

République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre  
Département : Sciences Agronomiques  
Spécialité : Biotechnologie des Symbioses Végétales

Interaction entre céréale-légumineuse en association pour  
l'acquisition de phosphore du sol

Présenté Par :

Melle : **Ouadah Yasmina**

Melle : **Krebbaza Fethia**

Soutenu le 21/06/2017, devant le jury :

Président	M. BOUSSALHIH Brahim.	MCA	U. Khemis Miliana
Promoteur	M. LAZALI Mohamed	MCA	U. Khemis Miliana
Examinatrice	Mme KHOATMIANI Khadidja	MAA	U. Khemis Miliana

Année universitaire : 2016/2017

## Résumé

Dans le but d'évaluer l'effet du système des cultures associées « céréale-légumineuse » sur l'acquisition du phosphore dans la rhizosphère, les paramètres de croissance et de rendement des deux espèces ont été évalués. Nous avons cultivé une légumineuse fourragère ; la féverole (*Vicia faba* L. minor) et une céréale ; l'orge (*Hordeum vulgare* L.) au niveau de la station expérimentale de l'Université de Djilali Bounaama de Khemis Miliana. Après des analyses physico-chimiques et granulométriques de sol, L'étude des paramètres de croissances (Hauteur et diamètre de tige principale) et des caractères morphologiques et de comportement (la biomasse sèche des parties aériennes et des parties souterraines, la teneur en phosphore dans ces parties) chez les deux espèces cultivé, on outre (le nombre et la biomasse sèche des nodules de la féverole). Après l'analyse de variance nos résultats ont confirmé que la culture associe orge-féverole à un effet bénéfique sur la croissance en biomasse de l'orge, l'efficacité de l'utilisation de la symbiose rhizobienne chez la féverole, le prélèvement de phosphore et le rendement en grains de l'orge.

**Mots clés:** la culture associe, la féverole (*vicia faba* L. minore), l'orge (*Hordeum vulgare*), la symbiose rhizobienne.

## Abstract

In order to evaluate the effect of the "cereal-leguminous crops" system on the acquisition of phosphorus in the rhizosphere, the growth and yield parameters of the two species were evaluated. We have grown a forage legume; Faba bean (*Vicia faba* L. minor) and a cereal; Barley (*Hordeum vulgare* L.) at the experimental station of the University of Djilali Bounaama of Khemis Miliana. Physico-chemical analyzes and particle size analysis of soil, Study of growth parameters (height and diameter of main stem) and morphological and behavioral characteristics (dry biomass of aerial parts and subterranean parts, phosphorus content in These parts) in both cultivated species, besides (the number and dry biomass of faba bean nodules). After the analysis of variance, our results confirmed that the cultivation of barley-faba bean has a beneficial effect on the growth in barley biomass, the effectiveness of the use of rhizobial symbiosis in field beans, phosphorus sampling And the grain yield of barley.

**Key words:** associated crops, faba beans (*Vicia faba* L. minor), barley (*Hordeum vulgare*), rhizobial symbiosis.

## الملخص:

من أجل تقييم تأثير نظام الزراعة المشتركة الذي يجمع بين "الحبوب والبقوليات" على اكتساب الفسفور في التربة، خصائص النمو و المحصول لكلا النوعين. قمنا بزراعة نوع من البقوليات العلفية ( الفويلة) من صنف Sidi aich ونوع من الحبوب (الشعير) من صنف rihane03 في المحطة التجريبية لجامعة الجبلاي بونعامة بخميس مليانة وهذا بعد قيامنا بالتحليل الفيزيائي و الكميائي للتربة،دراسة خصائص النمو (طول وحجم الجذر الرئيسي ) والخصائص المرفولوجية والبنوية (الكتلة الحيوية للجزء العلوي للنبات،والكتلة الحيوية للجذور،ونسبة الفسفور في هذه الأجزاء) لكلا النوعين.ومن جهة أخرى قمنا بحساب عدد العقيدات والكتلة الحيوية العقدية للفويلة.بعد تحليل التباين أظهرنا أن نظام الزراعة المشتركة الذي يجمع بين الحبوب والبقوليات له تأثير مفيد على النمو في الكتلة الحيوية للشعير،إستخدام التعايش مع الريزوبيا للفويلة،إكتساب الفسفور ومحصول الشعير.

**الكلمات المفتاحية :** الزراعة المشتركة (culture associée)، الفويلة ( vicia faba L. minore)،الشعير (Hordeum vulgare)، التعايش بالريزوبيا .

# DÉDICACE

# DÉDICACE

Avec l'aide d'Allah le tout puissant, j'ai pu achever ce travail que je dédie :

A mes très chères parents, est surtout ma mère pour toutes ses sacrifices, ses encouragements.

A mes chers frères Abd el rahmen, kada, Imade.

A mes sœurs Feyrouz et Karima.

A toute ma famille sans exception.

A ma binôme yasmine et sa famille.

A TOUTE mes collègues de promotion MASTER 2 BSV UKM

Et surtout Mehdi, Meriem, Amina et Fatima.

**Fethia**

# DÉDICACE

# DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents.

Merci pour votre soutien et votre amour.

Que dieu tout puissant vous protège et vous accorde longue vie et nous garde  
toujours réunis pour le bonheur et la prospérité.

A mon très cher frère Azzedine.

A mes très chères sœurs Imanne et Anissa.

A Ma binôme Fethia et sa famille.

A toutes les personnes qui me sont chères.

**Yasmina**

# Remerciements

Bien qu'un mémoire soit un travail individuel, il y a une bonne quantité de personnes qui ont rendu possible la réalisation de ce travail et que je tiens à remercier ici.

Au terme de ce travail, Nous tenons à remercier notre promoteur M. Lazali Mohamed Maître de conférences HDR à l'Université de Khemis Miliana pour tous ses encouragements, son aide, ses conseils précieux et de son entière disponibilité, qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

Nos vifs remerciements à M. Bousalhih Brahim (MCA à l'Université de Khemis Miliana) qui a accepté d'examiner ma thèse et d'être président de ce jury.

Nous tenons à remercier aussi Mme Khouatmiani Khadidja (MAA à l'Université de Khemis Miliana) et M. Marok Mohamed Amine (MCB à l'Université de Khemis Miliana) qui me font l'honneur d'examiner ce travail et de participer au jury.

Un grand remerciement e à Mme Amel, ingénieur de laboratoire de chimie de l'UKM pour l'assistance fournie par nous.

Nos remerciements les plus sincères s'adressent à nos camarades de promotion de la spécialité « BSV 2017 » pour leur soutien, leur aide et tous les sympathiques moments qu'on a passé ensemble.

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Merci à tous !

## Liste des figures

- Figure 1 :** Vue ventrale et dorsale du grain d'orge.....
- Figure 2 :** Orge à six rangs à gauche et orge à deux rangs à droite .....
- Figure 4 :** Echanges de signaux contrôlant les interactions symbiotiques précoces .....
- Figure 5:** Différentes étapes de l'établissement de la symbiose rhizobia-légumineuse.....
- Figure 6 :** Association céréale –légumineuse .....
- Figure 7 :** Transfert d'azote de la légumineuse à la céréale .....
- Figure 8 :** Localisation de la station expérimentale .....
- Figure 9 :** Le matériel végétale concerné par l'étude .....
- Figure 10 :** Schéma du dispositif expérimental .....
- Figure 11 :** Labour de la parcelle (A) et délimitation des microparcelles (B).....
- Figure 12 :** Variation de la hauteur de tiges de l'orge en fonction des modalités de cultures.....
- Figure 13 :** Variation du diamètre de la tige de l'orge en fonction des modalités de culture.....
- Figure 14 :** La variation de la biomasse aérienne de l'orge en fonction des modalités de culture.....
- Figure 15 :** La variation de la biomasse racinaire de l'orge en fonction des modalités de culture.....
- Figure 16 :** Variation de la hauteur de tige de la féverole en fonction des modalités de cultures.....
- Figure 17 :** Variation du diamètre de tige de la féverole en fonction des modalités de cultures.....
- Figure 18 :** La variation de la biomasse aérienne de la féverole en fonction des modalités de cultures.....
- Figure 19 :** La variation de la biomasse racinaire de l'orge en fonction des modalités de cultures.....
- Figure 20 :** Variation de la biomasse nodulaire de la féverole en fonction des modalités de cultures.....
- Figure 21:** Variation du nombre de nodules chez la féverole en fonction de modalités de cultures.....
- Figure 22 :** Corrélation de la biomasse nodulaire avec la biomasse aérienne en fonction des modalités de culture.....

**Figure 23 :** La variation de la teneur en phosphore dans la partie aérienne de l'orge en fonction des modalités de cultures.....

**Figure 24 :** La variation de la teneur en phosphore dans la partie racinaire de l'orge en fonction des modalités de cultures.....

**Figure 25:** La variation de la teneur en phosphore dans la partie aérienne de la féverole en fonction des modalités de cultures.....

**Figure 26 :** La variation de la teneur en phosphore dans la partie racinaire de la féverole en fonction des modalités de cultures.....

**Figure 27 :** Variation de nombre de gousses/plant chez la féverole en fonction des modalités de cultures.....

**Figure 28:**Variation du nombre de grains/gousse chez la féverole en fonction des modalités de cultures.....

**Figure 29 :** Variation du poids de cent grains chez la féverole en fonction des modalités de cultures.....

**Figure 30:** Variation de rendement en grains chez la féverole en fonction des modalités de cultures.....

**Figure 31 :** Variation du nombre d'épis/plant chez l'orge en fonction des modalités de cultures.....

**Figure 32 :** Variation du nombre de graines/épi chez l'orge en fonction des modalités de cultures.....

**Figure 33:**Variation du rendement en grains chez l'orge en fonction des modalités de cultures.....

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1 :</b> Données économiques sur la culture de l'orge dans le monde.....	06
<b>Tableau 2 :</b> Les principales variétés d'orge cultivées en Algérie.....	06
<b>Tableau 3 :</b> Valeur alimentaire moyenne (%MS) de la graine de la féverole comparée à celle du Blé et des tourteaux de soja.....	10
<b>Tableau 4 :</b> production de fèves et féveroles en Algérie de 2010 à 2014.....	11
<b>Tableau 5 :</b> Températures de l'année (2017).....	26
<b>Tableau 6 :</b> Précipitations de l'année 2017.....	26
<b>Tableau 7 :</b> Caractéristiques générales de la variété Rihane03.....	27
<b>Tableau 8 :</b> Caractéristiques physico-chimiques du sol.....	34
<b>Tableau 9 :</b> Résultats d'analyse de l'eau d'irrigation.....	35

## Liste des abréviations

**BMa** : Biomasse aérienne

**BMr** : Biomasse racinaire

**BMn** : Biomasse nodulaire

**NN** : Nombre de nodules

**PCG** : Poids de cent grains

**EURS** : Efficacité de l'utilisation de la symbiose rhizobienne

**a** : Culture associée

**b** : Culture pure

# Sommaire

<b>Introduction général</b> .....	
<b>Chapitre 1 : Synthèse bibliographique</b>	
1. Généralités sur l'orge et la féverole.....	
<b>1.1. Orge (<i>Hordeum vulgare</i> L.)</b> .....	
1.1.1. Origine et distribution des orges cultivées .....	
1.1.2. Classification botanique .....	
1.1.3. Description .....	
1.1.4. Les principaux groupes culturaux .....	
1.1.5. Croissance et développement .....	
1.1.6. Situation de l'orge dans le monde .....	
1.1.7. Situation de l'orge dans l'Algérie .....	
1.1.8. Exigences de la culture .....	
<b>2. Féverole (<i>Vicia faba</i> L. var. <i>minor</i>)</b> .....	
2.1 Généralité sur les légumineuses .....	
2.2 Présentation .....	
2.3 Classification et Description botanique .....	
2.4 Les principaux groupes culturaux .....	
2.5 La valeur nutritive de la féverole .....	
2.6 Exigences de la plante .....	
2.7 La production de la féverole dans le monde et en Algérie .....	
2.8. La symbiose rhizobia- légumineuse .....	
<b>3. Association céréale-légumineuse</b> .....	
3.1. Types de l'association des cultures.....	
3.2. Avantages des cultures associés .....	
3.3. Interactions entre espèces et partage des ressources.....	
3.4. Processus d'acquisition des nutriments en association céréale-légumineuse :.....	
<b>4. Le phosphore</b> .....	
4.1. Phosphore élément important .....	

4.2. Biodisponibilité de phosphore dans le sol .....	
4.3. Mécanismes d'acquisition de « p » .....	
4.3.1. Mécanismes biologiques .....	
4.3.2. Mécanismes physico-chimique .....	

## **Chapitre 2 : Matériels et Méthodes.....**

1. Présentation de la région d'étude .....	
2. Données climatiques de la région.....	
3. Matériel végétal .....	
4. Dispositif expérimental .....	
5. Mise en place et suivi de l'essai	
6. Echantillonnage et analyses du sol et de l'eau	
7. Echantillonnage des plantes .....	
8. Paramètres mesurés .....	
9. Analyse statistique des données.....	

## **Chapitre 3 : Résultat et discussions .....**

1. Caractéristiques physico-chimiques du sol .....	
2. Analyse de l'eau d'irrigation .....	
3. Effet de l'association sur les paramètres de croissance de l'orge.....	
4. Effet de l'association sur les paramètres de croissance et de l'efficacité d'utilisation de la symbiose rhizobienne chez la féverole.....	
5. Effet de l'association sur la teneur en phosphore.....	
6. Effet de l'association sur le rendement de la féverole et ses composantes.....	
7. Effet de l'association sur le rendement de l'orge et ses composantes.....	

## **Discussion générale .....**

## **Conclusion générale .....**

## **Références bibliographiques**

## **Annexe**

# **Introduction générale**

## Introduction générale

Le Phosphore (P) est un nutriment important qui améliore la production végétale (Raghothama, 1999; Vance, 2001). Cependant, le P est présent en tant que ressource finie dans la lithosphère (0,1%) et varie selon le type de sol et le système agricole. L'apport de P par des engrais minéraux a été pratiqué pour améliorer le rendement des agro écosystèmes (Dawson et Hilton, 2011), mais la disponibilité des engrais phosphatés est de plus en plus limitée par l'épuisement des réserves minérales de P simultanément avec une augmentation des besoins alimentaires dans un proche avenir (Dyson, 1999). Une situation qui nécessite une augmentation de la disponibilité de P du sol.

Une des solutions proposée est l'introduction d'une diversité spécifique au sein des agro écosystèmes par le développement des cultures associées (Malézieux et al, 2009). En effet, les cultures intercalaires sont définies comme la croissance de plus d'une espèce végétale ou culturelle simultanément dans le même domaine pendant la même saison de croissance (Ofori et Stern, 1987; Hauggaard-Nielsen et al., 2007).

Plusieurs études rapportent que l'association légumineuses-céréales par rapport à la monoculture, aboutit à l'efficacité d'utilisation des ressources environnementales pour la croissance des plantes. Les rendements sont ainsi stables en raison de la complémentarité interspécifique, de la facilitation et de la concurrence entre les espèces associées (Corre-Hellou et Crozat, 2005). En fait, l'association de légumineuses avec des céréales peut être une autre manière de fournir, plus aisément le P aux racines des deux espèces (Dahmardeh et al., 2010 ; Betencourt et al., 2012).

Des récentes recherches ont confirmé l'augmentation des teneurs en P dans la rhizosphère des céréales et des légumineuses associées notamment dans les sols déficients en P (Tang et al, 1997, Hinsinger et al, 2003 ; Devan et al, 2010 ; Betencourt et al, 2012). Ces derniers auteurs ont confirmé l'avantage de l'association céréales-légumineuses à travers des mécanismes de facilitation assurés par les légumineuses, et qui sont responsables de la forte biodisponibilité du P inorganique. En effet, l'acidification de la rhizosphère durant la fixation du N<sub>2</sub> par les légumineuses est l'un des principaux mécanismes qui contrôlent la biodisponibilité du P dans le sol.

Cette étude a été réalisée au champ afin d'évaluer l'effet de l'interaction féverole-orge en association sur la disponibilité et l'acquisition du P de sol.

# **Synthèse bibliographie**

## 1. Généralités sur l'orge et la féverole

### 1.1. L'orge (*Hordeum vulgare* L.)

#### 1.1.1. Origine et distribution des orges cultivées

*Hordeum spontaneum*, orge à 2 rangs sauvage répandue depuis la Grèce et Lybie jusqu'au Nord-est de l'Inde est presque unanimement reconnue comme la forme ancestrale de l'orge cultivée, avec laquelle elle est parfaitement inter fertile. En conditions naturelles, le rachis de *H. spontaneum* facilite la dispersion des semences.

Les types d'orges à 6 rangs à rachis fragile rencontrés en Asie centrale, et antérieurement dénommés *H. agriocrithon* Aberg sont maintenant considérés comme des descendants subspontanés d'hybrides entre types cultivés à 6 rangs et *H. spontaneum*. Le caractère rachis fragile ne s'exprime souvent qu'après la récolte et a pu subsister dans des variétés de pays (Gallais et Bannerot, 1992).

#### 1.1.2. Classification botanique

D'après Feillet (2000), l'orge cultivée appartient à la classification suivante :

**Règne :** Plantae

**Division :** Magnoliophyta

**Classe :** liliopsid

**S/Classe :** Commelinidae

**Ordre :** Poale

**Famille :** Poaceae

**S/Famille :** Hordeoideae

**Tribu :** Hordeae (Hordées)

**S/Tribu :** Hordeinae

**Genre :** Hordeum

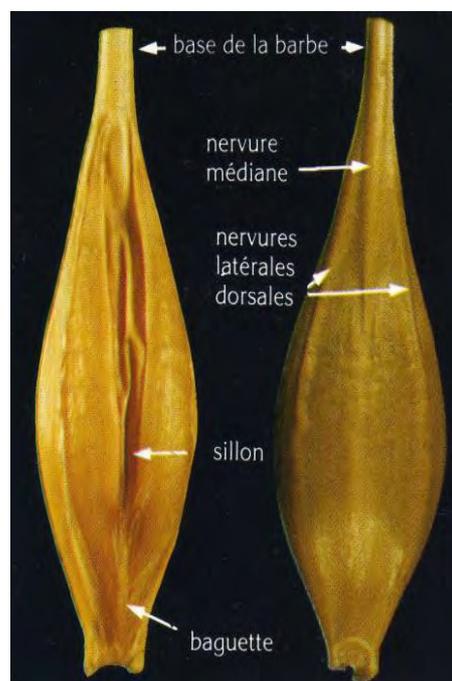
**Espèce :** *Hordeum vulgare* L.

#### 1.1.3. Description

L'orge est comme le blé et l'épeautre une graminée (herbe) annuelle. La hauteur de la plante est variable suivant les conditions de culture et naturellement les variétés (40 cm à 1 m environ). C'est une céréale dont les épillets sont déposés sur plusieurs rangées. On parle alors d'orge à 2 rangs, 6 rangs. Le grain d'orge à une forme elliptique (Paquereau et al., 2013).

Le système racinaire est fascicule bien que moins puissant que les autres céréales (Soltner., 2005). Une caractéristique essentielle de l'espèce est son extraordinaire adaptation à des conditions extrêmes (IHadria., 2006)

Le grain est un caryopse de section arrondie ou ovale, de poids moyen variable selon les espèces et les variétés. Pour l'orge, le grain est vêtu dans la mesure où il reste inséré dans les glumelles au cours de la dissémination où la glumelle inférieure correspond à la face dorsale du grain. Elle présente une nervure médiane et deux nervures latérales dorsales. Elle est prolongée par une barbe. Alors, que la glumelle supérieure correspond à la face ventrale du grain. Celui-ci présente une dépression ou sillon à la base duquel est insérée une baguette (GNIS, 1990).



**Figure 1 :** Vue ventrale et dorsale du grain d'orge (GNIS, 1990).

Le genre *Hordeum* est caractérisé par des épillets uniflores ou stériles insérés par trois sur chaque dent de l'axe de l'épi. Les épis sont recourbés vers le bas à maturité (ce qui est aussi le cas chez certains blés). Les caryopses ou grains restent revêtus des glumelles après égrainage le rachis restant entier contrairement à celui des blés vêtus. Des variétés à grains nus existent cependant, mais on peut distinguer deux convariétés : convar. Distichon, l'orge à deux rangs dont seuls les épillets centraux de chaque dent sont fertiles et convar. Vulgare (ou hexastichon), l'orge à six rangs dont tous les épillets sont fertiles (Jean-Yves, 2010).

### ✓ Orge a deux rangs

L'orge à deux rangs, ou orge distique (*Hordeum distichum*) regroupe les variétés chez les quelles les épillets latéraux sont stériles. Seul l'épillet central produit un caryopse. On observe donc ces cas seulement deux rangs de grains par épi en vue axiale (Bouby, 2001).

### ✓ Orge a six rangs

Chez l'orge à six rangs (*Hordeum hexastichum*), ou escourgeon, tous les épillets sont fertiles et l'épi présente alors six rangs de grains (Bouby, 2001).



**Photo 2 :** Orge à six rangs à gauche et orge à deux rangs à droite (GNIS, 1990).

#### 1.1.4. Les principaux groupes culturaux

Quant à Soltner (2005) il classe les orges selon leur milieu de culture en trois groupes qui sont :

##### ✓ *Orges d'hiver*

Les orges d'hiver dont le cycle de développement varie de 240 à 265 jours, s'implantent en automne. Ces orges ont besoin pour assurer leur montaison, de température vernalisante qui manifeste un degré plus au moins élevé de résistance au froid hivernal.

##### ✓ *Orges de printemps*

Les orges de printemps dont le cycle de développement est très court (environ 120 à 150 jours), s'implantent au printemps. Ces orges n'ont aucun besoin de vernalisation pour assurer leur montaison.

### ✓ *Orges alternatives*

Les orges alternatives qui sont intermédiaires au plan tolérance au froid, entre les orges d'hiver et celles de printemps.

