/PARCELLE
<i>Bourgogne</i>	Pois	Biologique	5	3	6
		Conventionnelle	6	6	6
	Luzerne	Biologique	7	6	6
		Conventionnelle	5	5	6
<i>Pays-de-la-Loire</i>	Lupin pur Lupin/triticale	Conventionnelle	5	-	9 9

Tableau 3 : Adaptation de l'échelle de Barralis

CLASSES D'ABONDANCE DE LA METHODE BARRALIS	ECHELLE ADAPTEE POUR 0.25 m²
0 : absence de l'espèce	0 → absence de l'espèce
1 : moins de 1 plante par m ²	Pas d'équivalence
2 : 1 à 3 plantes par m ²	1 → 1 plante par 0.25 m ²
3 : 3 à 20 plantes par m ²	2 → 2 à 5 plantes par 0.25 m ²
4 : 20 à 50 plantes par m ²	3 → 6 à 12 plantes par 0.25 m ²
5 : plus de 50 plantes par m ²	4 → plus de 12 plantes par 0.25 m ²

V. 1b. Enquêtes

Les parcelles des observatoires sont uniquement des parcelles agricoles. Elles sont donc toutes soumises à des itinéraires techniques propres à chaque agriculteur. Il est alors nécessaire de réaliser des enquêtes auprès de chaque agriculteur concerné par le dispositif afin de recueillir leurs ITK complets mais également leurs impressions vis-à-vis de la culture de légumineuses. Certains agriculteurs possèdent plusieurs parcelles dans le réseau. Dans le cadre de mon stage, j'ai participé à la réalisation des enquêtes uniquement pour la région Bourgogne, la région Pays-de-la-Loire ayant été prospectée par une autre équipe sur place. Les enquêtes ont été réalisées soit par téléphone, soit par courrier électronique, soit directement sur le terrain lors d'une rencontre avec l'agriculteur. Pour chaque parcelle l'itinéraire technique complet de la culture de légumineuse en place (un an pour le pois, plusieurs années pour la luzerne) ainsi que celui de la culture précédente sont renseignés. De plus, la succession culturale menée par chaque agriculteur ainsi que son ressenti vis-à-vis des légumineuses avec notamment les objectifs visés lors de l'implantation d'une culture issue de cette famille de plantes sont également pris en compte.

Même si l'hétérogénéité des itinéraires techniques recueillis ne permet pas leur exploitation quantitative, ces enquêtes permettent d'apprécier plus précisément les spécificités de certaines parcelles de part divers facteurs influençant l'infestation par les adventices comme :

- la date et le type d'implantation de la culture
- le type de travail du sol
- les herbicides utilisés
- l'âge de la culture et les différentes dates de fauche (luzerne)
- les quantités d'azote apportées
- le précédent cultural

Le réseau d'observation est synthétisé dans le **Tableau 2**.

V. 2. Observations de la flore adventice

Deux dates de relevés ont été choisies pour chacune des modalités en fonction des stades de développement de la culture :

- pour le lupin et le pois : à début floraison (DF) et à maturité physiologique (MP)
- pour la luzerne : avant chaque fauche (actuellement 2 fauches effectuées F1 et F2, troisième fauche prévue en septembre par les agriculteurs)

Les relevés sont réalisés dans chacune des placettes, où deux critères différents sont évalués :

- une note d'abondance de 1 à 5 est attribuée pour chaque espèce d'adventice observée dans la placette. Cette note est évaluée suivant l'échelle de Barralis qui permet de donner une note à une espèce en fonction du nombre d'individus présents au m². De ce fait, l'échelle a été réadaptée en fonction de la dimension des placettes, de manière à pouvoir être utilisable dans nos relevés (**Tableau 3**).

- une évaluation du stade moyen de développement des individus de chaque espèce observée : plantule (P), stade végétatif (V), floraison (F), grenaison (G).

En ce qui concerne le cas spécifique des zones non désherbées définies sur l'observatoire des Pays-de-la-Loire, ces deux notations sont également effectuées après avoir préalablement listé de manière la plus exhaustive possible les espèces se trouvant dans la zone. Une troisième observation est également réalisée ici du fait de la grandeur de la zone d'observation : l'attribution d'une note d'hétérogénéité pour chaque espèce. Elle correspond à une note de répartition des adventices dans la zone, variant de 1 (homogène) à 3 (hétérogène) en passant par le stade intermédiaire relié à la note 2.

La détermination ainsi que les informations sur la biologie des espèces et les codes BAYER sont tirés de différentes flores : le guide ACTA (*Mauvaises herbes des cultures* 2014), le guide DELACHAUX (Streeter 2011) et les sites Internet HYPPA INRA (« HYPPA Accueil » 2015) et EPPO (« EPPO - EPPT - Search EPPT » 2015) (voir **Références bibliographiques**).

Tableau 4 : Choix de correspondance entre échelle de Barralis et nombre d'individus par m²

	Echelle de Barralis	Choix d'analyse
Note	Intervalle d'abondance	Nombre de plantes/m ²
0	0	0
1	Moins de 1 plante / m ²	0,5
2	1 à 3 plantes / m ²	2
3	3 à 20 plantes / m ²	12
4	20 à 50 plantes / m ²	35
5	Plus de 50 plantes m ²	50

V. 3. Analyse des données

V. 3a. Choix de la liste d'espèces pour l'analyse

Tous les calculs et toutes les analyses statistiques sont réalisés soit sous Excel 2013, soit avec le logiciel statistique R Core Team 2014.

- Dans un premier temps, les notes d'abondance données à chaque espèce sont transformées en nombre d'individus au m². Le choix du nombre d'individus exact pour chaque note se situe au milieu de l'intervalle de chaque note (**Tableau 4**).
- On dispose ainsi d'une base de données complète comprenant 74 espèces pour l'observatoire de Bourgogne et 85 espèces pour celui de Pays-de-la-Loire. Du fait de la taille importante de ces échantillons et de la faible représentativité de certaines espèces, il a été nécessaire de réduire le nombre d'espèces étudiées pour chacun des deux observatoires. Pour cela, deux critères ont été calculés pour chaque espèce :
 - sa fréquence d'occurrence : nombre de fois où l'on a observé l'individu / nombre total de relevés
 - son abondance relative : nombre d'individus total de l'espèce considérée / nombre total d'individus relevés pour toutes les espèces

Le but est d'établir une liste d'espèces les plus représentatives prenant en compte ces deux critères.

Tout d'abord, toutes les espèces ayant une fréquence d'occurrence $\geq 3\%$ sont retenues. La liste initiale est alors réduite à n espèces. Un classement des abondances relatives est ensuite établi et l'on regarde dans les n espèces plus importantes celles qui n'apparaissent pas dans notre première liste. On les rajoute alors à celle-ci afin d'avoir une liste finale d'espèces ayant pris en compte à la fois celles ayant les fréquences d'occurrence $\geq 3\%$ ainsi que celles ayant les abondances relatives les plus importantes. On obtient ainsi deux nouvelles listes : une de 50 espèces pour la Bourgogne et une de 52 espèces pour les Pays-de-Loire.

V. 3b. Traitement statistique

- A partir de ces nouvelles listes d'espèces, les données des deux observatoires sont traitées séparément. Quatre indices de diversité sont calculés pour chaque relevé, à l'échelle de la placette (on exclut donc les zones non désherbées de Pays-de-Loire car l'échelle est différente : pas de donnée du nombre d'espèces présentes au m² par exemple) :
 - l'abondance A : nombre d'individus présents
 - la richesse spécifique S : nombre d'espèces différentes rencontrées
 - l'indice de Shannon H, indicateur de la diversité floristique de la parcelle observée
 - l'indice d'équitabilité J, obtenu à partir de l'indice de Shannon et permettant d'apprécier le niveau de répartition des adventices entre elles (dominance d'une ou de plusieurs espèces, ou équirépartition)

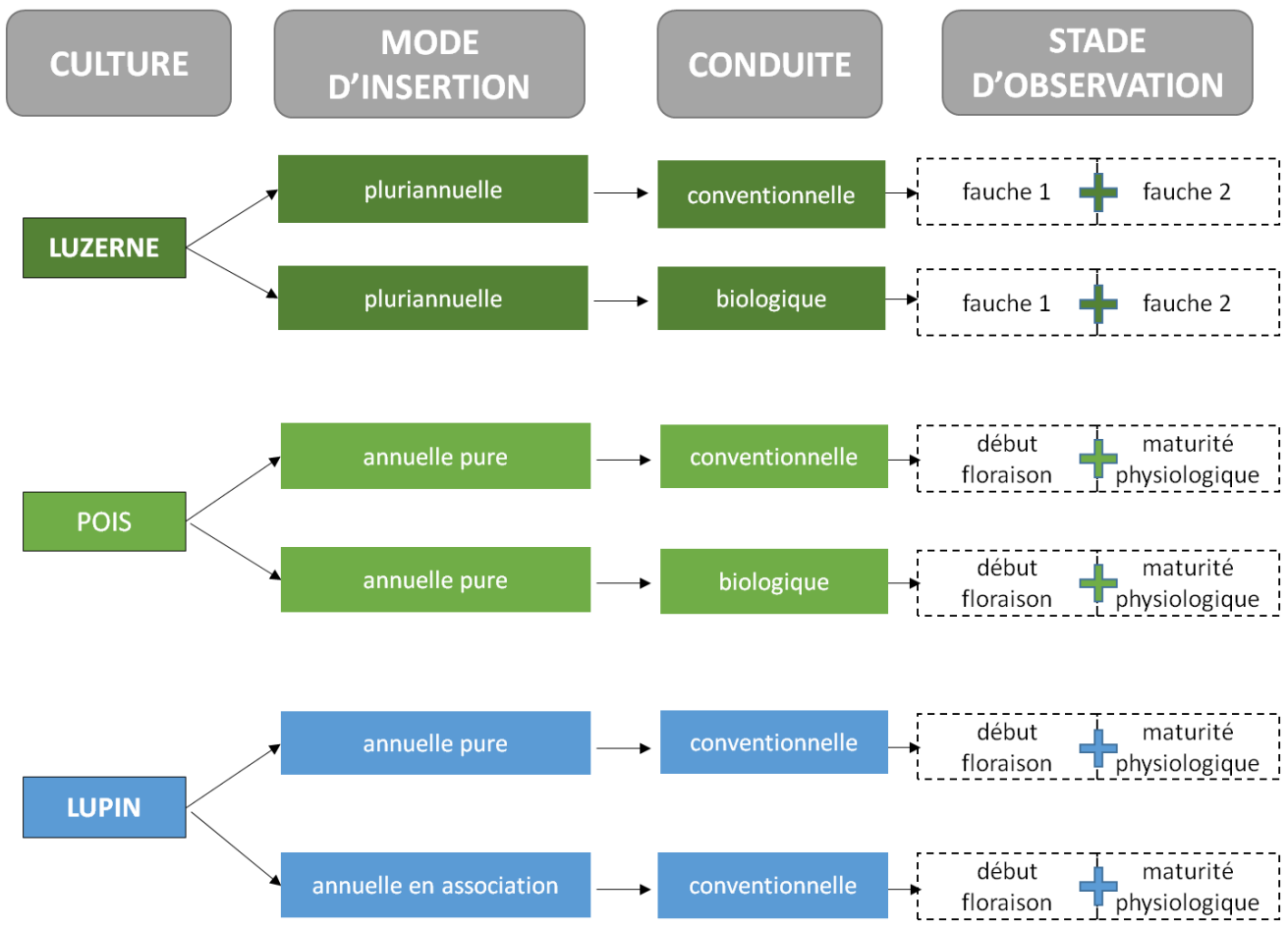


Figure 4 : Schéma expérimental

- Il s'agit ensuite de déterminer quel modèle statistique est le meilleur pour traiter le jeu de données. Les résultats obtenus sont traités de manière statistique, à l'aide du logiciel R.

Les modèles sont comparés sur la base de leur AIC (indice d'Aikake) pour chacun des 4 indices de diversité, calculés à l'échelle de la placette (Doisy 2015). On teste soit des modèles linéaires (lm) qui suivent une loi de Gauss, soit des modèles linéaires généralisés (glmer) qui suivent une loi de Poisson et qui prennent en compte les parcelles en effet aléatoire. Les données n'ont pas été transformées pour tester les modèles. Le modèle ayant l'AIC la plus faible est considéré comme étant le meilleur et est utilisé pour la suite de l'analyse.

Pour l'observatoire de Bourgogne, 7 modèles ont été testés :

Modèle 1 : lm (Y ~ culture +conduite + stade + parcelle)

Modèle 2 : lm (Y ~ culture*conduite*stade* parcelle)

Modèle 3 : glmer (Y ~ culture *conduite* stade+ (1| parcelle))

Modèle 4 : glmer (Y ~ culture +conduite+ (1 | parcelle))

Modèle 5 : glmer (Y ~ culture + (1 | parcelle))

Modèle 6 : glmer (Y ~ conduite + (1 | parcelle))

Modèle 7 : glmer (Y ~ stade + (1 | parcelle))

Pour l'observatoire des Pays-de-Loire, 5 modèles ont été testés :

Modèle 1 : lm (Y ~ culture + stade + parcelle)

Modèle 2 : lm (Y ~ culture*stade* parcelle)

Modèle 3 : glmer (Y ~ culture * stade+ (1| parcelle))

Modèle 4 : glmer (Y ~ culture +stade+ (1 | parcelle))

Modèle 5 : glmer (Y ~ culture + (1 | parcelle))

Modèle 6 : glmer (Y ~ stade + (1 | parcelle))

Des analyses de variances (ANOVA) sont réalisées afin de déterminer s'il existe un effet significatif des facteurs « conduite », « culture », « stade » et « parcelle » sur les variables étudiées S, H, J et l'abondance A (**Figure 4**). Ces effets sont notés par le signe « * » sur les boxplots, correspondant aux valeurs des p-value issues des modèles.

La significativité est classée en fonction de son degré d'importance :

*** : $0 < p\text{-value} < 0,001$ (très significatif)

** : $0,001 \leq p\text{-value} < 0,01$

* : $0,01 \leq p\text{-value} < 0,05$

. : $0,05 \leq p\text{-value} < 1$

ns : non significatif ($p\text{-value} \geq 1$)

Les boxplots réalisés représentent la distribution de chaque série de valeurs (A, S, H ou J) en indiquant la médiane par un trait épais. Les box s'étendent du premier quartile (bas de la boîte) au troisième quartile (haut de la boîte). Les moustaches s'étendent par défaut jusqu'à la valeur distante d'au maximum 1,5 fois la distance interquartile. Les points en dehors correspondent aux valeurs extrêmes.

Une analyse discriminante multivariée est employée pour le jeu de données de Bourgogne afin d'analyser les effets de la culture et de la conduite sur la composition de la communauté adventice (prise en compte de l'abondance et de la présence des espèces).

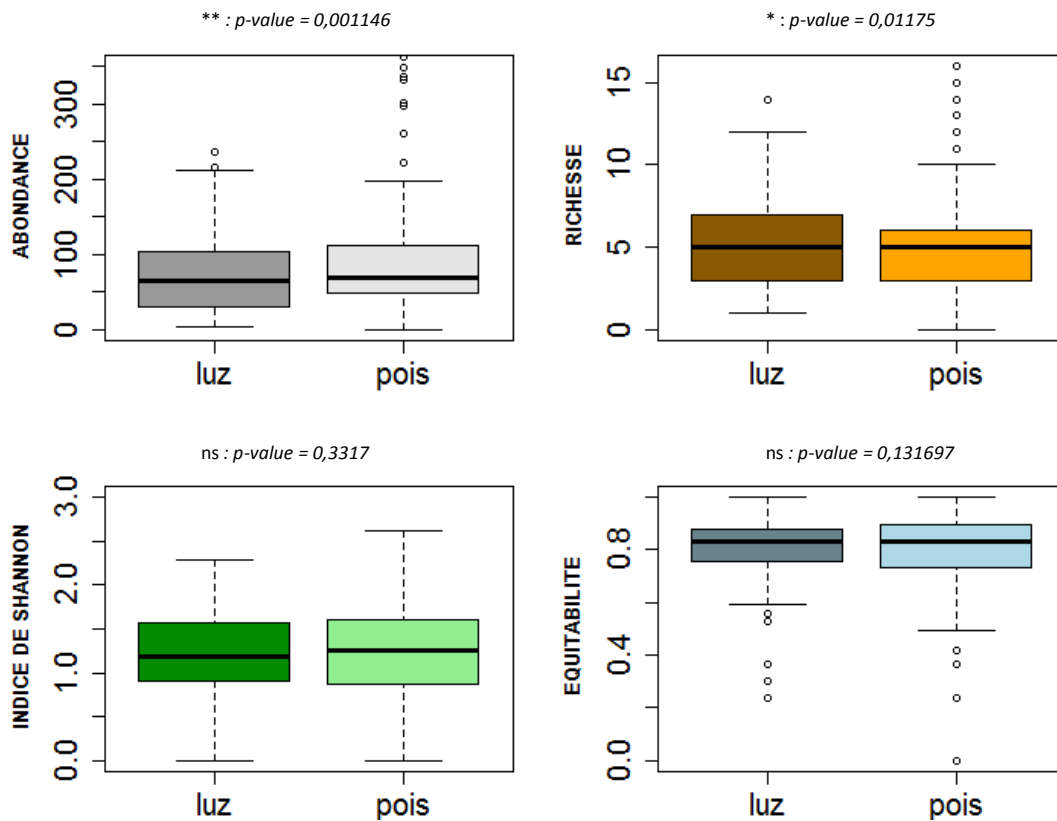


Figure 5 : Comparaison des cultures pour chaque indice

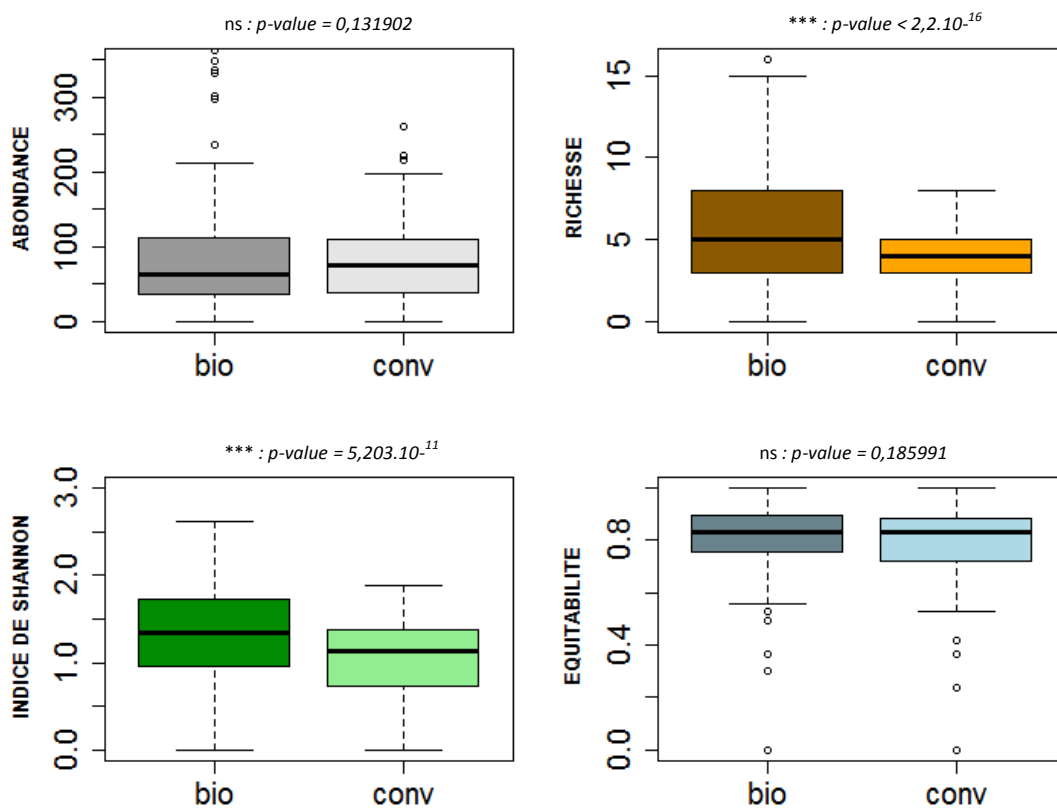


Figure 6 : Comparaison des conduites pour chaque indice

VI. Résultats

VI. 1. OBSERVATOIRE DE BOURGOGNE

Le tableau reporté en **Annexe 1** présente la liste des espèces retenues en fonction de leur fréquence d'occurrence et de leur abondance relative dans l'ensemble des deux cultures de pois et de luzerne. Par exemple, sur la totalité des relevés de Bourgogne, on retrouve VIOAR dans 40,7% des relevés.

