

---

ANNEE UNIVERSITAIRE 2014/2015

---

**RAPPORT DE STAGE**  
Option : Agronomie

Yvan Guiavarc'h

**Etude de la variabilité des performances des  
légumineuses fourragères et à graines au sein  
de la région Bourgogne.**

**Exemple du pois protéagineux de printemps  
et de la luzerne**

**Lieu du stage : UMR Agronomie INRA-AgroParisTech  
Avenue Lucien Brétignières  
Bâtiment EGER  
BP 01-78850 Thiverval-Grignon**

## Rapport de stage

**Etude de la variabilité des performances des légumineuses  
fourragères et à graines au sein de la région Bourgogne.**

**Exemple du pois protéagineux de printemps et de la luzerne**



**Yvan Guiavarc'h**

**Maitre de stage : Elise Pelzer**

**Autre encadrant : Mathieu Bazot**

**Professeur référent : Valérie Roussel (IUT de Brest)**

**Année 2015**

## *Remerciements*

Je tiens à remercier l'ensemble des membres de l'unité d'agronomie de l'INRA de Versailles-Grignon pour leur accueil chaleureux et les échanges fructueux que nous avons pu avoir.

Mes remerciements vont à mon maître de stage, Élise Pelzer. Durant ces 4 mois passés dans l'unité, son soutien et son suivi m'ont permis d'acquérir de nombreuses connaissances sur les protéagineux et les systèmes de cultures. Je suis évidemment reconnaissant pour sa disponibilité et son implication tout au long de mon stage, ainsi que pour sa relecture consciencieuse de ce document.

Beaucoup de remerciements à Mathieu Bazot, « Le chef gaulois avec qui l'on est allé à Alésia » pour son expérience et sa bonne humeur. Je remercie aussi Arnaud Butier qui par sa bonne humeur et ses sept minutes de soleil a contribué au bon déroulement des sorties terrain en plus de les animées. Je remercie aussi Marie Redon, autre stagiaire sur le projet LEGITIMES, pour les différents échanges que nous avons pu avoir et les journées terrain en Bourgogne.

Je remercie aussi Marie-Hélène Jeuffroy pour ses précieux conseils dans l'exploitation des résultats.

Je n'oublie pas mes collègues de bureau, Damien Marchand et Christine Souin, pour leur accueil chaleureux et leur gentillesse tout au long de mon stage.

Je remercie aussi Michèle Fanucci pour sa bonne humeur et son aide dans les démarches administratives, ainsi que Mathieu Lorin et Alain Bône pour leur bonne humeur à toute épreuve.

Je remercie aussi l'ensemble des agriculteurs de l'Observatoire, pour leur implication dans le projet et leur gentillesse.

Je remercie également mes parents et ma sœur qui m'ont soutenu durant ces quatre mois de stage.

Remerciements également à Valérie Roussel, pour l'accompagnement et le suivi de ce stage et à Matthieu Carof pour son aide dans la recherche de ce stage.

## *Glossaire*

**APT : AgroParisTech**

**BL : Luzerne biologique**

**BP : Pois biologique**

**CaCO<sub>3</sub> : Calcaire total**

**CL : Luzerne conventionnelle**

**CO<sub>2</sub> : Dioxyde de carbone**

**CP : Pois conventionnel**

**INRA : Institut National de la Recherche agronomique**

**LEGITIMES: LEGume Insertion in Territories to Induce Main Ecosystem Services**

**MS : Matière sèche**

**N<sub>2</sub> : Diazote atmosphérique**

**N<sub>2</sub>O : Oxyde nitreux, protoxyde d'azote**

**NH<sub>3</sub>: Ammonium**

**NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: Ammoniac**

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup> : Nitrate**

**PAC : Politique Agricole Commune**

**Qx.ha<sup>-1</sup> : Quintaux secs par hectare**

**t.ha<sup>-1</sup> : Tonne de matière sèche par hectare**

**UNIP : Union National de l'Interprofession des Protéagineux (nouveau nom : Terres Univia)**

## *Avant-Propos*

L'objectif de l'unité mixte de recherche (UMR) d'Agronomie INRA/AgroParisTech est de produire des connaissances et outils pour concevoir et évaluer des systèmes de culture durables (du local au global), en s'appuyant sur une approche intégrative du fonctionnement des agroécosystèmes.

L'UMR comprend des chercheurs, enseignants-chercheurs, ingénieurs, techniciens et personnels d'appui à la recherche.

Les recherches sont réparties en trois thèmes scientifiques :

- Analyser et modéliser les régulations biologiques à l'échelle de la parcelle et du paysage

Les projets sont basés sur la mobilisation de deux grands leviers proposés en agroécologie : (i) l'impact d'une augmentation de la biodiversité cultivée tant dans les parcelles que dans leurs bordures, et (ii) le rôle de l'organisation spatiale des systèmes de culture et des habitats semi-naturels.

- Concevoir et évaluer des systèmes de culture adaptés à des contextes variés

Ces travaux portent sur des réflexions relatives à l'agriculture de demain, notamment dans le cadre des ateliers de conception où les acteurs (chercheurs, conseillers, mais aussi agriculteurs) imaginent des systèmes de culture répondant à des enjeux prospectifs, en rupture avec la situation présente. Une réflexion sur les idéotypes variétaux pertinents pour une agriculture durable est également menée.

- Évaluer, à l'échelle globale, les performances et les impacts des systèmes de culture mondiaux actuels et futurs

Ces travaux portent principalement sur la réalisation de méta-analyses sur les performances de systèmes de culture à larges échelles et sur l'étude de l'évolution des rendements des principales cultures dans le monde, et l'analyse de leurs variabilités spatiales et temporelles.

## **REMERCIEMENTS**

---

## **GLOSSAIRE**

---

## **AVANT-PROPOS**

---

### **1. INTRODUCTION** **1**

---

#### **INTERETS AGRONOMIQUES DES LEGUMINEUSES** **2**

1.1.1. FIXATION SYMBIOTIQUE 2

1.1.2. DIVERSIFICATION DES ROTATIONS 2

#### **1.1. IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES LEGUMINEUSES** **2**

1.2.1. DIMINUTION DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE 2

1.2.2. RISQUE DE LIXIVIATION DE NITRATES 3

1.2.3. STIMULATION DE LA BIODIVERSITE 3

#### **POTENTIEL SOCIO-ECONOMIQUE DES LEGUMINEUSES** **4**

1.3.1. DEBOUCHES POSSIBLES DES LEGUMINEUSES 4

1.3.2. DEVELOPPEMENT DE FILIERES LOCALES 4

1.3.3. ENJEUX GEOPOLITIQUES 5

1.4. **ORIGINES DU DECLIN DES LEGUMINEUSES DANS LES SYSTEMES DE CULTURE** **5**

### **2. PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES** **5**

---

### **3. MATERIELS ET METHODES** **6**

---

#### **3.1. MISE EN PLACE DE L'OBSERVATOIRE DE BOURGOGNE** **6**

#### **3.2. DIAGNOSTIC AGRONOMIQUE DES LEGUMINEUSES EN PLACE** **7**

3.2.1 PEUPELEMENT DE LA LEGUMINEUSE 7

3.2.2 MALADIES ET RAVAGEURS 7

3.2.3 ADVENTICES 8

3.2.4 COMPOSANTES DE RENDEMENTS 8

3.2.5 MESURES DE BIOMASSE 9

3.2.6 ANALYSES DE SOL 9

#### **3.3. ENQUETES SUR LES ITINERAIRES TECHNIQUES APPLIQUES A CHAQUE PARCELLE** **10**

#### **3.4. RELEVES METEOROLOGIQUES** **10**

#### **3.5. ANALYSES STATISTIQUES** **10**

### **4. RESULTATS** **11**

---

#### **4.1. RELEVES CLIMATIQUES** **11**

#### **4.2. PARCELLES DE LUZERNE** **13**

4.2.1. EFFET DU MODE D'AGRICULTURE 14

4.2.2. COMPOSANTES DE RENDEMENTS 15

4.2.3.	PREMIERE FAUCHE	16
4.2.4.	DEUXIEME FAUCHE	19
<b>4.3.</b>	<b>PARCELLES DE POIS PROTEAGINEUX DE PRINTEMPS</b>	<b>23</b>
4.3.1.	EFFET DU MODE D'AGRICULTURE	24
4.3.2.	DIAGNOSTIC AGRONOMIQUE DES PARCELLES DE POIS	24
<b>5.</b>	<b>DISCUSSION</b>	<b>29</b>
<b>5.1.</b>	<b>ÉVOLUTION DES RENDEMENTS DES DEUX LEGUMINEUSES ETUDIEES</b>	<b>29</b>
<b>5.2.</b>	<b>IMPACT DE LA GESTION TECHNIQUE ET DU MODE D'AGRICULTURE SUR LES RENDEMENTS EN LEGUMINEUSES</b>	<b>29</b>
5.2.1.	CAS DE LA LUZERNE	29
5.2.2.	CAS DU POIS PROTEAGINEUX	29
<b>5.3.</b>	<b>IMPACT DU CLIMAT ET DU SOL SUR LES RENDEMENTS EN LEGUMINEUSES</b>	<b>30</b>
5.3.1.	CAS DE LA LUZERNE	30
5.3.2.	CAS DU POIS PROTEAGINEUX	30
<b>5.4.</b>	<b>IMPACT DES DIFFERENTS STRESS BIOTIQUES SUR LES RENDEMENTS EN LEGUMINEUSES</b>	<b>31</b>
5.4.1.	CAS DE LA LUZERNE	31
5.4.2.	CAS DU POIS PROTEAGINEUX	31
<b>6.</b>	<b>CONCLUSION ET PERSPECTIVES</b>	<b>32</b>
<b>7.</b>	<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	<b>33</b>

## 1. Introduction

Le XX<sup>e</sup> siècle fut marqué par un soutien politique à une agriculture productiviste. Ce virage qu'a pris l'agriculture était un moyen pour les états de se diriger vers une autonomie alimentaire (Thoyer, 2014). L'essor de la mécanisation, de la chimie, de la pétrochimie a été le point de basculement de l'artificialisation des milieux après la seconde guerre mondiale (Meynard et al. 2013). Les recherches ont permis un affranchissement face aux risques biotiques (produits phytosanitaires) et aussi face aux risques abiotiques (irrigation, fertilisation). Une évolution des mentalités est en chemin face à la définition des systèmes agricoles. La définition des services écosystémiques (Millennium Ecosystem Assessment Program, 2005), ainsi que les conclusions tenues sur le réchauffement climatique et l'impact de l'agriculture sur la biodiversité (Robinson & Sutherland, 2002), sur la pollution des eaux profondes et superficielles (Kværner et al. 2014 ; Velthof et al. 2014), ou l'utilisation massive d'énergies non renouvelables entraîne une évolution des attentes des agrosystèmes. Le début de la remise en cause de cette intensification débute dans les années 1990 avec les premières considérations environnementales illustrées par l'apparition du terme « agroécologie » (Wezel et al. 2009), des recherches sur les systèmes de production intégrés (Ferron, 1999), et les conversions à l'agriculture biologique. L'agroécologie se définit entre autres (Wezel et al. 2009) comme un système de production ayant une faible utilisation d'intrants et piloté par la valorisation des régulations biologiques et de la biodiversité (Voisin et al. 2013). Les agrosystèmes sont aujourd'hui vus comme étant la source d'une multitude de services (Corvalán et al., Millennium Ecosystem Assessment Program et World Health Organization, 2005): les services d'approvisionnement relatifs à la production et fournissant à l'être humain des biens consommables, les services de régulation regroupant les effets bénéfiques des écosystèmes face aux aléas climatiques et anthropiques, et les services culturels et sociaux correspondant aux bénéfices immatériels obtenus des écosystèmes en terme de santé, liberté, loisir, connaissance (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2009).

Les légumineuses sont une des clefs d'une conduite d'assolement qui corrigerait une partie des dommages provoqués par une simplification des systèmes de culture reposant sur une forte dépendance aux intrants (matières fertilisantes, composés agrochimiques) (Thiebeau et al., 2010). En effet, étant fixatrices de l'azote atmosphérique, elles permettent une réduction de la fertilisation azotée, et donc des impacts associés. Elles sont aussi contributrices de la diversification des rotations et des avantages associés (Meynard et al. 2013)

C'est dans ce cadre que des réponses concrètes sur les bénéfices des légumineuses dans les systèmes de culture ont un intérêt. Le projet national de l'Agence Nationale de la Recherche LEGITIMES (2014-2017, coordinatrice MH Jeuffroy, UMR Agronomie INRA-APT) s'inscrit dans cette démarche de transition agroécologique, en étudiant entre autres les performances des légumineuses dans les systèmes de cultures. Dans la tâche 2 du projet, il s'agit de suivre des observatoires de parcelles agricoles dans trois régions françaises (Pays de Loire, Midi-Pyrénées, Bourgogne). Le suivi de ces observatoires permettra l'acquisition de connaissances sur les services écosystémiques (et dis-services) rendus par les légumineuses ainsi que sur la variabilité de leurs performances au sein des systèmes de cultures en parcelles agricoles.

## **Intérêts agronomiques des légumineuses**

### 1.1.1. Fixation symbiotique

La nutrition azotée des légumineuses est réalisable par deux voies différentes : la voie utilisant l'azote disponible dans le sol, qui correspond à la voie de nutrition azotée de toutes les plantes, et la voie atmosphérique. Les légumineuses ont en effet la particularité de pouvoir 1.1. fixer le diazote atmosphérique grâce à une symbiose avec les bactéries du genre *Rhizobium* (Peix et al. 2015). Cette symbiose s'établit au niveau du système racinaire, dans les nodosités. Ainsi, les légumineuses sont capables grâce à une enzyme bactérienne, la nitrogénase et grâce à l'énergie de la photosynthèse, de transformer le  $N_2$  en  $NH_3$  assimilable pour la synthèse protéique par la plante (Voisin et al. 2015). Les légumineuses cultivées ne nécessitent donc pas en général d'apports d'azote. De plus, la fixation biologique de l'azote par les légumineuses permet une restitution d'azote pour la culture suivante ainsi qu'un apport de matière organique grâce à la décomposition des résidus après la récolte (Tribouillois et al. 2015). La libération de l'azote par minéralisation est suffisamment lente pour apporter une partie des besoins de la culture suivante du fait d'un rapport C/N plus faible que les autres plantes. (Jensen et al. 2012). Les effets d'un précédent légumineuse peuvent donc engendrer une diminution de la fertilisation azotée tout en assurant un rendement égal ou supérieur.

### 1.1.2. Diversification des rotations

Par ailleurs, les légumineuses sont un moyen de diversifier les rotations (Thiebeau et al., 2010). À l'échelle de la rotation, les légumineuses (comme toute culture de diversification) permettent une diminution de la pression de certains adventices. L'enjeu d'une diversification des systèmes de cultures notamment par l'introduction de familles botaniques différentes pour le contrôle des adventices est d'autant plus important que l'utilisation répétée d'herbicides a conduit à l'apparition de biotypes résistants. Cependant, alors que dans le cadre de légumineuses pérennes implantées en prairie temporaire, la diminution de la pression d'adventices, par leur rythme de fauche (Munier-Jolain et al. 2012), est effective, la pression d'adventice reste importante pour les cultures annuelles (pois, féverole, lupin...), mais c'est la possibilité d'utiliser des herbicides différents qui limite l'apparition de biotypes résistants.