#### **1.1.5. Croissance et développement**

La plantule lève en 5-6 jours après la germination. Des talles sont produites sur la pousse principale jusqu'à l'initiation florale. Le nombre de talles par plante est influencé par la densité de plantation le cultivar et les facteurs du milieu : une seule plante forme généralement 1-6 tiges, mais de faibles densités peuvent multiplier plusieurs fois ce nombre. Le moment de l'initiation florale varie selon le cultivar, mais en général l'orge fleurit plus tôt que le blé. Espèce de jours longs à réaction quantitative, l'orge fleurit plus tôt lorsque la photopériode est plus longue ; mais la sensibilité photopériodique diffère d'un cultivar à l'autre, allant de très sensible à pratiquement insensible. Les fleurs s'autofécondent largement, mais la pollinisation croisée peut atteindre les 10%. Le grain mûrit en 20-40 jours. L'orge peut mûrir dans une courte saison de 3-4 mois, ce qui est moins long que la durée requise pour les autres céréales importantes (Brink et Belay, 2006).

#### **1.1.6. Situation de l'orge dans le monde**

L'orge est une céréale dont la culture est une des plus anciennes au monde (Baraka-Nuq, 1999). L'orge est considérée comme étant la quatrième céréale au niveau mondiale après le blé, le maïs et le riz (Léon, 2010), se situant au quatrième rang des céréales pour la production de grain (K haldoun, 1989).

L'orge est un grain céréalier hautement adaptable et se classe au cinquième rang parmi toutes les cultures pour la production de matière sèche dans le monde. En outre, il est une source importante de nourriture dans de nombreuses parties du monde (Gupta et al., 2010). L'orge est la céréale dont l'aire de culture est la plus étendue dans le monde.

Cette espèce, très rustique, est ainsi cultivée dans plus de 90 pays allant du Canada et de la Suède jusqu'aux tropiques. Quelques génotypes, spécifiques d'oasis ou de zones marginales, ont sans doute disparu. Cependant des prospections ont permis de collecter l'essentiel de la diversité naturelle de l'orge et de l'espèce sauvage *H.vulgare ssp.spontaneum*, diversité qui est maintenant conservée dans des collections (Doré et al., 2006).

**Tableau 1** : Données économiques sur la culture de l'orge dans le monde (MADR, 2014).

ANNEE	ORGE			
	Sup. rmb (ha)	Sup. rée (ha)	Prod. (qx)	Rdt (qx/ha)
1995	1395140	824 170	5 849 800	7,10
1996	1332870	1 282 500	18 002 220	14,04
1997	1204900	264 840	1 908 920	7,21
1998	1043010	939 210	7 000 000	7,45
1999	964700	468 960	5 100 000	10,88
2000	1067610	215 630	1 632 870	7,57
2001	872080	515 690	5 746 540	11,14
2002	894900	401 400	4 161 120	10,37
2003	833 510	782 380	12 219 760	15,62
2004	1 029 000	915 440	12 116 000	13,24
2005	1 023 414	684 648	10 328 190	15,09
2006	1 117 715	812 280	12 358 800	15,21
2007	1 057 700	971 246	11 866 580	12,22
2008	1 195 269	435 963	3 959 215	9,08
2009	1 275 616	1 250 762	25 666 000	20,52
2010	1 296 626	1 018 792	15 039 000	14,76
2011	1 214 225	852 379	12 580 800	14,76
2012	1 222 048	1 030 477	15 917 150	15,45
2013	1 304 720	897 719	14 986 386	16,69

### 1.1.7. Situation de l'orge en Algérie

Selon Hakimi, (1993), au début du XIXe siècle, l'orge venait en tête des cultures par son importance ; elle était destinée à l'autoconsommation humaine et servait de complément fourrager aux troupeaux entretenus pendant la plus grande partie de l'année dans les régions steppiques. Hanifi (1999), souligne que l'orge est la troisième céréale en Algérie du point de vue superficie et production.

#### ✓ Variétés

Quelques variétés d'orge, sélectionnées par l'ITGC, sont cultivées en Algérie. Le choix de la variété à utiliser dépend de ses caractéristiques agronomiques et de la zone de culture.

**Tableau 2** : Les principales variétés d'orge cultivées en Algérie (ITGC, 2013).

Variétés	Caractéristiques
Jaidor (Dahbia)	Variété à paille court, précoce, fort tallage, bonne productivité, tolérante aux maladies et à la verse, sensible au gel et à l'égrenage
Rihane 03	Variété à paille courte, précoce, fort tallage, bonne productivité, à double exploitation.

ACSAD 68 (Remada)	Précoce, à fort tallage et bonne productivité. Elle est tolérante aux rouilles et à la verse, adaptée aux zones des plaines intérieures
Barberousse (Hamra)	Variété à paille moyenne, précoce, tallage moyen, bonne productivité, tolérante à la verse, à la sécheresse et au froid.
ACSAD 60 (Bahria)	Variété à paille courte et creuse, précoce, fort tallage, bonne productivité, résistante à la verse.
ACSAD 176 (Nailia)	Variété précoce, résistante à la verse et tolérante à la sécheresse. Elle est sensible aux maladies (rouille brune, oïdium, helminthosporiose, rhynchosporiose).
Saida 183	Variété locale, semi-tardive, à paille moyenne et creuse, tallage moyen, bonne productivité, sensible aux maladies.
Tichedrett	Variété locale, à paille moyenne, précoce, tallage moyen, bonne productivité et rustique.
El Fouara	Variété à paille courte ou moyenne, fort tallage, bonne productivité, tolérante au froid, à la sécheresse et à la verse. Elle est adaptée aux Hauts-Plateaux.

### 1.1.8. Exigences de la culture

#### Exigences climatiques

##### ✓ *Température*

Le zéro de végétation de l'orge est voisin de 0°C et présente une germination plus rapide par rapport au blé ; les basses températures causent des dégâts foliaires à -8°C et la mort du plant à -16°C pour les variétés les plus résistantes au froid. La somme de température exigée est de l'ordre de 1600 à 1700°C pour l'orge de printemps dont le cycle de développement est de 110-120 jours ; pour l'orge d'hiver dont la durée du cycle est de 250 jours, celle-ci est de 1900 à 2000°C (Mossab, 1991).

##### ✓ *Eau*

On peut estimer les besoins en eau d'une culture d'orge produisant 40 qx de grains à environ 450-500 mm (Soltner, 1988). Ces besoins en eau sont surtout élevés au début de son développement ; l'orge enfin de végétation est peu sensible à la sécheresse.

#### Exigences édaphiques

L'orge n'est pas exigeant en sol comme le blé et tire profit même de terres minces et caillouteuses ; les sols calcaires légers lui conviennent bien mais les bons résultats sont obtenus dans les bonnes terres riches en humus et en éléments nutritifs (Soltner.,1988).

## 2. Féverole (*Vicia faba* L. var. *minor*)

### 2.1. Généralité sur les légumineuses

La famille des légumineuses est très diverse avec 3 sous familles: Mimosoideae, Caesalpinioideae, et Papilionoideae et compte environ 20.000 espèces. Selon Doyle et Luckow (2003), la sous famille des Papilionoideae regroupe les espèces cultivées les plus importantes économiquement: le soja (*Glycine max*), le haricot (*Phaseolus vulgaris*), le pois (*Pisum sativum*), la luzerne (*Medicago sativa*), l'arachide (*Arachis hypogaea*), le pois chiche (*Cicer arietinum*), et la fève (*Vicia faba*).

Les légumineuses à graines constituent une part importante de l'alimentation du monde, particulièrement dans les pays en voie de développement où elles sont la principale source de protéines pour l'homme. Citons le haricot en Amérique Latine, le pois chiche, la lentille et la fève dans le bassin Méditerranéen, le soja en Asie sans oublier l'arachide et le pois dans le monde entier (Duranti, 2006).

### 2.2. Présentation

La féverole est une légumineuse annuelle très anciennement cultivée dans le bassin Méditerranée (espèce *Vicia faba*, famille des papilionacées). En raison de la richesse de sa graine en protéines, la culture de la féverole s'est progressivement étendue en Europe de l'ouest. La féverole est une légumineuse qui présente une assez grande variabilité morphologique.

D'après la grosseur de la graine, on distingue trois sous espèces :

- La féverole à petits grains (*V. faba minor*).
- La féverole à grains moyens (*V. fabaequina*).
- La féverole à gros grains, ou fève (*V. faba major*) (Marcel Mazoyer, 2002).

### 2.3. Classification et description botanique

#### ✓ Classification

La classification botanique selon APGII (Angiosperm Phylogeny Group, 2003), la féverole présente les caractéristiques suivantes :

**Règne :** Plantae

**Sous – règne :** Tracheobionta

**Division :** Magnoliophyta

**Classe :** Magnoliopsida

**Sous – classe :** Rosidae

**Ordre :** Fabales

**Famille :** Fabaceae

**Genre :** Vicia

**Espèce :** *Vicia faba* L.

### ✓ Description botanique

La féverole (*Vicia faba*.L. var. *minor*) est une légumineuse annuelle de taille moyenne à grande (60 à 140 cm de hauteur). La racine de la féverole est pivotante et vigoureuse. La profondeur de l'enracinement peut atteindre 70 cm. La tige est robuste et quadrangulaire plus ou moins ailée, creuse et souvent ramifiée. La feuille est composée de 3 grandes paires de folioles, mucronées glabres. L'inflorescence est une grappe de 4 à 5 fleurs de couleur blanche.

La féverole est allogame (40 à 60%) et entomophile. Le taux de nouaison chez la féverole est très faible, soit 20% autrement dit, une fleur sur 5 donne une gousse. Le fruit de la féverole est une gousse ; elle est dressée et noire à maturité renfermant 2 à 5 petites graines. Le poids de 1000 grains varie de 500 à 700 grammes selon les variétés. La floraison de la féverole est étalée dans le temps (30 à 60 jours). Le nombre d'étages florifères varie de 7 à 10 selon la variété et l'alimentation hydrique. Les étages médians ont tendance à avoir un nombre de grains par gousse et un poids les plus élevés. La croissance du grain de la féverole est terminée lorsque la teneur en matière sèche du grain atteint 50%. Le nombre de ramifications par plante dépend de la date et de la densité de semis, alors que le nombre de gousses/m<sup>2</sup> est la composante la plus corrélée au rendement, elle explique 80% de la variabilité du rendement chez la féverole (ITGC, 2003).



**Photo 3 :** Les grains et les fleurs de la féverole.

## 2.4. Les principaux groupes culturaux

Sur le marché international de semences, il existe deux types de variétés :

### ✓ Type hiver

Tardif, de taille haute, tolérant au froid. Il est semé, en Europe, en automne

### ✓ Type printemps

Précoce, de taille courte, sensible au froid. Ce type est semé en Europe en fin d'hiver ou en début de printemps.

En Algérie, le type printemps est recommandé mais en semis d'automne (novembre). Parmi les variétés recommandées, nous citons la population locale sidi- Aïch et les variétés originaires du bassin méditerranéen (Espagne, Italie, Grèce, sud de la France, etc.....). (ITGC, 2003).

## 2.5. Valeur nutritive de la féverole

Comme toutes les légumineuses, la graine de la féverole est riche en protéines, soit 20 à 40% de la matière sèche totale. Elle est toutefois pauvre en matière grasses .

**Tableau 3 :** valeur alimentaire moyenne (% MS) de la graine de la féverole comparée à celle du blé et des tourteaux de soja (d'après ITCF, 1987).

Matière azotée totale	Féverole	Blé tendre	Tourteaux de soja
Mat (matière azotée totale)	300	130	520
Cellulose	410	685	64
Lysine	19.2	3.7	33
Méthionine	2.1	2.1	7.3
Phosphore	5.7	3.8	7.8
Calcium	1.3	0.7	3.1
Energie métabolisable (volaille)	2900 kcal	3500 kcal	

La féverole est donc pauvre en acides aminés soufrés (Ex. Méthionine). Pour l'azote, la teneur de la féverole (plante entière) est maximale au stade début formation du grain.

La vache laitière peut consommer de 1.2 à 4.3 kg de graines de féverole par jour sous forme broyées ou aplaties. En alimentation humaine, la farine de féverole ajoutée à raison de 2% à la farine du blé donne un pain plus blanc (ITGC, 2003).

## 2.6. Exigences de la culture

### ✓ Climat

Le facteur limitant la culture de la féverole en Algérie est bien l'eau. Ses besoins du semis à la récolte sont de l'ordre de 600 mm. La féverole est très sensible à la sécheresse et tout déficit hydrique réduit la hauteur des tiges, arrête la production des feuilles et réduit la production des gousses. Les jeunes plantules de la féverole sont sensibles à l'excès d'eau (inondation). La germination nécessite plutôt un sol aéré.

Les besoins en eau de la féverole sont surtout importants après la floraison. Le cycle reproductif est donc plus sensible au manque d'eau. Ce stade (floraison) marque, en effet, la fin de l'élongation des racines. Pour ce qui est de la température, la féverole craint le froid et ne peut être cultivée sans risques là où la température minimale peut descendre jusqu'à -4°C (hautes- plaines).

### ✓ Sol

La féverole préfère les terres argilo- calcaires, riches en humus. Elle craint les sols trop humides, les sols très secs (sablonneux) et supporte mal les excès d'eau. Le pH du sol doit être neutre à basique afin d'assurer un développement normal aux bactéries fixatrices d'azote (ITGC, 2006).

## 2.7. Production de la féverole dans le monde et en Algérie

La fève et la féverole et l'une des quatre principales légumineuses alimentaires cultivée dans le monde. La production mondiale de grains est de l'ordre de 50 millions de quintaux, dont le principal pays producteur est la chine avec 14 millions de quintaux. Les autres pays producteurs sont l'Ethiopie (7.15 millions de quintaux), l'Australie (4 millions de quintaux) (Unip et Eurostat, 2014).

En Algérie, la féverole est également utilisée dans l'alimentation du bétail, ainsi que comme culture destinée à enrichir le sol en azote et prévenir son érosion. Elle est très appréciée pour ses bonnes caractéristiques agronomiques (Vioque et al., 2012).

La production locale de légumineuses en général et de féverole en particulier est faible. Ainsi, la valorisation de cette graine dans un produit alimentaire largement consommé pourrait promouvoir sa culture à de meilleurs rendements.

**Tableau 4 :** Production de fèves et féveroles en Algérie de 2010 à 2014.

Années	Superficie(ha)	Production(xq)	Rendement(qx / ha)
2010	34210	366252	10.70
2011	37090	379818	10.24

2012	36835	405070	10.99
2013	37668	423862	11.25
2014	37499	413886	11.03

## 2.8. La symbiose rhizobia- légumineuse

Les symbioses rhizobiennes sont des associations bénéfiques réciproques entre une plante et un micro-organisme (Walter, 2005), ou les légumineuses nodulées contribuent l'économie de N du sol ce qui augmente la rentabilité des légumineuses (Dakora et al., 2008).

La symbiose rhizobia-légumineuse est un processus indispensable à la plante pour acquérir l'azote sous une forme réduite, mais aussi au rhizobium pour obtenir les nutriments nécessaires à leur développement (Raven et al., 2000).

Grâce à cette symbiose une importante économie d'engrais azotés peut être réalisée. A titre d'exemple, au Brésil l'inoculation du soja aux champs fournit jusqu'à 300 kg de N/ha, ce qui entraîne des économies d'engrais azotés estimés à 3 milliards de dollars (Santos et al., 2006).

### ✓ Etablissement de la symbiose rhizobienne

L'établissement de la symbiose entre rhizobia et la plante légumineuses est un phénomène complexe. L'interaction symbiotique entre les bactéries rhizobia et les plantes de la famille des légumineuses se traduit par la formation d'organes spécifiques, appelés nodules ou nodosités, où les bactéries sous leur forme différenciées, fixent et réduisent l'azote moléculaire en ammoniac (Perry et al., 2004).

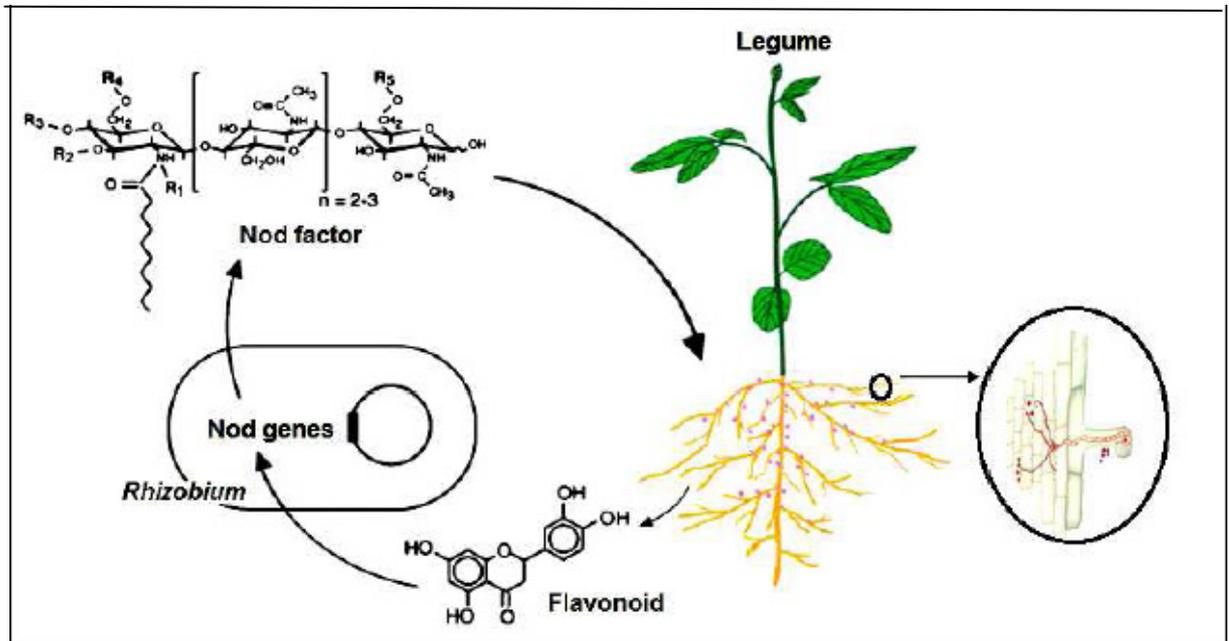
### ✓ Mécanismes et spécificité de la reconnaissance symbiotique

Le processus de fixation symbiotique de l'azote est précédé par la formation de nodules ou nodosités. En terme général, les nodules sont le résultat d'infection des racines par les bactéries. Le processus est appelé nodulation. Le processus d'infestation des racines par les rhizobia est connu sous le nom de l'infection (Patriarca et al., 2004). En présence des rhizobia, la plante émet des signaux par la production de flavonoïdes qui stimulent la sécrétion des facteurs *Nod* par les rhizobia (D'Haeze et Holsters, 2002).

### *Préinfection*

Le processus de nodulation commence par un échange de signaux entre la plante hôte et la bactérie (Patriarca et al., 2004). Les racines rejettent par leur métabolisme normal, des substances qui ont des effets attracteurs sur certains microorganismes du sol. Certaines de ces substances appartiennent au groupe des flavonoïdes tels que les flavones, isoflavones et flavonones (Rasanen, 2002). Ce signal, une

fois perçu par le rhizobium, induit l'expression de gènes *nod* codant pour les enzymes de synthèse de facteurs Nod (lipochitinoooligosaccharides ou LCO) (Dénarié, 2000). L'interaction est spécifique: une souche bactérienne n'attaque pas n'importe quelle plante, et inversement la plante ne se laisse pas envahir par n'importe quelle souche bactérienne (Pelmont, 1995).



**Figure 4 :** Echanges de signaux contrôlant les interactions symbiotiques précoces (Lindstrom et al., 2010).

### **Infection**

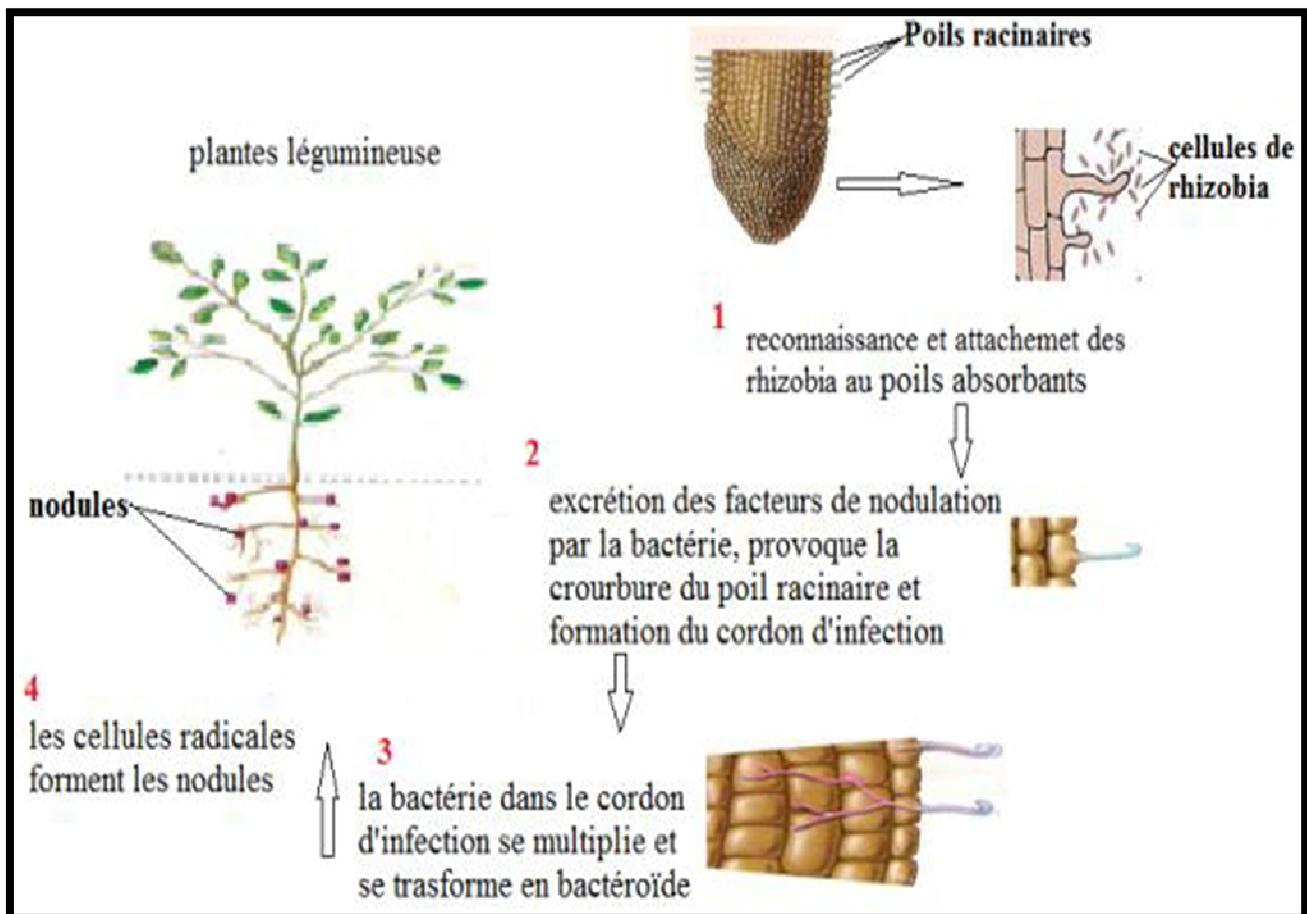
L'infection des racines peut avoir lieu à travers des poils absorbants ou des blessures, ou à travers l'espace intercellulaire (Rasanen, 2002). L'infection consiste en la pénétration des rhizobies en différents points du système racinaire. Il se forme dehors, dans le poil absorbant, une poche d'infection qui s'agrandit en un filament infectieux. Après avoir pénétré dans les poils absorbants, les bactéries sont entourées par un cordon d'infection (Hopkins, 1999). L'infection consiste en la pénétration des *Rhizobium* en différents points du système racinaire (Hopkins, 1999).