VI. 1a. Comparaison des indices de diversité

• Les AIC les plus faibles sont obtenus pour les modèles linéaires (lm), c'est-à-dire sans les effets aléatoires parcelle. Le modèle ayant l'AIC le plus faible pour A, S et H est celui tenant compte des interactions entre variables explicatives (culture, conduite, stade, parcelle) (**Annexe 2**) :

$$\text{Lm } (Y \sim \text{culture} + \text{conduite} + \text{stade} + \text{parcelle} + \text{conduite} * \text{stade})$$

On teste d'abord ce modèle de manière générale pour chaque indice A, S, H et J et pour l'ensemble du jeu de données pour lequel les résultats sont récapitulés dans le **Tableau 5**. Les coefficients de détermination R^2 du modèle pour chaque indice sont corrects à part pour J. L'analyse des résidus a permis de valider qu'ils suivaient une loi normale. Les box plot correspondants sont représentés pour la variable « culture » (**Figure 5**) et la variable « conduite » (**Figure 6**).

Tableau 5 : Récapitulatif de l'ANOVA indiquant les effets significatifs des variables pour les quatre indices de diversité - Observatoire de Bourgogne

	A	S	H	J
Culture (Figure 4)	**	*	ns	ns
Conduite (Figure 5)	ns	***	***	ns
Stade	***	***	***	ns
Parcelle	***	***	***	**
Conduite : Stade	*	ns	ns	ns
R^2 du modèle	0,7156	0,6972	0,5745	0,1048

Si l'on considère l'abondance A, on note un effet significatif de la culture ($p\text{-value} = 0,001$) avec une abondance d'adventices au m^2 en pois de 90 individus/ m^2 contre 76 individus/ m^2 en luzerne. Le stade de développement ($p\text{-value} < 2.10^{-16}$), la parcelle ($p\text{-value} < 2.10^{-16}$) et l'interaction entre conduite et stade ($p\text{-value} = 0,036$) ont également un effet significatif. Il n'y a pas d'effet significatif de la conduite (84 plantes/ m^2 en biologique, 85 plantes/ m^2 en conventionnel).

En terme de richesse S, on note également un effet significatif de la culture ($p\text{-value} = 0,012$, richesse supérieure en agriculture biologique), de la conduite ($p\text{-value} < 2.10^{-16}$), du stade de développement (2.10^{-14}) et de la parcelle ($p\text{-value} < 2.10^{-16}$). Il n'y a pas d'effet significatif de l'interaction entre conduite et stade.

L'analyse de l'indice de Shannon H montre un effet significatif de la conduite ($p\text{-value} = 5.10^{-11}$), du stade (7.10^{-11}) et de la parcelle ($p\text{-value} < 2.10^{-16}$). Il n'y a pas d'effet significatif de la culture ni de l'interaction entre conduite et stade.

Enfin, concernant l'équitabilité J, on note également un effet significatif uniquement pour la parcelle ($p\text{-value} = 0,001$). La culture, la conduite, le stade et l'interaction conduite/stade n'ont pas d'effet significatif.

ABONDANCE

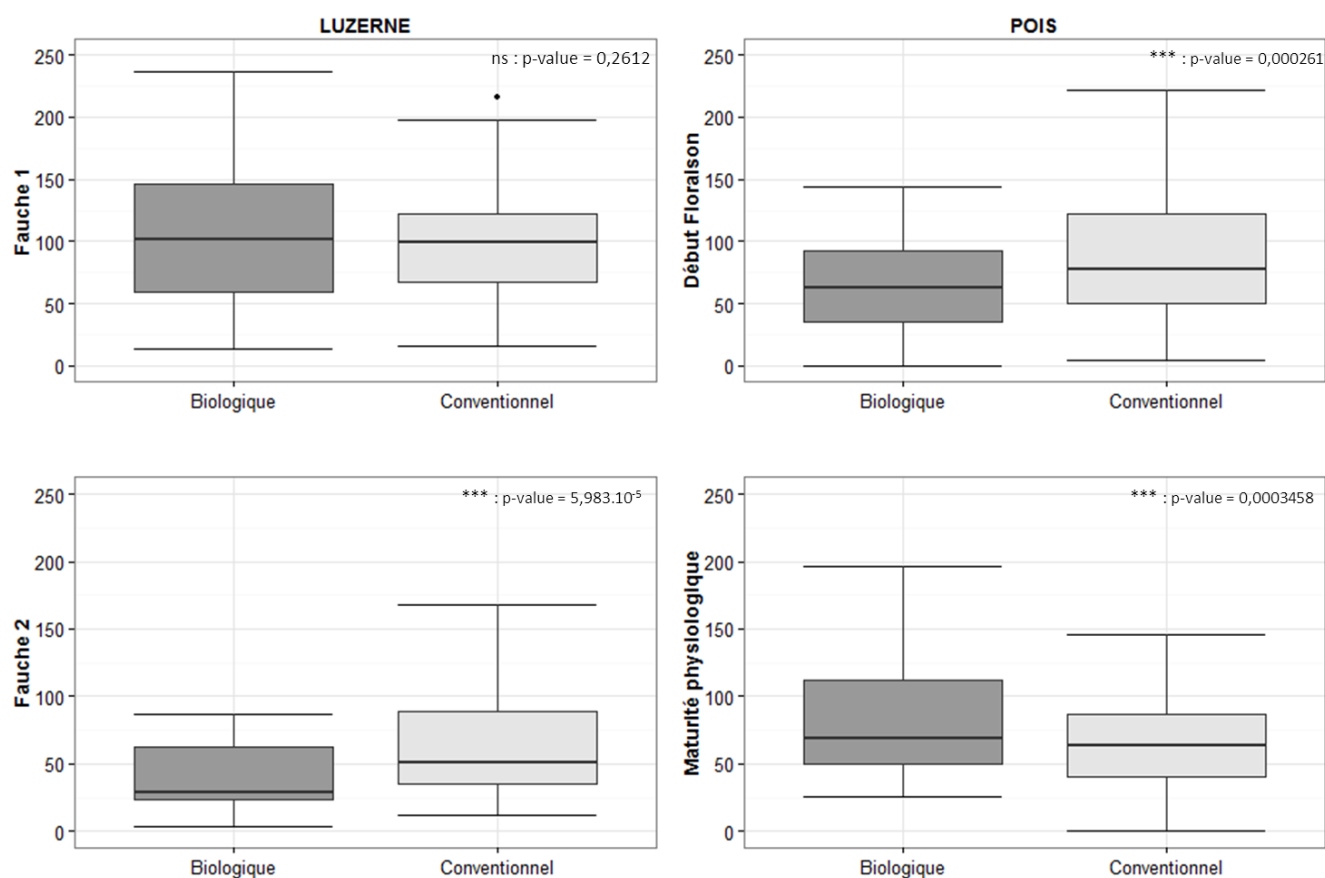


Figure 7 : Comparaison de l'abondance en adventices pour chaque culture, chaque conduite et en considérant les deux stades de relevés

Tableau 6 : Comparaison de l'effet des conduites en fonction du stade de développement de la culture considérée

Comparaison des conduites (biologique vs conventionnelle)				
	LUZERNE		POIS	
	<i>Stade 1</i>	<i>Stade 2</i>	<i>Stade 1</i>	<i>Stade 2</i>
A	ns	***	***	***
S	***	ns	***	***
H	ns	ns	***	***
J	ns	ns	ns	**

- Pour l'abondance, même si les conduites ne sont pas significativement différentes de manière générale, le modèle met en évidence une interaction conduite : stade. On sait également qu'il y a un effet significatif du stade pour A et S. Il est donc important de considérer les résultats en fonction des différents stades de développement et ceci pour chaque culture du fait de leur différence (**Tableau 6**).

D'après la **Figure 7** et le **Tableau 6**, pour A, dans la culture de luzerne avant la première fauche (stade F1), les conduites biologique et conventionnelle ne sont statistiquement pas différentes, même si les moyennes indiquent une abondance d'adventices de 107 plantes/m² en luzerne biologique contre 99 plantes/m² en luzerne conventionnelle. En revanche, les conduites sont significativement très différentes avant la deuxième fauche (F2), l'abondance en luzerne conventionnelle (60 plantes/m²) étant plus importante qu'en luzerne biologique (38 plantes/m²). On observe ainsi une nette diminution d'abondance pour chacune des conduites entre les deux stades de relevés, avec une réduction plus importante en biologique, contribuant à l'inversion de la tendance observée au premier stade entre les deux conduites.

Pour ce qui est de la culture de pois, les conduites sont significativement différentes aux deux stades « début floraison » (DF) et « maturité physiologique » (MP) mais dans des sens inverses : à floraison, on observe une abondance d'adventices plus importante en conventionnel qu'en biologique alors qu'à maturité la tendance s'inverse. Cependant, les moyennes ne corroborent pas ce résultat pour le stade DF puisque l'on a une abondance moyenne de 118 plantes/m² en biologique contre 94 plantes/m² en conventionnel. A maturité, on a pour le pois biologique et le pois conventionnel des moyennes respectivement égales à 85 plantes/m² et 65 plantes/m².

Les résultats pour les autres indices S, H et J sont respectivement reportés dans **les Annexe 3, 4 et 5**.

D'après **l'Annexe 3**, pour S, dans la luzerne, le phénomène est inverse à celui de l'abondance : en F1, les conduites biologique et conventionnelle sont statistiquement différentes avec une conduite conventionnelle moins riche en termes d'espèces qu'en conduite biologique. En revanche, en F2, il n'y a pas d'effet significatif de la conduite sur la richesse spécifique.

Pour le pois, les conduites sont une nouvelle fois significativement très différentes aux deux stades, cette fois-ci la richesse étant plus importante en biologique dans les deux cas.

Pour H (**Annexe 4**), en luzerne, il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les conduites pour chacun des stades.

En revanche, en pois, les conduites sont encore une fois significativement différentes aux deux stades, l'indice de Shannon étant plus élevé en conduite biologique dans les deux cas.

Pour J (**Annexe 5**), en luzerne, il n'y a également pas de différence statistiquement significative entre les conduites pour chacun des stades.

Dans le pois, les conduites ne sont cette fois pas significativement différentes à floraison alors qu'elles le sont à maturité, avec un indice d'équitabilité plus important en agriculture biologique.

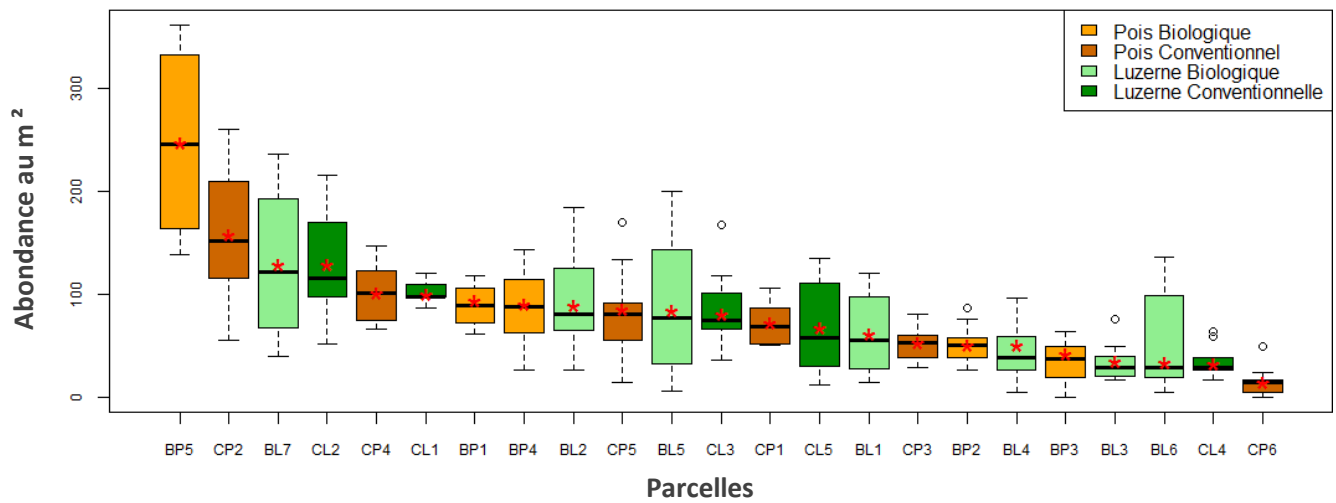


Figure 9 : Comparaison de l'abondance en adventices pour chaque parcelle de Bourgogne

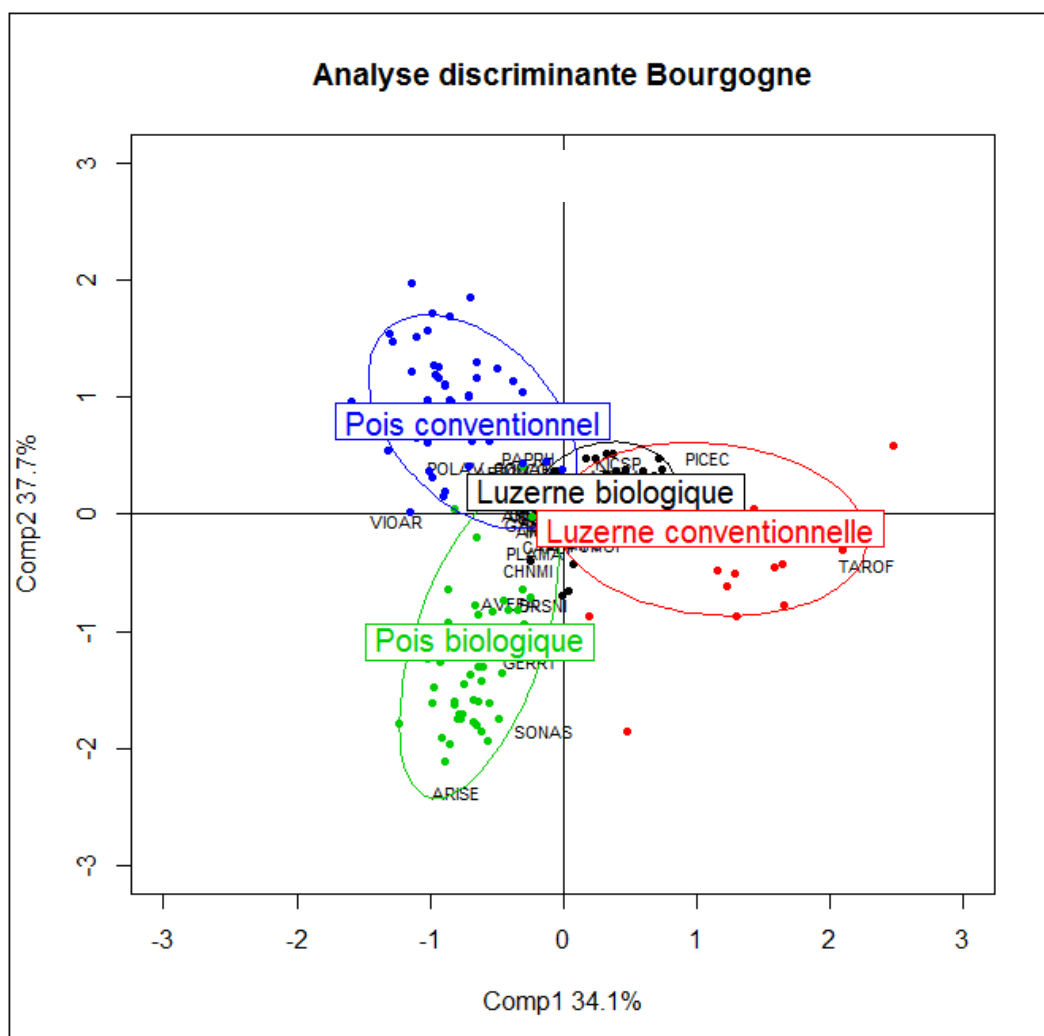


Figure 8 : Analyse discriminante des espèces relevées pour l'observatoire de Bourgogne en fonction de la légumineuse et de sa conduite

VI. 1b. Mise en évidence de l'effet parcelle

La **Figure 9** représente la répartition de l'abondance d'adventices au m² dans chaque parcelle en considérant l'ensemble des relevés. La moyenne est indiquée par les étoiles rouges. La couleur des boxplot spécifie la culture et/ou la conduite. On a donc 4 cas différents correspondant aux différentes modalités : pois biologique, pois conventionnel, luzerne biologique, luzerne conventionnelle. L'abondance moyenne par parcelle s'étend de 248 plantes/m² pour BP5 à 14 plantes/m² pour CP6. La moyenne générale de cet observatoire se situe à 83 plantes/m².

On remarque que les quatre plus abondantes sont deux parcelles de pois (BP5 et CP2) et deux parcelles de luzerne (BL7 et CL2) tandis que les quatre moins abondantes sont trois parcelles de luzerne et une parcelle de pois avec une répartition homogène des conduites sur l'ensemble de la gamme des valeurs d'abondance.

VI. 1c Répartition des espèces en fonction du mode d'insertion

La **Figure 8** représente une analyse discriminante des espèces en fonction du mode d'insertion de la légumineuse. Les deux premiers axes représentent 71,8% de la variabilité des données. Les deux cultures se distinguent bien par l'axe 2. Il y a peu de différence entre conduites en ce qui concerne la luzerne. En revanche, pour le pois, la composition en espèces est très différente selon chacune des conduites. Celles-ci se distinguent par l'axe 1.

On retrouve les espèces ARISE et SONAS plus fréquemment dans le pois biologique tandis que VIOAR se retrouve plus dans le pois conventionnel. La luzerne biologique ne semble pas reliée à une espèce propre tandis que la luzerne conventionnelle est particulièrement bien expliquée par TAROF et dans une moindre mesure par PICEC.

