

République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة خميس مليانة  
Université de Khemis Miliana  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre  
Département : Sciences Agronomique



Mémoire de fin d'étude  
En vue de l'obtention du diplôme de Master en  
**Domaine** : Sciences de la Nature et de la Vie  
**Filière** : Sciences Agronomiques  
**Spécialité** : Biotechnologie des Symbioses Végétales

**Adaptation à la déficience en phosphore chez la fève :**  
**Incidence sur la biodisponibilité du phosphore**  
**Dans la rhizosphère**

Présenté par :

M<sup>elle</sup> Besmouche Fatima

M<sup>elle</sup> Lounis Amina

Soutenu le : 20 Juin 2017, Devant le jury :

<b>Président</b>	M. Bousalhih Brahim	MCA	U. Khemis Miliana
<b>Promoteur</b>	M. Lazali Mohamed	MCA	U. Khemis Miliana
<b>Examineur</b>	M <sup>elle</sup> Ladraa Nawel	MAB	U. Khemis Miliana
<b>Examineur</b>	M <sup>me</sup> Tabouche Aicha	MAB	U. Khemis Miliana

**Année universitaire : 2016/2017**

ينتمي الفول إلى عائلة البقوليات التي تتميز با لقدرة على إنشاء علاقة تعايش مع بكتيريا التربة الريزوبيا التي تسمح بتثبيت الازوت الجوي. إن افتقار تربة حوض البحر الأبيض المتوسط للعناصر المعدنية خاصة عنصر الفسفور يشكل قيذا رئيسيا لنمو و تطور البقوليات المثبتة للازوت، وفي هذا السياق تركزت دراستنا على دراسة ثلاثة اصناف من الفول ( Aguadulce, Seville, Histel ). من أجل إدراك آليات التأقلم الافرو فيزيولوجية للأصناف المختارة تحت نقص عنصر الفسفور، النتائج المتحصل عليها من هذا العمل وجود تباين داخل الأصناف المدروسة، وأصناف (Aguadulce, Seville) هي الأكثر فعالية لاستخدام التعايش بالريزوبيا والفسفور وتثبيت النيتروجين على الرغم من انخفاض كمية الفسفور في التربة.

**الكلمات المفتاحية :** الفول، الريزوبيا، تثبيت الازوت الجوي، الفسفور، التعايش.

## Résumé

La fève *Vicia faba L.* est une légumineuse; Il est capable établir une relation symbiotique avec les *rhizobia* pour la fixation de l'azote. L'insuffisance des sols méditerranéens en minéraux, en particulier le phosphore (P) est une limitation majeure à la croissance et au développement des légumineuses fixant l'azote atmosphérique. Dans ce contexte, notre étude est portée sur l'étude de trois variétés de fève (Aguadulce, Séville et Histel) cultivée en symbiose avec des rhizobia du sol sous déficience en phosphore. L'objectif principal de ce travail est de comprendre les mécanismes agrophysiologiques d'adaptation de ces génotypes à la déficience en phosphore. Les résultats obtenus au cours de ce travail ont montré l'existence d'une variabilité au sein des variétés étudiés. En effet, les variétés Aguadulce et Séville sont les plus efficaces à utiliser la symbiose rhizobienne et à prélever le phosphore pour la fixation de N<sub>2</sub> en dépit de faible taux de P du sol.

**Mots clés :** fève, *rhizobia*, fixation de l'azote, phosphore, symbiose.

## Abstract

The faba bean *Vicia faba L.* is a legume; It is able to establish a symbiotic relationship with the *rhizobia* for the fixation of nitrogen. ; The inadequacy of Mediterranean soils in minerals; In particular, phosphorus (P) is a major limitation to the growth and development of legumes that bind atmospheric nitrogen. In this context, our study is based on the study of three varieties of bean (Aguadulce, Seville and Histel) cultivated in symbiosis with rhizobia of the soil under phosphorus deficiency. The main objective of this work is to understand the agrophysiological mechanisms of adaptation of these genotypes to phosphorus deficiency. The results obtained during this work showed the existence of variability within the varieties studied. Indeed, the Aguadulce and Seville varieties are the most efficient to use rhizobial symbiosis and to take phosphorus for N<sub>2</sub> fixation despite low soil P levels.