### ✓ **Développement du nodule**

Le stade final du processus infectieux est atteint lorsque les bactéries sont déversées dans la cellule hôte (Hopkins et al., 2003). Une fois que les parois se multiplient, les cellules des poils sont digérées, une structure tubulaire appelée le fil d'infection est formée. Elle se compose de cellules de la paroi

nouvellement synthétisées qui formeront le matériel entourant le rhizobia. Le centre du tube est une glycoprotéine contenant quelques produits bactériens et quelques glycoprotéines de la plante hôte (Gage, 2004).

La formation du nodule consiste en un relâchement des rhizobiums à partir des cordons d'infection à l'intérieur des cellules corticales suivi de la division et la différenciation des rhizobiums en cellules fixatrices d'azote reconnues sous le nom de bactéroïdes (Machrafi, 2001). Le nombre de nodules et leur masse sont contrôlés par la plante en fonction des conditions environnementales et de son état physiologique (Duhoux, 2004).



**Figure 5:** Différentes étapes de l'établissement de la symbiose rhizobia-légumineuse.

### 3. Association céréale -légumineuse

La culture mixte céréales-légumineuses est très importante pour le développement des systèmes de production alimentaire, en particulier dans les cultures avec des apports extérieurs limités (Dapaah et al., 2003). Ce type de culture est pratiqué pour ses avantages sur la stabilité du rendement, et son faible risque d'échec de la culture qui est associé à la monoculture (Tsubo et al., 2005). Cette méthode consiste à faire pousser en même temps deux cultures ou plus dans le même champ. En combinant des

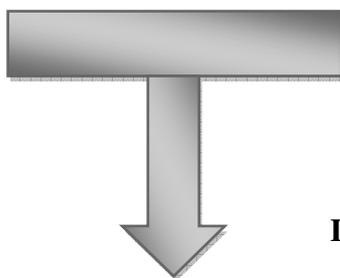
cultures ou des types de croissance différents, en obtient une meilleure utilisation de la lumière, de l'eau et des substances nutritive.



**Céréale (l'orge)**



**Légumineuse (la féverole)**



**Photo 6 : Association céréale - légumineuse**

### **3.1. Types de l'association des cultures**

#### **3.1.1. Cultures associées en sillon**

Il s'agit de cultiver simultanément deux ou plusieurs cultures dans des ranges régulières. Cependant, une ou plusieurs cultures peuvent être plantées simultanément dans la même range ou en alternance avec la première culture.

#### **3.1.2. Cultures associées en vrac**

Pour ce type d'association deux ou plusieurs cultures sont semées simultanément mais sans défini. Ce type est pratiqué en plus pour les associations des légumineuses avec les cultures fourragères.

### 3.1.3. Cultures associées en bandes

Elles à cultiver deux ou plus suivant différentes bandes suffisamment larges pour permettre une culture indépendante, mais suffisamment étroites pour que les cultures puissent se favoriser mutuellement.

### 3.1.4. Culture associée en relais

La deuxième culture est installée après que la première ait atteint le stade floraison mais avant qu'elle atteigne le stade maturité.

## 3.2. Avantages des cultures associés

### 3.2.1. Une bonne utilisation des ressources de l'environnement (eau, éléments minéraux, lumière)

La culture mixte peut améliorer l'utilisation des ressources (nutriments surtout l'azote du sol, la lumière et l'eau) avec 10 à 50 % par rapport aux cultures uniques sur le même terrain, exprimé en ratio équivalent terrestre (LER) (Dapaah et al., 2003 ; Hauggaard-Nielsen et al., 2008).

Il est supposé que l'association d'espèces puisse permettre une amélioration de l'acquisition d'une ressource (eau, lumière, nutriment) par deux mécanismes généraux : la différenciation de l'acquisition de la ressource et l'augmentation de sa disponibilité suite à la modification de l'environnement par les espèces associées (Fridley, 2001). On associe fréquemment des céréales avec des haricots. Les céréales poussent généralement en hauteur tandis que les haricots restent à la surface et rampant sur le sol. Cette combinaison protège mieux le sol qu'une simple culture de céréales. Les céréales ont besoin du maximum de soleil, tandis que les haricots et les autres plantes légumineuses poussent aussi bien à l'ombre. Les deux cultures utilisent ainsi au la lumière du soleil.

### 3.2.2. Augmentation des rendements

Lorsqu'on conçoit les associations pour que les plantes exploitent des niches écologiques différentes, le mélange va utiliser les ressources disponibles plus efficacement que les cultures pures. Les cultures associées ont donc souvent une productivité par unité de surface plus importante que les cultures pures (Malézieux et al., 2009).

Des recherches récentes rapportent que l'association céréales-légumineuses peut augmenter les rendements et améliorer l'absorption du P et du N par la fixation biologique de N<sub>2</sub> en provoquant des modifications chimiques qui peuvent modifier la biodisponibilité de ces éléments dans la rhizosphère (Betencourt et al., 2012; Latati et al., 2013).

### **3.2.3. Propagation des parasites et des maladies**

Les espèces de culture associées peuvent également retarder l'apparition de maladies en réduisant la propagation des maladies transmises par les spores et en modifiant les conditions environnementales de sorte qu'ils sont moins favorables à la propagation de certains agents pathogènes (Lithourgi et al., 2011).

La méthode des cultures associées limite la diffusion des maladies et des parasites. Par exemple, les céréales peuvent servir de barrière contre la propagation d'insectes dans les cultures de haricot indigène ou de cacahuètes (Schöll., 2005).

Les associations de cultures seraient également moins sensibles aux ravageurs et maladies comparées aux cultures pures (Vandermeer, 1989; Hauggaard-Nielsen et Jensen, 2005; Malezieux et al., 2009) même si les effets sont complexes du fait de la grande variabilité des réponses possibles en fonction du type de propagation de la maladie et des interactions avec l'architecture de la plante et les conditions climatiques.

### **3.2.4. Contrôle des mauvaises herbes**

Dans les systèmes d'association, la diminution des mauvaises herbes se fait naturellement, en raison de la forte compétition sur les ressources disponibles avec les espèces cultivées (Olorunmaiye, 2010).

### **3.2.5. Un enrichissement du sol**

L'association des céréales avec les légumineuses maintient et améliore la fertilité du sol. Les légumineuses fixent l'azote atmosphérique, qui peut être excrété des nodules dans le sol et être utilisé par d'autres plantes qui poussent tout près (Dahamardeh et al., 2010).

Grâce à l'azote qu'elles apportent les légumineuses enrichissent le terrain. La quantité de paille produite est souvent importante et lorsqu'on la retourne correctement au sol (directement ou sous forme de fumier) elle constitue un apport intéressant de matière organique (Pousset, 2004).

### **3.2.6. Préservation de la biodiversité**

L'association des espèces compatibles favorise la biodiversité en fournissant un habitat pour plusieurs espèces d'insectes et des micro-organismes du sol qui ne seraient pas présents dans un environnement de monoculture (Lithourgidis et al., 2011).

### 3.3. Interactions entre espèces et partage des ressources

Dans les associations de cultures céréale-légumineuse, les espèces associées établissent des interactions négatives (compétition) ou positives (facilitation et complémentarité de niche) pour exploiter les ressources du milieu (Hinsinger, 2012).

#### 3.3.1. Facilitation

Facilitation est synonyme d'interaction positive par laquelle une espèce végétale augmente la croissance, la reproduction et/ou la survie d'une autre espèce végétale en modifiant ses propriétés biotiques/abiotiques de l'environnement, ce qui entraîne une augmentation de la fraction de la ressource qui est accessibles aux plantes (c'est-à-dire à la disponibilité des ressources) (Callaway, 1995).

Elle correspond, à une augmentation des performances d'un individu suite à l'accroissement de la disponibilité de la ressource induite par un autre individu suite à une modification de l'environnement (Bruno et al., 2003).

Cela peut se produire par (1) des mécanismes directs positives, telles que l'altération favorable de la lumière, de la température, de l'humidité du sol, des nutriments du sol, etc.... (2) Indirects, tels que les changements bénéfiques dans les sols mycorhizés ou les communautés microbiennes (Hauggaard-Nielsen and Jensen, 2005; Li et al., 2006; de Kroon, 2007).

#### ✓ *Mécanismes directs positifs*

Les exsudats des racines jouent un rôle majeur dans la biodisponibilité de P via plusieurs mécanismes : protons/hydroxyles et carboxylates solubilisent le Pinorganique, tandis que les phosphatases radiculaires hydrolysent le Pinorganique (Hinsinger, 2001 ;Vance et al., 2003).

La plupart des études sur les cultures associées céréales-légumineuses supposent que les céréales sont les plus bénéficièrent de leurs association avec les légumineuses (facilitation à sens unique ), parce que les légumineuses sont excréter de plus grandes quantités de protons (Hinsinger et al., 2003), des carboxylates (Vanc et al., 2003 ,Pearse et al., 2006) et les phosphatases (Nuruzzainan et al., 2006) dans leur rhizosphère. Mais les céréales peuvent aussi changer la disponibilité de P dans la rhizosphère, et on pourrait bien s'attendre à la facilitation de l'acquisition de P pour la légumineuse ou même une facilitation à double sens dans les systèmes associées céréales –légumineuses. En culture en association, il est admis qu'il ya une absorption plus élevée du P qu'en culture pure, ce dernier peut être expliqué par une augmentation de l'exsudation d'acides organique par les légumineuses en augmentant la

disponibilité de P dans le sol, avec une facilitation de l'acquisition de ce P par les céréales (Hisinger et al., 2011).

#### ✓ *Mécanismes indirects*

Les communautés microbiennes colonisent le sol ou la rhizosphère jouent un rôle important dans la croissance et le développement des plantes. De ces communautés, les bactéries solubilisatrices de phosphore jouent un rôle fondamental dans le cycle biogéochimique de Pen transformant le phosphore insoluble en forme soluble par l'acidification, la chélation, les réactions d'échanges et la formation de polymères de substances (Khan et al., 2010). Ces microorganismes constituent deux groupes : ceux qui vivent à l'état libre, non loin des racines et souvent même sur la racine sans y être liés et ceux qui vivent en symbiose avec les plantes (Leggett et al., 2001).

Les microorganismes symbiotiques ont été largement étudiés et utilisés pour augmenter la production de plusieurs cultures (Frey-Klett et al., 1999). En effet, plusieurs chercheurs ont prouvé le rôle essentiel du mécanisme de solubilisation du phosphate dans l'amélioration de la croissance des plantes. Par exemple divers microorganismes du sol, y compris les bactéries, et les champignons, améliorent la disponibilité du phosphore aux plantes (Lifshitz et al., 1987 ; Pankhurst et al., 1994).

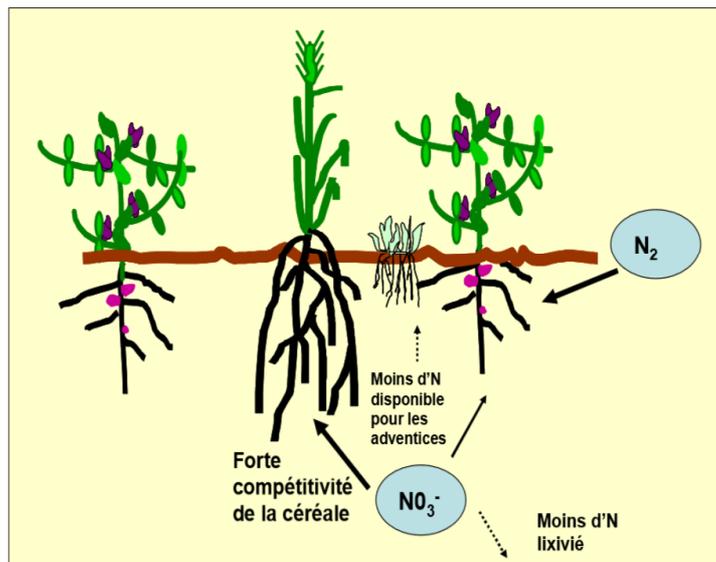
Le mécanisme commun utilisé par des microorganismes pour la solubilisation du phosphate tri-calcique est l'acidification du milieu via la biosynthèse et la libération d'un large éventail d'acides organiques (Goldstein, 2007; Delvasto et al., 2008).

Parmi les genres de bactéries qui ont présenté cette capacité, on trouve : *Pseudomonas* ; *Bacillus* ; *Enterobacter* et *Rhizobium* (Rodriguez et Fraga, 1999 ; Gadagi et Tongmin, 2002).

### 3.4.2. Complémentarité

Peut être définie comme une diminution de la concurrence et l'exclusion concurrentielle par la répartition des ressources entre les espèces associées. Les espèces peuvent utiliser une ressource donnée différemment dans le temps, dans l'espace et la forme (Fridley, 2001). Un exemple bien connu est la complémentarité de l'utilisation de N entre les céréales et les légumineuses fixatrices de N<sub>2</sub>.

Des transferts directs et indirects d'azote de la légumineuse à la graminée peuvent se combiner aux effets de niche pour améliorer la nutrition azotée et la croissance de la graminée (Jensene, 1996). Ces transferts proviennent essentiellement de la rhizodéposition azotée de la légumineuse, composé majoritairement d'exsudats de composés solubles (acides aminés, protéines, hormones excrétées par les racines) et du recyclage via le cycle de l'azote et la minéralisation par les microorganismes du sol, des racines et des nodosités sénescents. (Wichern et al., 2008 ; Fustec et al., 2010).



**Figure 7:** Transfert d'azote de la légumineuse à la céréale (Christophe et Guénaëlle, 2015).

### 3.3.3. Compétition

C'est le processus dans lequel deux plantes ou populations de plantes interagissent de façon à ce qu'au moins l'une exerce un effet négatif sur l'autre (exemple : prélèvement d'azote par une espèce, ce qui réduit la quantité d'azote disponible pour l'autre) (Vandermeer, 1989).

#### ✓ *Compétition pour la lumière*

Le partage de la lumière entre les espèces associées est un élément crucial du fonctionnement des associations de par l'implication de cette ressource dans de multiples processus (photosynthèse, transpiration, morphogénèse) (Sinoquet et al., 2000). La lumière est une ressource qui doit être captée et utilisée instantanément par la plante au risque d'être définitivement perdue. Trois éléments principaux sont déterminants pour le partage de la lumière entre les espèces associées: la hauteur relative de ces espèces, leur surface foliaire et la capacité de cette surface à intercepter les rayonnements (Louarn et al., 2010). La compétition implique que l'interception du rayonnement par l'espèce dominante a un impact direct sur la quantité et la qualité de la lumière interceptée par l'espèce dominée. Dans les couverts multi spécifiques, les espèces associées peuvent être complémentaires pour l'interception de la lumière de par leur architecture. La réduction de la quantité de lumière reçue par l'espèce dominée peut avoir des effets négatifs sur sa croissance (Caldwell et al., 1987) mais cela peut être au bénéfice de l'espèce dominante et de la production de l'ensemble du couvert (Harris et al., 1987).

### ✓ *Compétition pour les éléments minéraux*

Les associations de cultures comprenant des légumineuses utilisent à la fois l'azote minéral présent dans le sol et celui présent dans l'atmosphère du fait de la capacité des légumineuses à fixer l'azote de l'air. Plusieurs auteurs ont montré sur les associations céréale-légumineuse, que la compétition racinaire pour l'azote minéral exercée par la céréale augmentait significativement la part de la fixation symbiotique dans la quantité d'azote accumulée chez la légumineuse par rapport à lorsqu'elle est cultivée seul (Hauggaard-Nielsen et al., 2009; Bedoussac et Justes, 2010; Naudin et al., 2010). Les graminées apparaissent plus compétitives pour l'azote minéral, le phosphore et le potassium que les légumineuses (Haynes, 1980 ; Davies, 2001).

### ✓ *Compétition pour l'eau*

La compétition pour l'eau est également importante et étroitement liée au partage de la lumière via son implication dans les processus de transpiration (Louarn et al., 2010). La capacité de chacune des espèces associées à acquérir l'eau du sol est plus influencée par leur vitesse d'enracinement, leur distribution racinaire ainsi que la durée de vie des racines que par la capacité physiologique des racines à extraire l'eau (Ozier-Lafontaine et al., 1998). Ces caractères qui contrôlent la morphologie et la plasticité du système racinaire sont reconnus pour avoir une plus grande importance que les capacités physiologiques des racines à extraire l'eau dans la compétition pour cette ressource (Jackson et al., 2000).

## **3.4. Processus d'acquisition des nutriments en association céréale-légumineuse**

### **3.4.1. Diversité des traits racinaires et acquisition d'un nutriment entre espèces**

Il est proposé que l'amélioration de la valorisation d'un nutriment du sol par les espèces en association soit liée à une augmentation du volume de sol exploré et exploité par les espèces en comparaison de leurs cultures mono spécifiques. La diversité des traits racinaires pourrait permettre de diminuer l'intensité de la compétition entre espèces en : (i) diminuant l'intensité des interactions liée au degré de recouvrement des rhizosphères (Séparation de niche d'un point de vue spatial) et/ou (ii) augmentant la disponibilité d'un nutriment (facilitation). La géométrie de la rhizosphère d'une espèce est déterminée par des traits relatifs à l'occupation de l'espace par les racines et à leur fonctionnement biologique (processus rhizosphériques). Une grande majorité des études considérant que l'acquisition d'un nutriment est uniquement déterminée par le prélèvement ont été amenées à proposer trois types de différenciation. L'amélioration de l'acquisition des nutriments serait ainsi liée à la diversité des traits

racinaires permettant la différenciation dans le temps, dans l'espace et selon les « formes » prélevées du nutriment considéré (Von Felten et al., 2009).

### **3.4.2. Production des poils racinaires**

De faibles valeurs de disponibilité de certains nutriments sont reconnues pour induire le développement de poils racinaires (López-Bucio et al., 2003) ainsi que de racines spécialisées comme les « cluster roots » (Lamont, 2003) aboutissant à une augmentation de la surface racinaire. La production de poils racinaires est reconnue pour être très sensible à la disponibilité en P mais aussi d'autres nutriments.

Les « clusters root » ou racines protéoïdes correspondent à un assemblage dense de racines latérales de même longueur et relativement courtes. La formation de ces organes est reconnue pour être stimulée majoritairement par de faibles valeurs de p et également évoquée dans le cas du Fe (Hagström et al., 2001).

## **4. Phosphore**

### **4.1. Phosphore élément important**

Le phosphore (P) est un nutriment essentiel pour la croissance des plantes et un constituant structurant pour les acides nucléiques, les phospholipides, les phosphates de sucre et autres cofacteurs catalytiques, outre le rôle qu'elle joue dans la régulation métabolique et le transfert d'énergie (Bosse and Köck, 1998). Le phosphore est un nutriment essentiel qui est utilisé pour le transport et la croissance de l'énergie par tous les organismes (Vitousek et al., 2010). Il est impliqué dans de nombreux processus biologiques critiques, Tels que le métabolisme énergétique, la synthèse d'acides nucléiques, Et la avec d'autres éléments essentiels tels que le carbone et l'azote dans la régulation de nombreux processus biologiques. Le phosphore est un élément important qui améliore la reproduction agricole (Raghothama, 1999 photosynthèse (Vance et al., 2003). Le phosphore interagit également; Vance, 2001). cependant p est présent en tant que ressource finie dans la lithosphère (0.1%) et varie avec le type de sol et le système d'exploitation (Thompson and Troeh, 1973). Le phosphore est le cinquième élément composant la matière vivante. Quelle que soit sa forme, l'atome de P est toujours associé à des atomes d'oxygène pour former le groupement phosphate  $PO_4^{3-}$ . La formation d'une liaison anhydride d'acide entre deux groupements phosphate (ex. ATP) riche en énergie lui confère un rôle central dans le stockage de l'énergie cellulaire. Le groupement phosphate entre aussi dans la composition de nombreuses molécules comme les acides nucléiques (ADN, ARN), les enzymes, les phosphoprotéines et les phospholipides, ce qui lui confère un rôle structurel fondamental. Malgré une

importance indéniable dans le cycle du vivant, l'approvisionnement en P à partir du milieu reste toutefois une contrainte majeure pour de nombreux organismes vivants du sol, en particulier pour les plantes. Ceci est dû au fait que seuls les ions ortho phosphates ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  et  $\text{HPO}_4^{2-}$ ) notés Pi peuvent être absorbés par les êtres vivants. Ainsi, quelle que soit la richesse en P total d'un sol, seule une infime fraction de ce P est disponible pour les organismes vivants lors de leur cycle de développement. Ce P disponible est soit dans la solution du sol avec des concentrations très faibles en ions ortho phosphates libres (de 0,1 à 10 UM (Hinsinger, 2001),

#### 4.4. Biodisponibilité de phosphore dans le sol

La disponibilité du phosphore pour la plante (biodisponibilité) diffère largement suivant le type de sol (Morel, 1988). La nutrition phosphatée est assurée par l'ensemble des ions phosphates de la solution du sol (Fardeau, 1981).