La diversification des rotations permet de rompre les cycles des pathogènes de grandes cultures (par exemple le piétin échaudage et le piétin verse chez le blé (Colbach et al. 1994). Néanmoins, certains champignons telluriques, notamment *Aphanomyces* pose problème dans 1.2. les cultures de légumineuses. Il existe aussi des risques liés à des maladies plus communes touchant d'autres espèces de la rotation et auxquels les légumineuses sont sensibles (par exemple, *Sclerotinia* pour le colza, pois, luzerne, trèfle)

## **Impacts environnementaux des légumineuses**

### 1.2.1. Diminution des émissions de gaz à effet de serre

Les légumineuses peuvent être une solution pour atténuer les émissions de gaz à effets de serre. En effet, deux gaz peuvent être limités. Tout d'abord, les émissions de  $CO_2$  sont limitées dans le cadre d'une culture de légumineuses et sur la culture qui suit. Plusieurs raisons existent à cela. D'abord, l'autonomie azotée permet de s'affranchir de l'utilisation d'engrais azoté minéral dont la synthèse libère beaucoup de  $CO_2$ . En plus des émissions

évitées lors de la synthèse, les étapes de transports et d'épandage sur la culture en place sont évitées sur la culture de légumineuse, et diminuées sur la culture suivante (Jensen et al. 2012).

Le N<sub>2</sub>O est aussi un gaz à effet de serre problématique en agriculture, son pouvoir de réchauffement climatique étant de 265 (Dussud et al. 2015). Le N<sub>2</sub>O a donc un effet 265 fois plus grave sur le réchauffement climatique que le dioxyde de carbone. Les émissions de N<sub>2</sub>O peuvent être d'origines différentes. La fixation symbiotique semble être peu émettrice de N<sub>2</sub>O (Rochette & Janzen, 2005). En revanche, celles issues de la dénitrification d'engrais azoté non utilisé ou encore de la décomposition des résidus de la récolte précédente sont plus importantes (Jensen et al. 2012). L'utilisation des engrais minéraux azotés libère beaucoup de N<sub>2</sub>O comparé aux cultures non fertilisées, y compris les légumineuses, malgré la décomposition de leurs résidus plus riches en azote. Ainsi, il s'avère qu'à l'échelle d'une rotation dans un système céréalier, l'introduction d'une légumineuse à graines permet une diminution significative de la perte d'azote sous la forme de N<sub>2</sub>O par rapport à une rotation sans protéagineux (Jeuffroy et al. 2013a ; Nemecek et al. 2008).

#### 1.2.2. Risque de lixiviation de nitrates

Le risque de lixiviation de l'azote dans le cadre d'une culture de légumineuses est à prendre en compte. En effet, les teneurs en azote des résidus de légumineuses enfouis peuvent varier de quelques dizaines de kilogrammes d'azote (pailles de protéagineux) à plusieurs centaines de kilogrammes (luzerne) par hectare (Voisin et al. 2015). La valorisation de l'azote de ces résidus est possible si le prélèvement de l'azote par la culture suivante a lieu au moment de la minéralisation de l'azote des résidus de la légumineuse. Les risques de lixiviation sont donc faibles dans le cadre d'une bonne adéquation entre la minéralisation et les prélèvements pour la culture suivante, permettant une réduction de la fertilisation azotée pour celle-ci. Cependant, les risques de perte de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> restent importants en cas de fortes périodes de drainage (Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la forêt, 1999). Le risque de lixiviation de nitrates est moins important dans le cadre de protéagineux du fait de la mobilisation de l'azote dans la graine. De plus, l'implantation d'une culture intermédiaire permet de limiter ces pertes par lixiviation de façon importante (Bodson & Vandenberghe, 2013 ; Vertès et al. 2010). Dans le cadre des rotations, l'insertion de légumineuses pérennes en prairies temporaires permet, grâce aux systèmes racinaires profonds développés, une diminution de la concentration en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> des eaux souterraines (Muller et al. 1993).

#### 1.2.3. Stimulation de la biodiversité

Les légumineuses présentent un intérêt pour la biodiversité associée (Jeuffroy et al. 2013b) Potentiellement mellifères, elles sont une opportunité de nectar et de pollen pour les insectes butineurs (Decourtye et al. 2007 ; Tasei et al. 1978). Par ailleurs, les légumineuses jouent un rôle clé sur la diversité de la microflore du sol (principalement les symbiotes et les endomycorhizes) (Zancarini et al. 2013). Les légumineuses pérennes sont aussi un moyen pour la faune de plaine (mulots, campagnols) d'avoir un abri et une source de nourriture (Decourtye & Bouquet, 2010). Ces prairies temporaires, qu'elles soient implantées en association ou bien en culture pures, se situent entre les cultures annuelles et les forêts sous l'angle de la contribution à la biodiversité végétale et animale (Le Roux et al. 2009).

## Potentiel socio-économique des légumineuses

### 1.3.1. Débouchés possibles des légumineuses

Les légumineuses cultivées ont été la source de beaucoup de recherche sur leurs capacités de productions des protéines transformables en alimentation animale ou humaine. La dimension de production protéique est importante à prendre en compte. En effet, des recherches estiment que si le régime alimentaire des Occidentaux, en matière de protéines animales, n'est pas substitué à hauteur de 15 % par des protéines d'origine végétales, les réserves en eau (dont les élevages sont très consommateurs) ne seront pas suffisantes pour garantir l'alimentation de neuf milliards d'habitants d'ici à 2050 (Jägerskog & Jønch Clausen, 2012).

Le débouché fourrager des légumineuses pérennes est important. La richesse en protéines des légumineuses en fait un bon substituant au tourteau de soja dans des rationnements de bovins (Peccatte & Dozias, 1998). De plus, l'autonomie azotée de la culture permet une diminution des charges à l'hectare. Riches en fibres, les foins de luzerne sont aussi un bon moyen de combattre l'acidose chronique chez les ruminants (Peyraud et al. 2008). Les apports doivent tout de même être fractionnés du fait des caractéristiques météoriques de certaines légumineuses fourragères (Institut de l'élevage, 2008).

D'autres débouchés que l'alimentation animale et humaine sont aussi envisageables. Les légumineuses peuvent être intégrées dans des programmes de bioénergie comme la production de biogaz par méthanisation où les légumineuses peuvent permettre de remonter le rapport C/N dans le digesteur afin d'optimiser la transformation de la matière organique (Amon et al. 2007), le digestat issu de la méthanisation pouvant servir de matière fertilisante intéressante dans des systèmes céréaliers.

### 1.3.2. Développement de filières locales

La diversité de cette famille botanique qui regroupe plus de 800 genres et 20 000 espèces (Smýkal et al. 2015) permet autant une diversification temporelle des productions par une modification des successions qu'une diversification spatiale en cas de culture en associations. Ainsi, la réinsertion des légumineuses dans les systèmes de cultures peut être un levier économique territorial. En regardant plus loin qu'un simple levier, les légumineuses peuvent être à l'origine d'une stabilité économique pour l'agriculteur face aux aléas climatiques et commerciaux (Gaudin et al. 2015). Le développement de filières locales permettrait de faire face à la pression des marchés internationaux, mais aussi de limiter la spécialisation et la dépendance de l'agriculture aux intrants divers (fertilisants, produits phytosanitaires, concentrés de production ...) (Voisin et al. 2013). Les légumineuses s'inscrivent également dans une dynamique de recherche d'une autonomie alimentaire à l'échelle nationale et européenne. Les possibilités de transformation des matières premières végétales notamment sur le plan protéique sont à valoriser. Dans un contexte national de déficit protéique, la valorisation des légumineuses pourrait offrir une valeur ajoutée aux récoltes et un gage de qualité pour les consommateurs.

### 1.3.3. Enjeux géopolitiques

L'agriculture durable est devenue un enjeu géopolitique majeur. Ces notions sont donc relayées économiquement et politiquement notamment dans les directives du verdissement de la PAC (Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, 2015). Les plans politiques tels qu'Ecophyto 2018 (Ministère de l'Agriculture, de l'agroalimentaire et de la Forêt, 2008) ou le plan Protéines (Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, 2014) sont des moyens pouvant contribuer à la réintroduction de légumineuses dans les systèmes de cultures du fait de leurs performances environnementales.

#### **Origines du déclin des légumineuses dans les systèmes de culture**

Les légumineuses sont une opportunité d'intensification écologique, et pourtant elles ne représentent aujourd'hui que 3 % de la sole française (Voisin et al. 2013). La faible présence 1.4. des légumineuses dans les systèmes de cultures à ce jour s'explique par une valorisation inégale des cultures de vente. Le système agricole français est tourné vers les espèces majoritaires à hauts potentiels de rendements et de débouchés, telles que le blé ou le colza.

Dès lors, la filière répond aux attentes de production et d'approvisionnements pour ces espèces (Voisin et al. 2013). Le système agricole est devenu un système mondial où l'autonomie alimentaire pour les pays développés réside sur une forte importation de matières azotées issue des États-Unis et des pays de l'Amérique du Sud, en l'occurrence, le soja.

Les légumineuses étaient pourtant considérées dans les années 1950 comme une solution technologique pour garantir une autonomie alimentaire des élevages en France (Meynard et al. 2013). La levée de ce verrouillage devra passer par une évaluation économique des services écosystémiques et l'identification et le développement de nouveaux débouchés. Aujourd'hui encore, les légumineuses sont considérées comme des cultures économiquement risquées, notamment à cause de leur sensibilité à certains stress (Araújo et al. 2015) et à la variabilité des rendements dans le temps et les territoires (Cernay et al. 2015).

## **2. Problématique et hypothèses**

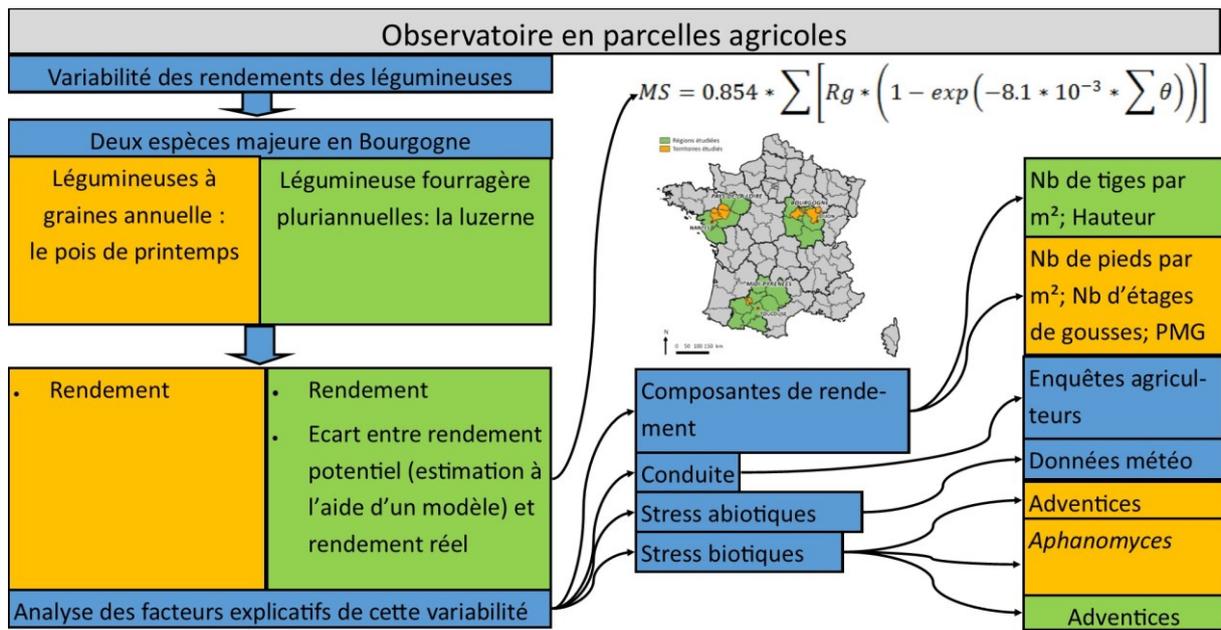
L'analyse bibliographique a montré un intérêt fort à l'insertion de légumineuses dans les systèmes de cultures. Cependant, les performances des légumineuses semblent variables et sensibles à divers aléas. Le but de ce stage sera donc de comprendre la variabilité des performances des légumineuses fourragères et à graines, et en particulier des rendements, au sein de la région Bourgogne et plus spécifiquement du plateau de Langres. Deux espèces ont été suivies : le pois protéagineux de printemps et la luzerne. Plusieurs hypothèses sont testées :

H1 : La variabilité des rendements en légumineuses au sein d'un territoire est liée à la gestion technique et au mode d'agriculture dans lequel la légumineuse se développe.

H2 : Les caractéristiques du climat et du sol sont des facteurs importants de variabilité des rendements en légumineuses.

H3 : Les légumineuses n'ont pas toutes la même tolérance aux différents stress biotiques.

- Démarche



La démarche de travail est expliquée dans la figure ci-dessus

### 3. Matériels et méthodes

#### 3.1. Mise en place de l'Observatoire de Bourgogne

L'objectif des observatoires de parcelles agricoles du projet LEGITIMES est de quantifier et d'analyser la variabilité et les facteurs limitants des services écosystémiques rendus par les légumineuses dans trois régions différentes. L'étude est réalisée sur deux ans pour chaque parcelle assurant ainsi un suivi de la légumineuse et de la culture suivante. Cette opération est répétée deux fois dans chaque territoire. L'année 2014-2015 est la première année de suivi du projet.

L'observatoire de Bourgogne se compose cette année de 23 parcelles d'agriculteurs.

Le suivi est réalisé pour des cultures de luzerne et de pois de printemps, conduites soit selon le cahier des charges de l'agriculture biologique, soit selon le mode d'exploitation conventionnel.

Tableau 1 : Composition de l'Observatoire de Bourgogne pour le projet LEGITIMES sur la campagne 2015-2015

	Conduite Biologique	Conduite Conventionnelle
Luzerne	7 parcelles	5 parcelles
Pois de printemps	5 parcelles	6 parcelles

L'observatoire se situe dans les plateaux langrois (essentiellement sur le département de la Côte-d'Or) caractérisés par des sols argilo-calcaire superficiels (profondeur moyenne sur les parcelles suivies : 43 cm). L'altitude moyenne rencontrée dans cette zone géographique est de 350 m.

### 3.2. Diagnostic agronomique des légumineuses en place

Afin de parvenir à évaluer et collecter des références quant à la conduite et aux performances de légumineuses en conditions agricoles réelles, plusieurs prélèvements et notations ont été réalisés au cours du cycle des légumineuses suivies, certaines nécessitant la mise en place de placettes. 3 zones ont été délimitées à l'aide de fanions dans chaque parcelle choisie. La mise en place de placettes d'observation (deux par zone) a été réalisée dans une partie homogène et facilement accessible. Les placettes mesuraient en général un demi mètre-carré (1\*0,5 m<sup>2</sup>).

#### 3.2.1 Peuplement de la légumineuse

À la levée, et à la reprise après chaque fauche pour la luzerne, les plantes (pois) ou tiges (luzerne) sont comptées sur deux placettes de chaque zone et seront reliées à la mesure du rendement à maturité. Le comptage est réalisé au stade 3-4 feuilles pour le pois de printemps, et au stade hauteur de tiges 10 cm environ pour la luzerne.

L'ensemble des comptages est ensuite ramené au mètre carré.

#### 3.2.2 Maladies et ravageurs

L'objectif est de réaliser un diagnostic agronomique complet de la culture, et en particulier de mettre en valeur la sensibilité des cultures de légumineuses aux facteurs biotiques. À chaque déplacement sur le réseau de parcelles, les maladies et ravageurs étaient notés quand ils étaient observés.