**Keywords:** The faba bean, *rhizobia*, phosphorus, symbiosis.

# Remerciements

En ces quelques lignes je tiens à remercier, Dieu le tout puissant de m'avoir donné la patience et le courage pour terminer ce travail, et toutes les personnes qui m'ont apporté leurs soutien et leurs aide tout au long de ce travail et plus particulièrement :

Mon promoteur **M. Lazali Mohamed**, Maître de conférences HDR à l'Université de Djilali Bounaama de Khemis Miliana pour avoir accepté de diriger et corriger ce mémoire, pour sa disponibilité et son temps, pour tous ses conseils. Qu'il trouve ici l'expression de mes sincères remerciements.

Je souhaite remercier aussi **M. Bousalhih Brahim**, Maître de conférences HDR à l'Université de Djilali Bounaama de Khemis Miliana, d'avoir accepté de présider ce jury.

Je tiens à remercier également **Melle Ladaraa Nawel** Maitre-assistant classe B à l'Université de Djilali Bounaama de Khemis Miliana, ainsi que **Mme Tabouche Aicha** Maitre-assistant classe B à l'université de Djilali Bounaama de Khemis Miliana, d'avoir accepté d'examiner mon travail.

J'exprime ma gratitude à l'ensemble du personnel de laboratoire de productions végétales de L'ENSA d'Alger et surtout Mme Slimani Asma pour leurs gentillesse, leurs disponibilités et leurs aides.

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1:</b> Effet de la date de semis sur les composantes du rendement de la fève Séville Beni Slimane 1993).....	<b>7</b>
<b>Tableau 2:</b> Composition chimique moyenne pour 100 g net de fève .....	<b>9</b>
<b>Tableau 3:</b> Evaluation de la superficie et production de la fève et féverole en Algérie (FAOSTAT, 2015) .....	<b>10</b>
<b>Tableau 4:</b> Températures mensuelle de la campagne (2016-2017). ANRH 2017.....	<b>24</b>
<b>Tableau 5:</b> Pluviométrie mensuelle de la campagne (2016-2017) .....	<b>24</b>
<b>Tableau 6:</b> Analyse physico-chimiques du sol .....	<b>30</b>

## Liste des figures

<b>Figure 1 :</b> Photo de partie de plante de la fève ( <i>vicia faba L.</i> ).....	2
<b>Figure 2 :</b> Cycle simplifié du P montrant la répartition du stock total de P du sol entre les Différents pools de P.....	13
<b>Figure3:</b> Schéma du cycle simplifié de P dans un écosystème cultivé présentant les flux possibles entre les différents réservoirs de P (Morel et al., 2006) .....	17
<b>Figure4 :</b> Localisation du site d'expérimentation .....	23
<b>Figure5:</b> Le matériel végétal concerné par l'étude .....	26
<b>Figure 6 :</b> Dispositif expérimental de l'essai .....	27
<b>Figure 7:</b> schéma de parcelle élémentaire et les écartements de semis.....	27
<b>Figure 8 :</b> Variation de la hauteur de végétation chez les trois variétés de la fève.....	32
<b>Figure 9 :</b> Variation de la biomasse aérienne chez les trois variétés de fève.....	32
<b>Figure 10:</b> Variation de la biomasse racinaire chez les trois variétés de la fève.....	33
<b>Figure 11 :</b> Variation de la biomasse nodulaire chez les trois variétés de la fève.....	34
<b>Figure 12:</b> Variation de la longueur des racines chez les trois variétés de la fève .....	35
<b>Figure 13 :</b> Variation du nombre de nodules chez les trois variétés de la fève.....	35
<b>Figure 14:</b> Relation entre les biomasses aériennes et biomasse nodulaires chez Les différentes variétés de la fève.....	36
<b>Figure 15 :</b> Variation du nombre de gousses chez les trois variétés de la fève.....	38
<b>Figure 16 :</b> Variation du nombre de grains chez les trois variétés de la fève .....	39
<b>Figure 17 :</b> Variation de poids de cent grains chez les trois variétés des fèves .....	39
<b>Figure 18:</b> Variation de rendement en grains chez les trois variétés des fèves.....	40
<b>Figure 19:</b> Variation de la teneur en phosphore dans la partie aérienne chez les trois Variétés de la fève.....	41
<b>Figure 20 :</b> Variation de la teneur en phosphore dans la partie nodulaire chez les trois Variétés de la fève.....	41