Le phosphore est prélevé sur toute la surface des racines (Barber, 1995). Sous forme d'ions phosphatés dissous dans la solution du sol,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  ou  $\text{HPO}_4^{2-}$ . La concentration en  $\text{PO}_4$  à l'intérieur des racines étant supérieure à celle de la solution du sol, l'absorption se réalise contre le gradient électrochimique nécessitant un transport actif. On entend par biodisponibilité du P, la fraction du P susceptible d'être prélevé par la plante. L'évaluation quantitative et mécanisme de cette fraction devient délicate lorsqu'on s'intéresse à la diversité des formes de P ajoutée à la multiplicité, la diversité et l'interactivité des mécanismes impliqués dans la régulation du transfert des ions P dans le système sol – solution racine (Maire, 2005). La fraction bio disponible du P du sol est la somme du P dissous et de la fraction minérale susceptible de passer en solution sous l'effet d'un gradient de concentration.

#### 4.5. Mécanismes d'acquisition de phosphore

Un nombre croissant d'études tendent à montrer l'avantage des cultures associées céréale - légumineuse pour l'acquisition de P en comparaison des cultures mono spécifiques (Li et al., 2007 ; Hinsinger et al., 2011). Il a été proposé que le bénéfice de ces agro écosystèmes plurispécifiques résulte (i) de la diminution de la compétition par une différenciation de l'acquisition du phosphore, autrement désignée comme complémentarité de niche et/ou (ii) implique la mise en place de mécanismes de facilitation permettant l'augmentation de la disponibilité en P. Cette augmentation sous-entend une modification des propriétés physiques, chimiques et/ou biologiques de la rhizosphère des espèces en association, suite à leur activité racinaire.

#### **4.5.1. Mécanismes biologiques**

Diverses enzymes exsudées par les racines sont impliquées dans l'hydrolyse des nutriments présents sous des formes organiques. Les microorganismes du sol sont reconnus pour jouer un rôle important dans l'hydrolyse des formes organiques mais l'exsudation d'enzymes extracellulaires par les racines existe également (Richardson et al., 2009). Ce sont des enzymes qui catalysent l'hydrolyse des liaisons esters phosphoriques et d'anhydrides des composés organiques, elles libèrent du Pi au voisinage des racines, d'autres travaux ont estimé que la plupart des phosphatases acides libérées sont d'origine bactérienne (Plante, 2007).

Dans le cas du P les racines sont reconnues pour exsuder des enzymes hydrolysant le P organique. Ces enzymes constituent le groupe très diversifié des phosphatases. Plusieurs études ont abouti à considérer que les légumineuse ont la capacité de maintenir une activité phosphatasique élevée dans leur rhizosphère, supérieure à celles de céréales (Venterink, 2011).

Dans le cas du P, différentes études ont montré que l'exsudation d'anions organiques par les racines dépend de l'état nutritionnel de la plante (Pearce et al., 2006).

#### **4.6.2. Mécanismes physico-chimique**

Dans le cas des modifications de pH induites par les racines l'acidification de la rhizosphère par la légumineuse en lien avec la fixation de N<sub>2</sub> est habituellement proposée comme mécanisme de facilitation. Cette hypothèse a été formulée dans le cas de sols neutres à alcalins pour lesquels des travaux récents ont mis en évidence qu'outre une diminution de pH, une augmentation de ce dernier pouvait également influencer positivement la disponibilité en P (Devau et al., 2010).

# **Matériels et méthodes**

## Matériel et méthodes

### 1. Présentation de la région d'étude

L'essai a été réalisé en plein champ au niveau de la station expérimentale de l'Université de Khemis-Miliana, qui se trouve au plaine de Haut Cheliff. La région de Khemis Miliana se trouve dans un étage bioclimatique semi- aride dont les cordonnés géographique sont le suivant :

Latitude : 36°15 40 N.

Longitude : 2°13 E.

Altitude : 300 M.



**Photo 8** : Localisation de la station expérimentale.

## 2. Données climatiques de la région

La station expérimentale est caractérisée par un climat méditerranéen à hiver assez pluvieux et froid, un été sec et chaud, un printemps réduit (Avril-Mai), et un automne très court.

### 2.1. Températures

Les températures enregistrées au cours de la campagne 2016-2017 montrent que le mois le plus froid est le mois de Janvier avec une température moyenne de 8°C, alors que le mois le plus chaud est le mois de mai avec une température moyenne de 20.9°C.

**Tableau 5 :** Températures de premier 5 mois de l'année (2017).

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai
T° max (C°)	18.9	21.3	26.7	30.8	37.7
T° min (C°)	0.3	0.9	0.8	4.1	8.8
T° moy (C°)	8	12.7	13.9	16.6	20.9

**Source ANRH 2017.**

### 2.2. Pluviométrie

Le mois le plus pluvieux est le mois de Janvier avec une pluviométrie moyenne de 106.2 mm, alors que le mois de Mai représente le mois le moins pluvieux avec un taux moyen mensuel de 0 mm.

**Tableau 6 :** Précipitations de premier 5 mois l'année 2017.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai
Pluviométrie (mm)	160.2	9.4	29.4	1	0

## 3. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé par notre étude est constitué par deux espèces :

- Une légumineuse (féverole) ; variété de « Sidi aiche ».
- Une céréale (orge) ; variété « Rihane 03 ».

Les semences sont fournées par l'ITGC de Khemis Miliana.



**Photo 9** : Matériel végétale concerné par l'étude.

**Tableau 7:** Caractéristiques générales de la variété Rihane 03 (ITGC, 2015).

Déférentes parties de la plante	Caractéristique
Plante	Port au tallage : demi-dresse. Hauteur (tige, épi et barbes) : moyenne.
Feuille de la base	Pilosité de la gaine : absente.
Dernière feuille	Port : légèrement récurvé. Pigmentation anthocyanique des oreillettes : présente. Intensité de pigmentation anthocyaniques des oreillettes : Faible. Glaucescence de la gaine : Forte.
Barbes	Pigmentation anthocyanique des pointes : Présente. Intensité de la pigmentation anthocyanique des pointes : Nulle ou très faible. Epoque d'épiaison (1er épillet visible sur 50% des plantes) : Très précoce.
Epi	<u>Glaucescence : Moyenne.</u> <u>Port : Droit.</u>
Caractérisation sur épi sec	
Epi	Nombre de ranges : Plus de deux. Forme : Pyramidal.
Barbes	Longueur par rapport à l'épi : Plus longue. Denticulation marginale : Présente.
Rachis	longueur du premier article : Très courte. Incurvation du premier article : Nulle ou très faible.
Epillet médian	Longueur de la glume ou de l'arête par rapport au grain : Plus longue.
Grain	Type de pilosité de la baguette : Courte. Glumelles : Présentes. Pigmentation anthocyanique des nervures de la glumelle inférieure : Nulle ou très faible. Denticulation des nervures dorsales internes de la glumelle inférieure : Très forte.  Pilosity du sillon : Absente. Disposition des lodicules : latérales. Couleur de l'aleurone : blanchâtre. Type de développement : Hiver.
Caractéristiques agronomiques et technologiques	
Rendement : Elevé. Poids de mille grains (PMG) : Elevé. Teneur en protéines : 10,50 %.	
Résistance aux maladies	
Oïdium sur feuille : Moyennement résistante. Oïdium sur épi : résistante. Rouille brune : résistante. Helminthosporiose : résistante. Rhoynchosporiose : Résistante.	

#### 4. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental adopté est un bloc aléatoire complet avec quatre répétitions. Chaque bloc étant divisé en trois parcelles. Chaque micro parcelle est occupée par l'un des trois modalités de culture : orge en culture pure (O), orge en association avec la féverole (A), féverole en culture pure (F).

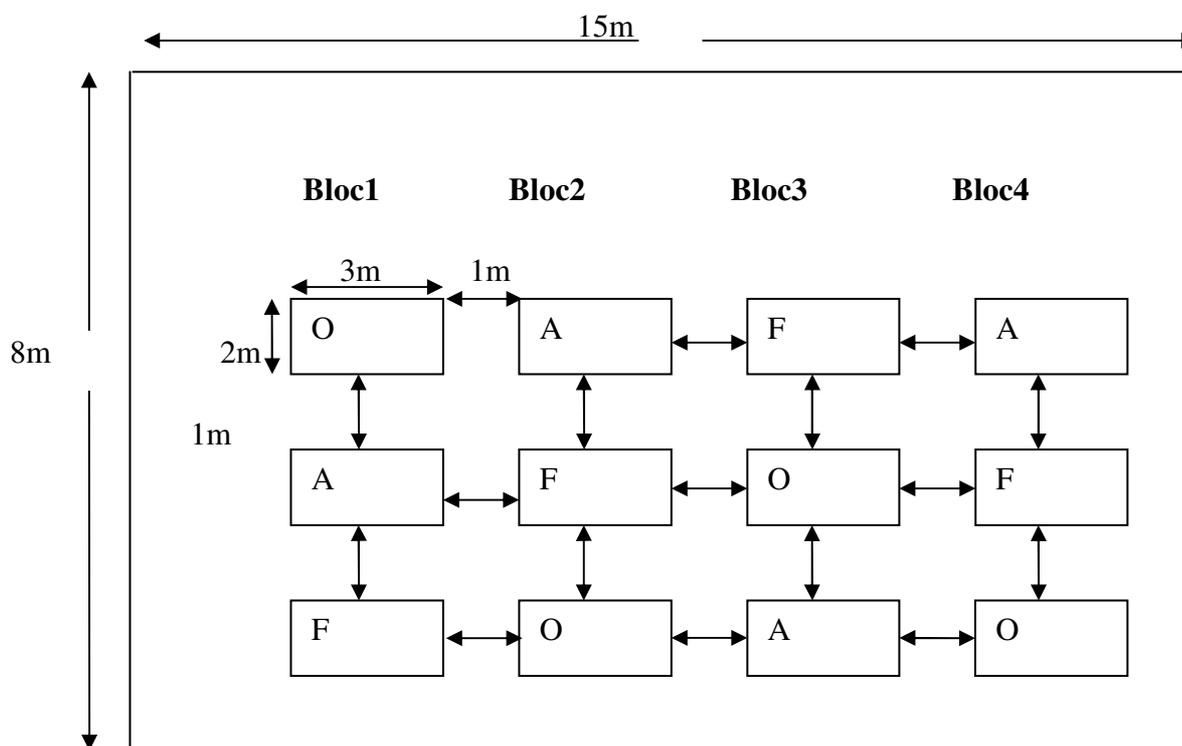


Figure 10 : Schéma du dispositif expérimental.

#### 5. Mise en place et suivi de l'essai

##### 5.1. Préparation du sol

Il est nécessaire de labourer le sol après la récolte de la culture précédente pour améliorer sa structure ainsi que sa capacité de retentions en eau. La préparation du sol est réalisée avant le semis selon les étapes suivantes :

- Un labour de 25 à 30cm de profondeur est effectué à l'aide d'une charrue à disque.
- Un passage d'une charrue à dent afin de bien émietter le sol.
- Délimitation des micros parcelles.



(A)

(B)

**Photo 11** : Labour de la parcelle (A) et délimitation des microparcelles (B)

## 5.2. Semis

Le semis a été réalisé le 04-01-2017, manuellement avec une densité de 250 graines/m<sup>2</sup> pour l'orge en culture pure, 10 graines/m<sup>2</sup> pour la féverole en culture pure.

-Pour la culture pure de l'orge, la distance entre les lignes été de 12.5 cm et la distance entre les plantes été de 2.5 cm, avec une profondeur de 2-3 cm.

-Pour la culture pure de la féverole, la distance entre les lignes été de 40 cm et la distance entre les graines été de 25 cm, avec une profondeur de semis de 5-6 cm

## 5.3. Irrigation

Les conditions pédoclimatiques de la région, obligent une alimentation hydrique permanente selon les besoins durant tout le cycle de la culture. En effet, les stades où les besoins en eau sont critiques sont: la floraison et le grossissement des grains. Pour cela, nous avons recours à l'irrigation toutefois que le besoin en eau se faisait sentir.

## 5.4. Désherbage

Il a été effectué manuellement autour de la parcelle, les sous micro parcelles et entre les lignes pour détruire les mauvaises herbes, et éviter toutes compétition sur l'eau et les éléments nutritifs et tous risques au développement des parasites.

## 6. Echantillonnage et analyses du sol et de l'eau

### 6.1. Analyses du sol

Dans le but de bien connaître les caractères physico-chimiques de notre parcelle expérimentale. Nous avons effectué une série d'analyses physico-chimiques et granulométriques du sol de notre essai. Les prélèvements ont été effectués à l'aide d'une tarière à une profondeur de 20 cm sur cinq emplacements répartis sur la totalité de la superficie expérimentale. Tous les échantillons ont été mélangés afin de constituer un seul échantillon homogène puis mis à sécher dans l'étuve à une température de 105°C pendant 24 heures.

Les analyses physico-chimiques de (pH, calcaire total, calcaire actif, matière organique et conductivité électrique) et granulométriques du sol ont été réalisées au niveau de laboratoire de l'Université de Khemis Miliana. L'analyse de phosphore assimilable a été réalisée au niveau du laboratoire de département de Productions Végétales de l'ENSA d'Alger.

#### - *Texture du sol*

La détermination de la texture consiste en l'estimation du pourcentage des différentes fractions constituant les agrégats contenus dans une prise d'essai de terre fine (inférieure ou égale à 2mm). On a choisi la méthode utilisant la pipette de Robinson, dont le mode opératoire consiste en premier lieu à détruire la matière organique, suivie d'un prélèvement des fractions argileuses et limoneuses en second lieu. La fraction sableuse est déterminée par simple différence entre la prise d'essai et la somme des fractions limoneuses et argileuses.

#### - *Matière organique*

En admettant que la composition moyenne de la matière organique du sol soit constante en carbone (58%), il suffit de déterminer la teneur en cet élément pour en déduire la quantité de matière organique présente par la méthode d'Anne (1945) qui est basée sur la transformation du carbone en gaz carbonique, sous l'action d'une quantité connue de solution oxydante dont on détermine l'excès. Cette oxydation se fait le plus couramment par action du bichromate de potassium ( $K_2Cr_2O_7$ ) en milieu sulfurique à froid (Daoud, 2011). Donc la MO est calculé par la formule suivante :

$$MO = C (\%) \times 1,72.$$

#### - *pH*

La mesure de pH permet de caractériser la réaction du sol qui traduit l'état d'acidité ou d'alcalinité du sol. Elle s'effectue par la méthode électro-métrique, en utilisant un pH mètre à électrode en verre sur une suspension de terre fine pour les échantillons. Avec un rapport sol/solution de 1/2,5.

(Daoud, 2011). La solution peut être constituée par l'eau distillée ou par du KCl. La mesure de pH du sol en suspension dans une solution de sel neutre donne généralement des résultats inférieures à ceux du pH de l'eau.

#### **- Conductivité électrique**

La conductivité électrique permet l'estimation de la teneur globale en sels dissous et par conséquent de la salinité du sol. Elle est déterminée sur l'extrait aqueux (20 g du sol dans 100 mL d'eau distillée) à l'aide d'un conductimètre.

#### **- Calcaire total**

La détermination du calcaire total est réalisée par un Calcimètre de Bernard en utilisant une solution de l'acide chlorhydrique dilué de moitié et une prise d'essai de 1 g du sol.

#### **- Phosphore assimilable**

Le dosage du P est effectué par une solution de bicarbonates de sodium ( $\text{NaHCO}_3$ ). La prise d'essai est de 5 g de terre à laquelle on ajoute 100 ml de  $\text{NaHCO}_3$  à 40% et une cuillère du charbon actif. Après 30 minutes d'agitation mécanique, on procède à une filtration sur papier filtre pour éliminer les particules solides. Dans des tubes-à-vis, on prélève 1 mL de filtrat de chaque échantillon, puis on ajoute 1 mL d'acide ascorbique et on complète à 10 mL avec de l'eau distillée. La mesure de la densité optique est faite à 710 nm après 30 minutes d'addition de l'acide ascorbique.

### **6.2. Analyse d'eau d'irrigation**

Le mesure de pH, conductivité électrique, la salinité et l'oxygène dissous dans l'eau a été réalisée par lecture directe après l'émergence des électrodes des pH et CE dans l'eau d'irrigation.

## **7. Echantillonnage des plantes**

Au stade de pleine floraison (70 jours après le semis) soit le 15-03-2017, les prélèvements ont été effectués sur trois plants pour chaque modalité des cultures.

Pour la féverole, que ce soit en association ou en culture pure, les nodules ont été séparés des racines, comptés, séchés à l'étuve ( $70^\circ\text{C}$  pendant 48 heures) et pesés.

## **8. Paramètres mesurés**

### **8.1. Hauteur de la végétation**

Les mesures ont été faites à l'aide d'une mètre, on prend la longueur de collet jusqu'au bourgeon terminal.

## 8.2. Diamètre de la tige

Les mesures ont été réalisées en période de développement végétatif avant le début nouaison à l'aide d'un pied à coulisse pour déterminer la vigueur des plants.

## 8.3. Biomasse aérienne, racinaire et nodulaire

Ila été effectué au stade floraison. Les plantes sont déterrées. Les parties aériennes sont séparées des parties racinaires au niveau du nœud cotylédonaire à raison de 3 plants. Pour la féverole, que ce soit en association ou en culture pure, les nodules ont été séparés des racines, compté, séchés à l'étuve (70°C pendant 48 heures) et pesés. Les parties aériennes et racinaires ont été séchées à l'étuve à 60°C durant 72 h puis pesées. Après le broyage, les poudres des trois parties sont utilisées pour le dosage du P selon la méthode de Joret-Hébert (1978).

## 8.4. Efficience d'utilisation de la symbiose rhizobienne

L'efficience d'utilisation de la symbiose rhizobienne (EUSR) a été estimée par la pente du modèle de régression de la biomasse aérienne des plantes sur la biomasse nodulaire. Dans l'équation de la droite de régression  $y = a x + b$  ; b correspond à la production de biomasse sans nodules et a représenté cette efficience.

## 8.5. Rendement et ses composantes

- *Nombre de gousses par plant* : Il est déterminé après comptage du nombre total de gousses par plant.
- *Nombre des graines par gousse* : Il est effectué au stade maturité du grain où nous avons compté le nombre de toutes les graines dans une gousse pour chaque population.
- *Poids moyen d'une gousse* : Il représente le poids moyen d'une gousse de chaque plant qui est déterminé à l'aide d'une balance de précision.
- *Le poids de cent graines* : Il représente le poids de cent graines déterminé à l'aide d'une balance de précision, c'est un paramètre essentiel dans la composante du rendement.
- *Le rendement théorique* : Il est calculé par la formule suivante :  $Rdt (qx ha^{-1}) = (\text{nombre de plants } m^{-2} \times \text{nombre de gousses plant}^{-1} \times \text{poids moyen d'une gousse (g)}) / 10$ .

## 9. Analyse statistique des données

Les résultats obtenus sont soumis à une analyse de la variance en utilisant le logiciel XLSTAT. Lorsque cette analyse montre des différences significatives, elle est complète par le teste de Newman et Keuls.





# **Résultats & Discussions**

# 1. Résultats

## 1. Caractéristiques physico-chimiques du sol

Les analyses du sol de notre expérimentation ont donné les résultats reportés dans le tableau ci-après.

**Tableau8:** Caractéristiques physico- chimiques du sol.

Paramètres	Teneures	Interprétation
Argile (%)	31.00	Sol Limono-argileux.
Limon (%)	48.50	
Sable (%)	17.40	
PH eau	7.41	Sol légèrement à moyennement alcalin.
PH kcl	7.80	
Conductivité électrique (CE)	0.32	Sol légèrement salé.
Matière organique MO(%)	1.23	Sol pauvre en matière organique.
Calcaire totale (%)	14.34	Sol moyennement calcaire.
Calcaire actif (%)	3.21	
Phosphore assimilable (ppm)	9.50	Teneur faible.

Les analyses des sols sont effectuées non pas seulement pour connaître leur état de fertilité, mais elles permettent aussi de donner des informations sur les conditions d'habitat des souches indigènes de rhizobia. A la lumière des résultats obtenus, il apparaît que ces sols se caractérisent par des pH neutres à légèrement alcalins, des faibles teneurs en matière organique et en éléments minéraux et présentent une texture limono-argileuse.

## **2. Analyse de l'eau d'irrigation**

Les analyses de l'eau d'irrigation ont donné les résultats reportés dans le tableau ci-après.

**Tableau 9 : Résultats d'analyse de l'eau d'irrigation**

<b>Paramètres</b>	<b>Teneur</b>
PH	8.06
Conductivité (ms/s)	2.61
Salinité	1.2
Oxygène dessous (mg/l)	12.60

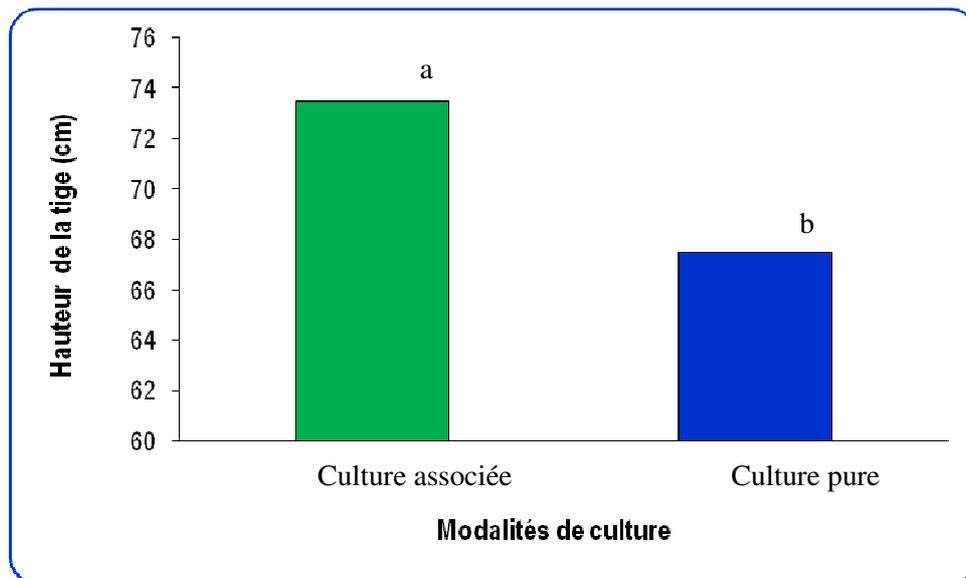
## **3. Effet de l'association sur les paramètres de croissance de l'orge**

### **3.1. Hauteur de la tige**

Les résultats de la variation de la hauteur de tige de l'orge en fonction des modalités de culture sont présentés dans la figure 12.