Tableau 7 : Liste des espèces observées pour chaque culture dans l'observatoire de Bourgogne (total de 50 espèces)

Pois	Luzerne	Espèces communes	
ANGCO	APHAR	AETCY	LAPCO
ARISE	GERMO	ALOMY	LOLMU
BRSNI	GERPU	ANGAR	MATsp
CHNMI	HORVX	ATXPA	MELAL
SETVI	LOLPE	AVEFA	MYOAR
VERHE	POATR	CAPBP	PAPRH
	RUMCR	CHEAL	PICEC
	STEME	CIRAR	PLAMA
	TRFPR	CONAR	POLAV
	VERAR	DAUCA	POLCO
	VICSA	EPHEX	SHRAR
		EPIlsp	SONAS
		FUMOF	SONOL
		GALAP	TAROF
		GERRT	VERPE
		KICSP	VIOAR
		LAMPU	
6 espèces	11 espèces	33 espèces	

Pour l'observatoire de Bourgogne, 50 espèces ont été retenues sur les 74 initiales. Parmi cette liste, on a (**Tableau 7**) :

- 33 espèces communes aux deux cultures de pois et de luzerne
- 11 espèces présentes uniquement en luzerne
- 6 espèces présentes uniquement en pois

Pois biologique

Pois conventionnel

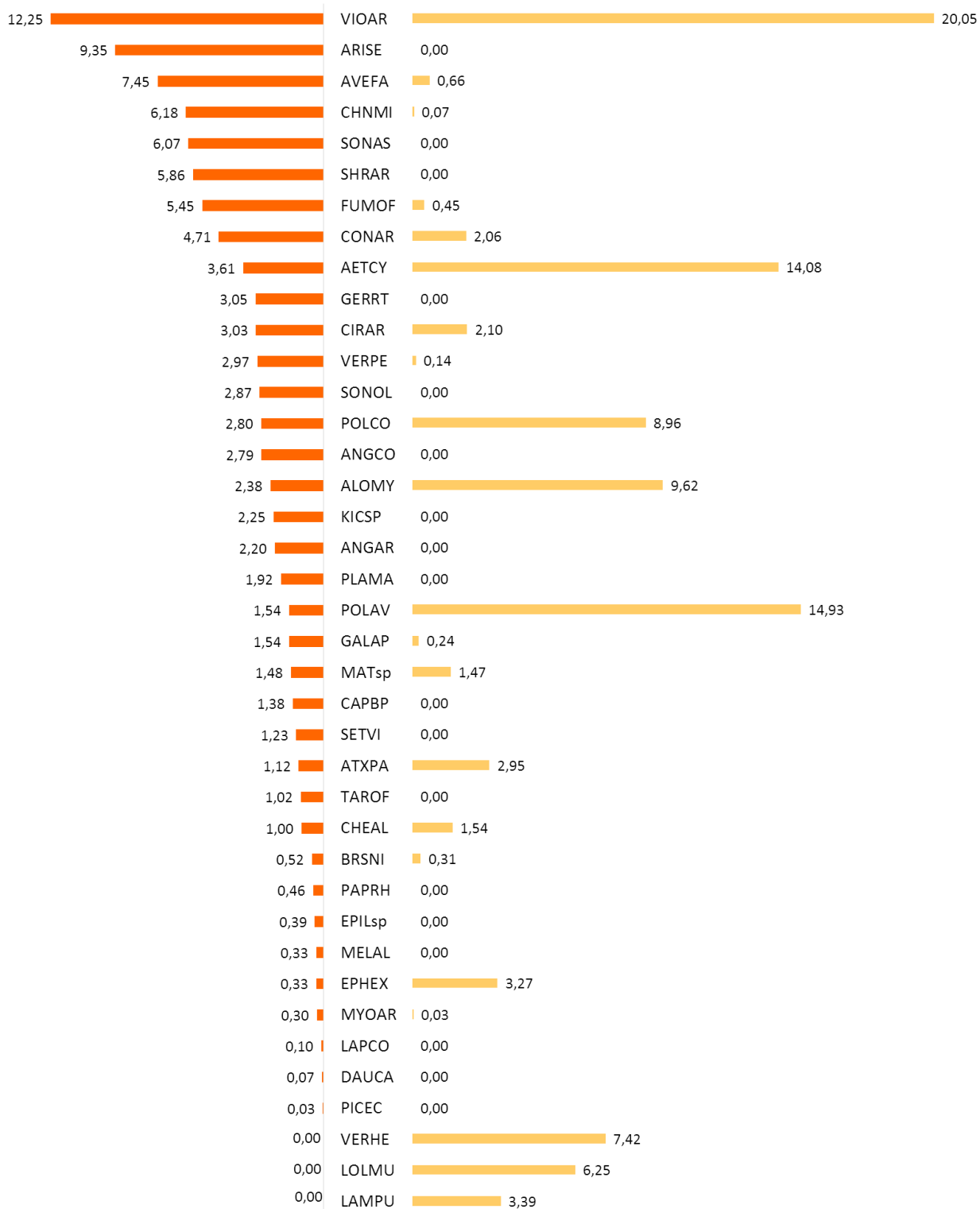


Figure 10 : Comparaison des conduites pour la culture de pois en fonction de l'abondance relative de chaque espèce

VI. 1d. Analyse des espèces par conduite pour chaque culture

Culture de pois

La **Figure 10** compare les deux conduites pour la culture de pois. Les espèces sont classées en fonction de leur abondance relative (en %) en conduite biologique. Cela correspond en fait à leur contribution dans la communauté d'adventices, ce qui signifie que plus on a d'espèces, plus l'abondance relative de chacune est faible. Par exemple, VIOAR représente 20,05 % de la communauté d'adventices de pois conventionnel, contre 12,25 % en pois biologique où elle est en présence d'un nombre plus important d'espèces.

Sur un total de 50 espèces retenues pour l'observatoire de Bourgogne, 39 espèces sont présentes dans la culture de pois, réparties comme suit (**Tableau 8**) :

- 18 espèces spécifiques à l'agriculture biologique
- 3 espèces spécifiques à l'agriculture conventionnelle
- 18 espèces communes aux deux modes de conduite

On observe donc une plus grande diversité d'espèces en agriculture biologique (six fois plus qu'en conventionnel).

Tableau 8 : Liste des espèces relevées dans le pois en fonction de la conduite

Biologique	Conventionnel	Espèces communes
PICEC	LAMPU	MYOAR
DAUCA	LOLMU	EPHEX
LAPCO	VERHE	BRSNI
MELAL		CHEAL
EPILsp		ATXPA
PAPRH		MATsp
TAROF		GALAP
SETVI		POLAV
CAPBP		ALOMY
PLAMA		POLCO
ANGAR		VERPE
KICSP		CIRAR
ANGCO		AETCY
SONOL		CONAR
GERRT		FUMOF
SHRAR		CHNMI
SONAS		AVEFA
ARISE		VIOAR

Culture de luzerne

La comparaison des deux conduites pour la culture de luzerne est reportée en **Annexe 7**.

Sur un total de 50 espèces retenues pour l'observatoire de Bourgogne, on retrouve ici 44 espèces différentes dans la culture de luzerne, réparties comme suit (**Annexe 6**) :

- 14 espèces spécifiques à l'agriculture biologique
- 6 espèces spécifiques à l'agriculture conventionnelle
- 24 espèces communes aux deux modes de conduite

On observe donc également une plus grande diversité d'espèces en agriculture biologique (deux fois plus) même si les deux conduites se distinguent moins qu'en pois (six fois plus).

Nombre total d'individus relevés : 6073
 Nombre de parcelles : 7
 Nombre d'espèces : 38

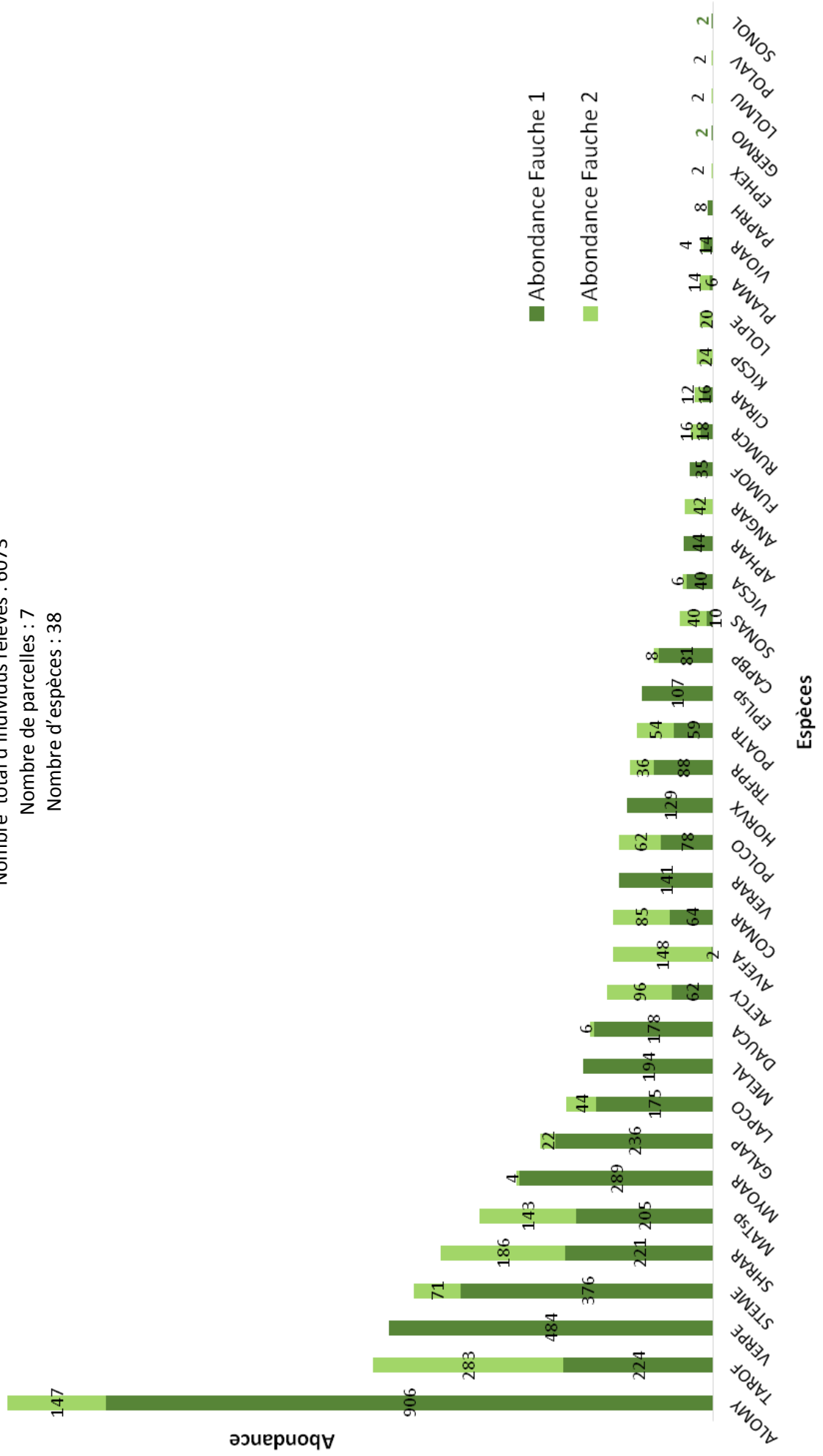


Figure 11 : Abondance totale par espèce en luzerne biologique avant chaque fauche

VI. 1e. Evolution de la flore en fonction du stade physiologique de la culture

On cherche ici à avoir une vision quantitative afin d'apprécier les différences d'abondance observables entre les différents stades. On a donc calculé l'abondance totale de chaque espèce soit la somme du nombre d'individus observés pour chaque modalité. Les espèces sont classées par abondance en ordre décroissant (deux stades confondus).

Culture de luzerne

On s'attardera ici sur la culture de luzerne pour laquelle des fauches sont réalisées, ce qui constitue une perturbation de la flore en place.

- En luzerne biologique (**Figure 11**)

Sur un total de 38 espèces, 4 groupes se distinguent (**Tableau 9**) :

- 10 espèces présentes uniquement en fauche 1 et qui ont donc disparu en fauche 2
 - 16 espèces plus abondantes en F1 qu'en F2
- soit 26 espèces pour lesquelles la période « avant F1 » a été plus favorable
- 6 espèces présentes uniquement en F2 et qui sont donc apparues à ce stade
 - 6 espèces plus abondantes en F2 qu'en F1
- soit 12 espèces pour lesquelles la période « avant F2 » a été plus favorable

Tableau 9 : Liste des espèces de luzerne biologique en fonction du stade de relevé

Présence	Nombre d'espèces	Liste des espèces
Présentes uniquement en F1 (Disparues en F2)	10	VERPE-MELAL-VERAR-HORVX-EPILsp-APHAR-FUMOF-PAPRH-GERMO-SONOL
Présentes uniquement en F2 (Apparues en F2)	6	ANGAR-KICSP-LOLPE-EPHEX-LOLMU-POLAV
Plus abondantes en F1 (Diminue en F2)	16	ALOMY-STEME-SHRAR-MATsp-MYOAR-GALAP-LAPCO-DAUCA-POLCO-TRFPR-POATR-CAPBP-VICSA-RUMCR-CIRAR-VIOAR
Plus abondantes en F2 (Augmente en F2)	6	TAROF-AETCY-AVEFA-CONAR-SONAS-PLAMA
Même abondance en F1 et en F2 (Constante)	0	-

L'espèce la plus abondante en luzerne biologique, ALOMY, diminue très fortement après la première fauche, passant de 906 individus à 147. En outre, les espèces qui apparaissent après la première fauche ne font pas partie des espèces les plus abondantes. Par exemple, ANGAR apparaît avec 42 individus tandis que l'on a une disparition totale d'une espèce plus importante comme VERPE (484 individus).

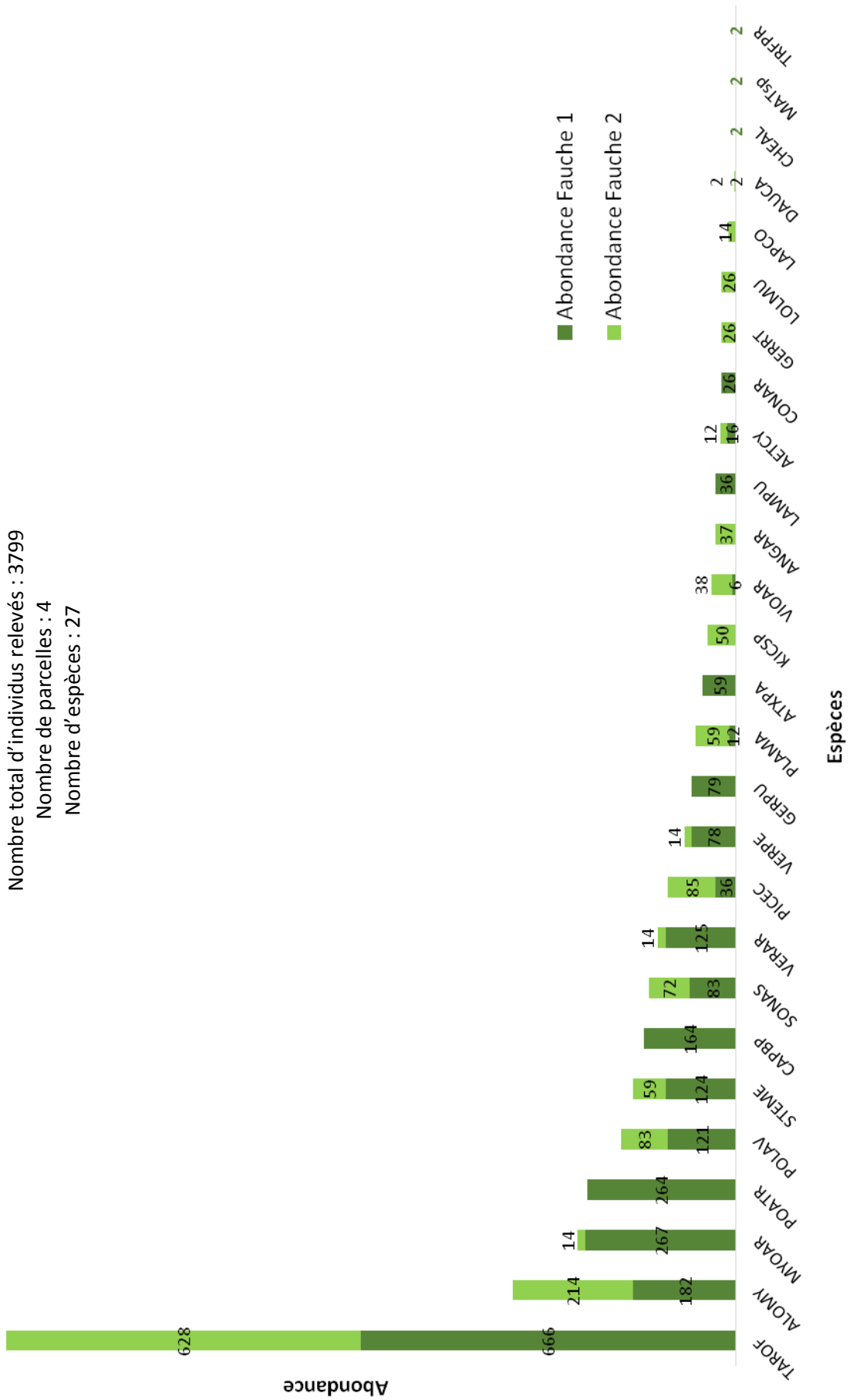


Figure 12 : Abondance totale par espèce en luzerne conventionnelle avant chaque fauche

- En luzerne conventionnelle (**Figure 12**)

Sur un total de 27 espèces, 5 groupes se distinguent (**Tableau 10**) :

- 9 espèces présentes uniquement en fauche 1 et qui ont donc disparu en fauche 2
- 7 espèces plus abondantes en F1 qu'en F2

→ soit 16 espèces pour lesquelles la période « avant F1 » a été plus favorable

- 5 espèces présentes uniquement en F2 et qui sont donc apparues à ce stade
- 5 espèces plus abondantes en F2 qu'en F1

→ soit 10 espèces pour lesquelles la période « avant F2 » a été plus favorable

- 1 espèce dont l'abondance n'a pas varié entre les deux fauches : DAUCA

Tableau 10 : Liste des espèces de luzerne conventionnelle en fonction du stade de relevé

Présence	Nombre d'espèces	Liste des espèces
Présentes uniquement en F1 (Disparues en F2)	9	POATR-CAPBP-GERPU-ATXPA-LAMPU- CONAR-CHEAL-MATsp-TRFPR
Présentes uniquement en F2 (Apparues en F2)	5	KICSP-ANGAR-GERRT-LOLMU-LAPCO
Plus abondantes en F1 (Diminue en F2)	7	TAROF-POLAV-STEME-SONAS-VERAR- VERPE-AETCY-
Plus abondantes en F2 (Augmente en F2)	5	ALOMY-MYOAR-PICEC-PLAMA-VIOAR
Même abondance en F1 et en F2 (Constante)	1	DAUCA

Même si la tendance générale est plutôt à la diminution en abondance et en nombre d'espèces entre la fauche 1 et la fauche 2, l'espèce la plus abondante en luzerne conventionnelle, TAROF, diminue peu après la première fauche, passant de 666 individus à 628. Pour les espèces suivantes, mis à part ALOMY qui augmente au deuxième stade, les 9 espèces les plus abondantes diminuent ou disparaissent après la première fauche. De même qu'en biologique, les quelques espèces qui peuvent apparaître comme KICSP le font dans des proportions assez faibles (50 individus ici).

Culture de pois

Entre les deux stades de relevés du pois (début floraison et maturité physiologique), aucune action n'est menée sur la culture. L'évolution de la flore est donc spontanée.

- Dans le pois conventionnel (**Annexe 8**), sur un total de 21 espèces relevées dans 6 parcelles, 15 espèces étaient uniquement présentes ou plus abondantes à début floraison et 6 espèces étaient uniquement présentes ou plus abondantes à maturité. VIOAR et POLAV, les deux espèces les plus importantes, ont chacune fortement diminué en abondance au cours du temps tandis que les troisième et quatrième plus abondantes, AETCY et ALOMY ont augmenté mais dans des proportions beaucoup plus faibles.

- Dans le pois biologique (**Annexe 9**), la richesse est beaucoup plus importante puisque l'on a observé 36 espèces dans seulement 5 parcelles. 23 espèces étaient uniquement présentes ou plus abondantes à floraison et 11 espèces étaient uniquement présentes ou plus abondantes à maturité. Seules DAUCA et CAPBP sont constantes. La tendance est la même qu'en conventionnel à savoir que les deux espèces principales, qui sont cette fois VIOAR et ARISE, diminuent en abondance au cours du temps.