##### - Notations des sitones du pois

Les sitones sont des coléoptères qui s'attaquent aux jeunes feuilles des plantules (risque plus élevé sur le pois de printemps). L'attaque par les sitones adultes se manifeste par des morsures semi-circulaires sur les feuilles. Les larves de sitones s'attaquent quant à elles aux nodosités et perturbent la nutrition azotée. La notation se fait sur 20 plantes par comptage des morsures :

*Tableau 2 : Échelle de notations relative au degré d'attaque de la culture par les sitones*

Note 0 : Pas de morsures
Note 1 : 1 à 4 morsures
Note 2 : 5 à 10 morsures
Note 3 : >10 morsures

##### - Apions de la luzerne

Les apions sont de coléoptères qui s'attaquent aux feuilles et aux bourgeons de la luzerne. Les attaques se caractérisent par une défoliation avant la fauche. Les dégâts en cours de végétation sont sans conséquence sur le rendement. La caractérisation de l'attaque est réalisée par estimation du pourcentage des trois derniers étages trifoliés manquants.

##### - *Aphanomyces euteiches*

La pourriture racinaire du pois est une maladie cryptogamique qui provoque une perturbation de la croissance des plantes. Cette perturbation se manifeste notamment par un jaunissement

des parties aériennes et une nécrose des racines. L'infestation par *Aphanomyces* peut conduire à une perte de rendement jusqu'à 50 qx.ha<sup>-1</sup>.

En cas de suspicion de la maladie dans une parcelle, un dépistage est nécessaire. Ce dépistage se fait par la recherche de spores. Un prélèvement de cinq à six plantes avec symptômes doit être réalisé. Un prélèvement en centre de foyer ainsi qu'en périphérie est préconisé. Les plantes sont ensuite maintenues avec leur système racinaire dans un papier absorbant humide avant analyse. Un prélèvement de sol est aussi réalisé. Le but est de rechercher le champignon dans les 25 premiers centimètres de sol. Un mélange de dix prélèvements a été réalisé afin d'obtenir au final l'équivalent d'un litre de sol.

### 3.2.3 Adventices

Afin d'évaluer la compétition entre la légumineuse et les adventices pour les éléments minéraux, l'eau et la lumière, des notations qualitatives et quantitatives d'adventices ont été réalisées.

Une notation de la diversité floristique est menée à différents stades : avant chaque fauche de luzerne, et à début floraison et à maturité physiologique dans les parcelles de pois. À chaque prélèvement, un classement de l'abondance relative de chaque espèce d'adventices est établi pour chaque placette.

*Tableau 3 : Échelle de notation de l'abondance relative des adventices dans la placette*

<b>Échelle de Barralis</b>	
Note	Intervalle d'abondance
0	0
1	Moins de 1 plante / m <sup>2</sup>
2	1 à 3 plantes / m <sup>2</sup>
3	3 à 20 plantes / m <sup>2</sup>
4	20 à 50 plantes / m <sup>2</sup>
5	Plus de 50 plantes / m <sup>2</sup>

Ce classement est complété par l'identification des trois espèces dominantes dans chaque placette. En amont du prélèvement de biomasse de la culture, une notation visuelle du recouvrement des adventices sur la culture est réalisée. Enfin, la biomasse d'adventices est mesurée en même temps que la biomasse de la culture (voir section 3.2.5).

### 3.2.4 Composantes de rendements

- Parcelles de luzerne

Cinq hauteurs de luzerne sont réalisées par zones afin de pouvoir calculer la hauteur moyenne de la luzerne par parcelle.

- Parcelles de pois

Un comptage du nombre d'étages de gousses est réalisé pour chaque zone. Le comptage se fait sur un échantillon de vingt plantes tirées au hasard dans la zone.

### 3.2.5 Mesures de biomasse

Les facteurs de production ont été mesurés afin de mettre en évidence la production de biomasse par la culture en place.

#### - Parcelles de luzerne

Le prélèvement est réalisé avant chaque fauche par sectionnement à ras du sol de la luzerne et des adventices. Trois prélèvements sont réalisés par zone, deux prélèvements placettes qui serviront à mesurer la biomasse et à doser l'azote contenu dans la luzerne et un prélèvement permettant de mesurer la fixation symbiotique ( $^{15}\text{N}$ ).

Le dépouillement des prélèvements est constitué par un tri de la luzerne et des adventices. La luzerne et les adventices sont mises en sachet avant d'être étuvé à 80 °C pendant 48 h. Le poids sec sert ensuite au calcul du rendement, et les échantillons sont broyés avant d'être analysés pour avoir les concentrations en azote.

La parcelle  $^{15}\text{N}$  est quant à elle soumise à la recherche de l'isotope 15 de l'azote, isotope uniquement présent dans le sol. Ainsi en mesurant les concentrations en isotope 15 dans des plantes fixatrices et dans des plantes non fixatrices, une concentration d'azote fixé par la légumineuse sera estimée (méthode d'abondance naturelle).

Pour ce stage, nous disposerons des données biomasse sèche, mais pas des données teneurs en N et fixation  $^{15}\text{N}$ , pour lesquelles les analyses seront réalisées ultérieurement.

#### - Parcelles de pois

Deux prélèvements sont réalisés dans les parcelles de pois. Le premier est réalisé au stade début floraison correspondant à un stade déterminant dans l'élaboration du rendement. Le deuxième prélèvement est réalisé à maturité physiologique pour réaliser un battage et ainsi calculer le rendement en grains en plus de l'estimation de la biomasse aérienne. Un prélèvement témoin  $^{15}\text{N}$  est réalisé dans les deux cas. Le dépouillement et les analyses sont réalisés comme pour les parcelles de luzerne. Un battage des prélèvements placettes est ensuite réalisé pour le calcul du rendement.

### 3.2.6 Analyses de sol

Pour chaque parcelle de l'observatoire, une caractérisation du sol est établie. Il s'agit de préciser la roche mère, l'épaisseur, la pierrosité, la structure et de réaliser une analyse de sol de base et une analyse de reliquats azotés.

Une analyse de sol est également réalisée pour renseigner la granulométrie, le pH, le pourcentage de  $\text{CaO}_3$  et de matière organique, de carbone organique, d'azote total, le rapport C/N, le taux de phosphore, la capacité d'échange cationique et les taux de calcium, magnésium, potassium et manganèse. Dix prélèvements sont réalisés dans la couche arable de la parcelle (30 cm) et réunis dans un même échantillon. Elles ont été réalisées avant le semis du pois de printemps et au moment de la reprise de la luzerne (1<sup>ère</sup> fauche).

Deux mesures de reliquats azotés sont réalisées. La première est réalisée en sortie d'hiver, pour laquelle les résultats sont disponibles. La seconde est réalisée post-récolte. Pour mesurer les reliquats azotés, dix échantillons sont prélevés par horizon de 30 cm. Les échantillons sont soumis à un dosage de l'azote minéral ( $\text{NO}_3^-$  et  $\text{NH}_4^+$ ) par un analyseur à flux continu pour chaque horizon.

Le taux de cailloux en surface est estimé visuellement à l'aide d'une échelle de notation.

### **3.3. Enquêtes sur les itinéraires techniques appliqués à chaque parcelle**

Aucun itinéraire technique n'est imposé à l'agriculteur dans le cadre de l'observatoire. Une attention particulière est donc portée sur les itinéraires techniques qu'ils ont réalisés sur leur parcelle. Le travail de sol (date, type, outils), rendements, successions culturales, fertilisation (organique, minérale, phospho-potassique, sulfomagnésienne), ainsi que la gestion des résidus de cultures, les variétés utilisées, les dates et densité de semis sont pris en compte pour toutes les parcelles sur la légumineuse et la culture précédente.

Pour les parcelles à conduite biologique, l'attention est aussi portée sur le désherbage mécanique.

Dans les parcelles conventionnelles, la fertilisation azotée, les traitements herbicides, insecticides, fongicides et les régulateurs sont étudiés.

### **3.4. Relevés météorologiques**

Afin d'évaluer les conditions climatiques de l'année, un relevé météorologique est réalisé pour plusieurs stations différentes correspondant aux stations les plus proches géographiquement des parcelles (Brétienière, Ampilly-Le-Sec, Baigneux Les Juifs, Chanceaux, Montbard, Planay, Saint-Martin-Du-Mont, Vitteaux, Langres, Saint-Loup-Sur-Aujon, Saint-Cyr Les Colons, Perrigny, Chatillon-sur-Seine). Les données ont été récupérées à partir du site internet Météo-France

Les variables interrogées sont :

- précipitations
- températures moyennes
- évapotranspiration (calculée avec la formule de Penman) (uniquement disponible pour les stations de Brétienière, Montbard, Perrigny, Saint-Loup-Sur-Aujon, Chatillon-sur-Seine)
- rayonnement (uniquement disponibles pour les stations de Langres, Perrigny, Chatillon-sur-Seine)

### **3.5. Analyses statistiques**

L'analyse des résultats a été conduite de façon à mettre en évidence les rendements, et des explications de ces rendements.

- Tests statistiques

Les différences de rendements entre grands groupes sont testées statistiquement par une analyse de variances conduite dans le logiciel RStudio.

Les moyennes sont comparées avec le test de Tukey afin de déterminer une différence significative de moyennes.

Les tests de corrélation de Pearson sont menés avec RStudio.

- **Modèle de biomasse potentielle de luzerne**

Afin de trouver le facteur limitant principal de la croissance de la luzerne, un modèle de croissance a été utilisé pour estimer un rendement potentiel, et analyser la différence entre ce rendement potentiel et le rendement réel observé. À partir des entrées météorologiques de rayonnement et de températures, le modèle prédit la biomasse potentielle sans prendre en compte d'éventuels stress biotiques et abiotiques (Gosse et al. 1984).

$$MS = 0.854 * \sum \left[ Rg * \left( 1 - \exp \left( -8.1 * 10^{-3} * \sum \theta \right) \right) \right]$$

Avec Rg, le rayonnement global et  $\theta$ , la température moyenne journalière.

L'utilisation d'un modèle pour déterminer les biomasses potentielles de pois n'a pas été réalisée, les résultats donnés par le modèle induisaient des différences de biomasses très importantes que les variables à disposition n'expliquaient pas.

## 4. Résultats

### 4.1. Relevés climatiques

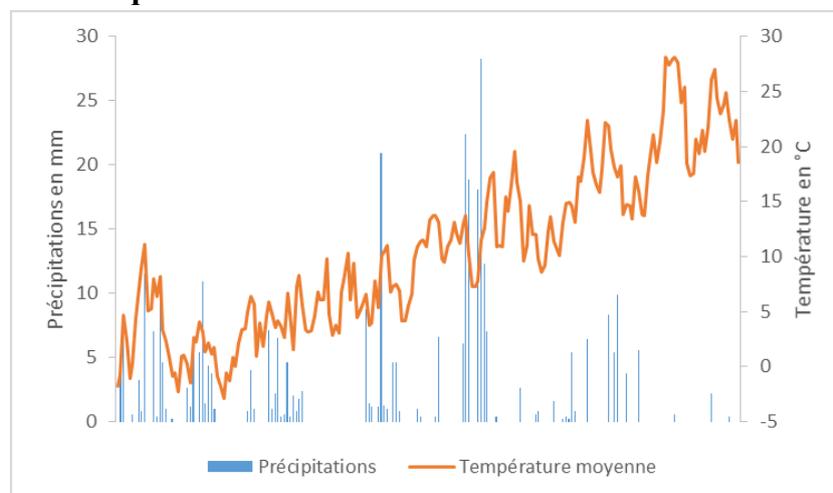


Figure 1: Évolution des températures moyennes et des précipitations sur la période allant du 1/01/2015 au 25/07/2015 pour la station de Châtillon sur Seine.

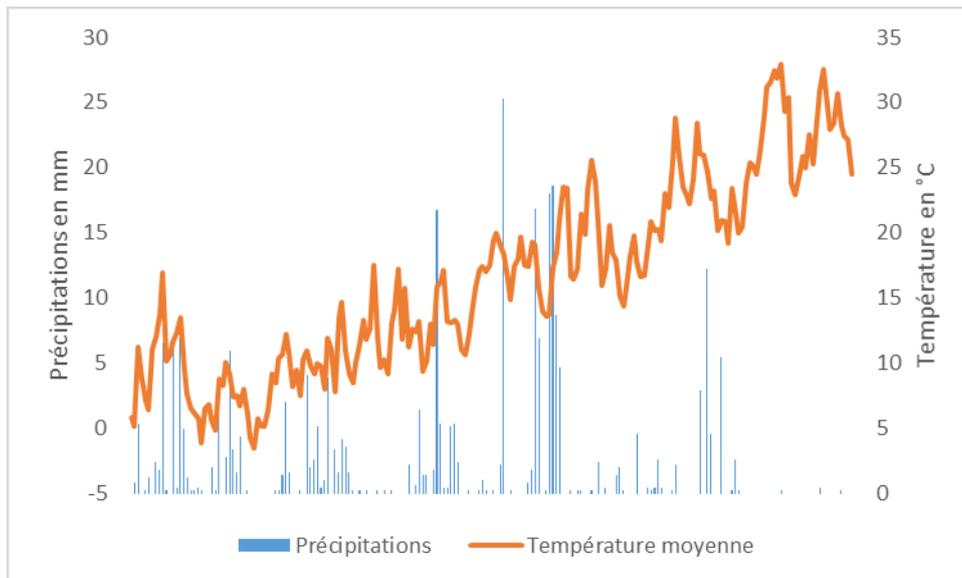


Figure 2: Évolution des températures moyennes et des précipitations sur la période allant du 1/01/2015 au 25/07/2015 pour la station de Montbard.

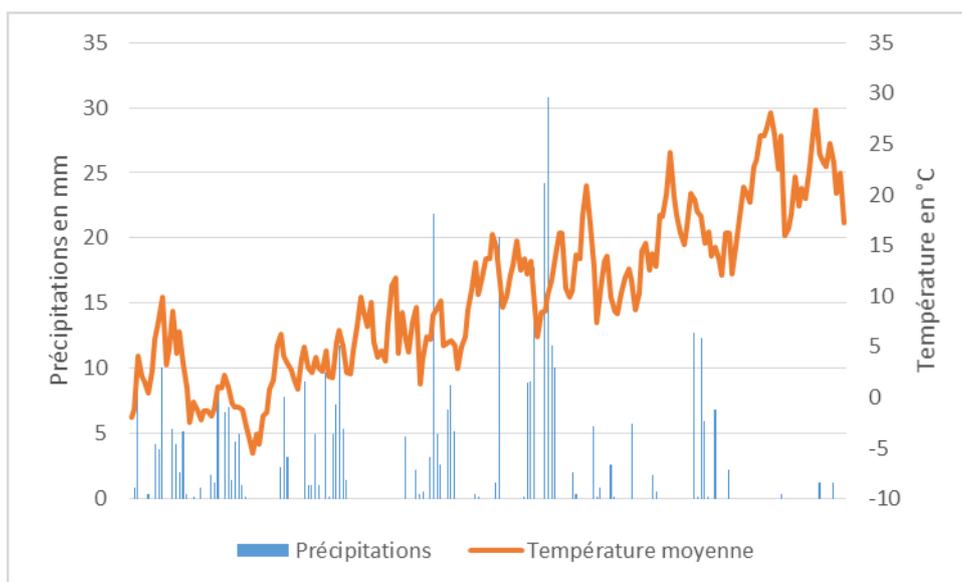


Figure 3: Évolution des températures moyennes et des précipitations sur la période allant du 1/01/2015 au 25/07/2015 pour la station de Saint-Martin du Mont.