La modalité association orge-féverole a enregistré la hauteur de tige la plus élevée (73.5 cm), comparativement à la modalité de culture pure (67.5 cm).

L'analyse de la variance a révélé une différence significative entre les deux modalités de culture.



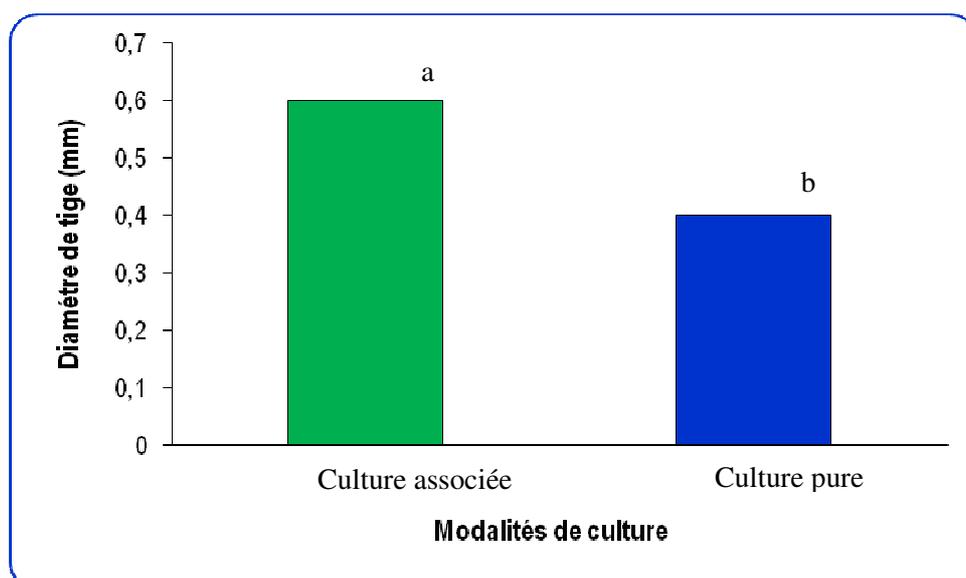
**Figure 12 :** Variation de la hauteur de tiges de l'orge en fonction des modalités de culture.

### 3.2. Diamètre de tiges

La figure 13 illustre les résultats de la variation de diamètre de la tige de l'orge en fonction des modalités de culture pratiquées.

Nous avons constaté que la modalité de culture de l'orge en association avec la féverole a induit une augmentation de du diamètre de la tige de l'orge (0.6 mm) en comparaison avec la modalité de culture de l'orge en culture pure (0.4 mm).

L'analyse de la variance a mis en évidence une différence significative entre les deux modalités de culture.



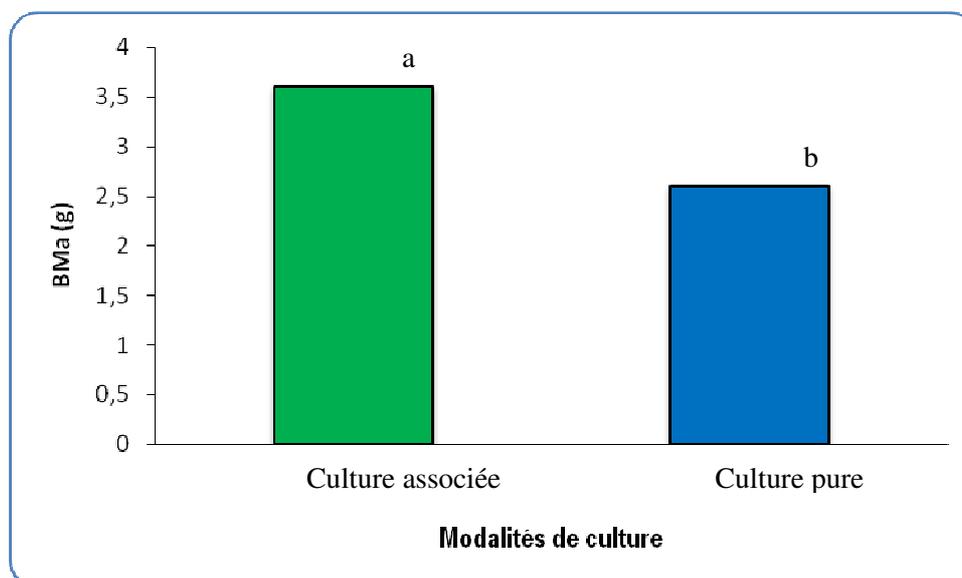
**Figure 13 :** Variation du diamètre de la tige de l'orge en fonction des modalités de culture.

### 3.3. Biomasse aérienne

Les résultats de la variation de la biomasse aérienne de l'orge en fonction des modalités de culture sont présentés dans la figure 14.

La modalité association orge-féverole a enregistré la biomasse aérienne la plus élevée (3.8g), comparativement à la modalité de culture de l'orge en culture pure (2.5g).

L'analyse de variance a révélé une différence significative entre les deux modalités de culture.



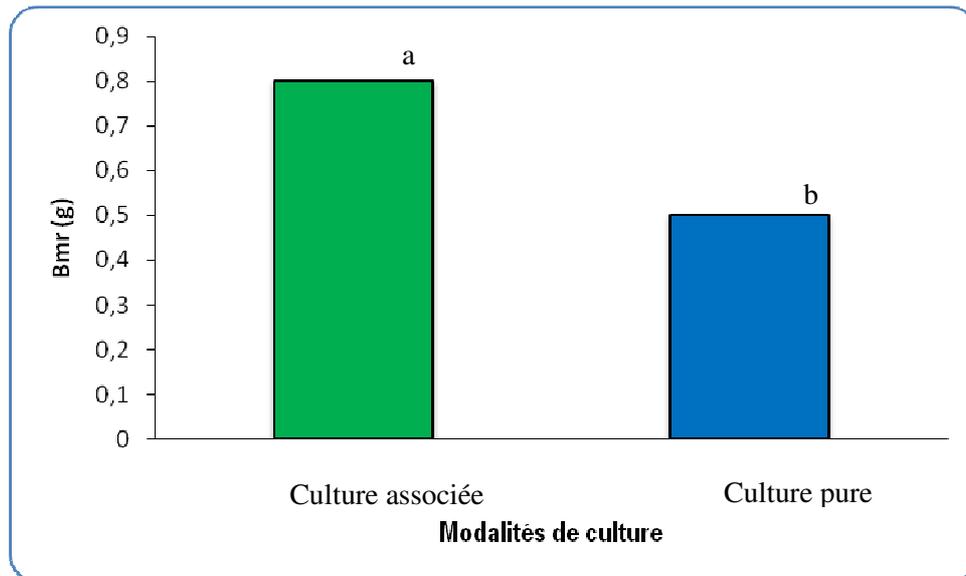
**Figure 14 :** La variation de la biomasse aérienne de l'orge en fonction des modalités de culture.

### 3.4. Biomasse racinaire

Les résultats de la variation de la biomasse racinaire l'orge en fonction des modalités de culture sont présentés dans la figure 15.

La modalité association orge-féverole a enregistré la biomasse racinaire la plus élevée (0.8g), comparativement à la modalité de culture de l'orge en culture pure (0.5g).

L'analyse de variance a révélé une différence significative entre les deux modalités de culture.



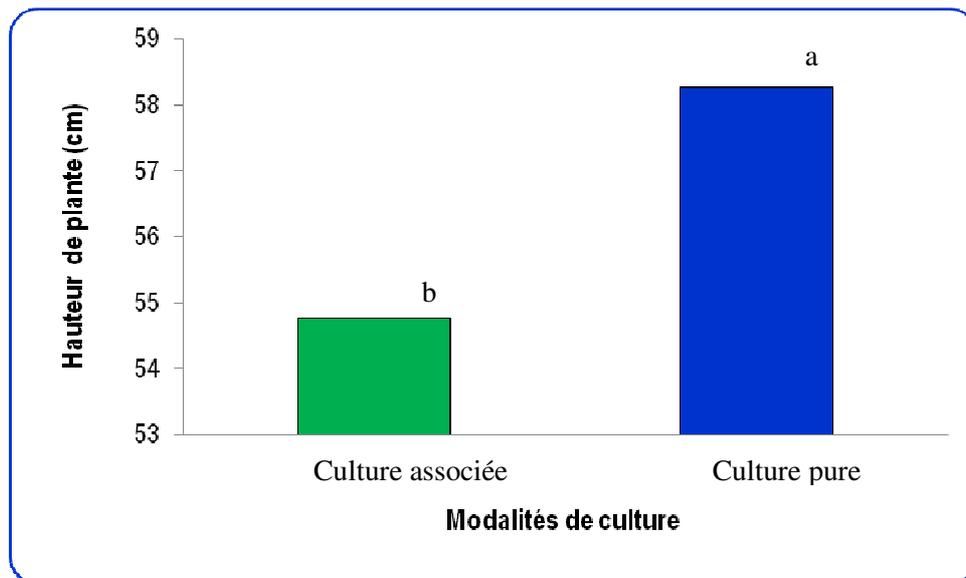
**Figure 15 :** La variation de la biomasse racinaire de l'orge en fonction des modalités de culture.

#### **4. Effet de l'association sur les paramètres de croissance et de l'efficacité d'utilisation de la symbiose rhizobienne chez la féverole**

##### **4.1. Hauteur de la tige**

Les résultats de la variation de la hauteur de tige de la féverole en fonction des modalités de culture sont présentés dans la figure 16.

La modalité culture pure a enregistré la hauteur de la tige la plus élevée (58.25cm) contrairement à la modalité culture associée (54.75 cm). L'analyse de la variance a révélé une différence hautement significative entre les deux modalités de culture.

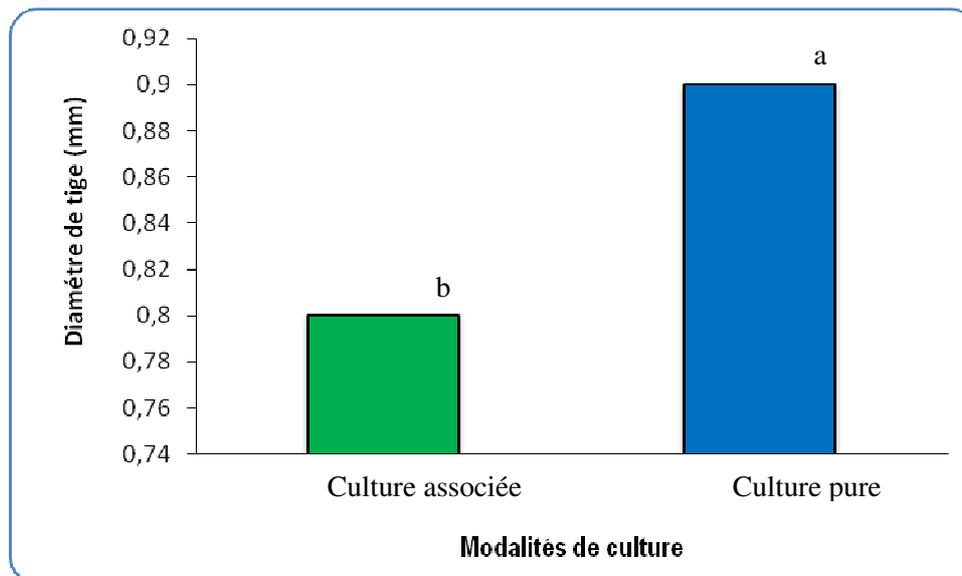


**Figure 16 :** Variation de la hauteur de tige de la féverole en fonction des modalités de culture.

#### **4.2. Diamètre de tiges**

La figure 17 illustre les résultats de variation de diamètre de la tige de la féverole en fonction des modalités de cultures. Les résultats obtenus montrent que la modalité de culture associée féverole-orge a induit une réduction du diamètre de tige de la féverole (0.8 mm) en comparaison avec la culture pure (0.9 mm).

L'analyse de la variance a mis en évidence une différence hautement significative entre les deux modalités de culture.



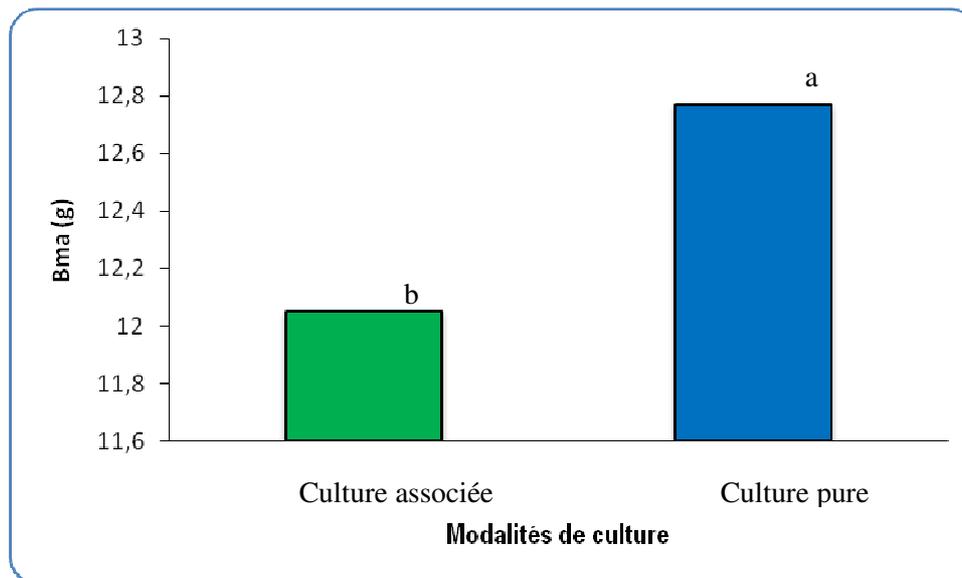
**Figure 17 :** Variation du diamètre de tige de la féverole en fonction des modalités de culture.

#### **4.3. Biomasse aérienne**

Les résultats de la variation de la biomasse aérienne de la féverole en fonction des modalités de culture sont présentés dans la figure 18.

Les résultats obtenus montrent que la modalité de culture associée féverole-orge a induit une réduction de la biomasse aérienne de la féverole (12.5 g) en comparaison avec la culture pure (12.77 g).

L'analyse de la variance a révélé une différence hautement significative entre les deux modalités de culture.



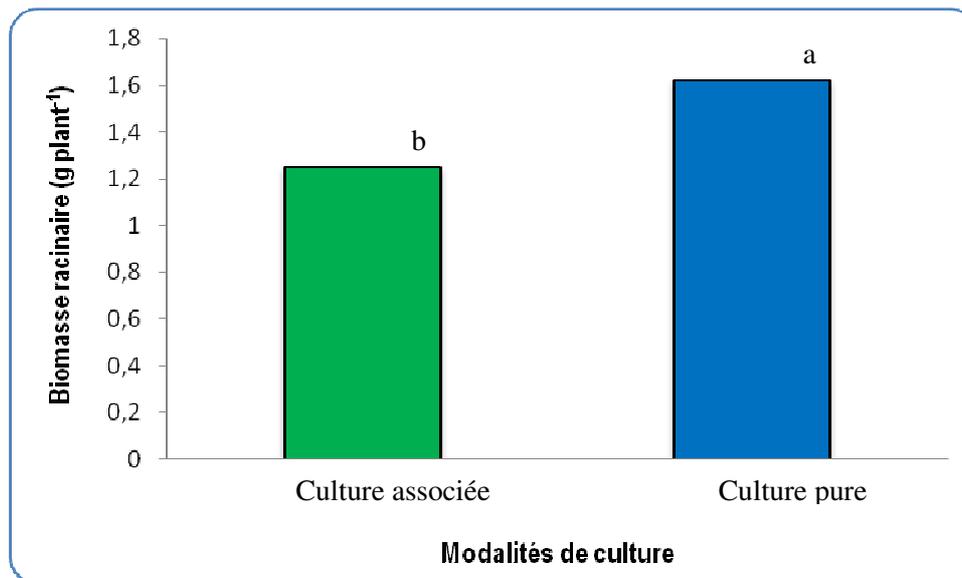
**Figure 18:** La variation de la biomasse aérienne de la féverole en fonction des modalités de culture.

#### 4.4. Biomasse racinaire

Les résultats de la variation de la biomasse racinaire de la féverole en fonction des modalités de culture sont présentés dans la figure 19.

Les résultats obtenus montrent que la modalité de culture associée féverole-orge a induit une réduction de la biomasse racinaire de la féverole (1.25 g) en comparaison avec la culture pure (1.62 g).

L'analyse de la variance a révélé une différence significative entre les deux modalités de culture.



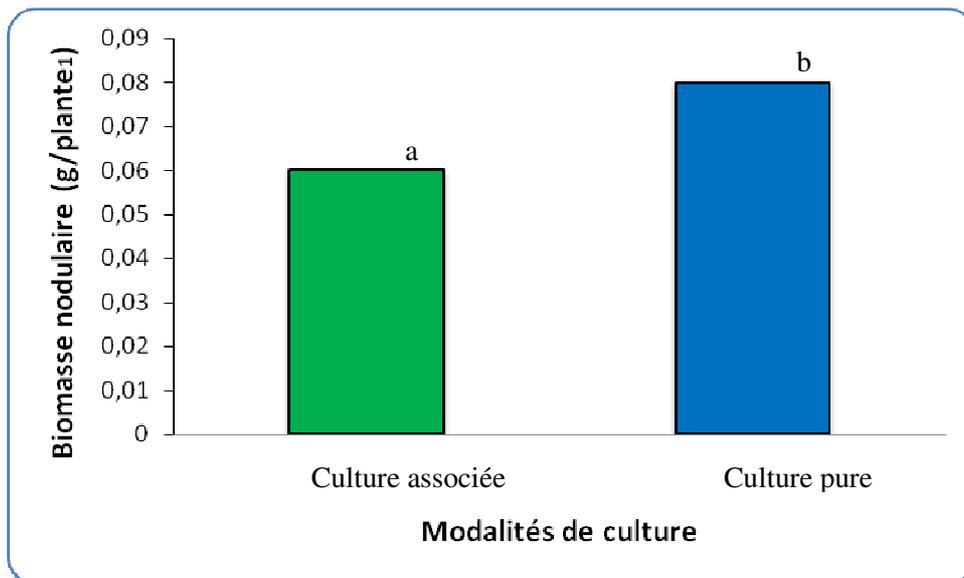
**Figure 19 :** La variation de la biomasse racinaire de l'orge en fonction des modalités de culture.

#### 4.5. Biomasse nodulaire

Les résultats de la variation de la biomasse nodulaire en fonction des modalités de culture sont présentés dans la figure 20.

Les résultats obtenus montrent que la biomasse nodulaire la plus élevée est enregistrée chez la modalité de culture pure (0,08 g/plant), tandis que la biomasse nodulaire la plus faible est observée chez la modalité association (0,06g/plant).

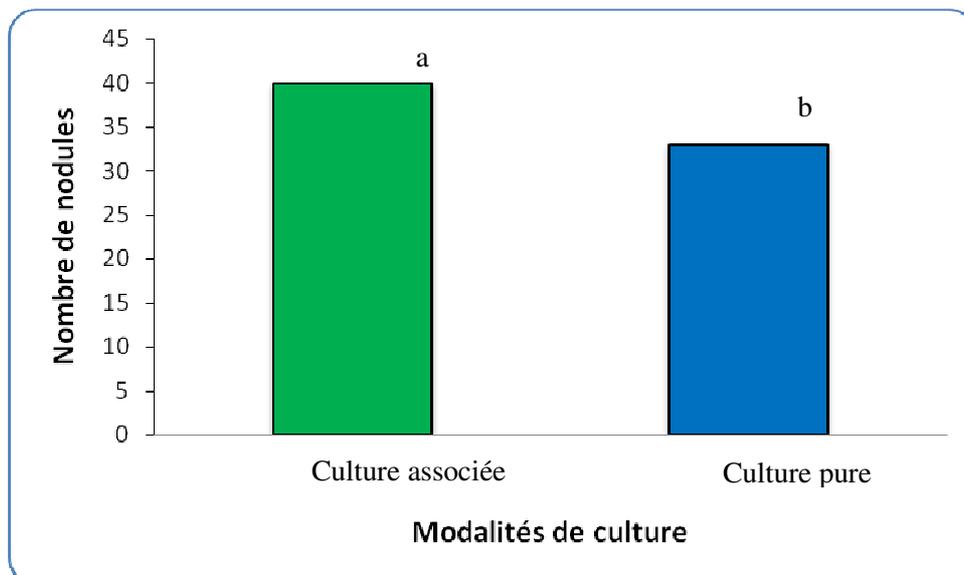
L'analyse de la variance a montré une différence hautement significative entre les deux modalités de culture.



**Figure 20 :** Variation de la biomasse nodulaire de la féverole en fonction des modalités de culture.

#### 4.6. Nombre de nodules

La figure 21 présente la variation du nombre de nodules chez la féverole en fonction des modalités des culture.



**Figure 21 :** Variation du nombre de nodules chez la féverole en fonction des modalités de culture.

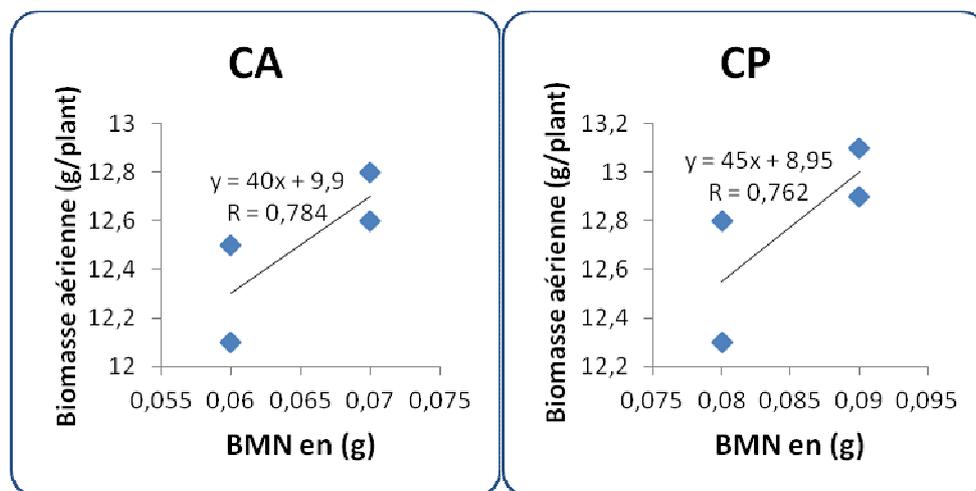
Selon le graphique nous remarquons que la modalité de culture associée enregistre le nombre de nodules le plus élevée (40 nodules/plant) contrairement à la modalité culture pure qui a enregistré le nombre le plus faible de nodules (33 nodules/plant).