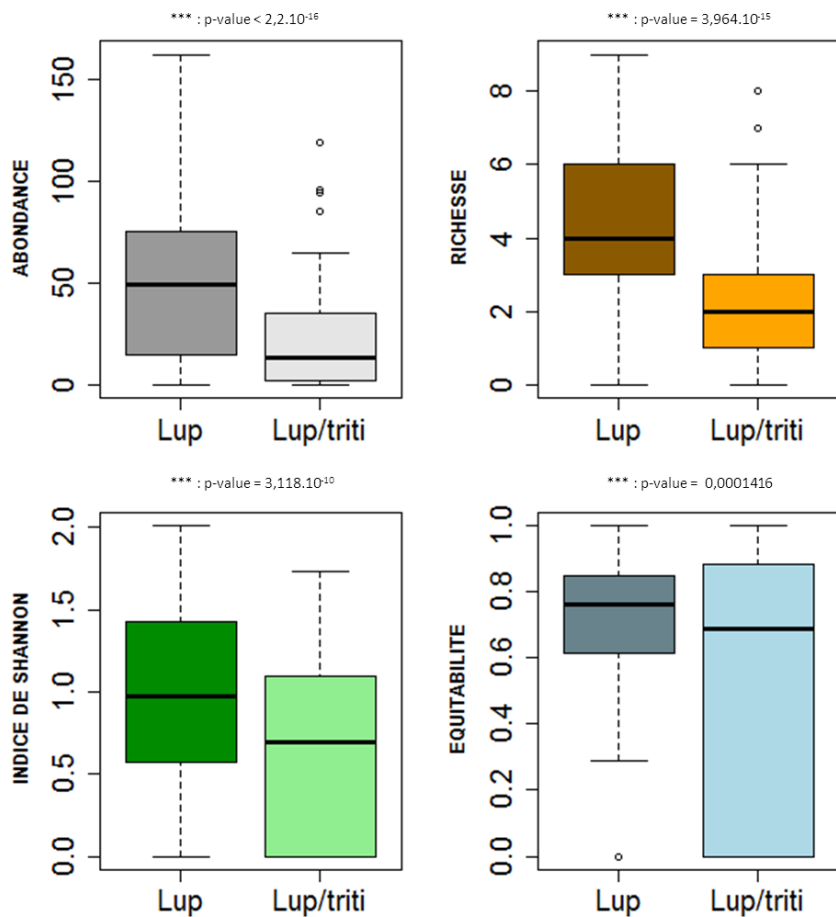


Figure 14 : Comparaison de la culture pure et de l'association pour chaque indice de diversité

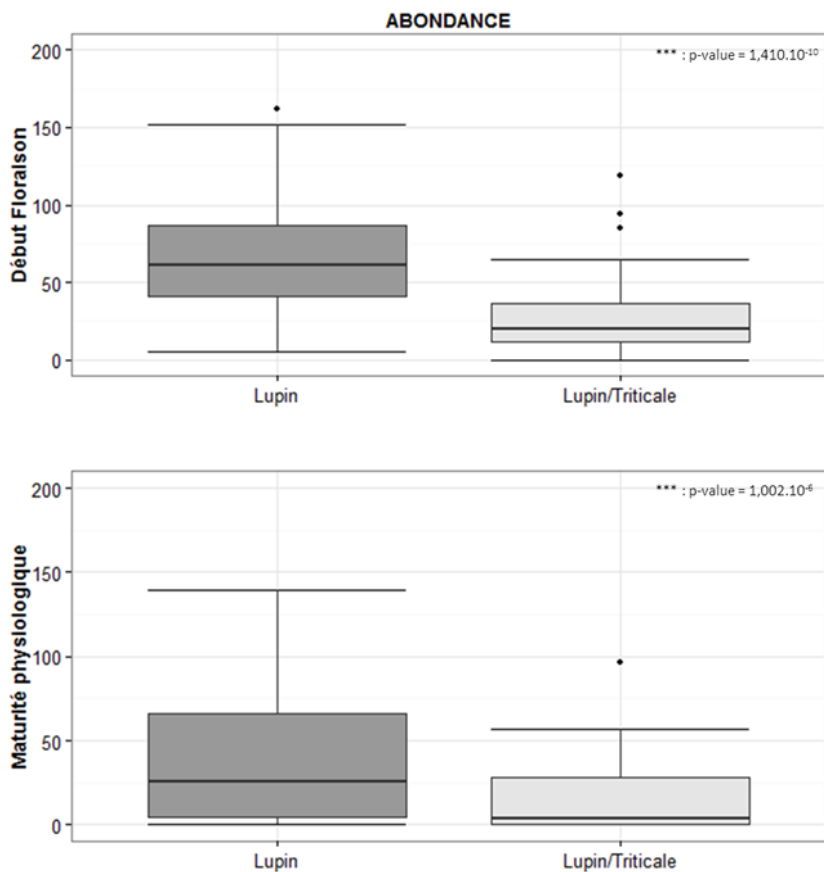


Figure 13 : Comparaison de l'abondance en adventices entre la culture pure et l'association en considérant les deux stades de relevés

VI. 2. OBSERVATOIRE DE PAYS DE LOIRE

Le tableau reporté en **Annexe 10** présente la liste des espèces retenues en fonction de leur fréquence d'occurrence et de leur abondance relative pour l'observatoire de Pays-de-Loire. L'analyse se porte sur l'ensemble du jeu de données mis à part les zones non désherbées qui ne sont pas traitées statistiquement car les informations obtenues sont différentes des zones désherbées. Les modèles sont comparés de la même manière que pour l'observatoire de Bourgoigne.

VI. 2a. Comparaison des indices de diversité

- Les AIC les plus faibles sont obtenus pour les modèles linéaires (lm) sans les effets aléatoires parcelle. Le modèle ayant l'AIC le plus faible pour A, S, H et J est celui tenant compte des interactions entre variables explicatives (culture, stade, parcelle) (**Annexe 11**) :

$$\text{Lm } (Y \sim \text{culture} + \text{stade} + \text{parcelle} + \text{culture}*\text{stade} + \text{culture}*\text{parcelle} + \text{stade}*\text{parcelle} + \text{culture}*\text{stade}*\text{parcelle})$$

On teste d'abord ce modèle de manière générale pour chaque indice A, S, H et J et pour l'ensemble du jeu de données pour lequel les résultats sont récapitulés dans le **Tableau 11** et représentés pour les quatre indices dans la **Figure 14**.

On observe ici une différence très significative entre le lupin pur et le lupin associé (effet de la culture), chaque indice étant beaucoup plus élevé en culture pure qu'en culture associée. Les moyennes confirment ce résultat : 52 plantes/m² en lupin pur contre 21 plantes/m² en association. Les *p-values* de chaque indice sont respectivement : A ($< 2.10^{-16}$), S (4.10^{-15}), H (3.10^{-10}) et J (0,0001).

Tableau 11 : Récapitulatif de l'ANOVA indiquant les effets significatifs des variables pour les quatre indices de diversité - Observatoire des Pays-de-Loire

	A	S	H	J
Culture	***	***	***	***
Stade	***	*	**	.
Parcelle	***	***	***	***
Culture : stade	*	ns	ns	ns
Culture : parcelle	*	*	***	***
Stade : parcelle	***	***	***	***
Culture : stade : parcelle	***	**	.	**

- Le modèle général a mis en évidence un effet significatif du stade. On considère donc les résultats en fonction des différents stades de développement de chaque culture (**Figure 13**). Les graphiques des indices S, H et J sont respectivement reportés dans les **Annexes 12, 13 et 14**.

L'analyse en fonction du stade montre les mêmes résultats pour chacun des indices (**Annexe 15**) : à savoir que les deux cultures sont significativement très différentes quel que soit le stade et l'indice concerné. Des *p-values* de 3 étoiles sont obtenues pour l'abondance, la richesse et l'indice de Shannon. Ces trois indices sont toujours beaucoup plus élevés en lupin pur qu'en lupin associé et cette tendance se poursuit dans le temps entre début floraison et maturité physiologique.

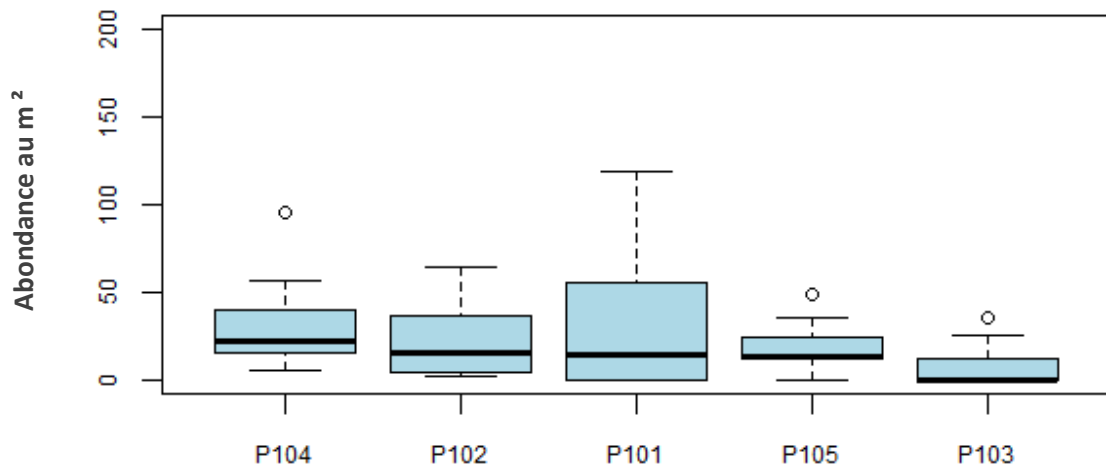
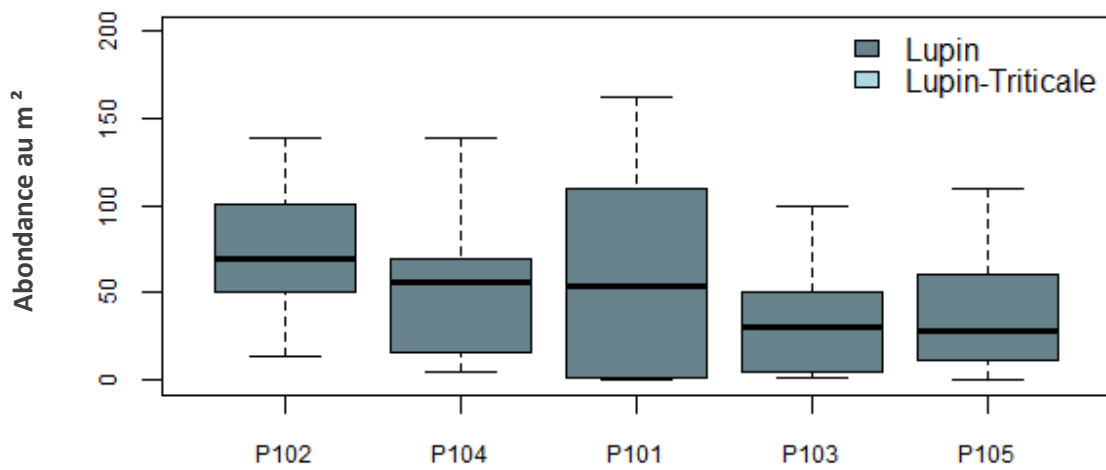


Figure 15 : Comparaison de l'abondance en adventices pour chaque parcelle de Pays-de-Loire

VI. 2b. Mise en évidence de l'effet parcelle

La **Figure 15** représente l'abondance totale d'adventices dans chaque parcelle en considérant l'ensemble des relevés. On différencie l'association de la bande en pure dans chaque cas. Pour chacune des cultures, on retrouve le même classement par abondance des parcelles, à savoir :

- les deux parcelles possédant l'abondance la plus élevée sont la P102 et la P104 (respectivement 74 plantes/m² et 52 plantes/m² en lupin, 23 plantes/m² et 30 plantes par m² en lupin/triticales)

- les deux parcelles possédant l'abondance la moins élevée sont la P103 et la P105 (respectivement 32 plantes/m² et 38 plantes par m² en lupin, 6 plantes/m² et 17 plantes/m² en lupin/triticales)

- la parcelle P101 se situe à un niveau intermédiaire mais enregistre la variabilité la plus élevée : abondance moyenne de 61 plantes/m² en lupin et de 33 plantes/m² en lupin/triticales

On remarque également une nouvelle fois une baisse significative d'abondance entre la bande en pure et l'association.

VI. 2c. Répartition des espèces en fonction du mode d'insertion

Contrairement à la Bourgogne, l'analyse multivariée ne permet pas de distinguer les deux groupes (reportée en **Annexe 16**). En effet, les deux cultures sont assez similaires en termes d'espèces avec une richesse plus importante en lupin pur qu'en association. On remarque aussi que l'association n'apporte pas de nouvelle espèce et que toutes les espèces de l'association sont communes à la culture pure.

Pour l'observatoire des Pays-de-la-Loire, 52 espèces ont été retenues sur les 85 initiales. Parmi cette liste, on a (**Tableau 12**) :

- 45 espèces communes au lupin pur et à l'association

- 7 espèces présentes uniquement dans le lupin

Aucune nouvelle espèce n'apparaît dans le lupin/triticales. Toutes les espèces présentes en association le sont aussi dans le lupin pur.

Tableau 12 : Liste des espèces observées dans l'observatoire des Pays-de-Loire (total de 52 espèces)

Lupin	Lupin/triticales	Espèces communes	
AGRRE		AGSST	MATsp
KICEL		ANGAR	MEDLU
MEDAB		ARBTH	MERAN
POLCO		ARREB	PAPRH
TRZAX		ATXPA	PHLPR
TTLsp		BROSE	PICEC
VERHE		BRSNI	POAAN
		CARHI	POATR
		CERGL	POLAV
		CHEAL	RANBU
		CHEPO	RANRE
		CIRAR	RAPRA
		CONAR	RUMCR
		DAUCA	SENVU
		EPIAD	SHRAR
		ERIFL	SONAS
		FUMOF	STEME
		GALAP	TAROF
		GERDI	TRFRE
		HYPPE	VERPE
		JUNBU	VICSA
		KICSP	VIOAR
		LOLMU	
7 espèces	0 espèce	45 espèces	

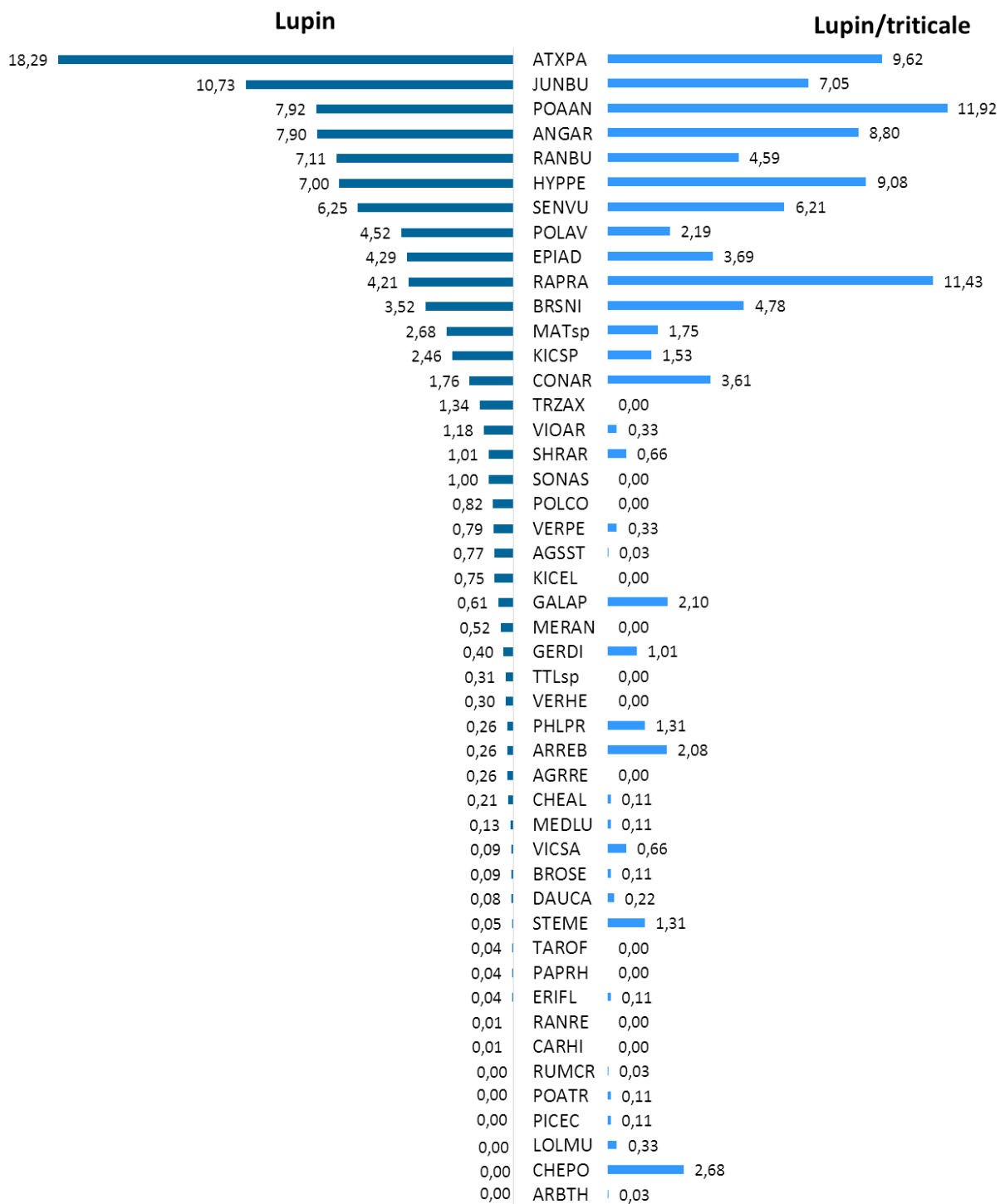


Figure 16 : Comparaison du lupin pur et du lupin en association (zone désherbée) en fonction de l'abondance relative de chaque espèce

VI. 2d. Analyse des espèces pour chaque culture en zone désherbée

La **Figure 16** compare les deux cultures pour la zone désherbée et permet de représenter la composition de la communauté et la part prise par chaque espèce. Les espèces sont classées en fonction de leur abondance relative en lupin pur.

Sur un total de 52 espèces retenues pour l'observatoire des Pays-de-la-Loire, on retrouve 47 espèces différentes en zone désherbée, réparties comme suit (**Tableau 13**) :

- 12 espèces spécifiques au lupin pur
- 6 espèces spécifiques à l'association
- 29 espèces communes aux deux cultures

Tableau 13 : Liste des espèces observées en zone désherbée (total de 47 espèces)

Lupin	Lupin/triticale	Espèces communes	
CARHI	ARBTH	ERIFL	CONAR
RANRE	CHEPO	STEME	KICSP
PAPRH	LOLMU	DAUCA	MATSp
TAROF	PICEC	BROSE	BRUNI
AGRRE	POATR	VICSA	RAPRA
VERHE	RUMCR	MEDLU	EPIAD
TTLSp		CHEAL	POLAV
MERAN		ARREB	SENVU
KICEL		PHLPR	HYPPE
POLCO		GERDI	RANBU
SONAS		GALAP	ANGAR
TRZAX		AGSST	POAAN
		VERPE	JUNBU
		SHRAR	ATXPA
		VIOAR	
12 espèces	6 espèces	29 espèces	

Contrairement au point de vue global adopté précédemment, on retrouve donc ici quelques espèces uniquement présentes dans l'association. Ceci est dû au fait que lorsqu'on prend en compte la totalité des données, ces espèces sont également présentes en pur pour la zone non désherbée et apparaissent alors en tant qu'espèces communes. Même si on observe deux fois plus d'espèces spécifiques au lupin en pur. Plus généralement, une grande majorité des espèces relevées est commune aux deux cultures.

Les résultats pour la zone non désherbée ainsi que l'évolution de la flore en fonction du stade physiologique de la culture sont présentés dans les **Annexes 17 à 20** mais ne seront pas analysés ici par manque de temps et d'informations sur les pratiques des agriculteurs. De plus, tout comme pour le pois, aucun changement du milieu n'intervient au cours du temps entre les deux stades de relevés.

VII. Discussion

VII. 1. OBSERVATOIRE DE BOURGOGNE

VII. 1a. Comparaison des indices de diversité

De manière générale, sans considérer les stades de développement de la culture, l'analyse ne montre pas de différence significative d'abondance entre les conduites pour la culture de luzerne. Ceci paraît assez étonnant puisque la luzerne conventionnelle a été désherbée et devrait donc avoir un salissement moins important que la luzerne biologique. En outre, concernant la richesse en espèces, celle-ci est plus importante en luzerne biologique qu'en conventionnel, ce qui signifie que l'abondance en adventices observée en conventionnel n'est pas due à une prolifération d'espèces différentes mais plutôt à la dominance de quelques espèces sur les autres. On peut ainsi faire l'hypothèse que les désherbants utilisés sur la luzerne ont pu être efficaces sur un large spectre d'espèces mais ont de fait laissé aux espèces résistantes une large place pour se développer et coloniser la culture.

En revanche pour le pois, la conduite biologique ne permet pas une abondance plus faible que la conduite conventionnelle. La communauté d'adventices observée en biologique est comme attendu plus abondante et plus riche qu'en conventionnel. Avec les produits phytosanitaires, le nombre d'espèces et de familles d'adventices est beaucoup plus restreint d'où une richesse moins importante.

L'abondance et la richesse en adventices étant significativement très différents entre stades de développement de la culture et le modèle ayant explicité une interaction entre conduite et stade, intéressons nous à la comparaison des cultures et des conduites en fonction du stade de développement observé.

Tout d'abord, avant la première fauche, l'abondance en adventices n'est pas plus importante pour une conduite de luzerne que pour l'autre, ce qui paraît assez étonnant. De même, la luzerne biologique est également plus riche que la luzerne conventionnelle malgré une abondance moins importante (voir § ci-dessus de comparaison générale). En revanche, avant la deuxième fauche, l'abondance a beaucoup diminué pour chacune des conduites, mais de manière moins importante en conventionnel. Pourtant, on a cette fois deux conduites pour lesquelles la richesse en adventices n'est significativement pas différente. Il est donc intéressant de regarder si les espèces qui subsistent après la première fauche sont les mêmes pour les deux conduites et auquel cas se demander pourquoi la conduite conventionnelle privilégie une abondance plus importante de ces espèces (voir VII. 1e). A ce même stade, on a donc une luzerne conventionnelle où la gestion des adventices est moins maîtrisée. L'effet fauche est confirmé (Munier-Jolain et al. 2012) ; cependant, on peut émettre l'hypothèse que cet effet a moins d'impact sur les adventices et est peut être moins efficace en conduite conventionnelle qu'en conduite biologique.