Les graphiques ci-dessus soulignent le caractère exceptionnel de l'année 2015 d'un point de vue climatique. Les précipitations ont été très faibles en fin de printemps et début d'été, et les températures moyennes étaient très importantes sur la même période.

## 4.2. Parcelles de luzerne

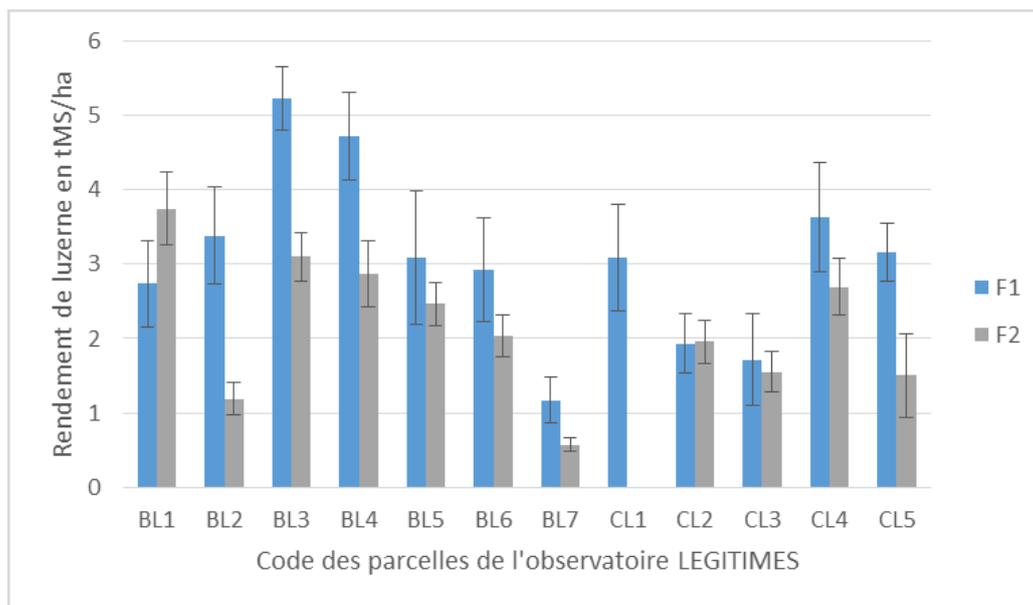


Figure 4: Rendements placettes de luzerne en tonnes de matière sèche par hectare pour chaque parcelle. Le sigle F1 correspond au rendement à la première fauche et le sigle F2 correspond au rendement à la deuxième fauche. Le sigle BL correspond aux parcelles de luzernes biologiques et le sigle CL aux parcelles de luzernes conventionnelles.

Au sein du territoire étudié (plateau langrois), les rendements de luzerne sont très variables (figure 4), aussi bien pour la première fauche (de 0,8 à 5,3 t.ha<sup>-1</sup>) que pour la deuxième fauche (de 0,5 à 3,7 t.ha<sup>-1</sup>). La production totale annuelle de luzerne – dans le cas où les agriculteurs choisissent de ne pas récolter la luzerne une troisième fois avant de retourner la prairie pour le semis de la culture suivante (choix fait par la plupart des agriculteurs à la date de rédaction de ce rapport) – a donc varié de 1,3 t.ha<sup>-1</sup> à 8,5 t.ha<sup>-1</sup>.

La parcelle BL7 présente une différence variétale, ainsi qu'une hypothèse de chlorose ferrique pour laquelle des analyses sont en cours, expliquant le faible rendement qu'elle engendre, et le fait que ce soit la parcelle la moins productive. Les parcelles BL1, BL3, BL4, BL6, CL1 ont été semés avec un mélange de variété et ont un rendement dans l'ensemble important. La parcelle BL6 est semée en association avec du dactyle et du ray-grass hybride, le rendement se retrouve donc pénalisé par la compétition entre les espèces. Les parcelles CL1, CL2 et CL5 avaient une forte abondance d'adventice (*Taraxacum officinale* pour CL1 et CL5 ; *Taraxacum officinale*, *Alopecurus myosuroides*, *Poa trivialis* pour CL2) pouvant expliquer un rendement inférieur au quart supérieur. Les parcelles BL3 et BL4 ont été désherbées mécaniquement au canadien pendant l'hiver alors que les autres parcelles n'ont pas été désherbées, ce qui a pu accentuer le bon rendement obtenu pour ces deux parcelles. La parcelle BL2 a été fauchée trois fois, une pré coupe en avril, une fauche à destination de l'usine de déshydratation à la fin du mois de mai et une dernière à la fin du mois de juin. Les résultats présentés (figure 1) correspondent à la pré coupe et la deuxième fauche du mois de juin. Mais la fauche réalisée à la fin du mois de mai a occasionné une trop grande consommation de réserves, ce qui explique la chute de rendement entre la première et la deuxième fauche. La parcelle CL3

présentait une luzerne de petite taille, mais assez dense. En revanche, la densité n'a pas pu rattraper la taille ce qui explique pourquoi le niveau de rendement est dans le quart inférieur pour les deux fauches. L'âge des parcelles de luzerne était en général de deux ans d'exploitation (BL1, BL2, BL3, BL4, BL5, BL6, BL7, CL3, CL4), deux parcelles avaient trois ans d'exploitation (CL5, CL2) et une autre en avait quatre (CL1). L'âge ne semble pas cependant expliquer les différences de rendement observées.

#### 4.2.1. Effet du mode d'agriculture

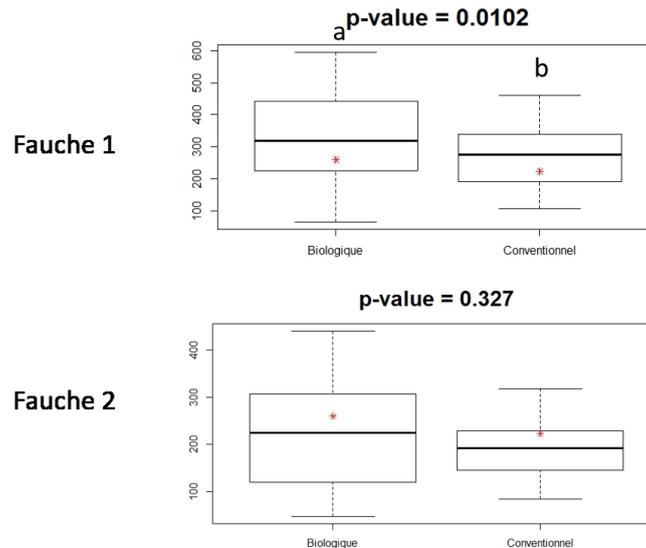


Figure 5: Effet du mode d'agriculture (biologique ou conventionnel) sur la production de biomasse de luzerne (F1 : 1<sup>re</sup> fauche ; F2 : 2<sup>e</sup> fauche)

L'effet du mode d'agriculture sur les rendements en luzerne est variable entre les deux fauches.

Ainsi, en première fauche, les rendements en luzerne sont supérieurs pour les parcelles en conduite biologique.

L'analyse de variance du rendement montre un effet significatif du facteur mode d'agriculture pour la 1<sup>re</sup> fauche (p-value = 0.0379). La différence de rendement entre les parcelles biologiques et conventionnelles estimée par la comparaison des moyennes (test de Tukey) s'élève à 0.61 tMS.ha<sup>-1</sup> en faveur des parcelles à conduite biologique, avec une différence significative entre les deux groupes (p = 0.0379).

Pour la deuxième fauche, le constat est différent. L'effet du mode d'agriculture est moins marqué, l'analyse de variance n'est pas significative (p-value = 0.327). Cependant, la différence entre les deux groupes donne toujours un avantage de 0.24 tMS.ha<sup>-1</sup> aux parcelles en conduite biologique.

### 4.2.2. Composantes de rendements

Le rendement optimal d'une culture dépend du potentiel génétique de la culture et des interactions entre la culture et le milieu. Le rendement potentiel correspond alors au rendement d'une culture dans des conditions optimales d'expression de son patrimoine génétique.

Le rendement s'élabore progressivement : plusieurs composantes se mettent en place successivement, chacune pouvant être reliée aux effets de l'environnement pendant sa période de formation. Dans le cadre de cette analyse, la culture étant pérenne, les composantes de rendement correspondent à la prise de biomasse sèche dans le temps, c'est-à-dire le nombre de tiges de luzerne formées par m<sup>2</sup> et la hauteur moyenne des tiges.

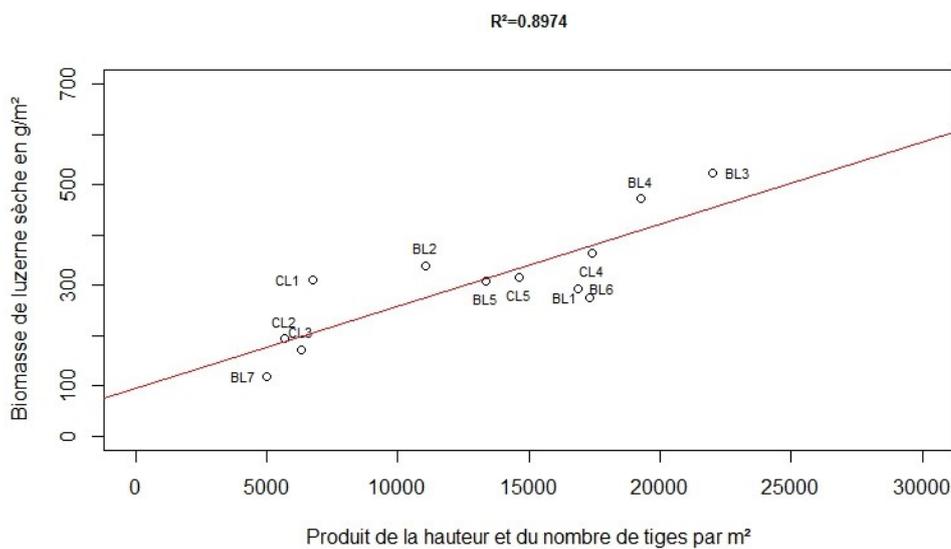


Figure 6: Relation entre la biomasse de luzerne et le produit de la hauteur et du nombre de tiges par m<sup>2</sup> pour les 12 parcelles étudiées pour la première fauche. Le sigle BL correspond aux parcelles de luzernes biologiques et le sigle CL aux parcelles de luzernes conventionnelles.

Ainsi, sur l'ensemble des parcelles étudiées, pour la première fauche, la biomasse totale de la luzerne est très corrélée au produit entre le nombre de tiges par m<sup>2</sup> et la hauteur moyenne des tiges ( $R^2 = 0,8974$ ). Par ailleurs, le test de corrélation de Pearson indique une relation significative ( $p\text{-value} = 7,759.10^{-4}$ ).

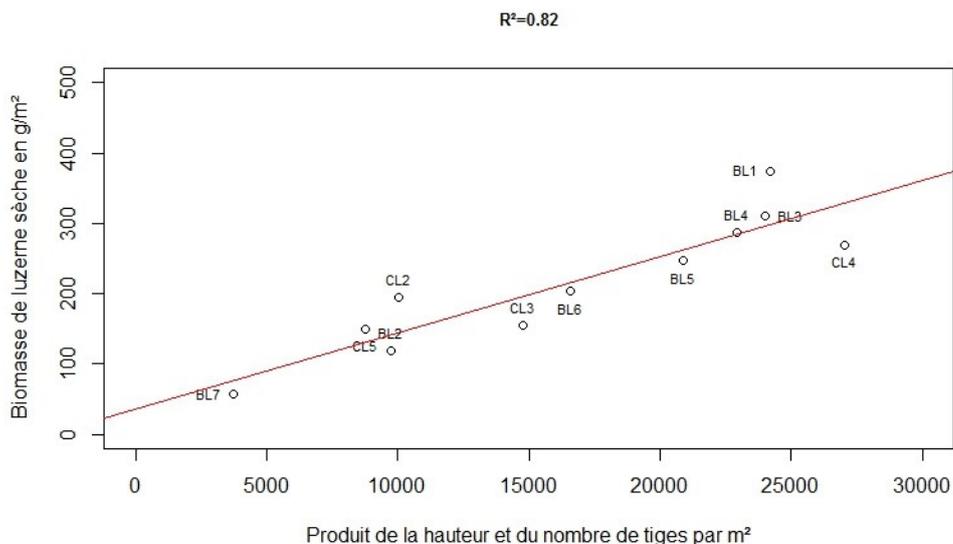


Figure 7 : Relation entre la biomasse de luzerne et le produit de la hauteur et du nombre de tiges par m<sup>2</sup> pour les 12 parcelles étudiées pour la deuxième fauche. Le sigle BL correspond aux parcelles de luzernes biologiques et le sigle CL aux parcelles de luzernes conventionnelles

De même, pour la deuxième fauche, la biomasse totale de luzerne est significativement corrélée au produit de la hauteur et du nombre de tiges ( $R^2 = 0.82$ , p-value Pearson =  $1,247.10^{-4}$ ).

#### 4.2.3. Première fauche

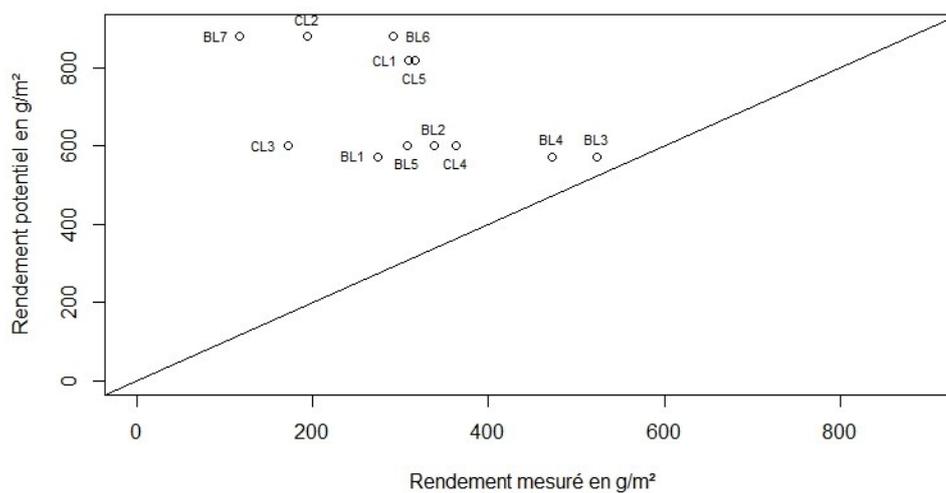


Figure 8: Comparaison des rendements potentiels de luzerne calculés par un modèle et des rendements obtenus aux champs pour la première fauche. Le sigle BL correspond aux parcelles de luzernes biologiques et le sigle CL aux parcelles de luzernes conventionnelles

Ce graphique montre un écart parfois important entre les rendements mesurés et les rendements potentiels.

Nous avons pu mettre en évidence plusieurs effets pouvant expliquer ces écarts.