## Liste des abréviations

**EUP** : Efficacité d'utilisation du phosphore

**EUSR** : European Union Special Representatives

**FAO**: Food and Agriculture Organisation

**FSN** : Fixation symbiotique d'azote.

**INA** : Institut National Agronomique

**INPV** : Institut National de la Production Végétale

**INRAA** : Institut National de Recherche Agronomique Algérie

**ITEDAS** : Institut Technique de Développement de l'Agronomie Scientifique

**ITGC** : Institut technique des grandes cultures

**MO** : Matière organique

**P**: Phosphore

**PEPCase**: Phosphoenol pyruvate phosphatase

**PH** : Potentiel hydrogène

**Pi** : Phosphore inorganique

**Mm** : Micromètre

# Sommaire

Introduction générale .....	1
-----------------------------	---

## Synthèse bibliographique

1. La fève ( <i>Vicia faba</i> L.) .....	3
2. Origine et historique de la fève .....	3
3. Taxonomie et caractéristiques botanique .....	3
3.1. Classification.....	3
3.2. Description botanique .....	4
3.3. Cycle biologique .....	7
4. Installation de la culture.....	7
4.1. Préparation du sol.....	7
4.2. Semis.....	7
4.3. Conduite de l'irrigation.....	8
4.4. Récolte de la fève.....	8
5. Importance de la fève .....	9
5.1. Importance agro-économique .....	8
5.2. Situation de la culture de la fève dans le monde et en Algérie .....	9
6. Contraintes de la culture de la fève en Algérie .....	11
6.1. Contraintes culturelles.....	11
6.2. Contraintes socio-économiques .....	11
6.3. Contraintes biotiques et abiotiques .....	11
7. La déficience du sol en phosphore.....	12
7.1. Le phosphore.....	11
7.2. Les formes du phosphore dans le sol .....	13
7.3. Biodisponibilité du phosphore dans le sol .....	15
7.4. Facteurs influençant la disponibilité du phosphore dans la solution du sol.....	16
7.5. Absorption et mobilisation de P inorganique dans la rhizosphère.....	18
7.6. Fixation symbiotique de l'azote sous déficience en phosphore.....	18
7.7. Stratégies adoptées par les plantes pour améliorer leur nutrition phosphatées.....	20

## Matériel et méthodes

1. présentation du site expérimental.....	23
2. Conditions climatiques.....	24
3. Conditions édaphiques .....	24
3.1. Analyse physique .....	25

3.2. Analyses chimiques.....	25
4. Matériel végétal.....	26
5. Dispositif expérimental.....	27
6. Gestion de l'essai.....	28
7. Paramètres mesurées.....	28
7.1. Prélèvement des échantillons.....	28
7.2. Détermination de la biomasse aérienne, racinaire.....	28
7.3. Détermination du nombre et du poids sec de nodosités.....	28
7.4. Efficience d'utilisation de la symbiose rhizobienne.....	28
7.5. Hauteur des plantes.....	29
7.6. Dosage du phosphore assimilable.....	29
7.7. Rendement et ses composantes.....	29
8. Analyse statistique.....	29

## **Résultats et discussions**

1. Caractéristiques physico-chimiques du sol expérimental.....	31
2. Evaluation des paramètres de croissance et de nodulation des plantes de la fève.....	31
2.1. Hauteur de plante.....	31
2.2. Biomasse aérienne.....	32
2.3. Biomasse racinaire.....	33
2.4. Longueur des racines.....	33
2.5. Biomasse nodulaire.....	34
2.6. Nombre de nodule.....	35
7. Efficience d'utilisation de la symbiose rhizobienne.....	36
3. Rendement et ses composantes.....	37
3.1. Nombre de gousses/ plant.....	37
3.2. Nombre de grains/gousse.....	38
3.3. Poids de 100 grains.....	39
3.4. Rendement en grains.....	40
3.6. Teneur en phosphore dans la partie aérienne.....	40
3.7. Teneur en phosphore dans les nodosités.....	41
Conclusion générale.....	44