L'analyse de la variance a révélé une différence hautement significative entre les deux modalités de culture pour ce paramètre.

#### 4.7. Efficacité de l'utilisation de la symbiose rhizobienne

L'efficacité de l'utilisation de la symbiose rhizobienne (EURS) récemment défini par Drevon et al, (2011) et Bargaz et al, (2012) comme étant la pente de régressions linéaires entre le poids sec de nodule et celui de la partie aérienne.

Dans le but de comprendre le rôle que joue la biomasse nodulaire de la féverole dans la stimulation de la biomasse des parties aérienne des deux modalités de culture (association et monoculture), nous avons réalisé des représentation graphique de corrélation entre la biomasse nodulaire et la biomasse sèche de la partie aériennes.



**Figure 22 :** Corrélation de la biomasse nodulaire avec la biomasse aérienne en fonction des modalités de culture.

Les courbes de régression illustrée sur la figure 22 montrent des corrélations positives entre la nodulation et la croissance aérienne de différentes cultures (pure et associée). La culture associée présente une corrélation élevée entre les biomasses ( $R = 0,784$ ) tandis que la culture pure enregistre des corrélations moins évidente entre ces deux paramètres ( $R = 0,762$ ).

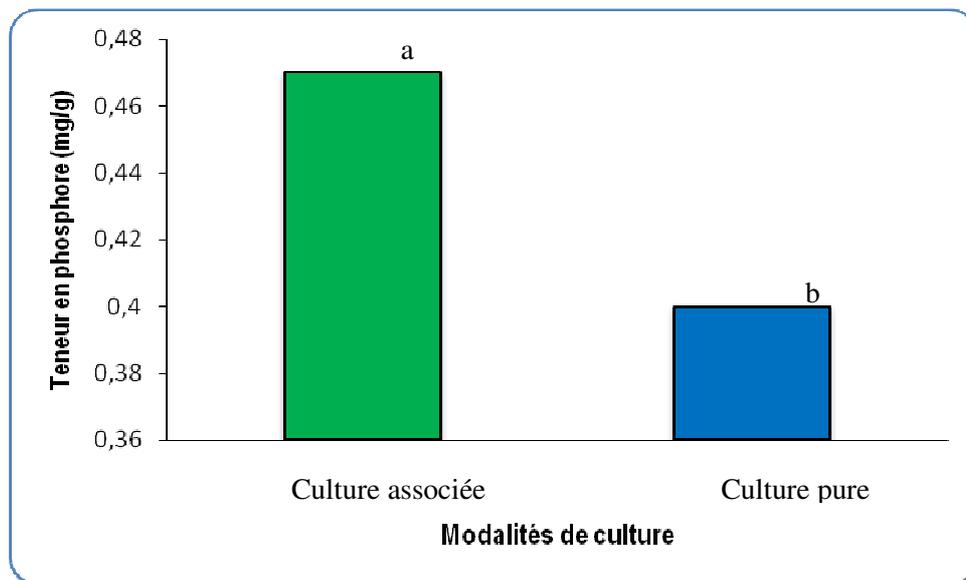
#### 5. Effet de l'association sur la teneur en phosphore

### 5.1. Teneur en phosphore dans la partie aérienne de l'orge

La figure 23 présente la variation de la teneur du phosphore dans la partie aérienne de l'orge en fonction des modalités de culture.

La valeur la plus élevée est enregistrée chez la modalité association (0.48 mg/g) comparativement à la modalité de culture pure (0.409mg/g).

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative entre les deux modalités de culture.



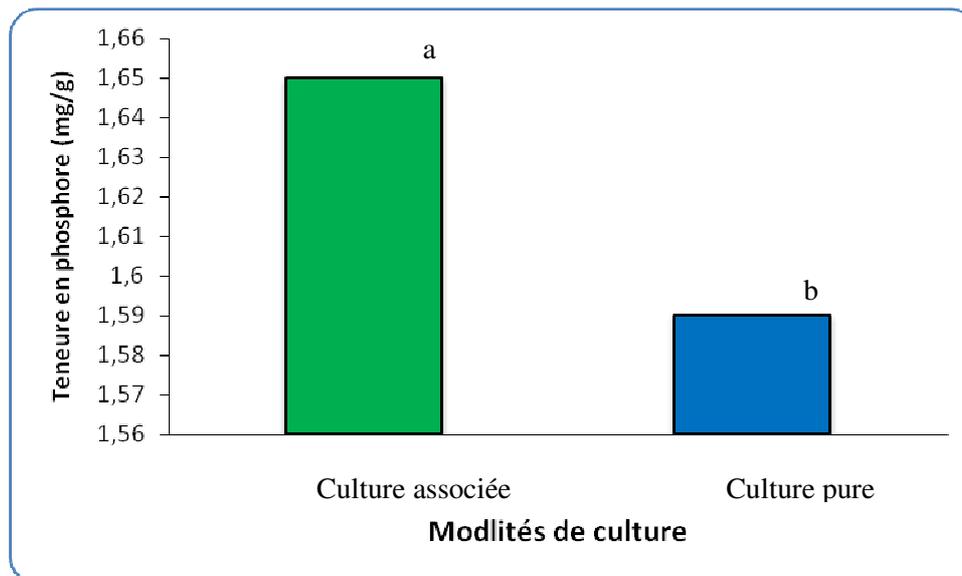
**Figure 23 :** La variation de la teneur en phosphore dans la partie aérienne de l'orge en fonction des modalités de culture.

### 5.2. Teneur en phosphore dans la partie racinaire de l'orge

La figure 24 présente la variation de la teneur du phosphore dans la partie racinaire de l'orge en fonction des modalités appliquées.

La valeur la plus élevée est enregistrée chez la modalité association (1.65mg/g) comparativement à la modalité de culture pure (1.59 mg/g).

L'analyse de la variance a révélé une différence hautement significative entre les deux modalités de culture.



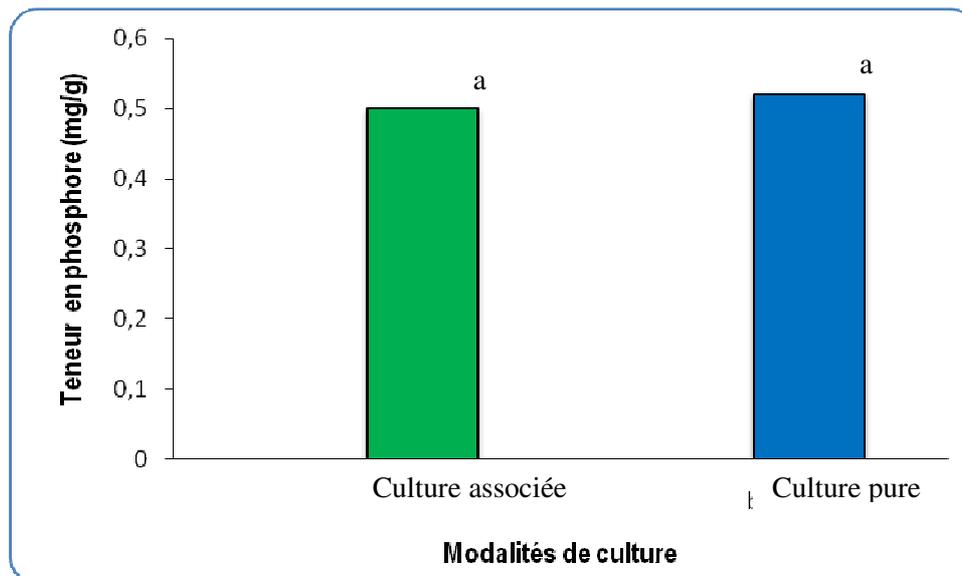
**Figure 24 :** La variation de la teneur en phosphore dans la partie racinaire de l'orge en fonction des modalités de culture.

### 5.3. Teneur en phosphore dans la partie aérienne de la féverole

La figure 25 présente la variation de la teneur du phosphore dans la partie aérienne de la féverole en fonction des modalités de culture.

La valeur la plus élevée est enregistrée chez la modalité de culture pure (0.52mg/g) comparativement à la modalité association (0.5 mg/g).

L'analyse de la variance n'a pas révélé une différence significative entre les deux modalités de culture.



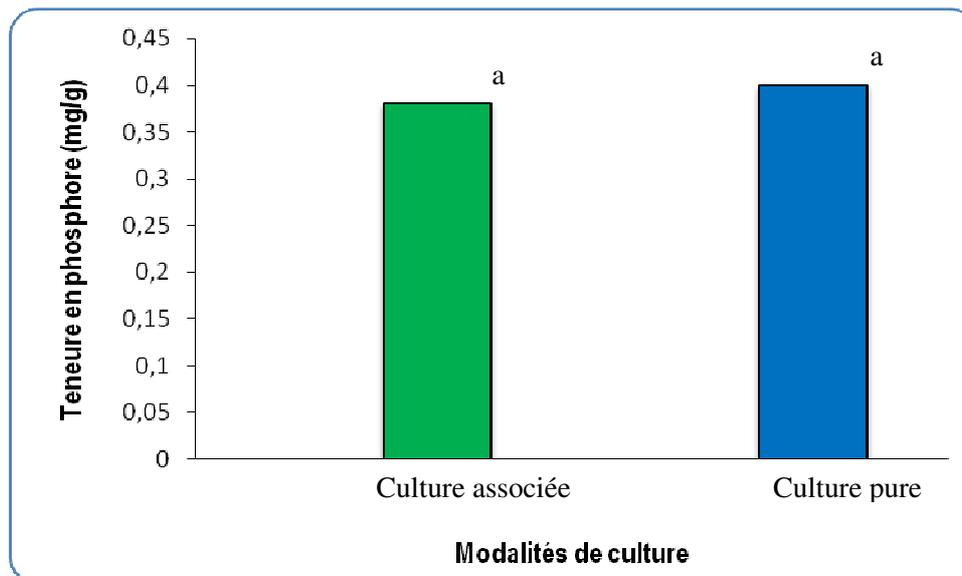
**Figure 25 :** La variation de la teneur en phosphore dans la partie aérienne de la féverole en fonction des modalités de culture.

#### 5.4. Teneur en phosphore dans la partie racinaire de la féverole

La figure 26 présente la variation de la teneur du phosphore dans la partie racinaire de la féverole en fonction des modalités de culture.

La valeur la plus élevée est enregistrée chez la modalité de culture pure (0.4 mg/g) comparativement à la modalité association (0.38 mg/g).

L'analyse de la variance n'a pas révélé une différence significative entre les deux modalités de culture.

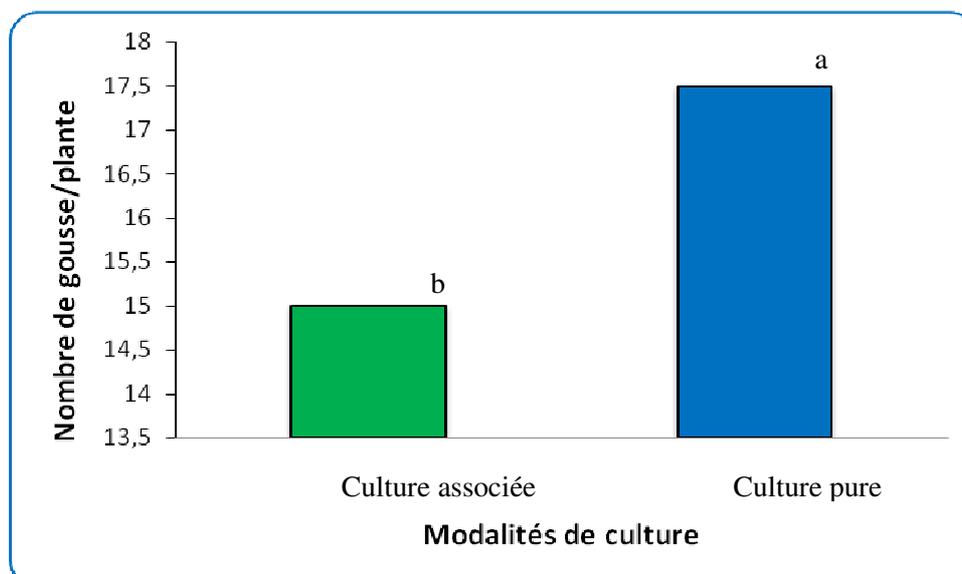


**Figure 26 :** La variation de la teneur en phosphore dans la partie racinaire de la féverole en fonction des modalités de culture.

## 6. Effet de l'association sur le rendement de la féverole et ses composantes

### 6.1 Nombre de gousses/plant

La figure 27 présente la variation de nombre de gousses/plant chez la féverole en fonction des modalités de culture.



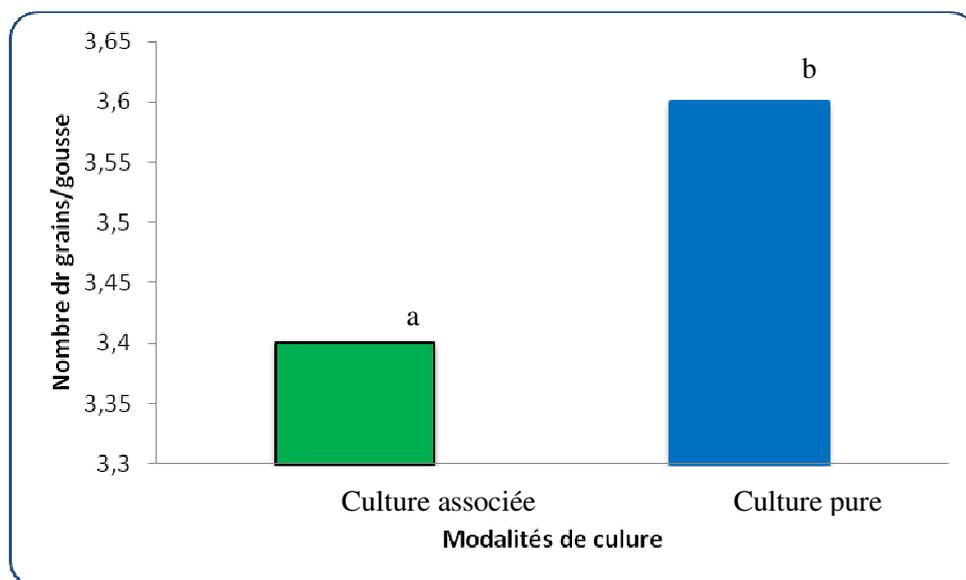
**Figure 27 :** Variation de nombre de gousses/plant chez la féverole en fonction des modalités de culture.

Les résultats de la figure montrent que la féverole conduite en culture pure a enregistré la valeur la plus élevée (17 gousses/plant) comparativement à celle conduite en association (15 gousses /plant).

L'analyse de la variance a révélé une différence hautement significative entre les deux modalités de culture pour ce paramètre.

## 6.2. Nombre de grains/gousse

La figure 28 illustre la variation du nombre de grains/gousses chez la féverole en fonction des modalités de culture.

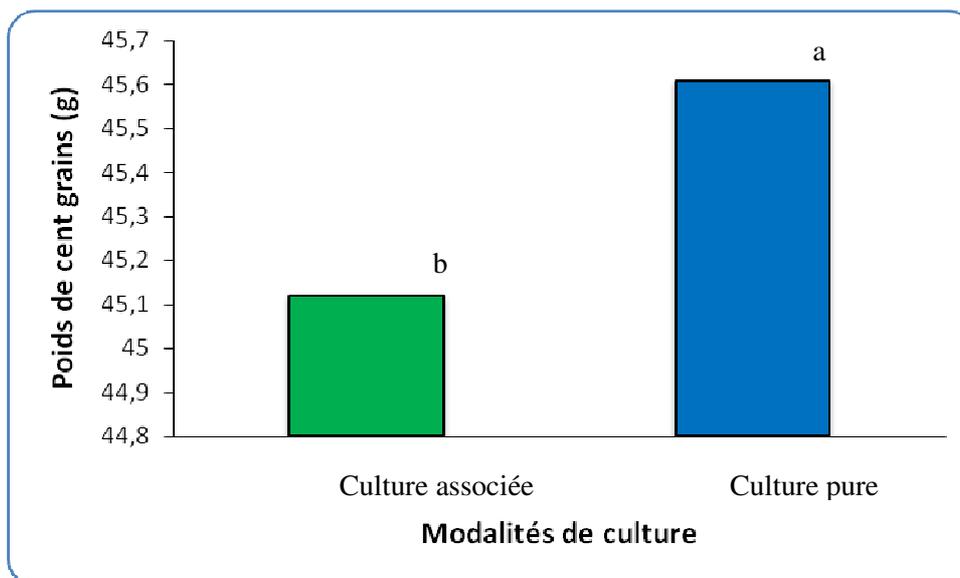


**Figure 28 :** Variation du nombre de grains/gousse chez la féverole en fonction des modalités de culture.

Selon les résultats de la figure, nous remarquons que la modalité de culture pure enregistre le nombre de grains/gousse le plus élevée (4 grains/gousse), contrairement à la modalité association qui a enregistré un nombre de grains/gousse de l'ordre de 3. L'analyse de variance a révélé une différence significative entre les deux modalités de culture.

## 6.3. Poids de 100 grains

La figure 30 illustre la variation du poids de 100 grains chez la féverole en fonction des modalités de culture.

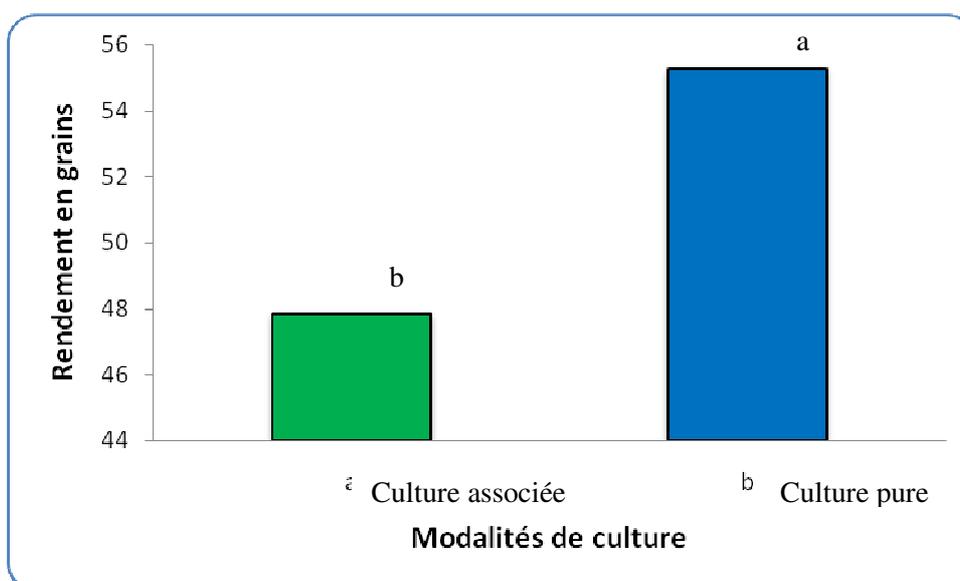


**Figure 29** : Variation du poids de cent grains chez la féverole en fonction des modalités de culture.

D'après les résultats de la figure nous constatons que le poids de cent grains le plus élevé (45.608 g) est observé chez la féverole en culture pure tandis que le poids de cent grains le plus faible est noté chez la féverole en association avec l'orge (45.119g). L'analyse de variance a révélé une différence hautement significative entre les deux modalités de culture.

#### 6.4. Rendement en grains

Le rendement en grains chez la féverole en fonction des modalités de culture est illustré sur la figure30.



**Figure 30:** Variation de rendement en grains chez la féverole en fonction des modalités de culture.

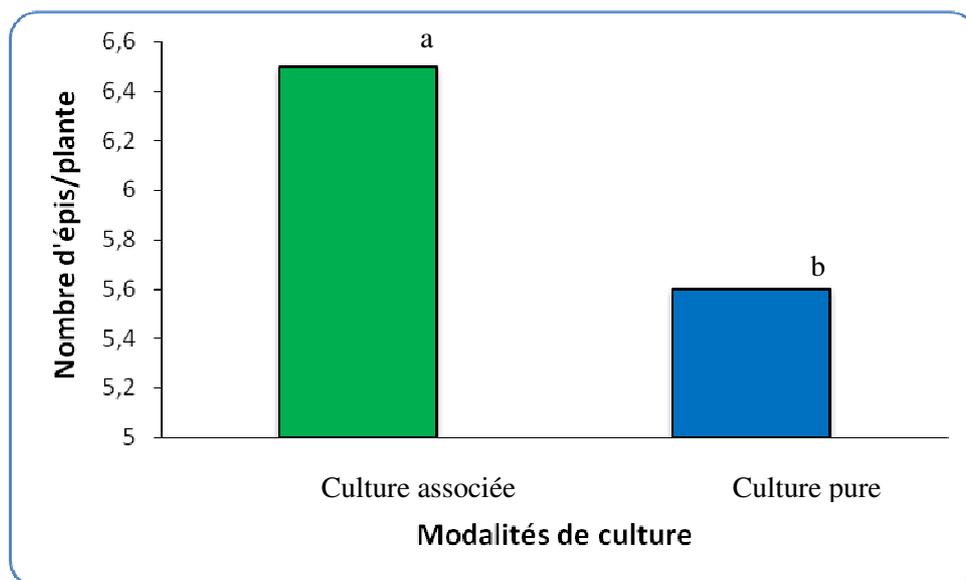
Les résultats de cette figure montrent que le rendement le plus élevé (55.27 qx/ha) est noté chez la féverole conduite en culture pure. En revanche, le rendement le plus faible est observé chez la féverole conduite en association (47.83qx/ha).