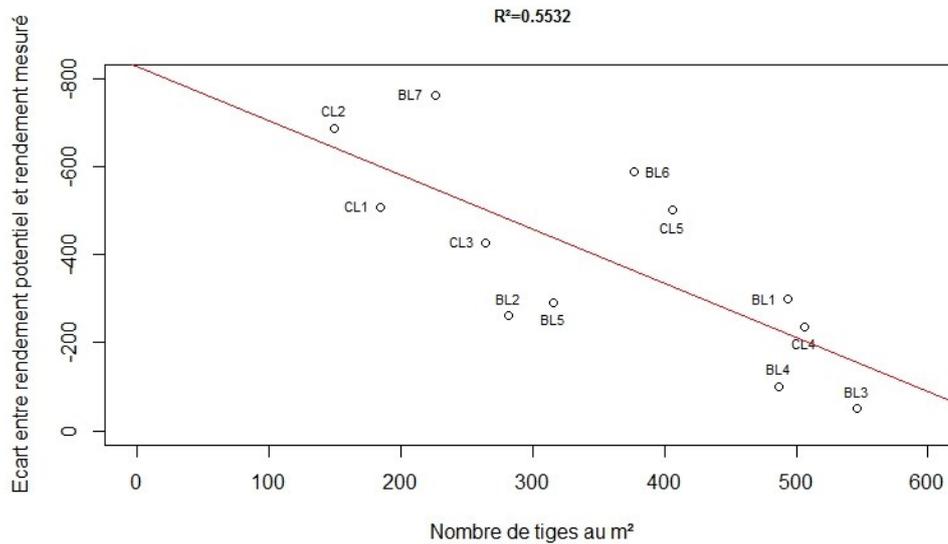


Figure 9: Relation entre le nombre de tiges de luzerne au m<sup>2</sup> et la différence de biomasse entre les rendements réels et les rendements potentiels pour la première fauche. Le sigle BL correspond aux parcelles de luzernes biologiques et le sigle CL aux parcelles de luzernes conventionnelles

L'hétérogénéité des densités de tiges de luzerne au m<sup>2</sup> peut expliquer les différences de rendement (Figure 9). Le test de corrélation de Pearson attribue une valeur significative à la corrélation entre la différence de rendement potentiel et sur le terrain et le nombre de tiges par m<sup>2</sup> (p-value = 0,00555). Néanmoins, cette hétérogénéité peut être due à d'autres facteurs et interactions entre ces facteurs incluant la hauteur de la luzerne. Mais aucune relation n'est statistiquement significative.

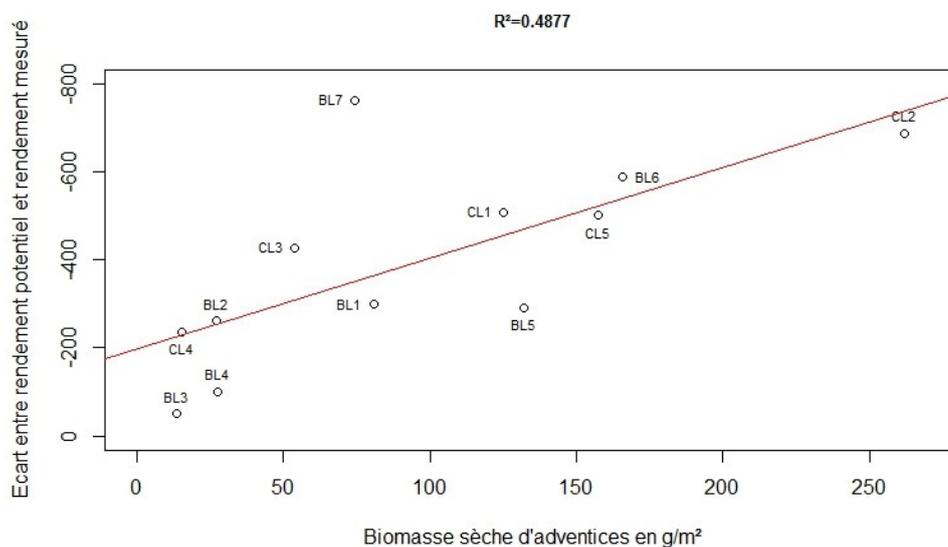


Figure 10: Relation entre la biomasse d'adventices et la différence de biomasse entre les rendements réels et les rendements potentiels pour la première fauche. Le sigle BL correspond aux parcelles de luzernes biologiques et le sigle CL aux parcelles de luzernes conventionnelles

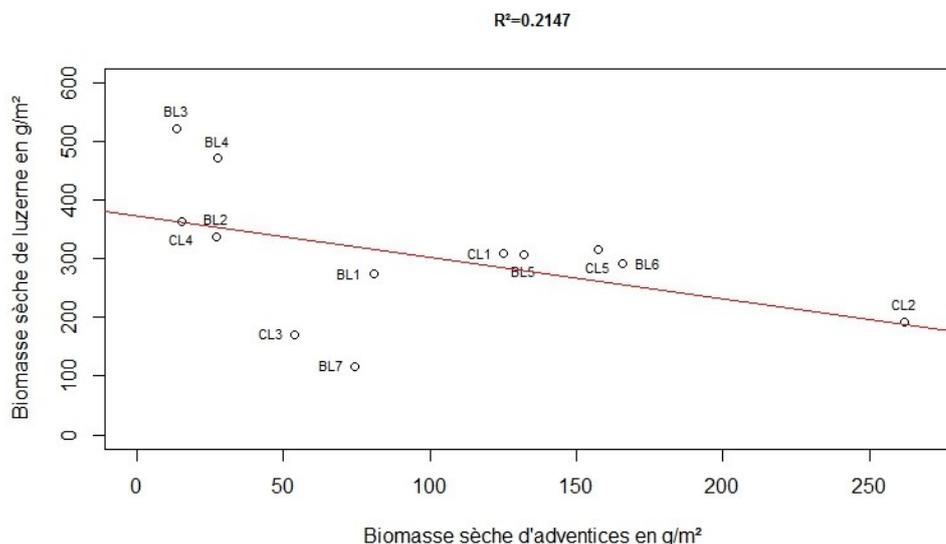


Figure 11: Relation entre la biomasse sèche de luzerne et la biomasse sèche d'adventices par m² pour la première coupe. Le sigle BL correspond aux parcelles de luzernes biologiques et le sigle CL aux parcelles de luzernes conventionnelles

Le niveau d'infestation en adventices explique en partie la production de luzerne et la différence de biomasse observée entre le rendement potentiel et le rendement mesuré (Figures 10 et 11) : les parcelles ayant une biomasse d'adventice plus élevée ont des rendements plus faibles que certaines parcelles à faible biomasse d'adventices (Figure 11). De plus, le niveau d'infestation en adventices des parcelles reflète pour la plupart des parcelles la différence de rendement entre le modèle et le champ (Figure 10).

Le test de corrélation de Pearson attribue une corrélation significative entre l'écart de rendements et la biomasse d'adventice ( $p\text{-value} = 0,01154$ ). Par contre, le test de Pearson n'attribue pas de relation entre la biomasse de luzerne et la biomasse d'adventice.

La biomasse d'adventices n'est pas du seul facteur influençant le rendement puisque des parcelles telles que BL1, BL5 et BL6 ont une biomasse d'adventices peu importante, mais un rendement plus faible que celui observé sur BL4 et BL3 (parcelles ayant sensiblement le même niveau de biomasse d'adventices). Une des hypothèses expliquant un rendement plus important pour les parcelles BL3 et BL4 malgré cette biomasse d'adventices sensiblement équivalente aux autres parcelles à haut rendement est le désherbage mécanique réalisé au canadien en hiver. Ce désherbage a aussi permis une aération des racines et des nodosités, ce qui aurait pu permettre une meilleure reprise en sortie d'hiver.

La parcelle BL7 correspond à la parcelle ayant été semée avec une variété totalement différente par rapport aux autres parcelles, probablement peu adaptée aux conditions pédoclimatiques locales. Cela peut expliquer pourquoi cette dernière possède une biomasse de luzerne par m² faible, malgré une biomasse d'adventice faible.

Il est également intéressant de remarquer que les parcelles qui ont les biomasses d'adventices les plus élevées sont les parcelles conduites en conventionnel, les parcelles en agriculture biologique ayant des biomasses d'adventices plus faibles.

#### 4.2.4. Deuxième fauche

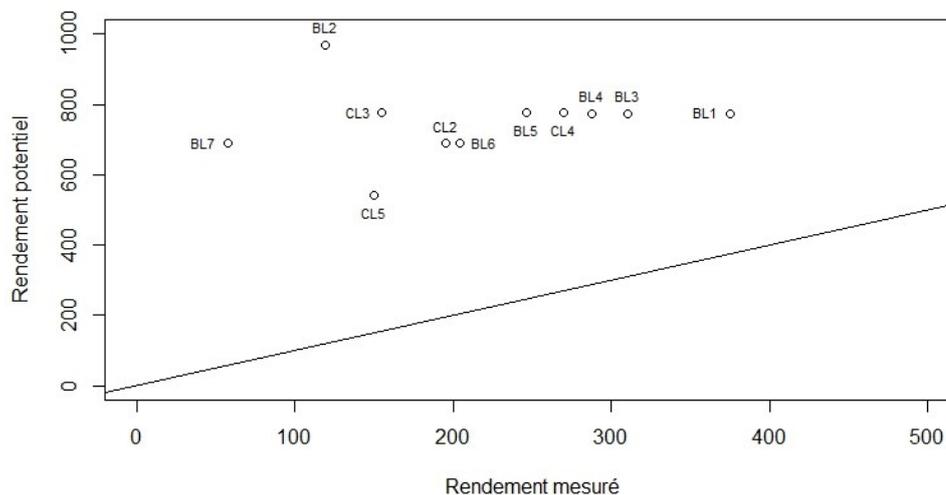


Figure 12: Comparaison des rendements potentiels de luzerne calculés par un modèle et des rendements obtenus aux champs pour la deuxième fauche. Le sigle BL correspond aux parcelles de luzernes biologiques et le sigle CL aux parcelles de luzernes conventionnelles.

Les rendements de la deuxième fauche sont largement surestimés par le modèle. Le contexte pédoclimatique (fortes températures et quasi-absence de précipitations) n'a pas joué en faveur de la production de biomasse pour les luzernières.

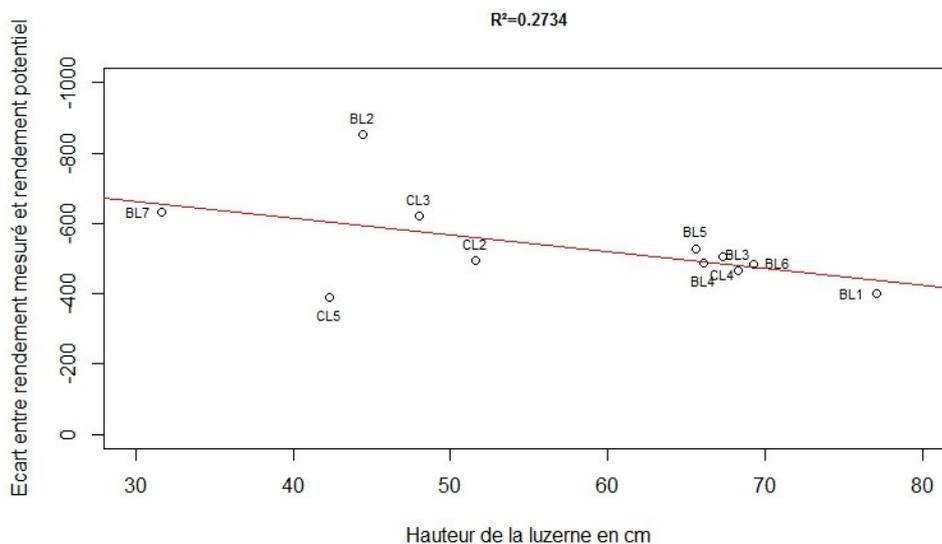


Figure 13: Relation entre la hauteur et la différence de biomasse entre les rendements réels et les rendements potentiels pour la deuxième fauche. Le sigle BL correspond aux parcelles de luzernes biologiques et le sigle CL aux parcelles de luzernes conventionnelles.

Le nombre de tiges de luzerne par m<sup>2</sup> qui apparaissait comme une variable explicative des variations de rendements entre les parcelles de luzerne pour la première fauche n'est pas graphiquement corrélé dans le cadre de la deuxième fauche à la différence entre le rendement potentiel et le rendement mesuré. La hauteur de la luzerne est plus explicative dans le cadre de la deuxième fauche pour expliquer les différences observées entre le rendement potentiel et le rendement mesuré. Le test de corrélation de Pearson par contre est peu significatif (p-value = 0.09885).

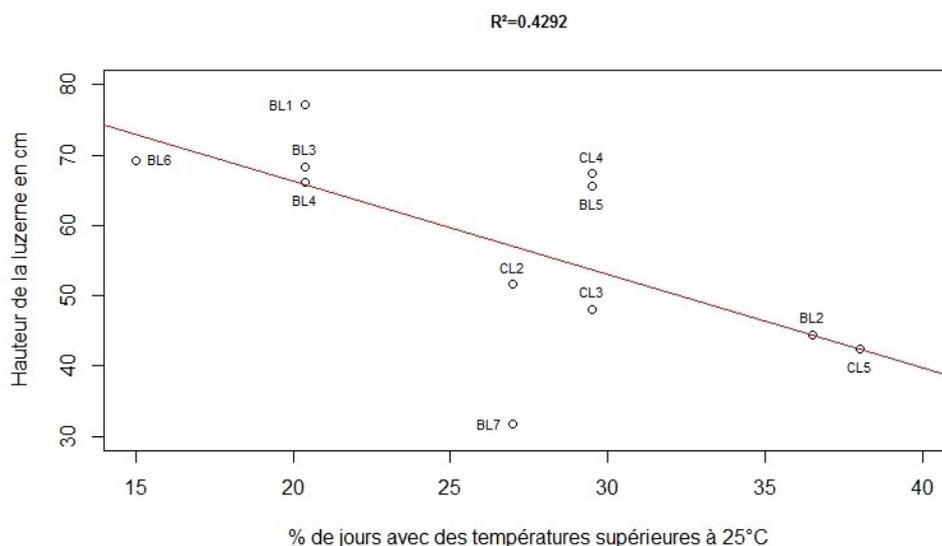


Figure 11: Relation entre les fortes températures (obtenu entre la date de la première fauche et la date du prélèvement) et la hauteur pour la deuxième fauche. Le sigle BL correspond aux parcelles de luzernes biologiques et le sigle CL aux parcelles de luzernes conventionnelles.

Les fortes chaleurs impactent fortement la hauteur moyenne de la luzerne et donc son rendement. La corrélation entre la hauteur et les températures excessives est significative ( $p$ -value = 0.02867). La parcelle BL2 qui avait un rendement moyen en première fauche en a un très mauvais sur la deuxième coupe. Ceci est dû comme dit précédemment à la réalisation de trois fauches (une pré coupe en début de printemps, un fauche début mai et une autre fin juin) ayant probablement épuisé les réserves racinaires des luzernes.