Références bibliographiques

Annexe



# **Introduction générale**

## Introduction générale

Les cultures de légumineuses fournissent majoritairement des glucides (source d'énergie métabolique) et des protéines (sources d'éléments constitutifs et régulateurs) mais également une panoplie variée selon les espèces des autres éléments (lipides, fibres, éléments minéraux, vitamines) pour l'alimentation des hommes et des animaux. En plus grande partie des espèces de cette famille (88%) interagissent avec les bactéries dites Rhizobia pour former des nodules fixateurs d'azote, la production de légumineuse interagit avec d'autres cycles biogéochimiques comme ceux relatifs au phosphore. La présence de légumineuse dans les systèmes de production agricoles concourt à l'augmentation de la diversité fonctionnelle des agro écosystèmes, ce qui est favorable à la biodiversité des paysages et territoires agricoles. Elles contribuent ainsi à plusieurs titres à l'équilibre des systèmes agro écologiques.

Les légumineuses à graines permettent d'apporter au moins 33% des besoins humains en protéines alimentaires (Vance et al., 2000). Parmi les légumineuses, la fève est une culture importante, notamment pour les pays méditerranéens et la Chine (Crépona et al., 2010). La fève représente une production mondiale de 3515748 T. La Chine est le plus grand pays producteur avec 1650000 T pour la campagne 2009/2010. En Algérie c'est la légumineuse alimentaire la plus cultivée en Algérie. La superficie moyenne annuelle consacrée à cette culture est d'environ 60.000ha (les deux types) pour une production totale engrain secs de 250.000 tonnes. La production de la fève proprement dite (*Vicia faba major*) est aussi largement consommée en Algérie comme légume frais. La superficie occupée par ce segment a évolué rapidement entre 2000 et 2015 (en passant de 19.570 ha à 30.055 ha, niveau des plaines intérieures (Tlemcen, Chleff, Sidi Bel Abbas, Guelma, Mascara, Ain Defla) et dans la région de Biskra

Les rendements restent encore modestes à cause de nombreuses contraintes, tels que le déficit hydrique, la salinité, les variations de température, la déficience des sols en éléments minéraux surtout en P (Graham, 1981; Bennanie.al, 2005). En effet le phosphore est l'un des principaux éléments nutritifs limitant la productivité des légumineuses (Drevon et Sifi, 2000). La majorité P contenu dans les sols se trouve sous des formes minérales et organiques complexes qui ne sont pas directement utilisables par les plantes (Turner et al. 2005). La faible mobilité du Pi dans la solution du sol résulte de sa forte réactivité avec les constituants du sol. Seule une faible proportion de phosphore est alors présente sous forme de Pi en solution et sa concentration est estimée pour la majorité des sols entre 0,1 et 10  $\mu\text{M}$

(Hinsinger, 2001). Cette concentration est insuffisante face aux besoins nutritifs en P des légumineuses et la biodisponibilité en  $P_i$  devient alors rapidement un facteur limitant pour la production de biomasse, et la fixation symbiotique d'azote chez ces espèces.

Bien que le fève est une plante sensible au déficit en P la sélection de symbioses fève-rhizobia à haute efficacité d'utilisation de P pour la FSN sous déficit en P resterait une voie très prometteuse pour améliorer la production de cette espèce sur des sols à faible disponibilité en P. cette étude s'est fixée comme principaux objectifs : caractérisation agro-physiologiques de trois variétés de la fève (Aguadulce, Séville et Histel) dans le but de choisir les meilleures variétés qui tolèrent la déficience en phosphore.

**Synthèse  
bibliographiques**

## Synthèse bibliographique

### 1. La fève (*Vicia faba* L.)

La fève (*Vicia faba* L.) est l'un des légumineuses les plus anciennement cultivés dans le monde (Tanno et Willcox, 2006). Cette légumineuse constitue une source de protéines importante pour l'alimentation de l'homme et celle des animaux d'une part (Thalji et Shalalkeh, 2006) et permet une économie de la fertilisation azotée en raison de ses propriétés fixatrices d'azote atmosphérique d'autre part. Ces atouts la rendent très appréciée par les agriculteurs. La fève peut constituer une tête d'assolement très intéressante dans un programme de rotation.