Concernant le pois, on observe une richesse floristique plus importante en biologique qu'en conventionnel, quelque soit le stade. Comme dit précédemment, cela est dû à l'impact des herbicides sur la diversité et l'abondance en espèces qui semble donc plus marqué en pois qu'en luzerne. Cependant, si l'on regarde l'abondance, le pois conventionnel connaît un salissement plus marqué qu'en biologique à début floraison alors que la tendance s'inverse à maturité. On peut notamment relier ce résultat au fait que les derniers herbicides ont été appliqués assez tard par certains agriculteurs conventionnels, parfois peu de temps avant nos relevés. Leur efficacité a donc pu être décalée dans le temps et visible uniquement lors de notre second relevé à maturité. Cependant, cette tendance à début floraison n'est pas la même si l'on s'intéresse aux moyennes d'abondance par m² pour chacune des conduites où l'on a un pois biologique avec une abondance plus importante qu'en conventionnel. On peut alors faire une deuxième hypothèse : pour le pois biologique, la parcelle BP5 se distingue fortement des autres par une abondance très élevée, ce qui a pu se traduire par une augmentation non négligeable de la moyenne par m² en pois biologique alors que ces points sont plutôt considérés comme des valeurs extrêmes par l'analyse de variance.

Par ailleurs, pourtant réputée étouffante, au premier stade de relevé, la gestion des adventices est meilleure dans le pois que dans la luzerne. Cette tendance s'inverse après la première fauche, à laquelle de nombreuses adventices ne sont pas résistantes, tandis que l'infestation par les adventices a plutôt tendance à s'accroître dans le temps pour le pois même si la sécheresse de cette année a stoppé le développement de nombreuses espèces.

VII. 1b. Mise en évidence de l'effet parcelle

Du fait de la diversité des itinéraires techniques menés par chaque agriculteur et des différentes localisations des parcelles, on observe une grande hétérogénéité entre chacune d'entre elles. D'après la **Figure 9**, les 4 parcelles les plus abondantes sont : BP5, CP2, BL7 et CL2. Ceci peut s'expliquer par des caractéristiques propres à chaque parcelle :

- BP5 a une localisation assez différente des autres parcelles puisqu'elle se situe assez en marge du réseau, à proximité du plateau de Langres, réputé pour être assez froid. De ce fait, le semis a été réalisé très tardivement (le 20 avril contre fin février/début mars pour les autres parcelles) ce qui change complètement la nature des espèces qui lèvent en même temps que la culture. Une très grande diversité d'espèces a été observée sur cette parcelle.
 - CP2 est une parcelle de pois ayant eu un désherbage très tardif qui n'a pas été assez efficace pour stopper le développement de certaines adventices comme ALOMY qui ont réussi à reprendre en végétation. De plus, cette parcelle est très hétérogène en sol avec des parties très séchantes où la profondeur de sol est réduite.
 - BL7 constitue une parcelle très atypique parmi les luzernes biologiques et où l'on a pu observer une flore assez différente. La luzerne a peu réussi à se développer (à peine 40 cm de haut à la première coupe contre près de 80 cm pour les luzernes les plus productives). Une autre hypothèse est envisagée : celle d'un possible taux de calcaire actif très important dans cette parcelle ce qui pourrait provoquer une chlorose ferrique (blocage du fer à cause du calcaire). Les analyses de sol sont en cours de traitement au laboratoire.
 - CL2 est la seule parcelle de luzerne conventionnelle qui n'a jamais été désherbée au cours de son cycle de développement. De nombreux endroits de la parcelle sont totalement colonisés par les adventices et ne présentent plus de luzerne.
- De plus, on remarque également que la parcelle CP6 est celle qui a la meilleure gestion des adventices avec une moyenne de 14 plantes/m². On peut faire l'hypothèse que ceci est lié à la conduite de l'agriculteur qui se réclame comme un partisan d'une agriculture de conservation avec une réduction des doses de produits phytosanitaires apportées au profit d'une mise en place systématique de couverts végétaux multiespèces avec notamment des propriétés allélopathiques. Cela permet également de garder une couverture du sol importante, au détriment du développement des adventices hivernales. L'interculture précédent son pois de printemps était un mélange de radis chinois, pois, féverole, vesce, phacélie, lin, moutarde.

VII. 1c. Analyse des espèces par conduite pour chaque culture

Comme l'a montré l'analyse discriminante, le pois et la luzerne ont des flores totalement différentes.

Culture de pois

- Pour les 18 espèces uniquement présentes en biologique et absentes en conventionnel, on peut supposer qu'elles ont été désherbées, comme ce doit être le cas pour les 13 espèces visées par les herbicides : PICEC-DAUCA-LAPCO-PAPRH-SETVI-CAPBP-ANGAR-KIKsp-ANGCO-SONOL-GERRT-SHRAR-SONAS.

Il reste donc 5 autres espèces « non expliquées » puisqu'elles n'ont pas été spécifiquement visées par les herbicides. Ce sont :

- TAROF dans les parcelles BP4 et BP5 (abondance relative = 1,02 %)
- EPILsp dans BP5 (0,39 %)
- MELAL dans BP5 (0,33 %)
- PLAMA dans BP4 et BP5 (1,92 %)
- ARISE dans BP5 (9,35 %)

Mise à part ARISE, ces espèces sont présentes en très faible proportion et elles sont toutes présentes uniquement sur deux parcelles : BP4 et surtout BP5. Cette dernière fait partie des parcelles « atypiques » puisqu'elle est assez éloignée du reste du réseau et a une richesse spécifique très importante. De plus, c'est uniquement là que l'on retrouve ARISE mais en grande quantité, ce qui explique qu'elle ait pris de l'importance en terme de fréquence d'occurrence au sein de la culture de pois biologique.

• De plus, on observe également 3 espèces uniquement présentes en conventionnel :

- LOLMU chez CP3 (abondance relative = 6,25 %)
- LAMPU chez CP2 (3,39 %)
- VERHE chez CP2, CP4 et CP6 (7,42 %)

Pour LAMPU et VERHE qui auraient dû être désherbées par les herbicides Challenge 600 et Prowl 400, on en déduit qu'elles sont mieux gérées en agriculture biologique plutôt qu'en agriculture conventionnelle. Pour ce qui est de LOLMU chez CP3, il semble qu'il provienne des impuretés de la semence de pois, d'après ce qu'a pu nous dire l'agriculteur. Cependant, étant donné que la parcelle a été désherbée, on peut tout de même faire la supposition d'une résistance aux herbicides de cette espèce : en effet, l'anti graminée appliqué (Leopard 120) est un inhibiteur de l'enzyme ACCase et il correspond aux types d'herbicides envers lesquels il a été observé des résistances chez le ray-grass italien (Lonchamp et Gasquez 2015).

• Enfin, 18 espèces sont communes aux deux conduites. Elles correspondent à la liste des espèces principalement visées par les herbicides utilisés, à l'exception de CIRAR et CONAR qui sont pour leur part mieux gérées en conventionnel qu'en biologique. Parmi les 16 espèces visées, 6 sont largement plus fréquentes en **conventionnel** qu'en agriculture **biologique** : EPHEX (**3,27-0,33**), POLAV (**14,93-1,54**), ALOMY (**9,62-2,38**), POLCO (**8,96-2,80**), AETCY (**14,08-3,61**), VIOAR (**20,05-12,25**) (données en pourcentage). On peut donc dire que la conduite biologique permet de mieux gérer ces espèces.

En revanche, pour ce qui est des espèces AVEFA (**0,66-7,45**), CHNMI (**0,07-6,18**), FUMOF (**0,45-5,45**), CONAR (**2,06-4,71**) et VERPE (**0,14-2,97**), on observe une fréquence d'occurrence beaucoup plus important en biologique alors qu'elles sont bien gérées en conventionnel.

Culture de luzerne

• Pour les 14 espèces uniquement présentes en conduite biologique, on fait la même supposition que pour le pois, à savoir qu'elles sont susceptibles d'avoir été désherbées. Ce doit être le cas pour 9 d'entre elles, qui sont spécifiquement visées par les herbicides et donc non présentes en conventionnel : EPHEX-PAPRH-RUMCR-FUMOF-HORVX-POLCO-AVEFA-GALAP-SHRAR.

Il reste donc 5 espèces « non expliquées », pas spécialement visées par les herbicides :

- SONOL dans la parcelle BL1 (abondance relative = 0,03 %)
- CIRAR chez BL1 et BL7 (0,46 %)
- APHAR chez BL2, BL3 et BL6 (0,72 %)

- VICSA chez BL7 (0,76 %)
- EPILsp chez BL1 et BL2 (1,76 %)

Ces espèces sont présentes en biologique mais pas en conventionnel même si elles ne sont pas désherbées. Il y a donc un effet de la conduite, la conduite biologique favorisant ces espèces même si elles restent dans des proportions très faibles (moins de 2%).

- 6 espèces ne sont présentes qu'en conventionnel :

- ATXPA dans la parcelle CL3
- GERPU chez CL1, CL2 et CL5
- GERRT chez CL2 et CL5
- LAMPU chez CL5
- PICEC chez CL3

Les parcelles dans lesquelles on retrouve ces espèces spécifiques à la conduite conventionnelle sont très diversifiées : il n'y a donc pas d'explication parcelle. On peut alors supposer un effet de la conduite.

- Enfin, 24 espèces sont communes aux deux conduites. Elles correspondent à la liste des principales visées par les herbicides, à l'exception de 8 espèces : PLAMA, SONAS, TRFPR, CONAR, DAUCA, MELAL, TAROF et MYOAR. Les deux plus abondantes, TAROF et MYOAR, sont particulièrement mieux gérées en conduite biologique. En effet, TAROF représente plus de 35% de la flore adventice en conventionnel tandis qu'il ne représente qu'un peu plus de 8% en biologique. On peut l'expliquer par le fait qu'aucun produit ne semble véritablement efficace sur cette espèce et que le fait d'éliminer un grand nombre d'autres espèces grâce aux herbicides lui permet d'avoir plus d'espace pour se développer. De plus, c'est une espèce vivace qui est résistante à la fauche du fait de son port en rosette.

Parmi les 16 espèces visées, VERAR, POATR, CAPBP, ANGAR, KIKSP, LOLPE, VIOAR, POLAV, LOLMU, et GERMO ont une fréquence d'occurrence supérieure en conduite conventionnelle. Pour ces espèces, on peut donc dire que la conduite biologique permet de mieux les gérer.

En revanche, pour ce qui est d'ALOMY, VERPE, STEME, MATsp, LAPCO et AETCY, leur fréquence est plus importante en biologique qu'en conventionnel où elles sont donc mieux gérées car désherbées.

VII. 1d. Evolution de la flore en fonction du stade physiologique de la culture

Culture de pois

Quelque soit la conduite, la tendance observée pour le pois est à la diminution d'adventices en termes d'abondance et de richesse, entre le stade DF et le stade MP. La baisse est moins importante dans le pois biologique que le pois conventionnel. Cette année, cette évolution peut s'expliquer par la sécheresse exceptionnelle connue en Bourgogne depuis la fin du printemps. Le manque d'eau, s'il a fortement impacté sur les rendements de pois, a également empêché le développement de nombreuses adventices. Il serait donc idéal de pouvoir rééditer l'expérimentation dans des conditions climatiques plus favorables afin de valider l'hypothèse d'une baisse de l'infestation par les adventices dans le pois entre ses deux stades clés.

Culture de luzerne

- En luzerne biologique, sur un total de 38 espèces, 26 espèces ont disparu ou diminué après la première fauche. Plusieurs hypothèses sont possibles quand à cette évolution. Premièrement, la communauté d'adventices observée avant la première fauche traduit « l'historique » de la parcelle, c'est-à-dire du type d'espèce qui ont pu grainer à l'automne et des espèces qui ont pu se développer ou survivre pendant l'hiver jusqu'au printemps. Il est donc possible que ces espèces terminent leur cycle de développement au moment de la première fauche ; il est donc normal et attendu de ne pas les retrouver en deuxième fauche. C'est par exemple le cas de MYOAR (289 individus en F1 contre 4

en F2) ou de CABP (81 individus en F1 contre 8 individus en F2). Par ailleurs, l'hypothèse la plus envisagée est que ces espèces pour lesquelles la fauche n'a pas été favorable ne sont pas résistantes à cette action mécanique. Ce sont principalement des espèces au port dressé qui sont impactées comme MELAL, EPILsp, ALOMY, MYOAR ou LAPCO par exemple. La fauche induit une perturbation de leur cycle de développement puisqu'elles ne sont pas capables de reprendre leur croissance après la coupe.

En revanche, plusieurs espèces peuvent être dites « résistantes » à la fauche pour plusieurs raisons :

- l'espèce a un port en rosette ou rampant, elle est donc peut impactée par la coupe ce qui lui permet de reprendre sa croissance rapidement et de continuer de se développer au détriment de la culture. C'est le cas pour TAROF, AETCY, CONAR ou PLAMA qui font partie des 6 espèces plus abondantes en F2 qu'en F1

- l'espèce a une germination plutôt estivale : sa levée a lieu au moment de la fauche ou juste après. Elle n'est donc pas impactée et peu poursuivre son développement comme pour AVEFA, ANGAR ou EPHEX par exemple. On parle de stratégie d'évitement (Perronne 2014). Pour ces espèces, il serait intéressant d'avoir les résultats décrivant la flore avant la troisième fauche afin de déterminer si elles peuvent résister à cette perturbation alors qu'elles sont en plein développement.

- l'espèce a une capacité de pousse très rapide et est donc très compétitrice

- En luzerne conventionnelle, la même évolution est observée, à savoir une diminution du nombre d'individus et du nombre d'espèces. En revanche, elle se fait dans des proportions légèrement moindres par rapport à la conduite biologique, la fauche n'étant pas favorable à 63% des adventices en luzerne conventionnelle, contre 68% en luzerne biologique. En outre, une même espèce n'est pas forcément impactée de la même manière pour chaque conduite : par exemple, ALOMY diminue de 906 à 147 individus en biologique entre les deux stades de relevés alors qu'elle augmente légèrement de 182 à 214 en conventionnel.

Pour ce qui est de TAROF, le phénomène opposé est observé : alors qu'on a une légère augmentation en biologique, la tendance est plutôt à une légère baisse en conventionnel même si l'infestation reste encore très importante pour cette espèce qui n'est pas sensible à la fauche.

VII. 2. OBSERVATOIRE DE PAYS DE LOIRE

VII. 2a. Comparaison des indices de diversité

La **Figure 13** montre clairement une meilleure gestion des adventices en association qu'en culture pure. En effet, en zone désherbée, l'abondance d'adventices est environ 3 fois moins élevée en association qu'en pure. Le même constat est fait pour la richesse spécifique qui diminue de moitié en lupin associé. Si l'on considère les mêmes résultats mais différenciés en fonction du stade DF ou MP, on aboutit à la même conclusion. Même si comme en pois et à cause de la sécheresse, la communauté d'adventices est moins importante à maturité, les écarts d'abondance et de richesse entre culture pure et association restent sensiblement du même ordre de grandeur. Ainsi, cela nous permet de confirmer les résultats obtenus par Malezieux et al. 2009 quant à une réduction du nombre d'adventices en céréale-légumineuse par rapport à la culture de la même légumineuse en pure.

VII. 2b. Mise en évidence de l'effet parcelle

Même si l'effet parcelle existe indéniablement, il n'est à ce jour pas possible d'expliquer les particularités de chaque parcelle grâce aux ITK car les enquêtes Pays-de-Loire ne sont pas encore disponibles.

VII. 2c. Analyse des espèces par conduite pour chaque culture en zone désherbée

De manière générale, si l'on considère l'ensemble des résultats (zone non désherbée comprise) de cet observatoire, la **Figure 16** permet de montrer que les flores de lupin pur et de lupin associé sont relativement similaires en termes d'espèces. Contrairement à l'observatoire de Bourgogne, on n'a pas d'apparition de nouvelle espèce en association au détriment d'une qui disparaît. Il n'y a donc pas de changement de communauté d'adventices mais celle-ci devient par

contre plus restreinte tant en nombre d'individus qu'en nombre d'espèces. On peut penser que cela est dû à la compétition plus importante induite en présence de triticales. Les adventices ont moins d'espace pour se développer et l'accès à l'eau et aux nutriments devient plus difficile. Contrairement à la fauche, ce type d'impact sur les adventices que constitue la compétition inter-individus influe sur un plus grand nombre d'espèces et ne permet pas d'en faire apparaître de nouvelles.

Par ailleurs, si l'on considère uniquement la zone désherbée, 6 espèces (ARBTH-CHEPO-LOLMU-PICEC-POATR-RUMCR) sont présentes uniquement en association (soit 13%) contre 12 espèces spécifiques au lupin pur (soit 26%). On a donc une grande majorité soit 61% des espèces qui sont communes aux deux cultures. Cela confirme le fait que l'association permet de réduire l'abondance voir faire disparaître certaines espèces. Ces deux dimensions sont mises en évidence grâce au graphique XXX. En effet, il semble que la réduction de l'abondance se fasse plutôt dans le cas où l'espèce était déjà très présente en culture pure. Par exemple, ATXPA, l'espèce la plus représentée en pur a une fréquence relative de 18,29 en lupin pur contre 9,62 en lupin/triticales. Les espèces qui vont disparaître en association sont alors plutôt des espèces moins représentées en pur comme c'est le cas pour TRZAX, SONAS ou POLCO.

VII. 2d. Evolution de la flore en fonction du stade physiologique de la culture

En outre, de même que pour le pois en Bourgogne, les graphiques reportés dans les **Annexes 18** et **19** montrent une diminution de l'abondance d'adventices entre DF et MP qui est sans doute en partie due à la sécheresse et au manque d'eau. Cette réduction se fait dans des proportions moins importantes qu'en Bourgogne, les Pays-de-la-Loire ayant été moins impactés par cet aléa climatique.

Conclusion

Nos résultats permettent de mettre en évidence les conditions favorables (mode d'insertion, conduite) pour chaque culture de légumineuse étudiée afin de gérer au mieux l'abondance et la diversité des adventices.

Du fait de la difficulté à gérer les adventices en culture de pois, la conduite conventionnelle semble mieux réussir à contenir ce stress biotique. De plus, l'hypothèse d'une compétitivité forte de la luzerne avec les mauvaises herbes par rapport au pois se confirme. On observe ainsi à l'issue de la première fauche qu'un nombre très restreint d'adventices est capable de se développer (soit par résistance, soit par évitement à la fauche). On montre également une meilleure efficacité de la fauche contre les adventices en luzerne biologique qu'en luzerne conventionnelle.

L'implantation d'une culture annuelle de légumineuse (ici le lupin) en association permet de réduire drastiquement l'infestation par les adventices, quelque soit le stade de développement de la culture. De plus, contrairement à la luzerne où certaines espèces disparaissent après la première fauche au profit de nouvelles espèces qui apparaissent dans des proportions plus faibles, l'association n'induit pas une communauté d'adventices différente de la culture pure en termes d'espèces présentes.

Etant donné que l'année 2015 n'est que la première année de mise en place des expérimentations pour le projet, plusieurs perspectives sont envisagées. Il est normalement attendu pour l'année prochaine de répéter ces expérimentations afin de confirmer les résultats, mais également d'en mettre en place de nouvelles dans les mêmes parcelles que cette année : il est prévu d'étudier les effets et bénéfices attendus sur la céréale suivant la légumineuse (apports d'azote pour la céréale et réduction du nombre d'adventices après une luzerne par exemple).

On peut également envisager une exploitation plus approfondie des résultats de cette année pour lesquels certaines données n'ont pas été utilisées. On peut notamment penser aux relevés de biomasses de la légumineuse et des adventices qui ont été réalisés dans chacune des placettes observées (voir protocole en **Annexe 21**). Il serait intéressant de pouvoir comparer pour chaque modalité la proportion d'adventices par rapport à la biomasse totale. De plus, l'analyse en Pays-de-Loire pourrait être approfondie (étude des zones non désherbées, prise en compte des enquêtes pour compléter l'analyse).

L'analyse peut aussi se poursuivre jusqu'à une étude des traits fonctionnels des adventices (caractéristiques morphologiques, physiologiques et phénologiques qui influent sur la performance de l'individu) (Violle et al. 2007). On pourrait ainsi mettre en relation un ou plusieurs traits (taille et port des plantes, type biologique...) à certains modes d'insertion.