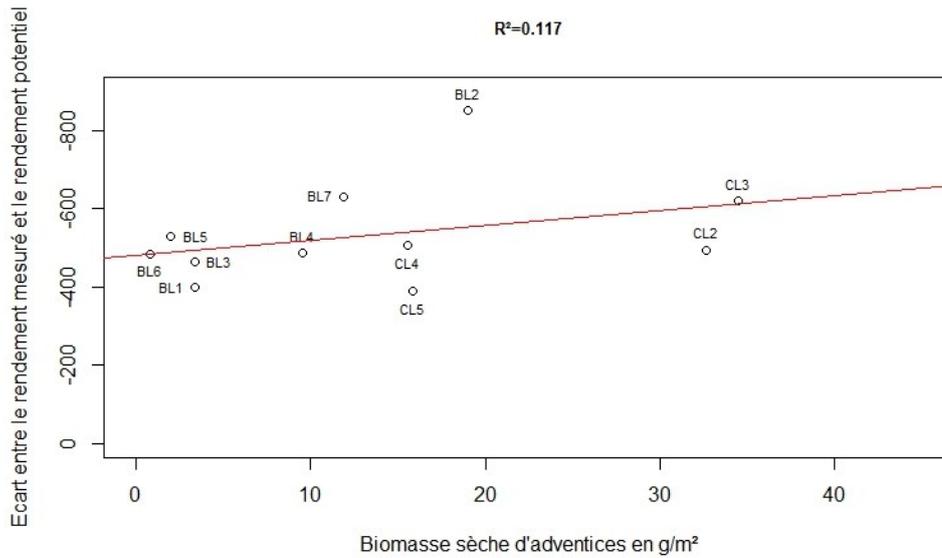


Figure 14: Relation entre la biomasse d'adventices et la différence de biomasse entre les rendements réels et les rendements potentiels pour la deuxième fauche. Le sigle BL correspond aux parcelles de luzernes biologiques et le sigle CL aux parcelles de luzernes conventionnelles

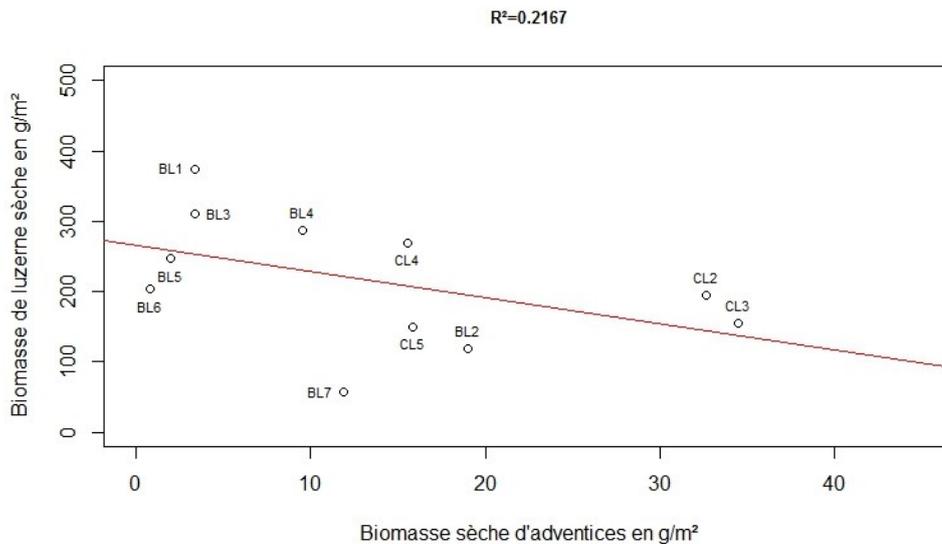


Figure 15: Relation entre la biomasse sèche de luzerne et la biomasse sèche d'adventices par m² pour la deuxième coupe. Le sigle BL correspond aux parcelles de luzernes biologiques et le sigle CL aux parcelles de luzernes conventionnelles

Dans le cadre de la deuxième fauche, le même résultat est observé que pour la première fauche : une forte infestation d'adventices (CL2, CL3) explique la plus faible production de biomasse de la luzerne.

La corrélation entre l'écart de rendement et la biomasse adventice n'est pas significative ( $p$ -value = 0.3032). Il est de même pour la relation entre la biomasse de luzerne et la biomasse d'adventices ( $p$ -value = 0.149).

D'autres facteurs tels que les attaques d'apions, l'âge des luzernes, les groupes d'agriculteurs fauchant par eux même et ceux fauchant par l'intermédiaire de la coopérative de déshydratation ont été testés pour les fauches 1 et 2, mais aucune relation n'est ressortie.

En revanche, une relation intéressante est ressortie graphiquement. Certains agriculteurs sèment plusieurs variétés de luzerne dans la même prairie temporaire alors que d'autres en sèment une seule. Les différences de rendement observées étaient assez importantes, et en faveur des parcelles où plusieurs variétés avaient été semées. Cependant, un phénomène de confusion d'effets – la majorité des agriculteurs utilisant cette technique sont des agriculteurs biologiques, mode pour lequel les rendements sont plus importants (voir section 4.2.1) – rend la comparaison statistique non significative.

### 4.3. Parcelles de pois protéagineux de printemps

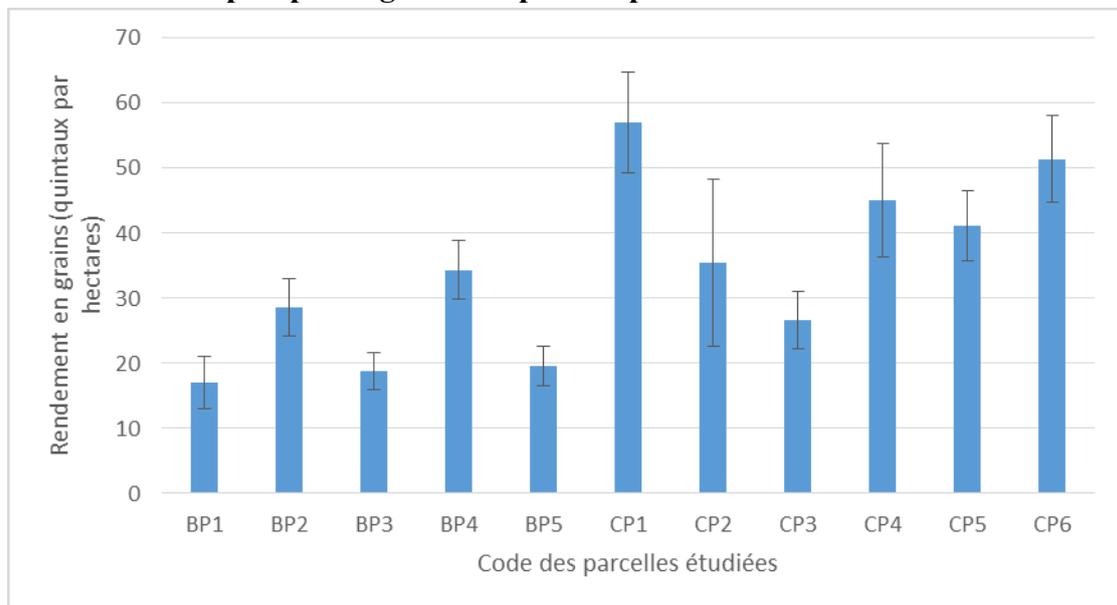


Figure 16: Rendements en grain des pois de printemps en quintaux secs par hectare. Le sigle BP correspond aux pois biologiques et le sigle CP correspond aux pois conventionnels

Nous avons observé, sur l'ensemble des parcelles de pois de printemps, une forte variabilité des rendements (Figure 13).

Les différences de rendements sont marquées entre les parcelles conduites en agriculture biologique (BP1 à BP5, rendement variant de 17 à 34 q.ha<sup>-1</sup>) et les parcelles conduites en agriculture conventionnelle (CP1 à CP6, rendement variant de 26 à 57 q.ha<sup>-1</sup>).

Les parcelles BP1 et BP3 sont atteintes par la pourriture racinaire due au champignon *Aphanomyces euteiches* expliquant ainsi le fait que rendement de ces parcelles sont inférieurs au premier quartile (22.46 qx.ha<sup>-1</sup>). Leur potentiel infectieux est de 1.4/5 pour BP1 et 3.1/5 pour BP3. La parcelle BP4 a été piétinée par du bétail au moment de la levée. Néanmoins, son

rendement se rapproche de la moyenne (34.13 qx.ha<sup>-1</sup>). BP5 a été semée au 20 avril, soit assez tardivement. La concurrence des adventices a été très importante, impliquant un rendement faible, inférieur au premier quartile. Les parcelles CP2 et CP3 étaient dans des zones assez sèches, le nombre faible d'étages de gousses formées a pénalisé le rendement. Toutes les parcelles sont semées avec la variété Kayanne sauf CP2 et CP6 semées avec la variété Mowgly et BP5 semée avec la variété Biathlon. Les différences de rendements entre les variétés ne sont pas visibles. Les parcelles CP1, CP3, CP4, CP5 et CP6 ont reçu un traitement herbicide comprenant la triplette pois (Aclonifen, Bentazone, Pendiméthaline) et un anti-graminée, la parcelle CP2 n'a reçu elle que la triplette pois. Une partie du rendement de CP2 s'explique par une forte infestation d'adventices (*Alopecurus myosuroides*).

#### 4.3.1. Effet du mode d'agriculture

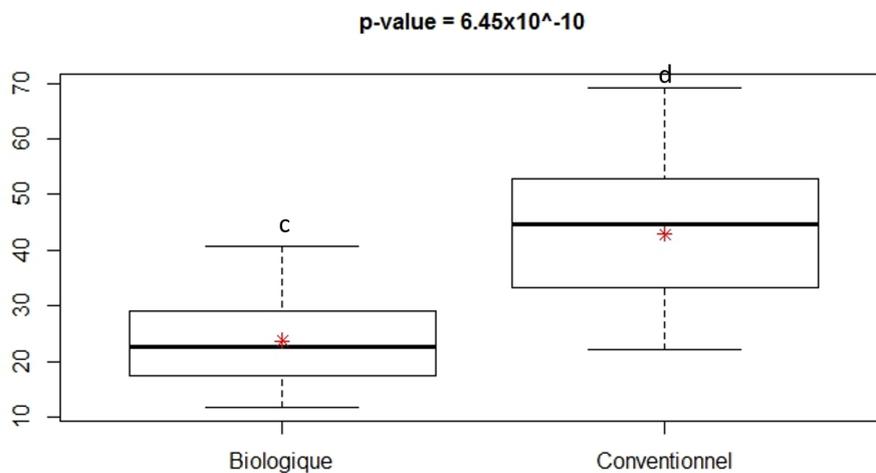


Figure 17: Moyenne des rendements grains en pois de printemps selon le mode d'agriculture.

La figure 14 montre une différence importante quant à la capacité de production des pois de printemps dans des systèmes à conduite biologique par rapport à des systèmes à conduite conventionnelle. L'hypothèse, soumise à une analyse de variance du rendement en fonction du facteur mode d'agriculture est significative ( $p\text{-value} = 6.45 \cdot 10^{-10}$ ) et la comparaison des moyennes du test de Tukey donne une différence significative ( $p = 0.0453$ ) de 19.1 qx.ha<sup>-1</sup> en faveur des parcelles à conduite conventionnelle.

#### 4.3.2. Diagnostic agronomique des parcelles de pois

Le rendement en grains du pois s'élabore au cours de plusieurs étapes importantes successives, conduisant à une décomposition du rendement en composantes : le nombre de plantes au m<sup>2</sup>, le nombre d'étages de gousses, le nombre de graines formées par m<sup>2</sup> et le poids moyen de chaque graine. La variable du nombre de grains formés par m<sup>2</sup> n'a pas été mesurée et aucune relation n'a été trouvée entre le rendement et le poids moyen d'un grain

Le potentiel génétique de la variété utilisée fixe un rendement potentiel dans des conditions optimales. Les interactions entre le potentiel génétique de la plante et l'environnement impliquent des conséquences sur l'élaboration du rendement.

Toutes ces composantes de rendement peuvent donc être perturbées au cours du cycle de la culture. Mais certaines composantes de rendement élaborées tardivement, peuvent compenser d'autres, élaborées plus précocement et ayant subi un effet défavorable de l'environnement.

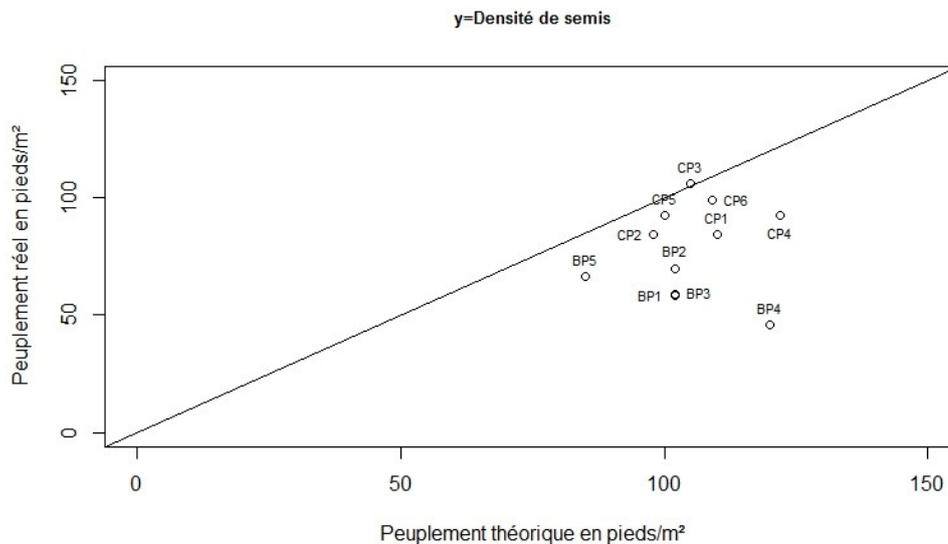


Figure 18: Comparaison des peuplements théoriques et des peuplements réels comptés dans les parcelles de pois de printemps. Le sigle BP correspond aux pois biologiques et le sigle CP correspond aux pois conventionnels

Il existe une forte différence de peuplement en pois entre la quantité souhaitée (densité de semis) et la quantité de pois ayant levé pour certaines parcelles (figure 18). Des accidents de culture ont donc eu lieu dès le début du cycle, pour environ la moitié des parcelles. En particulier, le peuplement de la parcelle BP4 s'explique par la dégradation de la parcelle par un troupeau de bovins en début de cycle.

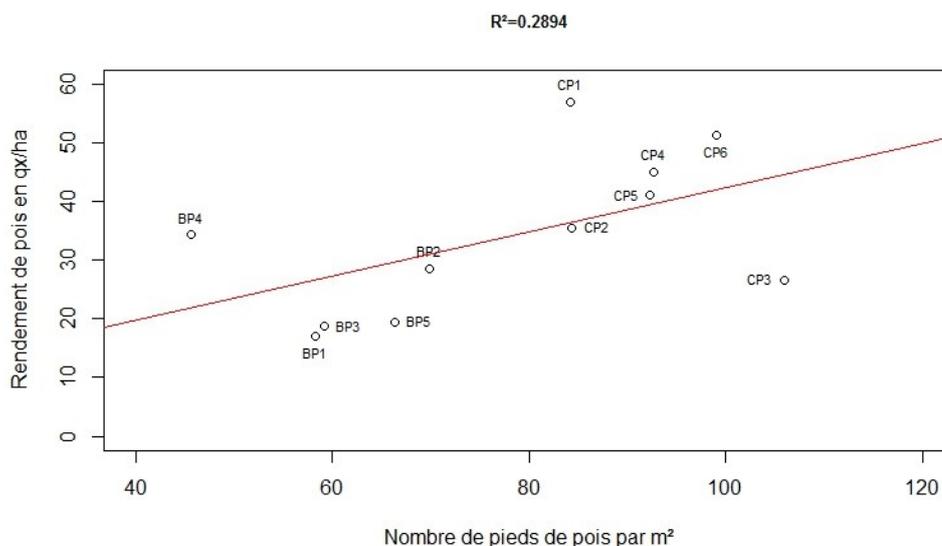


Figure 19: Relation entre le rendement et le peuplement en pois de printemps. Le sigle BP correspond aux pois biologiques et le sigle CP correspond aux pois conventionnels

L'optimum de rendement en pois de l'observatoire correspond au rendement réalisé par la parcelle CP1. La relation entre le rendement et le nombre de pois au m² est peu significative ( $p$ -value = 0.08785)

Sur ce graphique (figure 19), l'ensemble des parcelles de pois biologique a un peuplement plus faible que la parcelle CP1. Ce paramètre indique que le nombre de pieds par m² des parcelles biologiques est trop faible pour pouvoir atteindre le rendement de la parcelle CP1 considéré comme le rendement potentiel de l'observatoire.