Du fait que *Vicia faba* L. a été cultivée depuis longtemps dans des régions agro-climatiques diverses, les variétés locales offrent de nos jours un choix d'alternatives et une grande diversité génétique.

### 2. Origine et historique de la fève

La fève a été domestiquée très tôt dans le monde. Bien que son origine ne soit pas encore claire, il a été longtemps pensé qu'elle était originaire de la méditerranée ou de l'Asie de l'Ouest. D'autres auteurs comme (Nuessly et al., 2004) ; (Mikic ,2011), la considèrent originaire d'Asie centrale.

Selon (Cubero, 2011), le centre d'origine de *Vicia faba* L. serait le Proche-Orient, cette plante aurait été disséminée d'abord vers l'Europe centrale et la Russie puis vers l'Est de la méditerranée et à partir de l'Égypte et les côtes Arabes vers l'Abyssinie puis de la Mésopotamie vers l'Inde et la Chine. Au cours du 16<sup>ème</sup> siècle, la culture de la fève a été introduite en Amérique par les Espagnoles et vers la fin du 20<sup>ème</sup> siècle, elle a réussi à atteindre l'Australie.

### 3. Taxonomie et caractéristiques botanique

#### 3.1. Classification

Selon (Reta Sanchez et al.2008), la fève est classée botaniquement comme suit :

Règne :	<i>Plantae</i>
Sous-Règne :	<i>Tracheobionta</i>
Division :	<i>Magnoliophyta</i>
Classe :	<i>Magnoliopsida</i>
Sous-Classe :	<i>Rosidae</i>
Ordre :	<i>Fabales</i>
Famille :	<i>Fabaceae</i>
Genre :	<i>Vicia</i>
Espèce :	<i>Vicia faba L.</i>



**Figure1** : Photo de partie de plante de la fève (*vicia faba L.*)

D'après (Nuessly et al.,2004), la fève est subdivisée selon la taille des graines en 3 sous espèces qui sont :

- ✓ *Vicia faba* var. *minor*, ou féveroles dont les graines sont respectivement de petite taille et de taille moyenne, poids de 1000 graine est inférieur à 800 grammes. Elles sont principalement cultivées pour l'alimentation animale ou comme engrais vert.
- ✓ *Vicia faba* var. *equina*, ou la févette .La graine est de taille moyenne et le poids de 1000 graine est inférieur à 1500 grammes
- ✓ *Vicia faba* var. *major*, ou fève proprement dite se distingue par la taille importante de ses graines. Le poids de 1000 graines varie entre 1000 et 1500 grammes.

### 3.2. Description botanique

La fève est une plante annuelle, herbacée érigée et vigoureuse. Diploïde ( $2n = 12$  chromosomes) et partiellement allogame (Wang et al. ,2012) .Elle est formée d'un appareil végétal et d'un appareil reproducteur.

#### ■ Racines

Selon (Duc, 1997), le système racinaire de *Vicia faba L.* est formé par une racine principale pivotante et des racines secondaires portant des nodosités contenant des bactéries fixatrices d'azote (*Rhizobium leguminosarum*).

D'après (Chaux et Foury, 1994), le système racinaire de la fève peut s'enfoncer jusqu' à 80 cm de profondeur, les nodosités sont abondantes dans les 30 premiers centimètres.

## ■ Feuilles

Les feuilles alternes, composées-pennées, constituées par 2 à 4 paires de folioles ovales, sans vrille, de couleur vert glauque ou grisâtre. Les stipules bien visibles en forme dentée (Chaux et Foury, 1994).

## ■ Fleurs

Les fleurs sont de type papilionacé, de 2 à 3 cm de couleur blanche avec une tache noire sur les ailes (pétales latéraux des papilionacées).

Les plantes à fleur blanche sans tache noire ne comportent pas de tanin dans la graine (Boyeldieu, 1991).