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative entre les deux modalités de culture.

## 7. Effet de l'association sur le rendement de l'orge et ses composantes

### 7.1. Nombre d'épis/plant

La figure31 présente la variation du nombre d'épis/plant en fonction des modalités de culture.



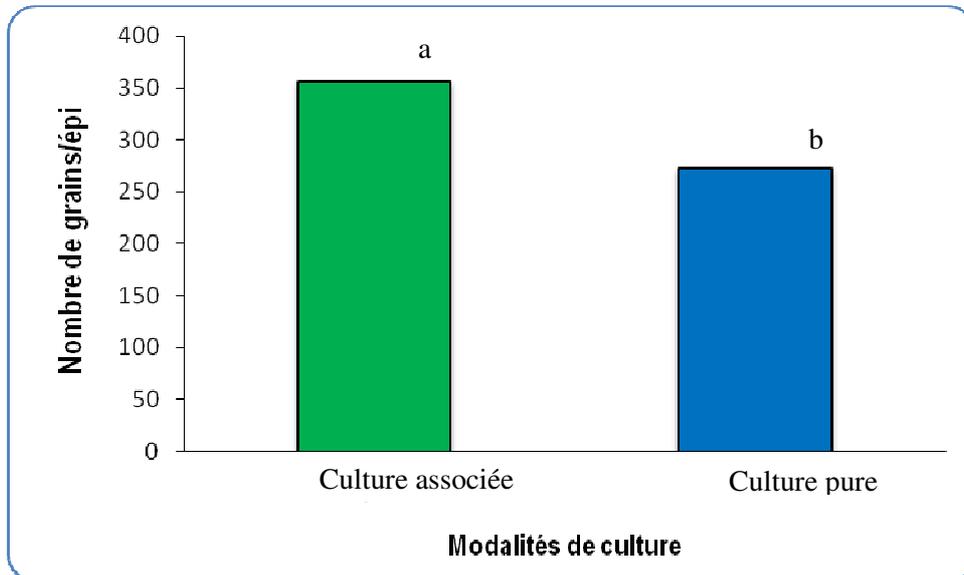
**Figure 31 :** Variation du nombre d'épis/plant chez l'orge en fonction des modalités de culture.

Selon les résultats de la figure, nous remarquons que la culture de l'orge conduite en association avec la féverole a enregistré le nombre d'épis/plant le plus conséquent (7 épis/plant) comparativement à la culture de l'orge conduite en pure (5 épis/plant).

L'analyse de la variance a révélé une différence hautement significative entre les deux modalités de culture pour ce paramètre.

## 7.2. Nombre de grains/épi

La figure 32 illustre la variation du nombre de grains/épi en fonction des modalités de culture.

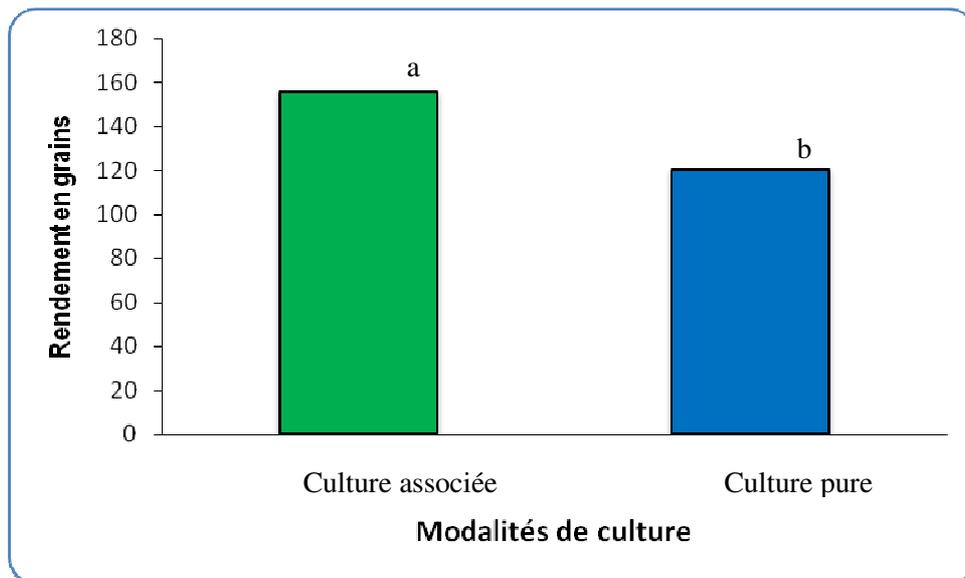


**Figure 32 :** Variation du nombre de graines/épi chez l'orge en fonction des modalités de culture.

Selon le graphique nous remarquons que la modalité association enregistre le nombre de grains le plus élevée 66.2 grains /épi, contrairement à la modalité monoculture qui a enregistré 57,1 grains /épi. L'analyse de variance a révélé une différence significative entre les deux modalités pour le nombre de grains /épi.

## 7.3. Rendement en graine

Le rendement en grains chez l'orge en fonction des modalités de culture est illustré sur la figure33.



**Figure 33 :** Variation du rendement en grains chez l'orge en fonction des modalités de culture.

Les résultats de cette figure montrent que le rendement le plus élevé (155 qx/ha) est obtenu chez l'orge associé avec la féverole. En revanche, l'orge conduite en culture pure enregistre un rendement de l'ordre de 120qx/ha.

L'analyse de la variance a révélé une différence hautement significative entre les deux modalités de culture.

# **Discussion générale**

## **2. Discussion générale**

Dans cette étude, nos résultats ont montré que la croissance en biomasse, l'efficacité de l'utilisation de la symbiose rhizobienne, le prélèvement de phosphore et le rendement en grains ont été significativement affectés par l'association.

### **1. Effet de l'association orge-féverole sur les paramètres de croissance**

Nos résultats ont rapporté que la hauteur et le diamètre de tiges de l'orge a engendré une augmentation significative dans la modalité de culture association par rapport à la modalité de culture pure. Ainsi, une augmentation significative est observée de la biomasse des parties aériennes ainsi que celles des racines du l'orge associé avec la féverole.

L'amélioration de la croissance des céréales grâce aux légumineuses est rapportée dans la littérature comme dans le cas des systèmes de culture en association blé dur-pois chiche (Bentencourt et al., 2012).

Nos résultats sont similaire a celles de Shahbazi et al. (2012) qui ont observé une augmentation de diamètre de tige du maïs lorsqu'il est associé avec le niébé et la féverole. Nos résultats sont en accord aussi avec ceux de Legwaila et al. (2009) et Latati et al. (2013) qui ont rapportés une stimulation significative de la biomasse du l'orge lorsqu'elle est associée avec le niébé.

### **2. Effet de l'association orge-féverole sur la nodulation**

Dans notre étude nous avons observé une augmentation significative du nombre de nodules de la féverole sous l'effet de l'association. Plusieurs auteurs ont rapporté une augmentation du nombre de nodules chez le pois chiche et le niébé en association avec le maïs (Li et al., 2004).

Dans notre étude nous avons observé une diminution significative de la biomasse des nodules de la féverole en association avec l'orge ; cette réduction peut être expliquée par la déficience en phosphore et la compétition interspécifique entre l'orge et la féverole en association.

Il est possible que la diminution de la biomasse nodulaire sous la déficience en P, soit partiellement compensée par une augmentation du nombre de nodules, ce qui pourrait être due à un changement génétique des souches efficaces de rhizobia impliquées dans la nodulation (Depert et laguerre, 2008).

### **3. Efficacité de l'utilisation de la symbiose rhizobienne légumineuses**

La corrélation entre la biomasse nodulaire et la biomasse aérienne de la féverole renseigne sur la meilleure efficacité d'utilisation de la symbiose rhizobienne qui a été enregistrée dans la modalité culture associée.

Ce résultat peut être expliqué par l'interaction positive qui peut provoquer l'augmentation du prélèvement de l'azote par l'orge en association avec la féverole ou par l'effet de la compétition interspécifique du l'orge en association avec la féverole concernant l'utilisation des ressources.

La plupart des études sur le système d'association céréales-légumineuses ont rapporté une fixation accrue de  $N_2$  chez les légumineuses due à leur interaction positive ou leur compétition interspécifique avec les céréales sur le prélèvement de N (Li et al., 2008, Naudin et al., 2010, Latati et al., 2013).

Des études en pleine champ ont rapporté des résultats similaires aux nôtres concernant l'augmentation de la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique chez la féverole associé avec le blé dur (Li et al., 2009, Naudin et al., 2010).

### **4. Effet de l'association sur la teneur en phosphore (P) dans les différentes parties de la plante**

Nos résultats ont montré que l'association orge-féverole augmente considérablement la concentration de phosphore dans les parties racinaires et aériennes chez les deux espèces.

En effet, la teneur en phosphore dans la partie aérienne chez l'orge cultivée en association avec la féverole a engendré une augmentation significative par rapport à l'orge en culture pure. Cette augmentation peut être expliquée par l'occupation de l'espace par les racines et leur capacité de prélèvement et le partage du nutriment, le phosphore dans ce cas.

Hill et al. (2006) rapportent que les caractéristiques des racines responsables de la facilitation améliorant l'absorption du phosphore, incluent un rythme rapide de l'allongement des racines avec une biomasse racinaire et foliaire élevée.

De plus, chez l'orge en association, l'augmentation de la concentration en phosphore dans les différentes parties de la plante est forcément due à l'effet positif de la féverole sur l'amélioration de la biodisponibilité du phosphore.

Les légumineuses, en s'appuyant sur la fixation de N<sub>2</sub>, peuvent contribuer à augmenter la disponibilité du phosphore dans la rhizosphère à travers des mécanismes d'acidification de la rhizosphère résultant d'une augmentation de la libération de protons H<sup>+</sup> par les racines nodulées, des acides organiques ou les acides phosphatases (Tang, 2004, Hisinger et al., 2003 ; Alkama et al., 2009, 2012, Bargaz et al., 2012, Latati et al., 2014 ; Lazali et al., 2016).

Les acides organiques agissent dans le sol en tant que ligands qui entrent en compétition avec l'anion phosphate. Ils provoquent ainsi la libération du phosphore par la désorption du phosphore des minéraux (Khiari et Parent, 2003).

## **5. Effet de l'association orge-féverole sur les paramètres de rendement**

Nos résultats ont rapporté une augmentation du rendement de l'orge cultivée en association avec la féverole par rapport à l'orge en culture pure.

Cette augmentation du rendement peut être expliquée par la forte fixation symbiotique de l'azote atmosphérique par la féverole en association qui contribue à une meilleure accumulation de l'azote dans la rhizosphère de l'orge associée.

Nos résultats sont similaires à celles de Haymes et al. (1999), qui ont rapporté une augmentation de 40% du rendement en grains chez le blé associé avec le haricot.

L'augmentation du rendement des céréales sous l'effet de l'association avec les légumineuses est rapportée dans la littérature chez le maïs cultivé en association avec la féverole (Dahmardeh et al., 2010).

En revanche, l'association céréale-légumineuse a entraîné une réduction du rendement en grains de la féverole par rapport à la modalité de culture pure. Cette réduction de rendement peut être expliquée par l'effet de la compétition exercée par l'orge pour la lumière, l'eau et les éléments minéraux.



# **Conclusion générale**

## **Conclusion générale**

Bien que traduisant un effet négatif d'une espèce sur l'autre, les phénomènes de compétition interspécifique peuvent induire un gain de rendement lorsque les espèces associées se complètent et utilisent plus efficacement les ressources que les cultures monospécifiques correspondantes (Willey, 1979). Cela se produit notamment lorsque les composantes ne sont pas en forte compétition pour les mêmes ressources (dans le temps, l'espace ou la forme chimique), ce qui se traduit par des compétitions interspécifiques inférieures aux compétitions intraspécifiques.

Dans le cas des associations céréale - légumineuse à graines, les deux espèces sont en compétition pour l'azote du sol mais celle-ci peut s'avérer négligeable. En effet, les légumineuses ont la capacité d'utiliser l'azote de l'air pour lequel elles ne sont pas en compétition avec la céréale, ce qui leur permet de compenser la compétition exercée par la céréale pour l'azote minéral du sol, à ceci près que la fixation symbiotique a un certain coût énergétique. Les avantages des associations sont donc souvent considérés comme étant positivement corrélés avec le niveau de complémentarité entre les deux espèces associées pour l'utilisation des ressources en azote (Hauggaard-Nielsen et al., 2001). Ceci confirme donc l'intérêt de ces systèmes dans les situations à bas niveaux d'intrants azotés dans lesquels l'azote est une ressource limitante mais également pour les cultures ayant des besoins importants en azote comme le blé dur par exemple.

Nos résultats montrent un effet positif de l'association orge-féverole sur l'augmentation de la croissance en biomasse des parties aériennes, racinaires ainsi que celles du rendement de l'orge. L'association orge-féverole a induit une augmentation de la nodulation de la féverole ainsi que l'efficacité d'utilisation de la symbiose rhizobienne.

Les résultats obtenus confirment que la facilitation du prélèvement du phosphore de sol est favorisée en association en comparaison avec la culture pure.



# **Références bibliographiques**

## Références bibliographiques

- Alkama N, Bolou Bi Bolou E, Vailhe H, Roger L, Ounane SM, Drevon JJ (2009)** Genotypic variability in P use efficiency for symbiotic nitrogen fixation is associated with variation of proton efflux in cowpea rhizosphere. *Soil Biol Biochem* 41: 1814-1823.
- Anne P (1945)** Le dosage rapide du carbone organique dans les sols. *Ann. Agron.* Avril, Mai, Juin, 1945, 5<sup>ème</sup> année, no 2, 161-172 p.
- APG (2003)** An update of the Angiosperm phylogeny group classification for orders and families of flowering plants: APG 2. *Bot. J. Linn. Soc.* 141, 399-436.
- Balboa C (2008)** Diversity and activity of phosphate bioleaching bacteria from a high-phosphorus iron ore. *Hydrometallurgy*.92:124 –129.
- Barakat-Nuq. (1999)** Les céréales. 2-84270-177-1 Barber S. A. (1995) Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach. in *Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach*. John Wiley and Sons, New York USA.
- Bargaz A, Ghoulam C, Amenc L, Lazali M, Faghire M, Abadie 1 and J, Drevon JJ (2012)** A phosphoenol pyruvate phosphatase transcript is induced in the root nodule cortex of *Phaseolus vulgaris* under conditions of phosphorus deficiency. *J. Exp Bot* 63(13): 4723-4730.
- Bedoussac L, Justes E (2010)** The efficiency of a durum wheat-winter pea intercrop to improve yield and wheat grain protein concentration depends on N availability during early growth. *Plant and Soil*. 330, 19-35.
- Bentencourt E, Duputel M, Colomb B, Desclaux D, Hinsinger P (2012)** Intercropping promotes the ability of durum wheat and chickpea to increase rhizosphere phosphorus availability in a low p soil. *Soilbiolbiochem*. 46 : 21-33.
- Boubey L. (2001)** L'orge a deux ranges (*Hordeum Distichon*) dans l'agriculture Gallo-Romaine : données Archéobotaniques. *Revu d'archeometrie*. 399.1237. 35p.
- Bosse D, Kock M(1998)**. Influence of phosphate starvation on phosphohydrolases during development of tomato seedlings. *Plant Cell Environ*. 1998;21:325–32.
- Brink M, et Belay G (2006)** Céréales et légumes secs.90-5782-172-9. Bruno, J.F. Stachowicz J.J., Bertness M.D. (2003) Inclusion of facilitation into ecological theory. *Trends in Ecology and Evolution*. 18: 119-125.
- Caldwell M, Schulze E, Zwölfer H (1987)** Plant architecture and resource competition. Potentials and limitations of ecosystem analysis. *Ecological studies*. 61, 164-179.

**Callaway, R. M. (1995)** Positive interactions among plants. *Botanical Review*. 61:306-349.

**Christophe N, Corre-Helloul G (2015)** Associations blé-pois: du fonctionnement au raisonnement de la conduite. UP120 LEVA (Légumineuses, Écophysiologie Végétale, Agro écologie) - SFR 4207 QUASAV ESA (École Supérieure d'Agricultures - Angers Loire) - Membre de l'Université Bretagne Loire 55 rue Rabelais - BP 30748 - 49007 Angers Cedex 01 (France).

**Corre-Hellow G, etcrozat Y (2005)** Assessment of root system dynamic of species grown in mixtures under field conditions using herbicide injection and <sup>15</sup>N natural abundance methods: a case study with pea, barley and mustard. *Plant soil*. 276 :177-192.

**Dahmardeh M, Ghanbari A, SyahsarBA, Ramroli M (2010)** The role of intercropping maize (*Zea mays* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* L.) On yield and soil chemical properties. *African res*. 5 (8): 931-636.

**Dakora F D, Spriggs AC, Ndakidemi PA, Belane A (2008)** Measuring N<sub>2</sub> Fixation in legumes using <sup>15</sup> N natural abundance; some methodological problems associated with choice of reference: Towards Poverty Alleviation through Sustainable agriculture. Springer. 38-43.

**Daoud Y (2011)** Méthodes d'analyses des sols, ENSA. Alger.

**Dapaah HK, Asafu-Agyei JN, Ennin SA, Yamoah C (2003)** Yield stability of cassava, maize, soya bean and cowpea intercrops. *J. Agric. Sci*. 140: 73-82

**Dawson C.J, Hilton J, (2011)** Fertilizer availability in a resource-limited world: production and recycling of nitrogen and phosphorus. *Food Policy*.36, 14–22.

**De Kroon H (2007)** Ecology: how do roots interact? *Science*. 318: 1562–1563.

**Delvasto P, Valverde A, Ballester A, Muñoz JA, González F, BlázquezML, Igual JM, García-Depert G, Laguerre G (2008)** Plant phenology and genetic variability in root and nodule development strongly influence genetic structuring of *Rhizobium leguminosarum* biovar *viciae* populations nodulating pea. *New phytologist*.179: 224-235.

**Devau N, Le cadre E, Hinsinger P, Gérard F (2010)** A mechanistic model for understanding root-induced chemical changes controlling phosphorus availability. *Ann Bot* 105 : 1183-1197.

**Devau N, Le Cadre E, Hinsinger P, Jaillard B, Gerard F (2009)** Soil pH controls the environmental availability of phosphorus: Experimental and mechanistic modelling approaches. *Applied Geochemistry*. 24: 2163-2174.

**D'Haeze W, Holsters M (2002)** Nod factor structures, responses, and perception during initiation of nodule development. *Glycobiology*.12, 79R-105R.

- Doré C, Varoquaux F, Coordinateurs (2006).** Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées. 496p.
- Doyle J.J & Luckow M.A (2003)** The rest of the iceberg: legume diversity and evolution in a phylogenetic context. *Plant Physiol.* 131: 900–910.
- Duhoux E, and Nicole M (2004)** Biologie végétale: Associations et interactions chez les colloques.100, 59-68.
- Duranti M (2006)** Grain legume proteins and nutraceutical properties, *fitoterapia*.77(2006) 67-82.
- Dyson T (1999)** World food trends and prospects to 2025. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 96, 5929–5936.
- Fardeau J. C. (1981)** Cinétiques de dilution isotopique et phosphore assimilable des sols. Thèse Université Paris VI. 198 p.
- Feillet P (2000)** Le grain de blé. Composition et utilisation mieux comprendre. INRA .ISSN: 1144-7605.
- Frey-Klett P, Churin J.L., Pierrat J.C., Garbaye J (1999)** Dose effect in the dual inoculation of an ectomycorrhizal fungus and a mycorrhiza helper bacterium in two forest nurseries. *Soil Biol. Biochem.* 31: 1555-156.
- Fridley J.D. (2001)** The influence of species diversity on ecosystem productivity: how, where, and why? *Oikos* 93:514–526.
- Fustec J, Lesufleur F, Mahieu S, Cliquet B (2010)** Nitrogen rhizodeposition of legumes. A review. *Agronomy for sustainable development* 30, 57-66.
- Gadagi RS, Sa T (2002)** New isolation method for microorganisms solubilizing iron and aluminium phosphates using dyes. *Soil Science and Plant Nutrition.* 48: 615-618.
- Gage D. J. (2004)** Infection and invasion of roots by symbiotic, nitrogen-fixing rhizobia during nodulation of temperate legumes» *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 68(2): 280-300.
- Gallais A, Bannerot H (1992)** Amélioration des espèces végétales cultivées. 58 p.
- GNIS., (1990).** Les biotechnologies appliquées à l'amélioration des plantes « SDA Identification des variétés d'orge. ASFIS et GNIS, Paris.56 p.
- Goldstein, A.H., (2007).** Future trends in research on microbial phosphate solubilization: one hundred years of insolubility. In: Velázquez, E., Rodríguez- Barrueco, C. (Eds.), *First International Meeting on Microbial Phosphate Solubilization*. Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 91–96.
- Grenoble Perry J.J., Stalex J.T., Lory S (2004)** Microbiologie cours et questions de révision. Edition Dunod. Paris. France.

**Gupat M, Abu-Ghannam, Gallagher E (2010)** Barley for brewing : characteristic changes during malting, brewing and applications of its by-products, comprehensive reviews in food science and food safety. *Inst Food Technol.* 9,318-328.

**Hägstrom J, James W. M., Skene K. R. (2001)** A comparison of structure, development and function in cluster roots of *Lupinus albus* L. under phosphate and iron stress. *Plant and Soil* 232: 81-90.

**Hakimi M (1993)** L'évolution de la culture de l'orge : le calendrier climatique traditionnel et les données agrométéorologiques modernes.

**Hanifi L (1999)** Contribution à l'étude de l'hétérosis et de l'intérêt des F1, F2 et lignées Haploïdes doubles chez l'orge. Thèse de doctorat d'Etat. Univ des sciences et technologies de lille. 177 p.

**Harris D, Natarajan M, Willey R.W. (1987)** Physiological basis for yield advantage in a sorghum/groundnut intercrop exposed to drought. 1. Dry-matter production, yield, and light interception. *Field Crops Research* 17, 259-272.

**Hauggaard-Nielsen H, Jensen ES (2001)** Evaluating pea and barley cultivars for complementarity in intercropping at different levels of soil N availability. *Field Crops Res* 72:185–196. doi: 10.1016/S0378-4290(01)00176-9.