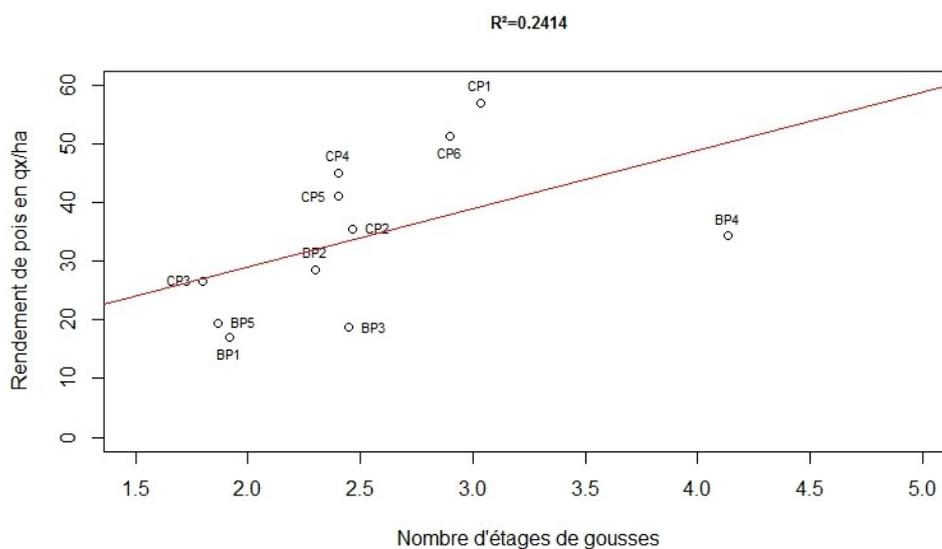


Figure 20: Relation entre le nombre d'étages de gousses sur le rendement en grains de la culture de pois protéagineux. Le sigle BP correspond aux pois biologiques et le sigle CP correspond aux pois conventionnels

Le nombre d'étages de gousses influence le rendement pour une partie des parcelles (Figure 20). Mais la relation n'est pas statistiquement significative ( $p$ -value = 0.1249). La parcelle BP4 avait un très faible nombre de pieds au m<sup>2</sup>, mais elle obtient le meilleur rendement des parcelles à conduite biologique. Ceci est dû au rattrapage du faible nombre de pieds au m<sup>2</sup> par le nombre de gousses par plante plus élevé.

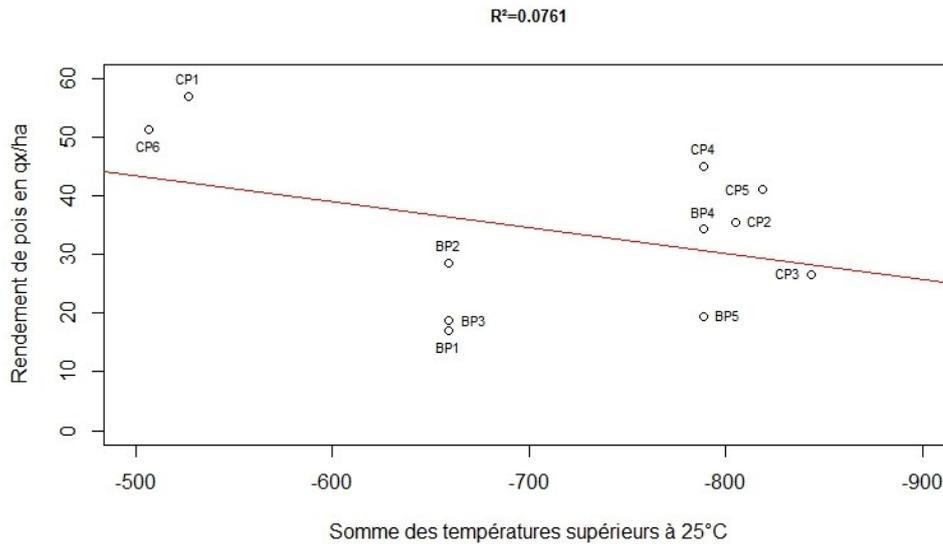


Figure 21: Relation entre le rendement en pois et la somme des températures supérieures à 25°C. Le sigle BP correspond aux pois biologiques et le sigle CP correspond aux pois conventionnels

L'effet du stress thermique sur le pois entraîne des pertes de rendement. Ainsi, les parcelles à plus haut rendement (CP1 et CP6) correspondent aux parcelles ayant eu le moins de jours avec des températures supérieures à 25°C. Le test de Pearson pour cette relation n'est pas significatif ( $p$ -value = 0.2409)

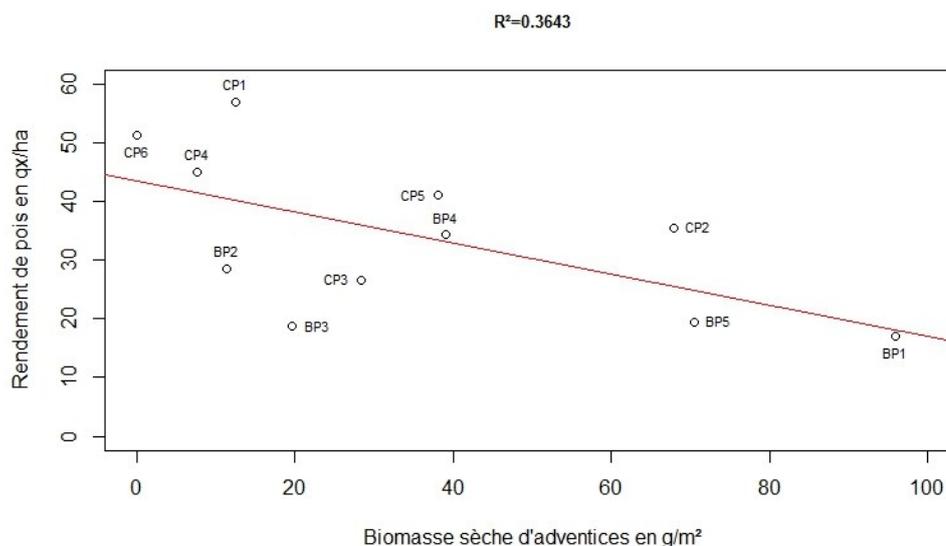


Figure 22: Relation entre le rendement en qx.ha<sup>-1</sup> et la biomasse d'adventices en g/m<sup>2</sup>. Le sigle BP correspond aux pois biologiques et le sigle CP correspond aux pois conventionnels

Sur ce graphique, l'effet pénalisant des adventices sur le rendement est vrai pour les parcelles BP1, BP5 et CP2. En revanche, des parcelles comme BP3 présentent une faible infestation en adventices, mais un faible rendement, expliqué précédemment par un faible nombre de pieds et un faible nombre d'étage de gousses. L'effet de la biomasse d'adventices sur le rendement est statistiquement significatif (p-value = 0.04927)

Par ailleurs, les effets des sitones, des pucerons verts ont été analysés, mais ont peu d'incidence sur les rendements observés. Les attaques par *Aphanomyces* sont quant à elles significatives sur les pertes de rendements pour les parcelles BP1 et BP3 (Figure 16). L'effet du semis tardif à faible densité de semis (BP5) n'a pas pu concurrencer les adventices en début de cycle et le rendement a été pénalisé.

## **5. Discussion**

### **5.1. Évolution des rendements des deux légumineuses étudiées**

Il apparaît nettement dans les parcelles suivies une variabilité des rendements en luzerne. Ce constat peut être établi sur l'ensemble des régions françaises et sur une échelle de temps débutant en 1980 (COOP France déshydratation & Chambre d'agriculture de la Marne, 2014). Les rendements en légumineuses à graines sont eux aussi très variables dans le temps et l'espace (Cernay et al. 2015), comme ce qu'on a pu observer sur l'observatoire.

### **5.2. Impact de la gestion technique et du mode d'agriculture sur les rendements en légumineuses**

#### **5.2.1. Cas de la luzerne**

La différence de rendement entre les luzernières biologiques et les luzernières conventionnelles mise en évidence montre un effet de conduite sur les rendements. Mais cet effet de conduite est indirect. En effet, la différence de rendement est issue de la gestion technique de la culture. Or, ce qui ressort des enquêtes, c'est une divergence d'objectif pour la conduite biologique et la conduite conventionnelle. L'insertion de luzerne dans une rotation conventionnelle est plus fréquente chez les éleveurs dans le but d'obtenir un fourrage de qualité (Julier & Huyghe, 2010) tout en conservant une marge satisfaisante. En revanche, les agriculteurs, éleveurs ou céréaliers biologiques attendent beaucoup plus de leur prairie de luzerne. Les apports de matière organique riche en azote (Thiebeau, 2003) et les effets pour les cultures suivantes (Pietsch et al. 2007) sont pris en compte au même titre que les conventionnels. La différence correspond au pouvoir nettoyant des sols (Colbach et al. 2010), à l'amélioration de la structure du sol et à la résistance à la sécheresse. Ainsi, la réussite de la luzerne dans un système de culture en conduite biologique est primordiale pour le reste de la rotation (de Kruijff et al. 2008). Cette différence d'attentes implique une gestion technique plus stricte et encadrée pour les agriculteurs biologiques.

Par ailleurs, l'effet d'un semis d'un mélange de variété a un impact positif sur le rendement, même si le faible nombre de parcelles de l'observatoire n'a pas permis de le démontrer statistiquement. Cette théorie a été développée par C.H. Hanson a montré qu'un mélange de deux variétés de luzerne s'accompagnait d'une augmentation du rendement de l'ordre de 2% (Hanson, 1964).

Les choix variétaux ont été faits pour tomber en adéquation avec le contexte pédoclimatique local, excepté pour la variété achetée sur le marché espagnol (BL7).

#### **5.2.2. Cas du pois protéagineux**

Nos résultats montrent que la différence de rendement joue en faveur des agriculteurs conventionnels. L'insertion de protéagineux dans une rotation céréalière est intéressante pour des agriculteurs conventionnels dans le cas où ceux-ci disposent d'un débouché pour la culture (autoconsommation ou vente). Les buts de l'insertion de protéagineux dans les rotations céréalières conventionnelles sont multiples : apport d'azote organique permettant

une réduction de la fertilisation de la culture suivante, bénéfiques de la diversification sur les maladies des grandes cultures, gestion des adventices avec des produits différents permettant un ralentissement dans l'apparition de biotype résistant, diminution des charges opérationnelles pour le protéagineux à 320 €/ha soit 100 €/ha de moins qu'un colza ou qu'un blé (Arvalis et al. 2014a) (données d'enquêtes auprès des agriculteurs du réseau). En agriculture biologique, les bénéfices tels que l'apport d'azote dans la succession ou les bénéfices de la diversification sur les maladies des grandes cultures sont également vrais, mais il semblerait que la pratique du pois protéagineux en culture pure soit faiblement répandue, du fait de nombreux facteurs affectant le rendement (voir ci-dessous).

En agriculture conventionnelle, le frein principal à l'insertion de protéagineux correspond à la variabilité des rendements. Cependant, il ressort aussi qu'un manque d'information technique conduit à l'absence de prise de risques pour semer un protéagineux (données d'enquêtes auprès des agriculteurs du réseau). En agriculture biologique, plusieurs facteurs limitants ont été identifiés dans la littérature (pas toujours mis en évidence sur l'observatoire). Les stress biotiques tels que les sitones, pucerons verts et autres ravageurs sont importants et il existe peu de leviers en agriculture biologique pour les contrôler. Le fait que ce soit une culture annuelle implique une forte pression d'adventices que les agriculteurs biologiques ont du mal à maîtriser. De plus, du fait de l'apport d'azote au sol après récolte du protéagineux, mais aussi à cause d'un certain manque d'informations, les agriculteurs biologiques ont tendance à ne pas respecter les temps de retour entre deux protéagineux. Ce paramètre ouvre des risques de développement du champignon *Aphanomyces* responsable de la maladie de la pourriture racinaire. Beaucoup de légumineuses sont sensibles (pois, lentilles) ou hôtes (luzerne, certaines variétés de vesces communes) de ce champignon, d'autres y sont résistantes (féverole inscrite au catalogue français, lupin) (Arvalis & UNIP, 2013).

### **5.3. Impact du climat et du sol sur les rendements en légumineuses**

#### **5.3.1. Cas de la luzerne**

L'effet d'un stress thermique lors de la repousse printanière est plus marqué à la deuxième fauche et entraîne des pertes de rendements significatives. Au-delà des températures de 25°C, la luzerne entre dans une phase de stress thermique et sa croissance s'arrête (Mauriès, 2003).

#### **5.3.2. Cas du pois protéagineux**

Dans le cadre de cette étude, le principal facteur climatique limitant la production de pois correspond à un stress thermique intense. Les fortes chaleurs de la fin de printemps et du début de l'été ont entraîné une diminution du rendement. La période de forte chaleur a eu lieu au cours de la floraison des pois. Les effets de ces fortes chaleurs affectent principalement la viabilité du pollen, la formation de gousses et graines entraînant la coulure des fleurs et donc une perte de rendement substantiel (Pooran M Gaur et al. 2015).

## 5.4. Impact des différents stress biotiques sur les rendements en légumineuses

### 5.4.1. Cas de la luzerne

Le suivi de l'observatoire n'a pas permis de mettre en évidence une faiblesse concernant d'éventuelles maladies ou ravageurs. En revanche, les adventices sont à l'origine de pertes de rendements dans certaines parcelles.

Dans les parcelles biologiques, les graminées sont assez problématiques pour le rendement. Une gestion de ces adventices est possible en hiver, par le passage d'outils à dents (profonds ou superficiels). Les agriculteurs du réseau ont laissé entendre que passer un outil à dents profond dans une parcelle de luzerne, en plus de réduire la pression d'adventices sur la luzerne, permet une aération des racines et des nodosités. Ce qui permet une augmentation de la biomasse. C'est le cas des parcelles BP3 et BP4, parcelles extrêmement bien conduites, présentant un travail de sol profond (canadien en hiver) et atteignant les rendements les plus importants de l'observatoire pour la première fauche.

Dans les parcelles conventionnelles, trois cas ont été observés. Les programmes herbicides en luzerne à base d'anti-graminées et incluant la matière active propyzamide entraîne une forte densité de *Taraxacum officinale* (pissenlit), cette prolifération est dû à la libération de l'espace par l'herbicide, et au fait que l'herbicide ne soit pas efficace sur le pissenlit, la matière active étant homologués sur *Asteraceae* cultivé (laitue, chicorée) (Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, 2015). Un programme herbicide basé sur une matière active ciblant les dicotylédones est plus justifié et conduit à une luzerne plus propre et un rendement plus important (enquêtes agriculteurs du réseau). Certains conventionnels ont aussi une luzerne dont il ne s'occupe pas du tout conduisant alors à une forte invasion d'adventices et un faible rendement brut de luzerne et une récolte de mauvaise qualité.