L'inflorescence est en grappe axillaire de 1 à 6 fleurs sont constituées d'un calice à 5 sépales, d'une corolle blanche à 5 pétales (la carène, les ailes et l'étendard), de 10 étamines dont 9 sont soudées et 1 libre. L'ovaire est supère et sessile avec 2 à 4 ovules allant parfois jusqu'à 9. La floraison débute en moyenne au niveau du 7<sup>ème</sup> nœud et continue jusqu'aux 20 nœuds suivant (Brink et Belay, 2006)

Girard 1990 rapporte qu'il n'y a pas d'inflorescence terminale ce qui fait que la floraison est en principe indéfinie.

## ■ Fruits

Les fruits sont des gousses charnues qui peuvent avoir de 10 à 20 cm de long selon les variétés et contenir un nombre variable de graines (4 à 9). A l'état jeune, les gousses ont de couleur verte puis noircissant à maturité les gousses sont pourvues d'un bec et elles sont renflées au niveau des graines (Brink et Belay, 2006).

## ■ Graines

Les graines sont charnues, de couleur vert tendre à l'état immature, elles développent à maturité complète, un tégument épais et coriace de couleur brun rouge à blanc verdâtre et prend une forme aplatie à contour presque circulaire réniforme.

Les graines possèdent un hile clair ou de couleur noire parfois entouré de taches de couleur marron (Duc, 1997).

(Chaux et Foury, 1994) rapportent que la faculté germinative de la graine peut se maintenir 6 à 10 ans et même au-delà et que la graine est à germination hypogée c'est-à-dire que les cotylédons restent en terre et c'est l'épicotyle qui émerge du sol.

### 3.3. Cycle biologique

La fève est une plante annuelle, son cycle complet, de la graine à la graine est d'environ 5 mois. D'après (Brink et Belay, 2006), le développement de la fève est caractérisé par cinq stades principaux : germination et levée, développement végétatif, développement reproductif, sénescence de la gousse et sénescence de la tige.

## 4. Installation de la culture

### 4.1. Préparation du sol

C'est des opérations allant du labour initial, au disquage, au roulage, au hersage en vue d'assurer à la plante les conditions optimales de croissance et de développement en créant une meilleure structure possible du sol.

#### ■ Labour

Il est recommandé de procéder à un labour dans le but de travailler profondément le sol.

- Amélioration de l'aération du sol et de l'infiltration des eaux de pluie.
- La destruction des mauvaises herbes et leur enfouissement dans le sol.
- Exposer les insectes et leurs larves nuisibles au soleil et à leurs ennemis naturels (oiseaux par exemple).
- l'enfouissement des débris des cultures précédentes.
- Augmenter la perméabilité et la porosité du sol.
- Préparation du lit de semences, et un meilleur développement du système racinaire.

Le labour précoce, c'est –à-dire juste après la récolte du précédent cultural, est toujours recommandé.

#### ■ Lit de semence

La graine de la fève nécessite un lit de semences assez profond (6 à 8cm) en vue d'assurer une levée sûre et rapide et un développement rapide du système racinaire et une efficacité plus grande des herbicides de prélevée. Un tel lit de semences peut être obtenu par le passage des machines de façons superficielles à disques (cover-crop) et à dents (cultivateur, herse,...).

### 4.2. Semis

Le semis peut se faire, sous conditions, entre octobre et décembre en fonction de l'altitude et de la pluviométrie. Les semis précoces sont à faire en zones sèches et les semis tardifs en zones pluvieuses.

La date de semis influe directement sur la croissance et le développement de la fève, autrement dit, sur le rendement en gousses fraîches et graines. Ainsi, la hauteur de la plante, son pouvoir à donner plusieurs ramifications, la hauteur d'insertion des premières gousses, la sensibilité à la verse, aux maladies et aux plantes parasites (orobanche surtout) sont directement liées, pour une variété donnée, à la date de semis.



Le semis tardif (après décembre) en conditions pluviales réduit souvent le peuplement à la levée suite aux pertes importantes alors qu'un semis précoce (octobre) peut provoquer la verse de la culture et surtout les attaques de maladies (botrytis, par exemple) un semis tardif peut aussi exposer la fleur aux hautes températures de mai-juin qui provoquent l'avortement. Il réduit aussi la hauteur d'insertion des premières gousses par rapport au sol ce qui peut compliquer la récolte mécanique de la culture. Il faut enfin noter que le semis précoce permet une forte fixation d'azote atmosphérique par la plante.