Enfin, il serait judicieux de pouvoir comparer les deux observatoires, et notamment les deux cultures annuelles (lupin et pois). On peut notamment regretter que des expérimentations avec du pois en association n'ait pas pu se mettre en place au sein du réseau de Bourgogne car cela aurait justement permis d'établir un lien avec le réseau de Pays-de-Loire.

Références bibliographiques

- Bedoussac, Laurent, Etienne-Pascal Journet, Henrik Hauggaard-Nielsen, Christophe Naudin, Guenaelle Corre-Hellou, Erik Steen Jensen, Loic Prieur, et Eric Justes. 2015. « Ecological Principles Underlying the Increase of Productivity Achieved by Cereal-Grain Legume Intercrops in Organic Farming. A Review. » *Agronomy for Sustainable Development* 35 (3): 911-35. doi:10.1007/s13593-014-0277-7.
- Corre-Hellou, Guenaelle, Joelle Fustec, et Yves Crozat. 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 (1-2): 195-208. doi:10.1007/s11104-005-5777-4.
- Doisy, Diana 2015. Effet de l'insertion de prairies temporaires sur la dynamique des communautés adventices dans la rotation. Thèse de doctorat AgroParisTech (co-encadrement Safia Médiène et Jean Roger-Estrade). 208 p.
- Duc, Gérard, Catherine Mignolet, Benoît Carrouée, et Christian Huyghe. 2010. « Importance économique passée et présente des légumineuses: Rôle historique dans les assolements et les facteurs d'évolution. » *Innovations agronomiques* 11: 1-24.
- « EPPO - EPPT - Search EPPT. » 2015. Consulté le août 19. <http://eppt.eppo.org/search.php>.
- Griffon, M. 2007. *Pour des agricultures écologiquement intensives, des territoires à haute valeur environnementale et de nouvelles politiques agricoles : leçon inaugurale 2007*. Angers: Ecole supérieure d'agriculture d'Angers. http://publications.cirad.fr/une_notice.php?dk=549201.
- « HYPPA Accueil. » 2015. *HYPPA INRA*. Consulté le août 19. http://www2.dijon.inra.fr/hyppa/hyppa-f/hyppa_f.htm.
- IFEN, 2006. L'environnement en France. Rapport, 500p.
- Liebman, M., et E. Dyck. 1993. « Crop-Rotation and Intercropping Strategies for Weed Management. » *Ecological Applications* 3 (1): 92-122. doi:10.2307/1941795.
- Lonchamp, J., et J. Gasquez. 2015. « hypp - Biologie de la plante. » *Ephytia*. Consulté le août 6. <http://ephytia.inra.fr/fr/C/17104/hypp-Biologie-de-la-plante>.
- Malezieux, E., Y. Crozat, C. Dupraz, M. Laurans, D. Makowski, H. Ozier-Lafontaine, B. Rapidel, S. de Tourdonnet, et M. Valantin-Morison. 2009. « Mixing Plant Species in Cropping Systems: Concepts, Tools and Models. A Review. » *Agronomy for Sustainable Development* 29 (1): 43-62. doi:10.1051/agro:2007057.
- Mauvaises herbes des cultures*. 2014. Paris: Acta.
- Meiss, H., S. Mediène, R. Waldhardt, Jacques Caneill, Vincent Bretagnolle, X. Reboud, et Nathalie MUNIER-JOLAIN. 2010. « Perennial lucerne affects weed community trajectories in grain crop rotations. » *Weed research* 50 (4): 331-40.
- Meynard, Jean-Marc, Antoine Messéan, Aude Charlier, François Charrier, Marianne Le Bail, Marie-Benoît Magrini, Isabelle Savini, et others. 2013. « Freins et leviers à la diversification des cultures: étude au niveau des exploitations agricoles et des filières. » *OCL* 20 (4): D403.
- Mollier, Pascale. 2014. « Le poids des légumineuses. » janvier 27. <http://www.inra.fr/Chercheurs-etudiants/Systemes-agricoles/Tous-les-dossiers/Le-poids-des-legumineuses>.
- Munier-Jolain, Nathalie, et Benoît Carrouée. 2003. « Quelle place pour le pois dans une agriculture respectueuse de l'environnement? Argumentaire agri-environnemental. » *Cahiers Agricultures* 12 (2): 111-20.
- Munier-Jolain, Nicolas, Safia Médiène, Helmut Meiss, François Boissinot, W. Rainer, C. Jacques, et Vincent Bretagnolle. 2012. « Rôle des prairies temporaires pour la gestion de la flore adventice dans les systèmes céréaliers. » *Innovations Agronomiques* 22: 71-84.
- Oerke, E.-C. 2006. « Crop losses to pests. » *The Journal of Agricultural Science* 144 (01): 31-43. doi:10.1017/S0021859605005708.
- Perronne, Rémi. 2014. *Caractérisation de la structure fonctionnelle des communautés adventices dans les agroécosystèmes*. Dijon. <http://www.theses.fr/2014DIJOS041>.
- Streeter, David. 2011. *Guide Delachaux des fleurs de France et d'Europe*. Paris: Delachaux et Niestlé.

- Violle, Cyrille, Marie-Laure Navas, Denis Vile, Elena Kazakou, Claire Fortunel, Irène Hummel, et Eric Garnier. 2007. « Let the concept of trait be functional! » *Oikos* 116 (5): 882-92.
- Voisin, Anne-Sophie, Jacques Guéguen, Christian Huyghe, Marie-Helene Jeuffroy, Marie-Benoît Magrini, Jean Marc Meynard, Christophe Mougél, Sylvain Pellerin, et Elise Pelzer. 2013. « Les légumineuses dans l'Europe du XXI^e siècle : Quelle place dans les systèmes agricoles et alimentaires actuels et futurs ? Quels nouveaux défis pour la recherche ? » *Innovations Agronomiques* 30: 283-312.
- Willey, R. W. 1979. « Intercropping - Its Importance and Research Needs. 1. Competition and Yield Advantages. » *Field Crop Abstracts* 32 (1): 1-10.

Table des annexes

Annexe 1 : Liste des espèces observées en Bourgogne

Annexe 2 : Comparaison des modèles pour l'observatoire de Bourgogne

Annexe 3 : Comparaison de la richesse pour chaque culture, chaque conduite et en considérant les deux stades de relevés

Annexe 4 : Comparaison de l'indice de Shannon pour chaque culture, chaque conduite et en considérant les deux stades de relevés

Annexe 5 : Comparaison de l'indice d'équitabilité pour chaque culture, chaque conduite et en considérant les deux stades de relevés

Annexe 6 : Liste des espèces relevées dans la luzerne en fonction de la conduite

Annexe 7 : Comparaison des conduites pour la culture de luzerne en fonction de l'abondance relative de chaque espèce

Annexe 8 : Abondance totale par espèce en pois conventionnel pour chaque stade de relevé

Annexe 9 : Abondance totale par espèce en pois biologique pour chaque stade de relevé

Annexe 10 : Liste des espèces observées en Pays-de-Loire

Annexe 11 : Comparaison des modèles pour l'observatoire de Pays-de-Loire

Annexe 12 : Comparaison de la richesse en adventices entre la culture pure et l'association en considérant les deux stades de relevés

Annexe 13 : Comparaison de l'indice de Shannon entre la culture pure et l'association en considérant les deux stades de relevés

Annexe 14 : Comparaison de l'indice d'équitabilité entre la culture pure et l'association en considérant les deux stades de relevés

Annexe 15 : Récapitulatif du modèle de comparaison des cultures en fonction du stade de développement de la culture considérée

Annexe 16 : Analyse en composante principale (ACP) des espèces relevées pour l'observatoire des Pays-de-Loire en fonction de la culture

Annexe 17 : Liste des espèces relevées en zone non désherbée en fonction de la culture

Annexe 18 : Comparaison du lupin pur et du lupin en association (zone non désherbée) en fonction de l'abondance relative de chaque espèce

Annexe 19 : Abondance totale par espèce en lupin pour chaque stade de relevé (zone désherbée)

Annexe 20 : Abondance totale par espèce en lupin/triticales pour chaque stade de relevé (zone désherbée)

Annexe 21 : Protocole de réalisation des biomasses sèches (culture et adventices)

Annexes

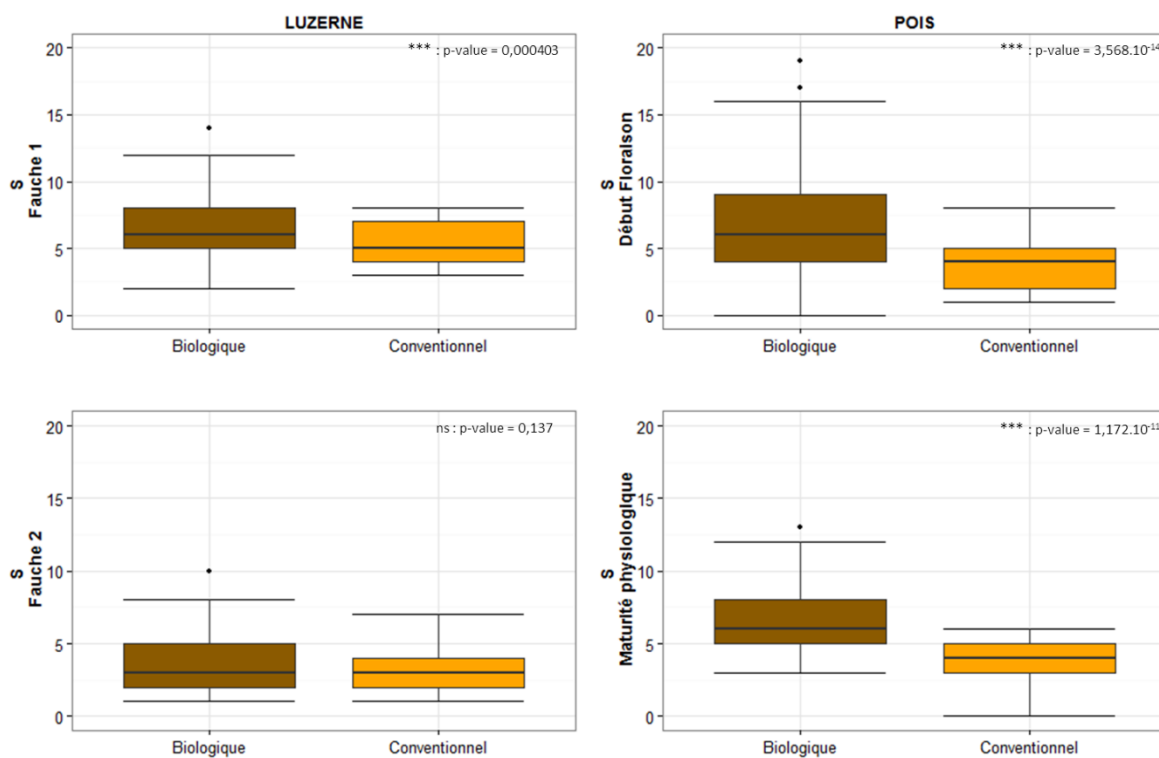
Code BAYER	Nom scientifique	Fréquence d'occurrence	Code BAYER	Nom scientifique	Fréquence d'occurrence
VIOAR	Viola arvensis Murray	40,7	KICSP	Kickxia spuria	7,0
TAROF	Taraxacum officinale Wiggers	40,0	POATR	Poa trivialis	6,7
ALOMY	Alopecurus myosuroides Hudson.	34,4	FUMOF	Fumaria officinalis L.	5,9
AETCY	Aethusa cynapium	30,0	LOLMU	Lolium multiflorum	5,9
POLCO	Fallopia convolvulus	24,4	ANGCO	Lysimachia foemina	5,6
POLAV	Polygonum aviculare	20,7	CHNMI	Chaenorrhinum minus	5,6
SONAS	Sonchus asper	20,7	TRFPR	Trifolium pratense	5,6
GALAP	Galium aparine L.	16,7	VERAR	Veronica arvensis	5,6
CAPBP	Capsella bursa-pastoris (L.) Medik.	15,9	CHEAL	Chenopodium album L.	5,2
VERPE	Veronica persica	15,9	SONOL	Sonchus oleraceus	4,8
MYOAR	Myosotis arvensis (L.) Hill	14,8	ARISE	Arenaria serpyllifolia L.	4,4
AVEFA	Avena fatua	13,3	MELAL	Silene latifolia	4,4
CONAR	Convolvulus arvensis L.	12,6	BRSNI	Brassica napus	3,7
STEME	Stellaria media (L.) Vill.	12,6	PICEC	Picris echioides	3,7
SHRAR	Sherardia arvensis	10,7	EPILsp	Epilobium sp.	3,3
MATsp	Matricaria sp.	10,0	GERPU	Geranium pusillum	3,3
ANGAR	Lysimachia arvensis	9,3	LAMPU	Lamium purpureum	3,3
ATXPA	Atriplex patula L.	9,3	LOLPE	Lolium perenne	3,0
LAPCO	Lapsana communis L.	9,3	PAPRH	Papaver rhoeas L.	3,0
CIRAR	Cirsium arvense (L.) Scop.	8,9	VICSA	Vicia sativa	3,0
EPHEX	Euphorbia exigua	8,5	APHAR	Aphanes arvensis L.	2,6
PLAMA	Plantago major	8,1	RUMCR	Rumex crispus	2,6
VERHE	Veronica hederifolia	8,1	SETVI	Setaria viridis	2,2
GERRT	Geranium rotundifolium	7,8	GERMO	Geranium molle	1,9
DAUCA	Daucus carota L.	7,0	HORVX	Hordeum vulgare	1,9

Annexe 1 : Liste des espèces observées en Bourgogne

	A	S	H	J
Modèle 1	2701.214	1061.103	234.2425	-205.4095
Modèle 2	2542.483	972.1106	197.2605	-186.7055
Modèle 3	4408.7	1122.6	299.8003	-163.5109
Modèle 4	6430.4	1154.6	325.9395	-174.7203
Modèle 5	6428.4	1156.2	325.1635	-188.7815
Modèle 6	6428.4	1152.4	322.3968	-195.1874
Modèle 7	4561.8	1121.1	292.0708	-195.117

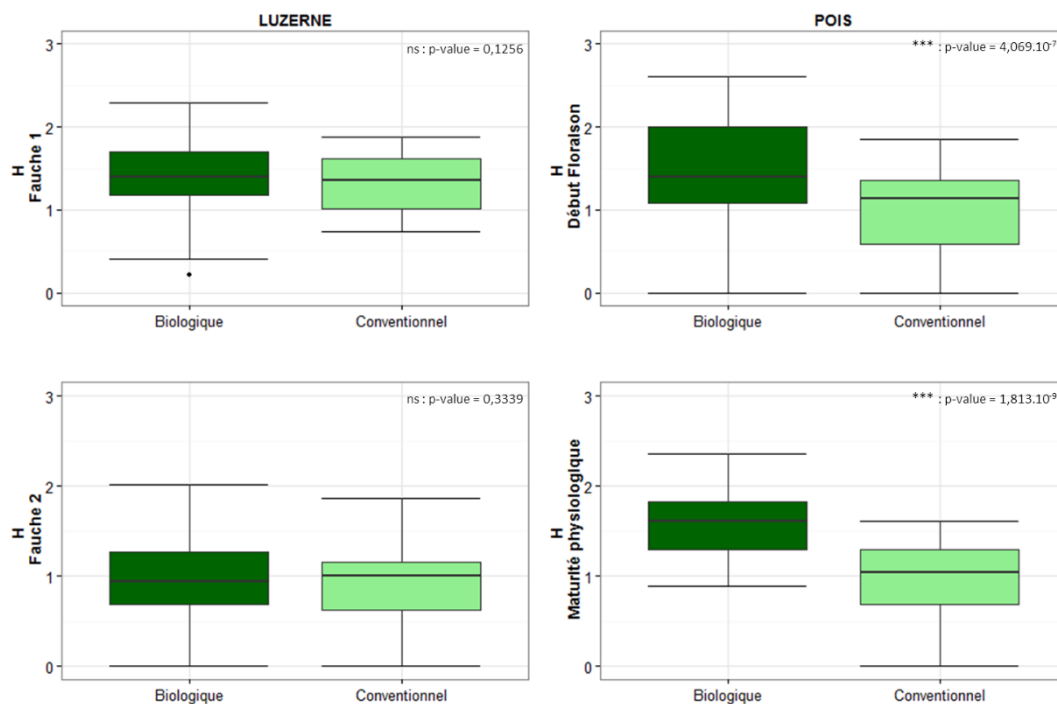
Annexe 2 : Comparaison des modèles pour l'observatoire de Bourgogne

RICHESSE



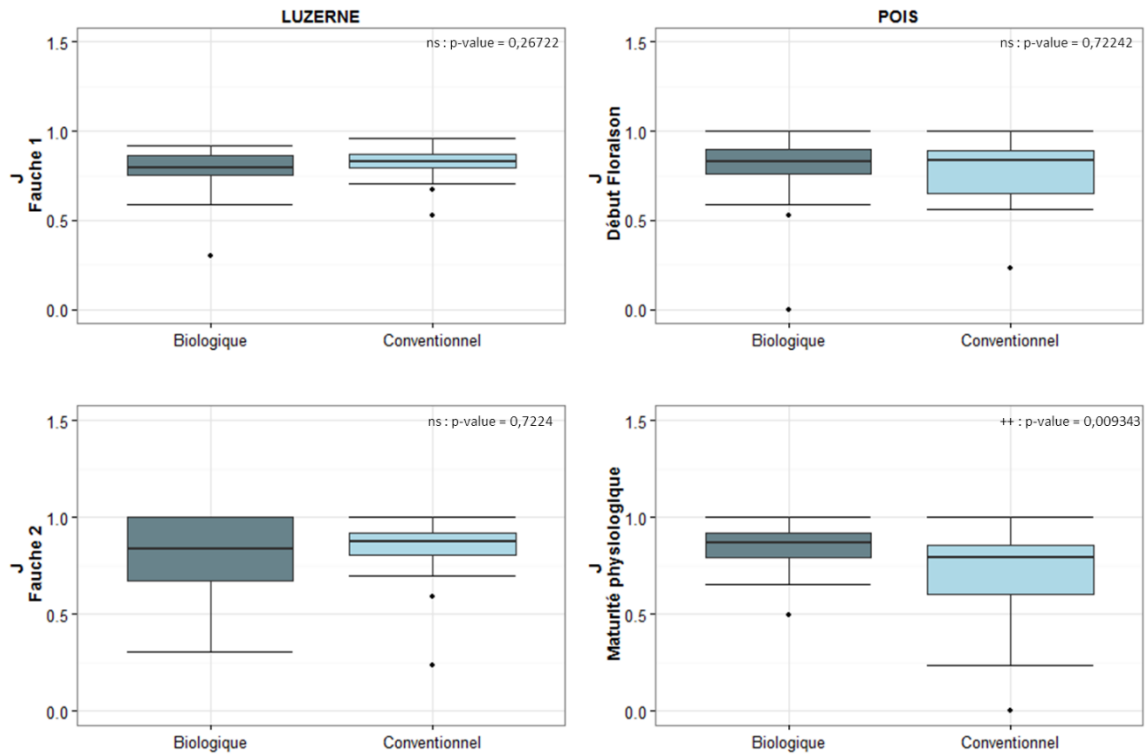
Annexe 3 : Comparaison de la richesse pour chaque culture, chaque conduite et en considérant les deux stades de relevés

SHANNON



Annexe 4 : Comparaison de l'indice de Shannon pour chaque culture, chaque conduite et en considérant les deux stades de relevés