### 5.4.2. Cas du pois protéagineux

Le pois est soumis à de nombreux stress biotiques. Dans le cadre de cette étude, deux parcelles ont été infectées par le champignon *Aphanomyces euteiches* responsable de la pourriture racinaire chez le pois (Levenfors, 2003). Les effets de la maladie détruisant les nodules peuvent entraîner des pertes de rendement jusqu'à 50 qx.ha<sup>-1</sup>. Ces deux parcelles avaient des pois chétifs et jaunâtres, les rendements y étaient les plus faibles de l'observatoire. Le développement des symptômes au cours de la croissance (avant floraison) entraîne la formation que d'une ou deux gousses avec une ou deux grains. Les gousses formées seront inégalement réparties (Gilbert, 2003). La maladie explique aussi les faibles nombres d'étages de gousses des parcelles BP1 et BP3.

Le désherbage mécanique du pois est possible en pré-levée et avant le stade 5 feuilles avec une herse étrille et une houe rotative (Arvalis et al. 2014b), cette intervention permettra de limiter les adventices avant début floraison et ensuite, si le couvert est suffisant, le pois aura un effet inhibiteur sur les adventices. La répartition de parcelles biologiques ayant reçu un passage de herse étrille/houe rotative correspond aux parcelles BP1, BP2 et BP3. Les

parcelles BP1 et BP3 ayant le champignon *Aphanomyces*, les rendements sont bas du fait de l'infestation par le champignon. En revanche, BP2 correspond au deuxième meilleur rendement de pois biologique.

Pour les pois conventionnels, il est conseillé de réaliser un herbicide en pré-levée et le reste en post-levée à des doses assez faibles (Arvalis et al. 2014b) comme c'est le cas pour CP1 et CP4. Par ailleurs, une bonne gestion de l'interculture permet une action sur les adventices par compétition et par allélopathie (Charles et al. 2012), et le recours au technique de désherbage mécanique permet une diminution des doses d'herbicides, voire l'impasse sur certains (enquêtes auprès de agriculteurs du réseau, exploitant de la parcelle CP6).

## **6. Conclusion et perspectives**

L'observatoire de Bourgogne a été un moyen de mettre en évidence quelques freins possibles à la production des légumineuses en conditions réelles, tels que l'absence d'information sur les cultures, les conditions climatiques. L'année 2015 a été une année exceptionnelle d'un point de vue climatique avec de longues périodes sans précipitation et des températures importantes. Ce qui a permis de montrer le comportement des légumineuses face au stress thermique.

Cette étude a aussi montré des facteurs de variabilité des rendements en légumineuse, qui sont majoritairement dû dans l'observatoire pour cette première année d'observation à une forte densité d'adventices, aux conditions climatiques, et éventuellement à des maladies. La suite de l'observatoire sera constituée par une répétition des mesures sur des luzernes et pois différents, ainsi que sur la culture suivant la légumineuse étudiée cette année.

La suite de l'observatoire en Bourgogne permettra de continuer à acquérir des données sur la variabilité des rendements des légumineuses.

L'observatoire permettra aussi d'analyser la variabilité de l'effet de la légumineuse sur la culture suivante

Les observatoires dans les deux autres régions permettront d'élargir les conclusions à d'autres espèces de légumineuses (lupin, lentille) et à d'autres modes d'insertion (associations).

## 7. Références bibliographiques

- Araújo, S.S. et al., 2015. Abiotic Stress Responses in Legumes: Strategies Used to Cope with Environmental Challenges. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 34(1-3), p.237-280.
- Arvalis & UNIP, 2013. Test Aphanomyces. Première étape de la culture de pois.
- Arvalis, UNIP & FNAMS, 2014a. Désherbage. *Pois Protéagineux de printemps et d'hiver. Guide de culture (2014-2015)*, p.18-23.
- Arvalis, UNIP & FNAMS, 2014b. Performances économiques et environnementales. *Pois Protéagineux de printemps et d'hiver. Guide de culture (2014-2015)*, p.4-5.
- Bodson, B. & Vandenberghe, C., 2013. Gestion durable de l'azote au-delà de la seule problématique « nitrate ». *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, (17), p.297-300.
- Cernay, C. et al., 2015. Estimating variability in grain legume yields across Europe and the Americas. *Scientific Reports*, 5, p.11171.
- Charles, R., Montfort, F. & Sarthou, J.-P., 2012. Effets biotiques des cultures intermédiaires sur les adventices, la microflore et la faune. *Réduire les fuites de nitrate au moyen de cultures intermédiaires Conséquences sur les bilans d'eau et d'azote, autres services écosystémiques*, Chap 6, p.196-208.
- Colbach, N. et al., 2010. Assessing non-chemical weeding strategies through mechanistic modelling of blackgrass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) dynamics. *European Journal of Agronomy*, 32(3), p.205-218.
- COOP France déshydratation & Chambre d'agriculture de la Marne, 2014. *La luzerne en Champagne-Ardenne. Enquête culturelle 2013 (Semis 2012, récoltes 2013 années 1, 2 et 3)*,
- Corvalán, C. et al. éd., 2005. *Ecosystems and human well-being: health synthesis*, Geneva, Switzerland: World Health Organization.
- Decourtye, A. et al., 2007. Introduction de jachères florales en zones de grandes cultures : comment mieux concilier agriculture, biodiversité et apiculture ? *Courrier de l'environnement de l'INRA*, (54), p.33-56.
- Decourtye, A. & Bouquet, C., 2010. Une gestion des couverts herbacés favorable aux abeilles et à la petite faune de plaine. *Fourrages*, (202), p.117-124.
- Ferron, P., 1999. Protection intégrée des cultures: évolution du concept et de son application. *Cahiers Agricoles*, (8), p.389-396.
- François-Xavier Dussud et al., 2015. *Chiffres clés du climat, France et monde*, Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, et de l'Energie.

- Gaudin, A.C.M. et al., 2015. Increasing Crop Diversity Mitigates Weather Variations and Improves Yield Stability J. L. Gonzalez-Andujar, éd. *PLOS ONE*, 10(2), p.e0113261.
- Gérard Gilbert, 2003. *Biologie d'Aphanomyces, champignon responsable de la pourriture des racines du pois.*, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation.
- Gosse, G., Chartier, M. & Lemaire, G., 1984. Mise au point d'un modèle de prévision de production pour une culture de luzerne. *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 3, Sciences de la vie*, (18), p.541-544.
- Hanson C.H., 1964. *Relative Performance of Alfalfa Varieties, Variety Crosses, and Variety Mixtures*, Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture.
- Institut de l'élevage, 2008. *Maladies des Bovins*, France Agricole Editions.
- Jägerskog, A. & Jønch Clausen, T., 2012. *Feeding a thirsty world - Challenge and Opportunities for a Water and Food Secure Future*, Sweden: Stockholm International Water Institute.
- Jensen, E.S. et al., 2012. Legumes for mitigation of climate change and the provision of feedstock for biofuels and biorefineries. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(2), p.329-364.
- Jeuffroy, M.-H. et al., 2013. *Boucler les grands cycles, légumineuses et symbioses. L'avenir*, Paris.
- Jeuffroy, M.H. et al., 2013. Nitrous oxide emissions from crop rotations including wheat, oilseed rape and dry peas. *Biogeosciences*, 10(3), p.1787-1797.
- Julier, B. & Huyghe, C., 2010. Quelles légumineuses fourragères (espèces et variétés) et quelles conduites pour améliorer l'autonomie protéique des élevages herbivores ? *Innovations Agronomiques*, (11), p.101-114.
- de Kruijff, R. et al., 2008. Pre-crop effects of alfalfa management systems on inorganic soil nitrogen and cereals in organic farming under pannonian site conditions. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 171(4), p.576-579.
- Kværner, J. et al., 2014. An integrated approach for assessing influence of agricultural activities on pesticides in a shallow aquifer in south-eastern Norway. *Science of The Total Environment*, 499, p.520-532.
- Levenfors, J., 2003. *Soil-borne pathogens in intensive legume cropping - Aphanomyces spp. and root rots*, Uppsala: Swedish Univ. of Agric. Sci.
- Mauriès, M., 2003. *Luzerne: culture, récolte, conservation, utilisation*, France Agricole Editions.
- Meynard, J.-M., Messéan, A., et al., 2013. Freins et leviers à la diversification des cultures : étude au niveau des exploitations agricoles et des filières. *OCL*, 20(4), p.D403.
- Meynard, J.-M., Charlier, A., et al., 2013. La spécialisation à l'œuvre. *OCL*, 20(4), p.D402.
- Millennium Ecosystem Assessment (Program) éd., 2005. *Ecosystems and human well-being: synthesis*, Washington, DC: Island Press.

- Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, 1999. *Fertilisation azotée de trois légumineuses: le haricot, la luzerne et le pois protéagineux*, CORPEN (Comité D'orientation Pour La Réduction De La Pollution Des Eaux Par Les Nitrates, Les Phosphates Et Les Produits Phytosanitaires Provenant Des Activités Agricoles).
- Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, *Les surfaces d'intérêt écologiques*,
- Ministère de l'agriculture, de l'Agroalimentaire et de la forêt, 2008. *Plan Ecophyto 2018*,
- Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, 2014. *Plan Protéines végétales*,
- Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, 2015. Spécialité : PROPYZAMIDE.  
Available at: <http://e-phy.agriculture.gouv.fr/spe/2100046-10023328.htm> [Consulté le août 18, 2015].
- Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2009. *Evaluation des services rendus par les écosystèmes en France*,
- Muller, J.-C., Denys, D. & Thiebeau, P., 1993. Présence de légumineuses dans la succession de cultures : luzerne et pois cultivés purs ou en association, influence sur la dynamique de l'azote. *Publications INRA Châlons-en-Champagne*, 253.
- Munier-Jolain, N. et al., 2012. Rôle des prairies temporaires pour la gestion de la flore adventice dans les systèmes céréaliers. *Innovations Agronomiques*, 22, p.71-84.
- Nemecek, T. et al., 2008. Environmental impacts of introducing grain legumes into European crop rotations. *European Journal of Agronomy*, 28(3), p.380-393.
- Peccatte, J.R. & Dozias, D., 1998. Conservation et valeur alimentaire de la luzerne pour les ruminants. *Fourrages*, (155), p.403-407.
- Peix, A. et al., 2015. Bacterial Associations with Legumes. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 34(1-3), p.17-42.
- Peyraud, J.L., Delaby, L. & Lebois, S., 2008. Intérêt de la luzerne déshydratée et de la paille pour limiter les risques d'acidose sub-clinique chez la vache laitière nourrie avec des rations à forte densité énergétique. Available at: <http://prodinra.inra.fr/?locale=fr#!ConsultNotice:31174> [Consulté le août 19, 2015].
- Pietsch, G., Friedel, J.K. & Freyer, B., 2007. Lucerne management in an organic farming system under dry site conditions. *Field Crops Research*, 102(2), p.104-118.
- Pooran M Gaur et al., 2015. High temperature tolerance in grain legumes. *Legumes Perspectives*, (7), p.23-25.
- Robinson, R.A. & Sutherland, W.J., 2002. Post-war changes in arable farming and biodiversity in Great Britain. *Journal of applied Ecology*, 39(1), p.157-176.
- Rochette, P. & Janzen, H.H., 2005. Towards a Revised Coefficient for Estimating N<sub>2</sub>O Emissions from Legumes. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 73(2-3), p.171-179.

- Le Roux, X. et al., 2009. *Agriculture et biodiversité: Valoriser les synergies*, Éditions Quae.
- Smýkal, P. et al., 2015. Legume Crops Phylogeny and Genetic Diversity for Science and Breeding. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 34(1-3), p.43-104.
- Tasei, J.N., PICARD, M. & Carre, S., 1978. Les insectes pollinisateurs de la luzerne (*Medicago sativa* L.) en France. *Apidologie*, 9(3), p.175–194.
- Thiebeau, P. et al., 2010. Contribution des légumineuses à la biodiversité des paysages ruraux. *Innovations Agronomiques*, 11, p.187–204.
- Thiebeau, Parnaudeau & Guy, 2003. Quel avenir pour la luzerne en France et en Europe. *Les courriers de l'environnement*. Available at: <http://www7.inra.fr/dpenv/thiebc49.htm#pres> [Consulté le août 13, 2015].
- Thoyer, S., 2014. Petite histoire de la PAC. Available at: <http://www.supagro.fr/capeye/wp-content/uploads/Cours/Cours-Politiques-agricoles-PAC.pdf>.
- Tribouillois, H. et al., 2015. A Functional Characterisation of a Wide Range of Cover Crop Species: Growth and Nitrogen Acquisition Rates, Leaf Traits and Ecological Strategies F. M. DaMatta, éd. *PLOS ONE*, 10(3), p.e0122156.
- Velthof, G.L. et al., 2014. The impact of the Nitrates Directive on nitrogen emissions from agriculture in the EU-27 during 2000–2008. *Science of The Total Environment*, 468-469, p.1225-1233.
- Vertès, F. et al., 2010. Connaître et maximiser les bénéfices environnementaux liés à l'azote chez les légumineuses, à l'échelle de la culture, de la rotation et de l'exploitation. *Innovations Agronomiques*, 11, p.25-44.
- Voisin, A.-S. et al., 2013. Les légumineuses dans l'Europe du XXI<sup>e</sup> siècle: Quelle place dans les systèmes agricoles et alimentaires actuels et futurs? Quels nouveaux défis pour la recherche? *Innovations Agronomiques*, 30, p.283–312.
- Voisin, A.-S., Cellier, P. & Jeuffroy, M.-H., 2015. Fonctionnement de la symbiose fixatrice de N<sub>2</sub> des légumineuses à graines : Impacts Agronomiques et Environnementaux. *Innovations Agronomiques*, (43), p.139-160.
- Wezel, A. et al., 2009. Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(4), p.503-515.
- Zancarini, A. et al., 2013. Combining Molecular Microbial Ecology with Ecophysiology and Plant Genetics for a Better Understanding of Plant-Microbial Communities' Interactions in the Rhizosphere. In F. J. de Bruijn, éd. *Molecular Microbial Ecology of the Rhizosphere*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., p. 69-86. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1002/9781118297674.ch7> [Consulté le août 10, 2015].

## Résumé

L'intérêt des légumineuses au sein des systèmes de cultures innovants et durables est reconnu. Cependant, la sole française consacrée à cette famille botanique est faible. La variabilité des rendements, le manque d'implication des acteurs de la filière agricole expliquent une partie de cette faible représentation.

L'objectif de ce stage était de comprendre la variabilité des performances de légumineuses (luzerne et pois protéagineux de printemps), et en particulier des rendements, au sein de la région Bourgogne et plus spécifiquement du plateau de Langres, grâce à un observatoire de parcelles agricoles.

Dans l'observatoire, les attentions portées à la conduite et au diagnostic agronomique des cultures de luzerne et de pois protéagineux de printemps ont montré une variabilité de rendements, ainsi que les effets influençant ces derniers.

Cela a permis de mettre en évidence que les pois sont plus productifs dans des systèmes conventionnels et possède des risques importants de stress biotiques en agriculture biologique (*Aphanomyces*, sitones...). En revanche, le constat pour les luzernières révèle que les conduites biologiques s'en sortent mieux que les conduites conventionnelles.

## Abstract

The importance of legumes in the sustainability of cropping systems is recognized. However, the French area devoted to this botanical family is low. The yield variability and the biotic and abiotic stresses penalizing the yields partly explain this low area.

The aim of this work was to understand the variability of yields of legumes (alfalfa and spring pea), within a farm field observatory in Burgundy (Langres plateau).

In the Observatory of Burgundy, the attention paid to the management and agronomic diagnosis of alfalfa and spring peas have shown variability in yields, and the effects influencing this variability.

The conclusion was that the peas were more productive in conventional farming, whereas the alfalfa yields were higher in organic farming. Part of the differences is explained by the different way of farming, and the response to abiotic stress (drought, heat stress) and biotic stress (*Aphanomyces*, weeds).