**Hauggaard-Nielsen H, Ambus P, Jensen E.S. (2001)** Interspecific competition, N use and interference with weeds in pea - barley intercropping. *Field Crops Research.* 70,101-109.

**Hauggaard –Nielsen H , Ambus P, Jensen Es (2001 )** Temporal and spatial distribution of roots and competition for nitrogen in pea-barley intercrops-a field study employing 32 p technique .*plant soil* 236 : 63-74 .

**Hauggaard-Nielsen H, Gooding M, Ambus P, Corre-Hellou G, Crozat Y, Dahlmann C, Dibet A, von Fragstein P, Pristeri A, Monti M, Jensen E.S. (2009)** Pea–barley intercropping for efficient symbiotic N $\beta$ -fixation, soil N acquisition and use of other nutrients in European organic cropping systems. *Field Crops Research.* 113, 64-71.

**Hauggaard-Nielsen H, Jensen E.S. (2005)** Facilitative root interaction in intercrops. *Plant and Soil.* 274:237–250.

**Hauggaard-Nielsen H, Jornsgaard B, Kinane J, Jensen E.S. (2007)** Grain legume—cereal intercropping: the practical application of diversity, competition and facilitation in arable and organic cropping systems. *Renew .Agric. Food Syst.* 23, 3–12.

**Hauggaard-Nielsen H, Jørnsgaard B, Kinane J, Jensen E.S. (2008)** Grain legume–cereal intercropping: the practical application of diversity, competition and facilitation in arable and organic cropping systems. *Renew. Agric. Food Sys.* 23, 3–12.

**HAYNES R J, (1980)** competitive aspects of the grass-legume association, *Adv Agron* 33, 227-261.

**HAYMES R ET Lee H.c. (1999)** Competition between autumn and spring planted grain intercrops of wheat (*Triticum aestivum*) and field bean (*Vicia faba*). *Field crop RES*, 62,167-176.

**Hill JO, SIMPSON R J, MOORE D A, Chapman DF (2006)** Morphology and response of roots of pasture species to phosphorus and nitrogen nutrition. *Plant soil*.2867-19.

**Hinsinger P, Betencourt E, Bernard L, Brauman A, Plassard C , Shen J , Tang X , Zhang F (2011 )** P for Tow sharing a scarce resource e soil phosphorus acquisition in the rhizosphere of intercropped species . *Plant physiol*151: 1078-1086.

**Hinsinger P (2001)** Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root induced chemical changes: a review. *Plant and Soil* 237:173–195.

**Hinsinger p, Phassard c, tang c, Jaillard B (2003)** origins of root – mediated ph changes in the rhizospher and their responses to environmental constraints, a review .*plant soil* 2008,43-59.

**Hinsinger, hinsinger@supagro.inra.fr (2012)** Les Cultures Associées Céréale / Légumineuse. En agriculture « bas intrants » dans le Sud de la France.

**Hopkins, W.G., (1999).** Introduction to Plant Physiology, Second ed. Wiley Inc., New York.

**Hopkins W.G. (2003)** Introduction to plant physiology. Second edition. Eds: De Boeck, De Boeck University, Belgique p, 68-101.

**IHadria R. (2006)** Adaptation et spatialisation des modèles strics pour la gestion d'un périmètre céréalier irriguée en milieu semi aride. Thèse de doctorat.univ Cadi AYYAD Samlalia- Marrakech.

**ITCF (1987).** Logiciel STAT-ITCF. Ed. ITCF. Service des études statistiques et informatiques.

**ITGC (2003)** Institut Technique des Grandes Cultures. La féverole 6p.

**ITGC (2015)** Centre National Contrôle de Certification des semences et plantes (CNCC) .Bulletin des variétés de céréales autogames. Ed 2015.

**ITGC (2013)** La culture de l'orge (*Hordeum vulgare*). Ministre De l'Agriculture et de Développement Rural. Direction de la Formation de la Recherche et de la Vulgarisation .Institut Technique des Grandes cultures.

**Jackson B, Sperry S, Dawson E (2000)** Root water uptake, and transport: using physiological processes in global predictions. *Trends in plant science* 5, 482-488.

- Jean-Yves M (2010)** Identifier les céréales cultivées de la région toulousaine. 59p.
- Jensene S (1996)** Grain yield, symbiotic N<sub>2</sub> fixation and interspecific competition for inorganic N in pea-barley intercrops. *Plant soil* 182, 25-38.
- Khaldoun A (1989)** Etude de comportement de l'orge exploitée à double fin. 77 p.
- Khan MS, Zaidi A, Musarrat J (2010)** *Microbes for Legume improvement*. Ed. Springer. Wien New York, printed in Germany, 535 p.
- Khiari L et parent LE (2003)** Les engrais organo-minéraux à valeur ajoutée, pour meilleure fertilisation intégrée des agro écosystèmes. Colloque de l'association québécoise des spécialistes en sciences du sol (AQSSS), 17e congré. University de Sherbrook. Lamont B. B. (2003) Structure, ecology and physiology of root clusters - a review. *Plant and Soil* 248:1-19.
- Latati M, Pansu M, Drevon JJ, Ounane SM (2013)** Advantage of intercropping maize (*Zea mays* L.) and common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) on yield and nitrogen uptake in northeast Algeria. *International journal of research in applied sciences*, 01, 23-29.
- Latati M, Blaved D, Alkama N, Laoufi H, Pansu M, Drevon JJ, Genard F, Ounane SM (2014)** The intercropping cowpea-maize improves soil phosphorus availability and maize yields in an alkaline soil. *Plant soil* 385 : 181-191.
- Lazali M, Brahim S, Merabet C, Latati M, C Benadis, RT Maougal, (2016)** Nodular diagnosis of contrasting recombinant inbred lines of *Phaseolus vulgaris* in multi-local field tests under Mediterranean climate *European Journal of Soil Biology*. 73, 100-107.
- Louarn G, Corre-Hellou G, Fustec J, LO-Pelzer E, Julier B, Litrico I (2010)** Déterminants écologiques et physiologiques de la productivité et de la stabilité des associations graminées-légumineuses. *Innovations Agronomiques* 11, 79-99.
- Leggett M.E., S.C. Gleddie, Holloway G. (2001)** Phosphate-solubilizing microorganisms and their use. p299318. In N. Ae et al, (ed.) *Plant nutrient acquisition: New perspectives*. Springer-Verlag,
- Léon J (2010)** Genetic diversity and population differentiation analysis of Ethiopian barley (*Hordeum vulgare* L.) Landraces using morphological traits and 55 R Markers (Internet). Available from : hssulb. Uniboende /2010/.
- Li, L, Sun J, Zhang F, Guo T, Bao X, Smith F.A., Smith S.E. (2006)** Root distribution and interactions between intercropped species. *Oecologia* 147:280–290.

- Lifshitz R, Klopper JW, Kozłowski M, Simonson C, Carlson J, Tipping EM ET Zalesca I (1987)** Growth promotion of canola (rapeseed) seedling by a strain of *Pseudomonas putida* under gnotobiotic conditions. *Can J Microbiol*, 33: 390-5.
- Lindström K, Murwira M, Willem A, Altier N (2010)** the biodiversity of beneficial microbe-host mutualism :the case of rhizobia. *research in microbiology* 161 :453-463
- Li SM, Li L, Zhang F, Tang C (2004)** Acid phosphatase rol in chickpea-maize intercropping. *Ann Bot.* 94:297-303.
- Lithourgi AS, Dardas CA, Damalas CA, Vlachostergios DN (2011)** Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture. *Australian J crop Sci.* (4):396: 410.
- Li YY, YUC, Cheng X, Li CJ, Sun JH, ZhangFS, Lambertes H, Li L (2009)** Intercropping alleviates the inhibitory effect of N fertilization on nodulation and symbiotic N<sub>2</sub> fixation of faba bean. *Plant soil* 223 : 295-308.
- Li K, Xu C, Zhang K, Yang Y, and Zhang J (2007)** Proteomic analysis of roots growth and metabolic changes under phosphorus deficit in maize (*Zea mays* L.) plants. *Proteomics.* 7, 1501–1512.
- López-Bucio J, Cruz-Ramirez A, Herrera-Estrella L (2003)** The role of nutrient availability in regulating root architecture. *Current Opinion in Plant Biology* 6:280-287.
- Louarn G, Corre-Hellou G, Fustec J, LO-Pelzer E, Julier B, Litrico I (2010)** Déterminants écologiques et physiologiques de la productivité et de la stabilité des associations graminées-légumineuses. *Innovations Agronomiques* 11, 79-99.
- Maire V (2005)** Evaluation expérimentale d'un modèle de prélèvement du phosphore par une culture de maïs irriguée sur un sol sableux landais INRA Bordeaux, rapport de recherche.50
- Marcel Mazoyer P (2002)** Larousse agricole (4<sup>ème</sup> édition). 225-226 p.
- Machrafi Y (2001)** Inhibition de la symbiose *Rhizobium-Légumineus* e par les acides phénoliques provenant des écorces de résineux. Mémoire pour l'obtention du grade de maître des sciences. Université Laval.
- MDAR (2014).** Statistique de Ministre De l'Agriculture et du Développement Rural.
- Malézieux E, Crozat Y, Dupraz C, Laurans M, Makowski D, Ozier-Lafontaine H et al (2009)** Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 29, 43 62.

**Morel C (1988)** Analyse, par traçage isotopique, du comportement du phosphore dans les systèmes sol engrais- plante : conséquences en matière de fertilisation. Thèse de Doctorat, Université Aix Marseille III.

**Mossab (1991)** Culture à double fin avec la filière blé. OAIC. 213-220p.

**Naudin C, Corre-Hellou G, Pineau S, Crozat Y, Jeuffroy M.-H.(2010)** The effect of various dynamics of N availability on winter pea-wheat intercrops: Crop growth, N partitioning and symbiotic N<sub>2</sub> fixation. *Field Crops Research* 119, 3-11.

**Nuruzzaman M, Lambers H, Bolland M.D.A., Veneklaas E.J.(2006)** Distribution of carboxylates and acid phosphatase and depletion of different phosphorus fractions in the rhizosphere of a cereal and three grain legumes. *Plant and Soil* 281:109–120.

**Ofori F, Stern, W.R. (1987)** Cereal-legume intercropping systems. *Adv. Agron.*41, 41–90.

**Olorunmaiye P. M (2010)** Weed control potential of five legume cover crops in maize /cassava intercrop in a southern Guinea savanna ecosystem of Nigeria. *Australian J Crop Sci* 4:324-329.

**Ozier-Lafontaine H, Lafolie F, Bruckler L, Tournebize R, Mollier A (1998)** Modelling competition for water in intercrops: theory and comparison with field experiments. *Plant and Soil* 204, 183-201.

**Pankhurst CE, Doube BM, Gupta VVSR, Grace PR, editors (1994)** Soil Biota and Management in Sustainable Farming Systems. Melbourne, Australia: CSIRO.50-62 p.

**Paquereau J, Fleury B et Admet (2013)** Aujardin de plantes de la bible. Notanique, symboles et 4 usages. 158p.

**Pearse S.J., Veneklaas E.J., Cawthray G, Bolland M.D.A., Lambers H (2006)** *Triticum aestivum* shows a greater biomass response to a supply of aluminium phosphate than *Lupinus*.

**Patriarca E.J., Tate R, Ferraioli S, Iaccarino M (2004)** Organogenesis of legume root nodules. *Int. Rev.Cytol.* 234: 201-62.222.

**Pearse S.J, Veneklaas E.J, Cawthray G, Bolland M.D.A, Lambers H (2006)** *Triticum aestivum* shows a greater biomass response to a supply of aluminium phosphate than *Lupinus albus* despite releasing fewer carboxylates into the rhizosphere. *New Phytologist* 169:515-524. .

**Pelmont J (1995)** Bactérie et environnement. Vol 2. Office des Publication Universitaire.

**Plante A.F. (2007)** Soil biogeochemical cycling of inorganic nutrients and metals. In: Paul E. A. (Eds.), *Soil microbiology and biochemistry* Elsevier Academic Press, Burlington, USA. 391-398 p.

- Pousse T (2004)** Associations de céréales et de légumineuses : quelques éléments importants pour réussir.
- Raghothama K.G. (1999)** Phosphate acquisition. *Ann.Rev. Plant Physiol.Plant Mol.Biol.* 50, 665–693.
- Rasanen L (2002)** Biotic and abiotic factors influencing the development of N<sub>2</sub>-fixing symbioses between rhizobia and the woody legumes *Acacia*. These de doctorat de l'université d'Helsinki.Finlan Oldroyd.220 p.
- Raven P. H., Evert R. F, Eichlorn S. E. (2000)** *Biologie végétale*.6ème Edition de boeck, Paris.
- Richardson A.E., Barea J.M., McNeill A.M., Prigent-Combaret C (2009)** Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. *Plant and Soil* 321:305–339.
- Rodriguez H et Fraga R (1999)** Phosphate Solubilizing bacteria and their role in plant Growth promotion. *Biotechnology Advances*, 17:319-339.
- Santos M.A., Nicola's M.F, Hungria M (2006)** symbiosis of *Bradyrhizobium japonicum*, *B. elkanii*. Identification of QTL associated with the and soybean. *Pesq.Agrop.Bras.*41: 67-75
- Schöll (2005)** *Agrodok 2 .Gérer la fertilité du sol.*90-8573-002-3. 22-24p.
- Shahbazi M and Mansour S (2012)** Evaluating Maize Yield in intercropping with Mungbean *Annals of Biological Research*, 2012,3 (3) : 1434-1436.
- Sinoquet H, Rakocevic M, Varlet-Grancher C (2000)** Comparison of models for daily light partitioning in multispecies canopies. *Agricultural and Forest Meteorology* 101, 251-263.
- Soltner (1988)** *Les bases de production végétale, les collections sciences techniques agricole* 16ème édition, 464p.
- Soltner D (2005)** *Les grandes productions végétales*. 20ème Edition. Collection science et techniques agricoles. 472p
- Tang C, Malay CDA, Barton L (1997)** A comparison of proton excretion of twelve pasture legumes grow in nutrient solution. *Australian JEXP Agric* 37:563-570.
- Tang C, Drevon JJ, Jaillard B, Souche G, Hinsinger P (2004)** Proton efflux of two genotypes of bean (*Phaseolus Vulgaris* L.) as affected by N nutrition and p deficiency plant soil 260: 59-68.
- Thompson L.M, Troeh F.R. (1973)** *Soils and Soil Fertility*. Mc Graw-Hill, Montreal.495p.
- Tokyo. Li H, Shen J, Zhang F, Clairotte M, Drevon JJ, Le cadre E, Hinsinger P (2008)** Dynamic of phosphorus fraction in the rhizosphere of common bean (*Phaseolus vulgaris* L) and durum wheat

(*Triticum turgidum* L.) grow in monocropping and intercropping systems. *Plant soil* 312: 139-150.

**Tsubo M, Walker S, Ogindo H.O (2005)** Assimilation model of cereal-legume intercropping systems for semi-arid regions. II. Model application. *Field Crops Research*.93 (1): 23-33.

**Vance C.P. (2001)** Symbiotic nitrogen fixation and phosphorus acquisition plant nutrition in a world of declining renewable resources. *Plant Physiol.* 127,390–397.

**Vance CP, Uhde-Stone C, Allan DL (2003)** Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytol* 157:423–447.

**Vance C.P, Uhde-Stone C, Allan D.L. (2003)** Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytologist* 157:423–447.etween intercropped species.*Oecologia* 147:280–290.

**Vandermeer j (1989)** *The ecology of intercropping* .cambridge, uk : cambridge university press.

**Venterink H.O. (2011)** Legumes have a higher root phosphatase activity than other forbs, particularly under low inorganic P and N supply. *Plant and Soil* 347:137–146.

**Vioque J, Manuel A, Giron –Calle J (2012)** Nutritional and functional properties of *Vicia faba* protein isolates and related fractions. *Food chemistry* 132:67-72.

**Vitousek PM, Porder S, Houlton BZ, Chadwick OA (2010)** Terrestrial phosphorus limitation: mechanisms, implications, and nitrogen– phosphorus interactions. *Ecol Appl* 20(1):5–15.

**Von Felten S, Hector A, Buchmann N, Niklaus P. A., Schmid B., Scherer-Lorenzen M (2009)** Belowground nitrogen partitioning in experimental grassland plant communities of varying species richness. *Ecology* 90:1389-1399.

**Walter D (2005)**. The environmental impact of genetically modified crop plants on the microbiology of the rhizosphere. Ph.D.thesis. Flinders University, South Australia.

**Willey RW (1979)** Intercropping its importance and research needs. Part 1.Competition and yield advantages. *Field Crop Abstr.*32, 1–10.

# **ANNEXES**

## Annexes

### 1. Février

#### Annexe 1 : Modélisation de la variable hauteur de la plante

Source de variation	DDL	SCE	CM	Test F	Pr
Blocs	3	9,375	3,125	6,818	0,075
Modalités de culture	1	21,125	21,125	46,091	0,007
Résidus	3	1,375	0,458		
Total	7	31,875			

#### Annexe 2 : Modélisation de la variable diamètre de la tige

Source de variation	DDL	SCE	CM	Test F	Pr
Blocs	3	0,003	0,001	1,000	0,500
Modalités de culture	1	0,008	0,008	6,818	0,002
Résidus	3	0,003	0,001		
Total	7	0,015			

#### Annexe 3 : Modélisation de la variable biomasse aérienne

Source de variation	DDL	SCE	CM	Test F	Pr
Blocs	3	0,250	0,083	3,571	0,162
Modalités de culture	1	0,000	0,000	0,000	0,003
Résidus	3	0,070	0,023		
Total	7	0,320			

#### Annexe 4 : Modélisation de la variable biomasse racinaire

Source de variation	DDL	SCE	CM	Test F	Pr
Blocs	3	0,194	0,065	3,039	0,193
Modalités de culture	1	0,281	0,281	13,235	0,036
Résidus	3	0,064	0,021		
Total	7	0,539			

#### Annexe 5 : Modélisation de la variable biomasse nodulaire

Source de variation	DDL	SCE	CM	Test F	Pr
Blocs	3	0,000	0,000	3,667	0,157
Modalités de culture	1	0,003	0,003	225,000	0,001
Résidus	3	0,000	0,000		
Total	7	0,003			

**Annexe 6** : Modélisation de la variable nombre de nodules

Source de variation	DDL	SCE	CM	Test F	Pr
Blocs	3	12,500	4,167	5,000	0,110
Modalités de culture	1	84,500	84,500	101,400	0,002
Résidus	3	2,500	0,833		
Total	7	99,500			

**Annexe 7** : Modélisation de la variable nombre de gousses/plant

Source de variation	DDL	SCE	CM	Test F	Pr
Blocs	3	1,145	0,382	3,046	0,192
Modalités de culture	1	11,689	11,689	93,301	0,002
Résidus	3	0,376	0,125		
Total	7	13,209			

**Annexe 8** : Modélisation de la variable nombre de grains/gousse

Source de variation	DDL	SCE	CM	Test F	Pr
Blocs	3	0,010	0,003	1,000	0,500
Modalités de culture	1	0,080	0,080	24,000	0,016
Résidus	3	0,010	0,003		
Total	7	0,100			

**Annexe 9** : Modélisation de la variable rendement en grain

Source de variation	DDL	SCE	CM	Test F	Pr
Blocs	3	29,654	9,885	827,450	0,0001
Modalités de culture	1	110,782	110,782	9273,661	0,0001
Résidus	3	0,036	0,012		
Total	7	140,471			

## 2. Orge

### Annexe 10 : Modélisation de la variable hauteur de la plante

Source de variation	DDL	SCE	CM	Test F	Pr
Blocs	3	1,000	0,333	0,111	0,948
Modalités de culture	1	72,000	72,000	24,000	0,016
Résidus	3	9,000	3,000		
Total	7	82,000			

### Annexe 11 : Modélisation de la variable diamètre de la tige

Source de variation	DDL	SCE	CM	Test F	Pr
Blocs	3	0,000	0,000	0,000	1,000
Modalités de culture	1	0,080	0,080	6,000	0,042
Résidus	3	0,040	0,013		
Total	7	0,120			

### Annexe 12 : Modélisation de la variable biomasse aérienne

Source de variation	DDL	SCE	CM	Test F	Pr
Blocs	3	0,494	0,165	1,436	0,387
Modalités de culture	1	3,781	3,781	33,000	0,020
Résidus	3	0,344	0,115		
Total	7	4,619			

### Annexe 13 : Modélisation de la variable biomasse racinaire

Source de variation	DDL	SCE	CM	Test F	Pr
Blocs	3	0,014	0,005	0,407	0,760
Modalités de culture	1	0,151	0,151	13,444	0,035
Résidus	3	0,034	0,011		
Total	7	0,199			

### Annexe 14 : Modélisation de la variable teneur en P dans la partie aérienne

Source de variation	DDL	SCE	CM	Test F	Pr
Blocs	3	0,000	0,000	35,667	0,008
Modalités de culture	1	0,010	0,010	80089,000	0,001
Résidus	3	0,000	0,000		
Total	7	0,010			

**Annexe 15** : Modélisation de la variable teneur en P dans la partie racinaire

Source de variation	DDL	SCE	CM	Test F	Pr
Blocs	3	0,000	0,000	0,565	0,675
Modalités de culture	1	0,000	0,000	57,327	0,005
Résidus	3	0,000	0,000		
Total	7	0,000			

**Annexe 16** : Modélisation de la variable nombre d'épi/plante

Source de variation	DDL	SCE	CM	Test F	Pr
Blocs	3	0,042	0,014	0,033	0,990
Modalités de culture	1	1,674	1,674	3,973	0,014
Résidus	3	1,264	0,421		
Total	7	2,981			

**Annexe 17** : Modélisation de la variable nombre de grains/épi

Source de variation	DDL	SCE	CM	Test F	Pr
Blocs	3	10,874	3,625	2,984	0,197
Modalités de culture	1	166,531	166,531	137,110	0,031
Résidus	3	3,644	1,215		
Total	7	181,049			

**Annexe 18** : Modélisation de la variable rendement en grain

Source de variation	DDL	SCE	CM	Test F	Pr
Blocs	3	823,924	274,641	159,559	0,001
Modalités de culture	1	2545,411	2545,411	1478,816	0,001
Résidus	3	5,164	1,721		
Total	7	3374,499			