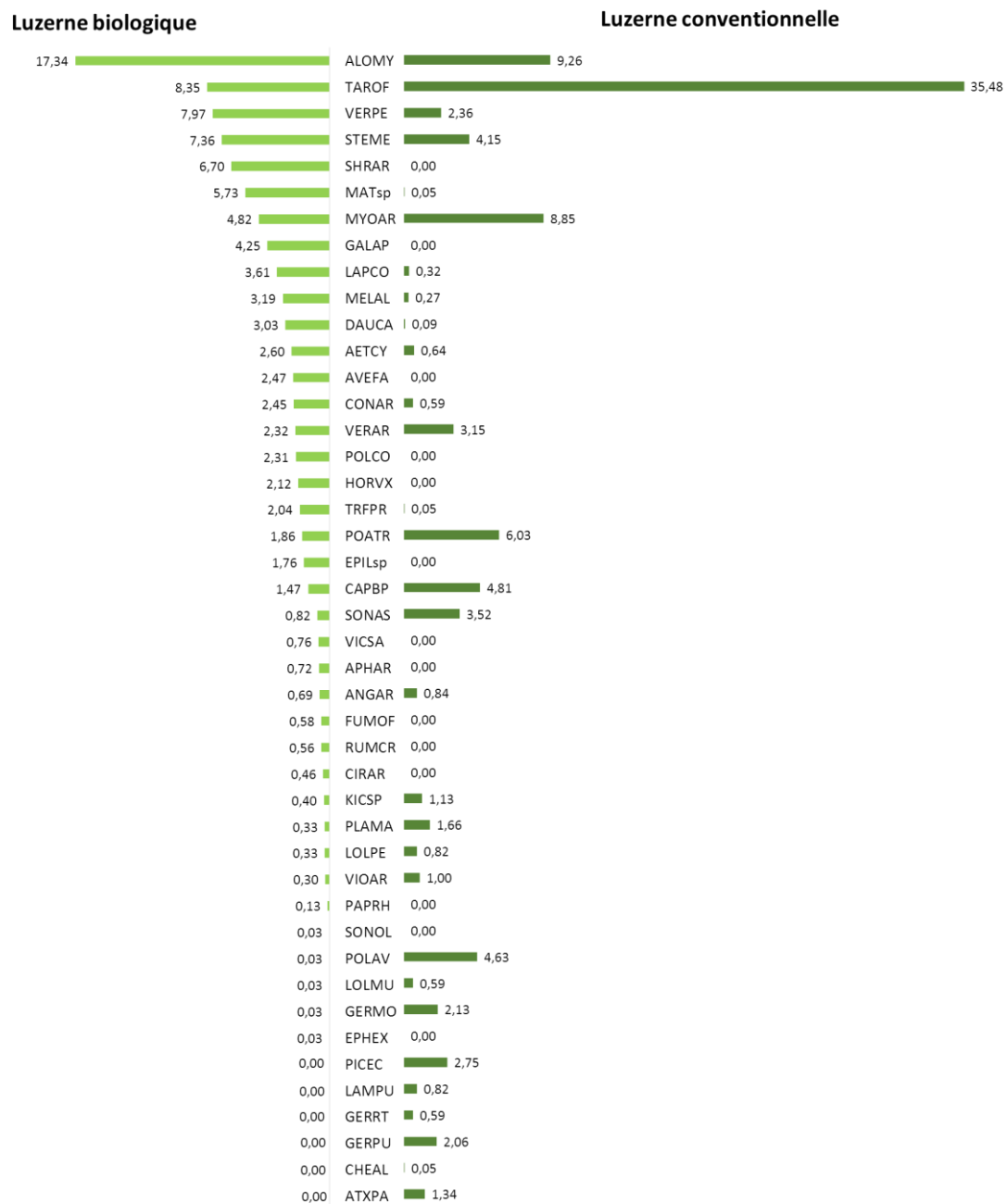
EQUITABILITE



Annexe 5 : Comparaison de l'indice d'équitabilité pour chaque culture, chaque conduite et en considérant les deux stades de relevés

Biologique	Conventionnel	Espèces communes	
EPHEX	ATXPA	GERMO	VERAR
SONOL	CHEAL	LOLMU	CONAR
PAPRH	GERPU	POLAV	AETCY
CIRAR	GERRT	VIOAR	DAUCA
RUMCR	LAMPU	LOLPE	MELAL
FUMOF	PICEC	PLAMA	LAPCO
APHAR		KICSP	MYOAR
VICSA		ANGAR	MATsp
EPILsp		SONAS	STEME
HORVX		CAPBP	VERPE
POLCO		POATR	TAROF
AVEFA		TRFPR	ALOMY
GALAP			
SHRAR			

Annexe 6 : Liste des espèces relevées dans la luzerne en fonction de la conduite

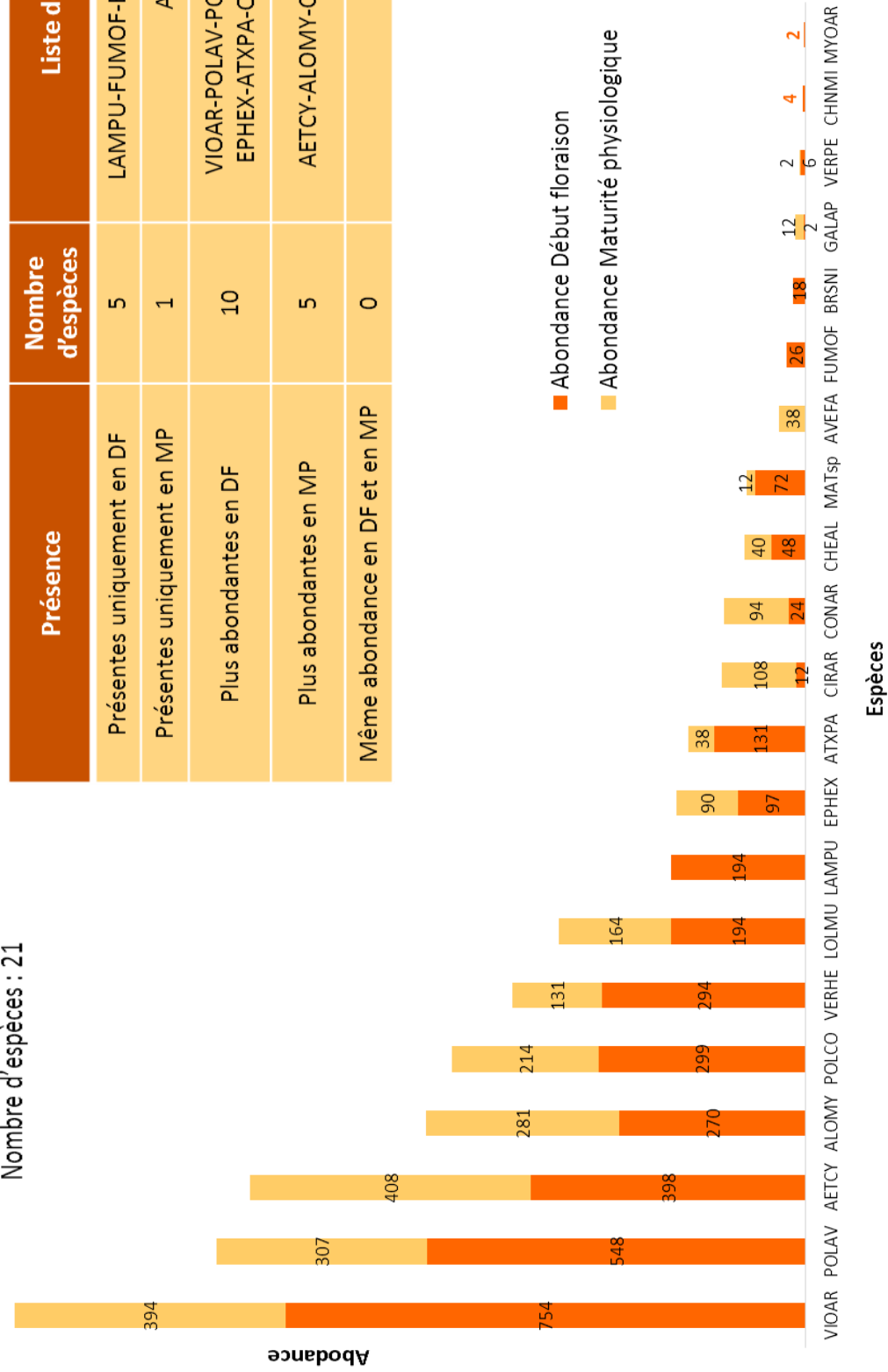


Annexe 7 : Comparaison des conduites pour la culture de luzerne en fonction de l'abondance relative de chaque espèce

Nombre total d'individus relevés : 5726

Nombre de parcelles : 6

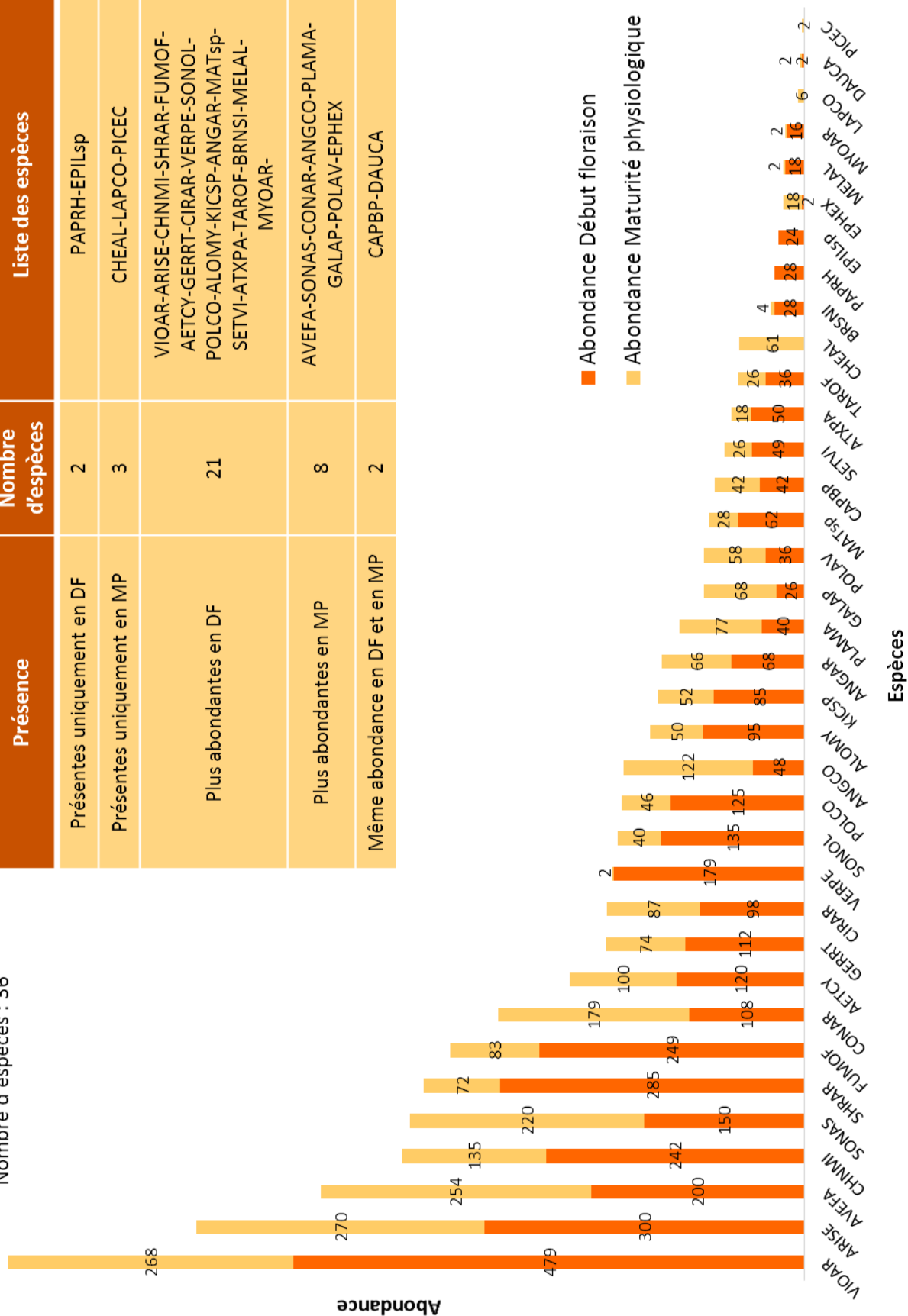
Nombre d'espèces : 21



Annexe 8 : Abondance totale par espèce en pois conventionnel pour chaque stade de relevé

Nombre total d'individus relevés : 6097
 Nombre de parcelles : 5
 Nombre d'espèces : 36

Présence	Nombre d'espèces	Liste des espèces
Présentes uniquement en DF	2	PAPRH-EPILsp
Présentes uniquement en MIP	3	CHEAL-LAPCO-PICEC
Plus abondantes en DF	21	VIOAR-ARISE-CHNMI-SHRAR-FUMOF-AETCY-GERTT-CIRAR-VERPE-SONOL-POLCO-ALOMY-KICSP-ANGAR-MATsp-SETVI-ATXPA-TAROF-BRNSI-MELAL-MYOAR-
Plus abondantes en MIP	8	AVEFA-SONAS-CONAR-ANGCO-PLAMA-GALAP-POLAV-EPHEX
Même abondance en DF et en MIP	2	CAPBP-DAUCA

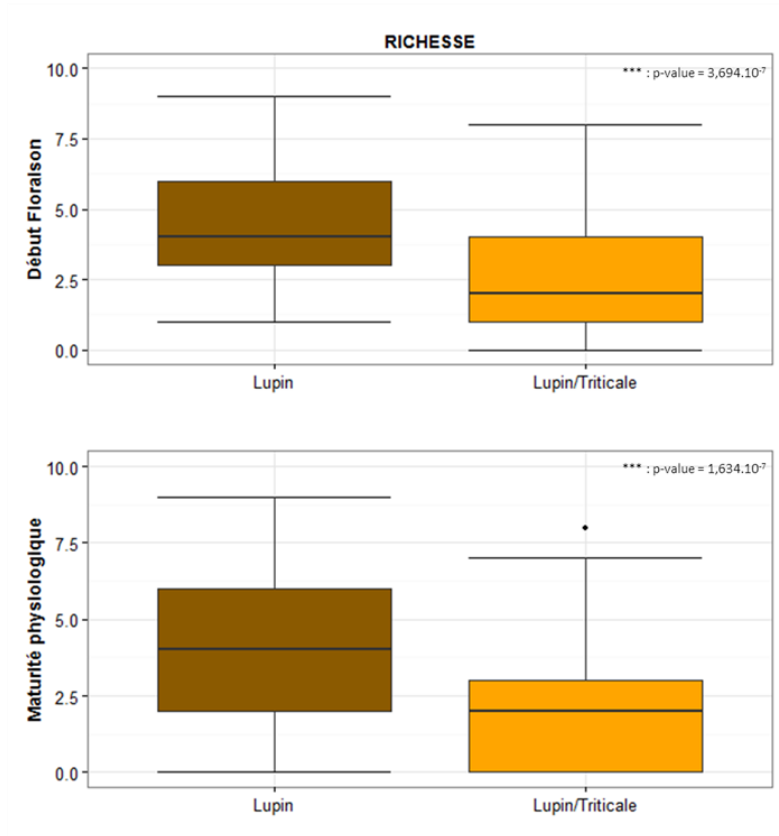


Code BAYER	Nom scientifique	Fréquence d'occurrence	Code BAYER	Nom scientifique	Fréquence d'occurrence
EPIAD	Epilobium tetragonum	38,5	AGSST	Agrostis stolonifera	4,2
ATXPA	Atriplex patula L.	34,9	PAPRH	Papaver rhoeas L.	4,2
SENVU	Senecio vulgaris L.	28,1	CERGL	Cerastium glomeratum	3,6
POAAN	Poa annua	25,5	CHEAL	Chenopodium album L.	3,6
POLAV	Polygonum aviculare	23,4	LOLMU	Lolium multiflorum	3,6
RANBU	Ranunculus bulbosus	18,8	MEDLU	Medicago lupulina	3,1
ANGAR	Lysimachia arvensis	18,2	POATR	Poa trivialis	3,1
HYPPE	Hypericum perforatum L.	16,7	POLCO	Fallopia convolvulus	3,1
CONAR	Convolvulus arvensis L.	14,6	RUMCR	Rumex crispus	3,1
BRSNI	Brassica napus	14,1	SHRAR	Sherardia arvensis	3,1
JUNBU	Juncus bufonius L.	14,1	STEME	Stellaria media (L.) Vill.	3,1
MATsp	Matricaria sp	13,0	TAROF	Taraxacum officinale Wiggers	3,1
RAPRA	Raphanus raphanistrum	11,5	ARREB	Arrhenaterum elatius	2,6
SONAS	Sonchus asper	10,9	BROSE	Bromus secalinus	2,6
GERDI	Geranium dissectum L.	9,9	CIRAR	Cirsium arvense (L.) Scop.	2,6
KICSP	Kickxia spuria	9,9	FUMOF	Fumaria officinalis L.	2,6
TRZAX	Triticum aestivum	9,9	PHLPR	Phleum pratense	2,6
VIOAR	Viola arvensis Murray	9,9	RANRE	Ranunculus repens	2,6
GALAP	Galium aparine L.	8,9	TRFRE	Trifolium repens	2,6
VICSA	Vicia sativa	8,3	CHEPO	Chenopodium polyspermum	2,1
DAUCA	Daucus carota L.	7,3	ARBTH	Arabidopsis thaliana (L.) Heynh.	1,6
MERAN	Mercurialis annua L.	6,3	CARHI	Cardamine hirsuta	1,6
PICEC	Picris echioides	6,3	KICEL	Kickxia elatine	1,0
TTLsp	Triticosecale	5,7	VERHE	Veronica hederifolia	1,0
ERIFL	Conyza sumatrensis L.	4,7	AGRRE	Elytrigia repens (L.) Nevski	0,5
VERPE	Veronica persica	4,7	MEDAB	Medicago arabica	0,5

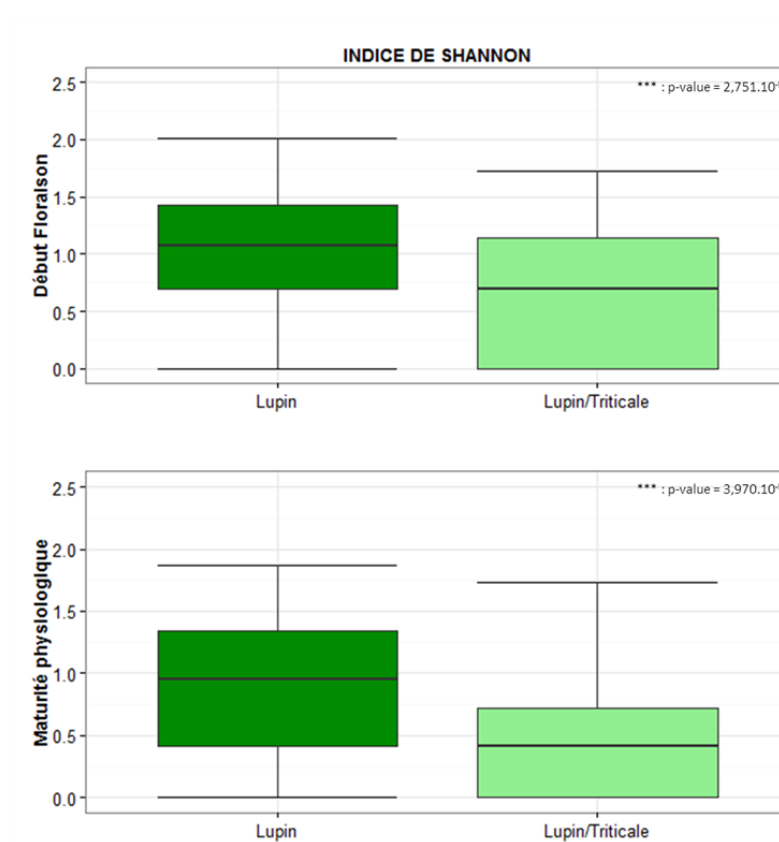
Annexe 10 : Liste des espèces observées en Pays-de-Loire

	A	S	H	J
Modèle 1	1714.21	732.6774	252.1907	64.80004
Modèle 2	1589.465	661.252	184.314	3.44546
Modèle 3	5088.1	722.6	275.3719	88.01848
Modèle 4	5086.1	721.0	271.555	83.23513
Modèle 5	5458.5	722.9	272.1912	78.94045
Modèle 6	6197.6	770.1	292.6591	86.53406

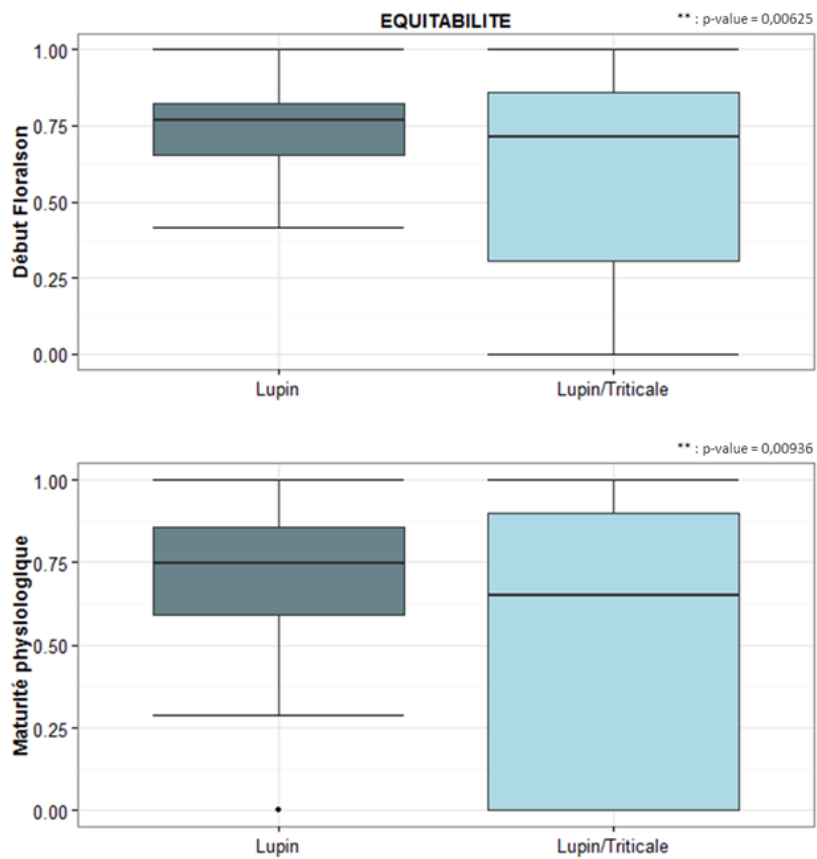
Annexe 11 : Comparaison des modèles pour l'observatoire de Pays-de-Loire



Annexe 12 : Comparaison de la richesse en adventices entre la culture pure et l'association en considérant les deux stades de relevés



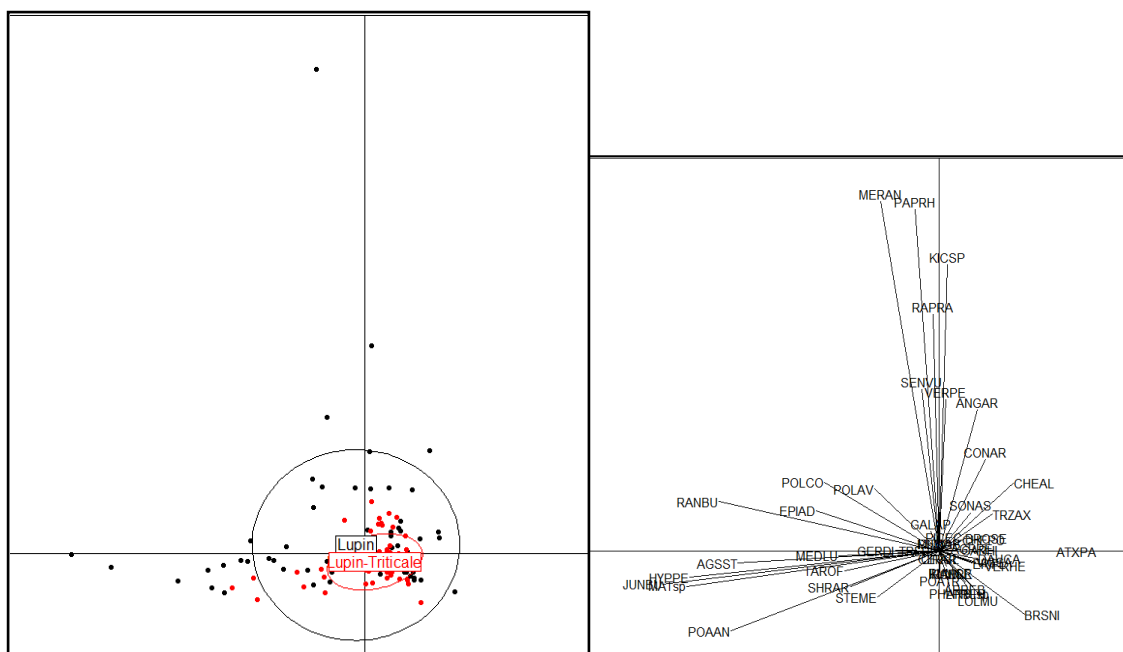
Annexe 13 : Comparaison de l'indice de Shannon entre la culture pure et l'association en considérant les deux stades de relevés



Annexe 14 : Comparaison de l'indice d'équitabilité entre la culture pure et l'association en considérant les deux stades de relevés

Comparaison des cultures (lupin vs lupin/triticale)		
	<i>Stade 1</i>	<i>Stade 2</i>
A	***	***
S	***	***
H	***	***
J	**	**

Annexe 15 : Récapitulatif du modèle de comparaison des cultures en fonction du stade de développement de la culture considérée



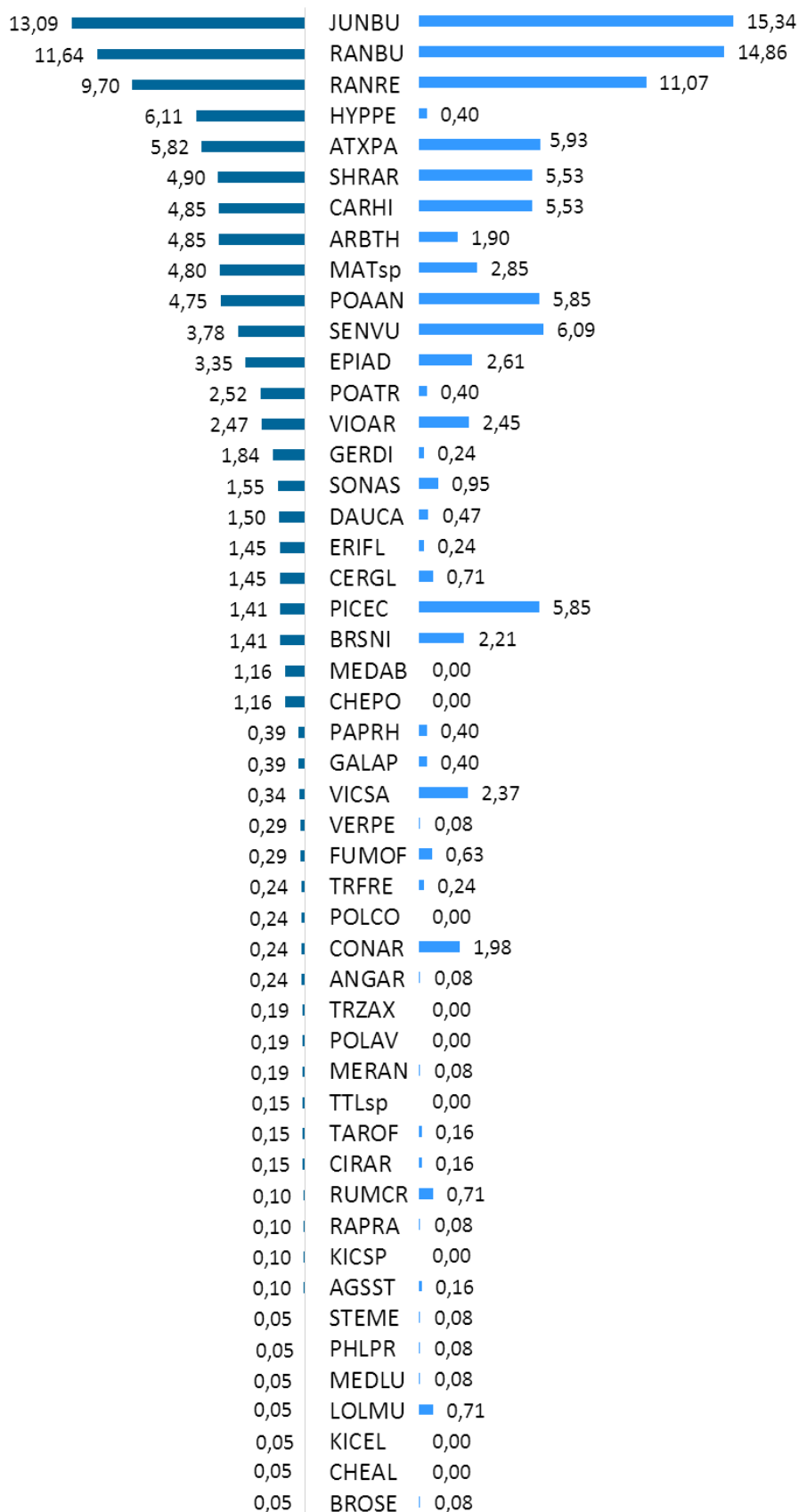
Annexe 16 : Analyse en composante principale (ACP) des espèces relevées pour l’observatoire des Pays-de-Loire en fonction de la culture

Lupin	Lupin/triticale	Espèces communes	
CHEAL		BROSE	PICEC
KICEL		LOLMU	CERGL
KICSP		MEDLU	ERIFL
TTLsp		PHLPR	DAUCA
POLAV		STEME	SONAS
TRZAX		AGSST	GERDI
POLCO		RAPRA	VIOAR
CHEPO		RUMCR	POATR
MEDAB		CIRAR	EPIAD
		TAROF	SENVU
		MERAN	POAAN
		ANGAR	MATSp
		CONAR	ARBTH
		TRFRE	CARHI
		FUMOF	SHRAR
		VERPE	ATXPA
		VICSA	HYPPE
		GALAP	RANRE
		PAPRH	RANBU
		BRSNI	JUNBU

Annexe 17 : Liste des espèces relevées en zone non désherbée en fonction de la culture

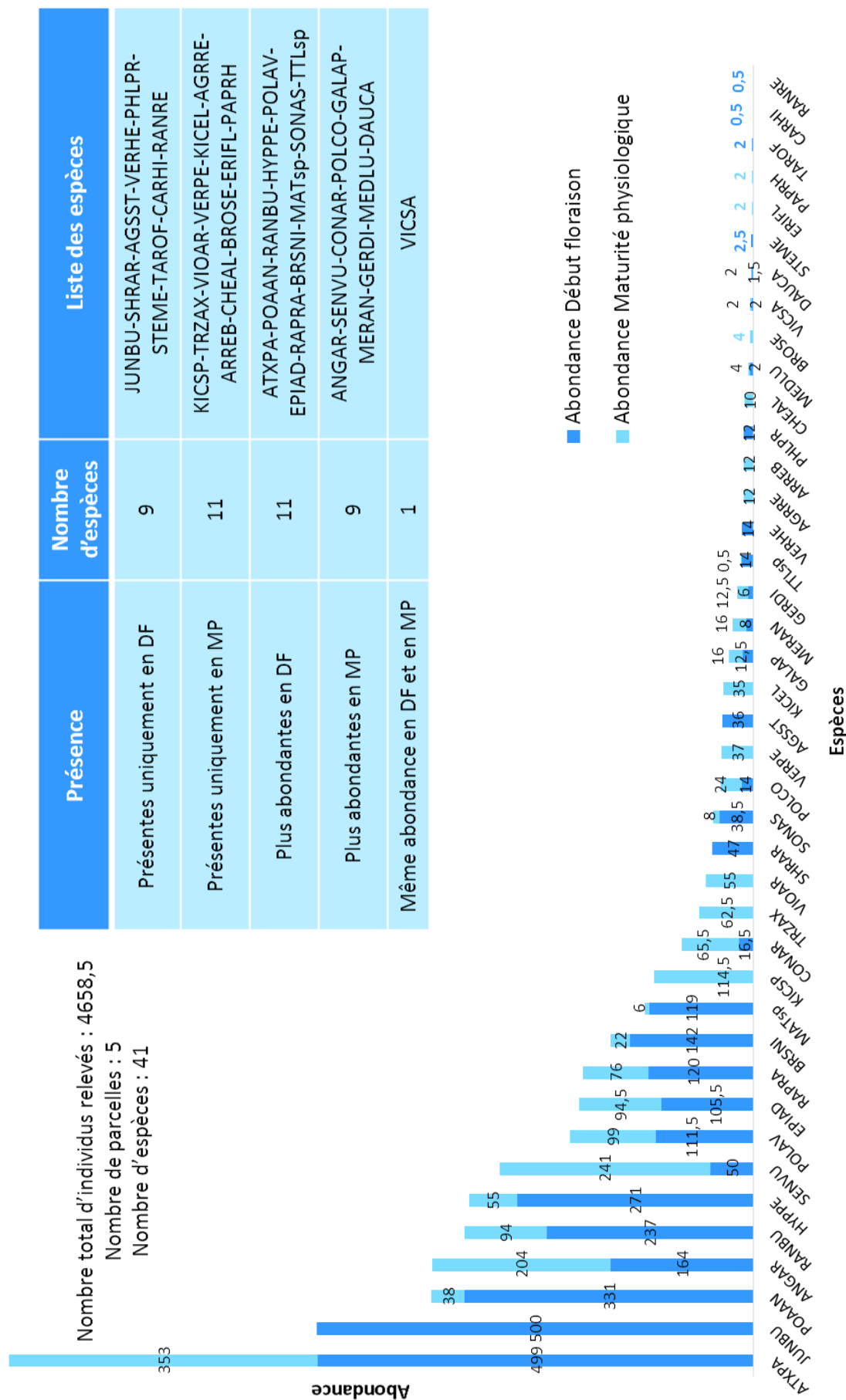
Lupin

Lupin/triticales

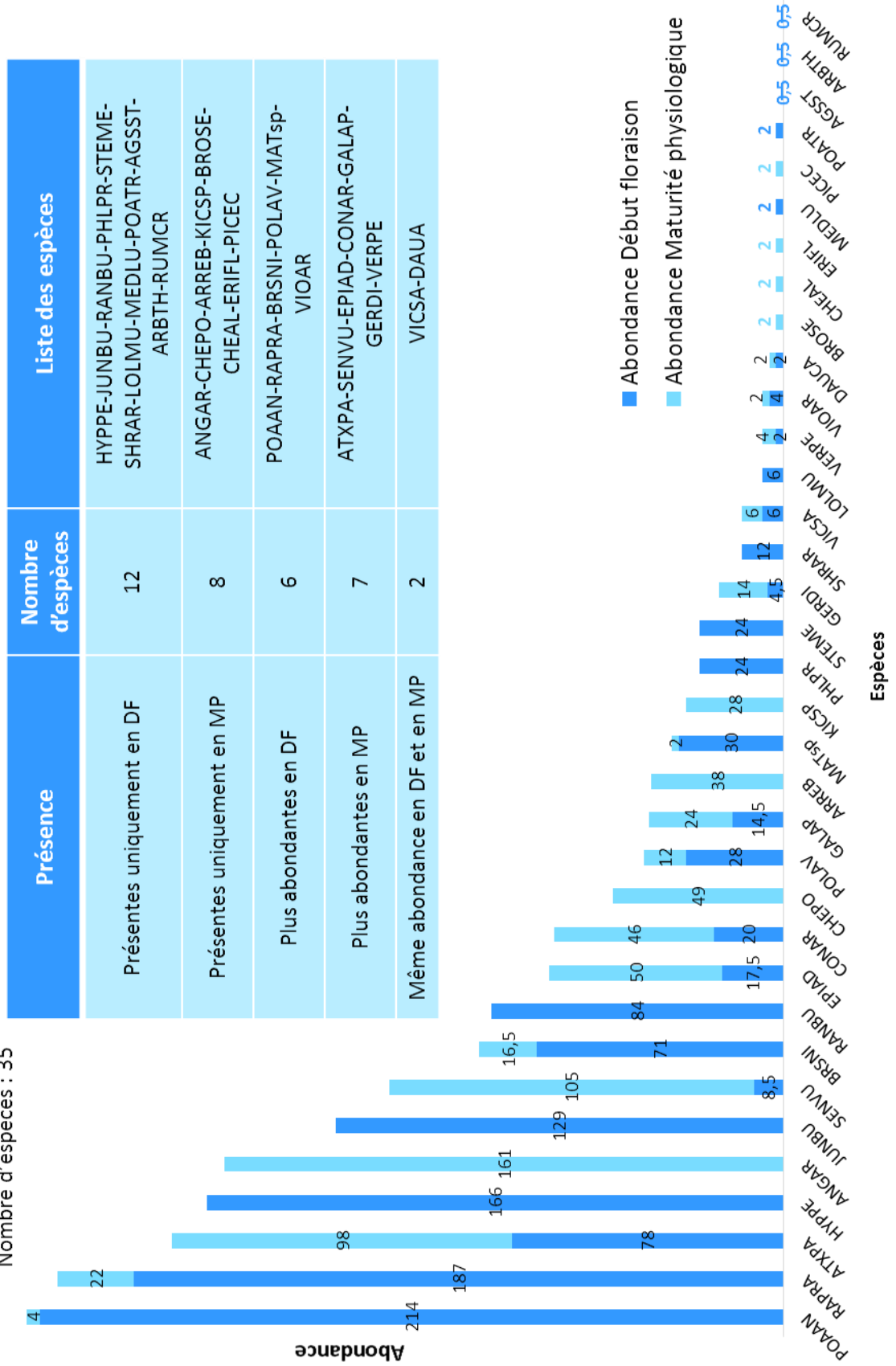


Annexe 18 : Comparaison du lupin pur et du lupin en association (zone non désherbée) en fonction de l'abondance relative de chaque espèce

Annexe 19 : Abondance totale par espèce en lupin pour chaque stade de relevé (zone désherbée)



Nombre total d'individus relevés : 1829
 Nombre de parcelles : 5
 Nombre d'espèces : 35



Annexe 20 : Abondance totale par espèce en lupin/triticales pour chaque stade de relevé (zone désherbée)

Annexe 21 : Protocole de réalisation des biomasses sèches (culture et adventices)

Des biomasses sèches ont également été effectuées pour les mêmes stades de relevés que les adventices. Dans une même placette, le but est de pouvoir dégager une biomasse sèche de la culture en place ainsi qu'une biomasse sèche des adventices présentes afin de déterminer l'importance de celles-ci par rapport à la culture. Pour cela :

- dans la luzerne : toute la végétation de la placette est coupée à ras au cutter. Les adventices sont ensuite séparées de la luzerne en laboratoire, chaque échantillon étant mis en sac puis placé à l'étuve pendant 48h à 80°C puis pesé.

- dans le pois : toute la végétation de la placette est arrachée à la main. Si c'est possible, les adventices sont directement séparées du pois dans la parcelle. Sinon cela est réalisé en laboratoire où sont également coupées toutes les racines. Chaque échantillon est ensuite mis à l'étuve puis pesé.



1. Placette d'observation (luzerne)



2. Coupe d'une placette de luzerne



3. Tri de la luzerne des mauvaises herbes en laboratoire



4. Préparation des sacs pour mise à l'étuve

RESUME

Le stage de 20 semaines que je viens de réaliser à l'UMR Agronomie de l'INRA de Grignon (78) s'inscrit dans le cadre du projet Légitimes. Il a pour but de mettre en évidence les services écosystémiques rendus par les légumineuses en fonction de l'espèce implantée, de son mode d'insertion (annuelle, pluriannuelle, associée) et de sa conduite (biologique ou conventionnelle). Mon stage se focalise sur le thème de la gestion des adventices à partir de ces modalités. J'ai ainsi pu étudier trois légumineuses : le lupin (en pur et en association avec du triticale), la luzerne et le pois de printemps (en agriculture biologique et en agriculture conventionnelle).

Les résultats montrent une nette réduction des adventices en lupin associé à du triticale par rapport à du lupin pur. Concernant le pois, réputé peu compétitif vis-à-vis des adventices, la conduite conventionnelle semble privilégiée pour maintenir un niveau de pression qui impacte le moins possible les rendements. Enfin, pour la luzerne, on montre que la fauche permet de diminuer de manière très importante l'infestation par les adventices. Cet effet fauche semble en outre plus efficace en conduite biologique qu'en conduite conventionnelle.

ABSTRACT

The work placement of 20 weeks that I just finished at the UMR Agronomy in INRA of Grignon (78) is incorporated within the framework of "Legitimes" project. It aims at highlighting the ecosystem services provided by legumes as a function of the species implanted, its mode of insertion (annual, multi-year, combined) and its driving (organic or conventional). My internship focuses on the topic of weed management based on these modalities. I studied three leguminous : lupin (pure and in combination with triticale), alfalfa and spring pea (in organic and conventional farming).

The results show a significant reduction of weeds in associated lupin compared to pure lupin. For pea, deemed uncompetitive facing weeds, the conventional driving seems better to maintain a level of pressure that impacts yields as less as possible. Finally, for alfalfa, mowing reduces very significantly the weed infestation. In organic farming, this mowing effect also seems more effective than in conventional farming.