**Tableau1** : Effet de la date de semis sur les composantes du rendement de la fève Cv. Séville Beni Slimane 1993.

Date de semis	Mi-octobre	Mi-novembre	Mi-décembre
Peuplement à la levée (plantes/m <sup>2</sup> )	38	27	29
Hauteur de la plante (cm)	129	86	73
Gousses/plante	6	3	3
Poids de 100 graines(g)	150	156	119
Rendement (q/ha)	6	7	3

#### 4.3. Conduite de l'irrigation

Bien que la fève soit généralement conduite en "Bour", elle répond bien aux apports d'eau. L'humidité du sol doit être maintenue au-dessus de 50% de la capacité au champ sur les premiers 30cm du profil. Pour une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau d'irrigation, il est préconisé de procéder à des irrigations pendant les phases critiques chez la fève.

Ces phases correspondent au début de la ramification, la floraison, et le remplissage des grains.

#### 4.4. Récolte de la fève

La maturité des fèves est indiquée par le brunissement et la chute des feuilles inférieures. La couleur des gousses devient foncée au fur et à mesure qu'elles durcissent. Les gousses de fève s'ouvrent et perdent les graines si on attend que la culture arrive à la pleine maturité. La récolte manuelle doit commencer dès que les deux gousses inférieures commencent à noircir.

A ce stade, la teneur en humidité des graines est entre 35 et 45%, alors que la récolte mécanique doit se faire lorsque la teneur en eau des graines est située entre 13 et 15%.

Pour pouvoir cibler ce stade avec précision, on recommande de faire un échantillonnage par prélèvement d'une vingtaine de plantes dans au moins six points de la parcelle à récolter. Les premiers lots de semences récoltées doivent être stockées pour être utilisées comme source de semences l'année d'après, vu qu'elles présentent plus d'humidité et sont par conséquent moins sensibles aux cassures qui risquent de réduire leur taux de germination.

## 5. Importance de la fève

### 5.1. Importance agro-économique

Comme toutes les légumineuses, la fève en association avec les rhizobia peut fixer jusqu'à 120 kg d'azote / ha (Workalemah, 2009). Ainsi, elle contribue au maintien de la fertilité des sols et permet d'économiser au moins une partie des frais d'intrants azotés coûteux et polluants pour l'environnement. Cette plante constitue également une source importante de protéine, elle est consommée soit comme des légumes verts ou en tant que des semences sèches (Bissar, soupe, etc.). Après la récolte, la paille est également utilisée pour nourrir le bétail. Les graines mûres de la fève constituent une bonne source de protéines, amidon, cellulose, vitamine C et de minéraux (Ibrahim et al., 2007).

Bien que la fève soit moins consommée dans les pays occidentaux, elle est l'une des principales sources des protéines et d'énergie pour beaucoup de populations en Afrique, en Asie et en Amérique latine.

**Tableau 2 :** Composition chimique moyenne pour 100 g net de la fève (Fachmann et Kraut, 2006).

Compositions (g)	Vitamine (mg)
Glucides .....10,0	Acide ascorbique..... 82, 00
Protides .....5, 40	Provitamine A (carotène).....0,100
Lipides. .... 0,30	B1 (thiamine)..... 0,300
Eau .....82,0	B2 (riboflavin)..... 0,200
Fibres alimentaire .....6, 50	B3 (nicotamide)..... 1,800
Minéraux (mg)	Acides amines essentiels (mg)
Potassium .....210,0	Tryptophane.....0,247
Phosphore .....105,0	lysine.....1,671
Calcium .....24,0	méthioni.....0,213
Magnésium.....18,00	phénylalanine.....10,103
Soufre .....27,00	Thréonine .....0,928
Sodium .....4,00	valine.....1,161
Chlore..... 14,00	leucine..... 1, 964
Fer ..... 6,7	isoleucine .....1,053
Zinc..... 3,14	

### 5.2. Situation de la culture de la fève dans le monde et en Algérie

La production mondiale de la fève sèche en graines en 2012 a atteint 4,2 millions de tonnes/an. Sur 2,5 millions d'hectares. Les principaux pays producteurs sont la chine (1,4 million de tonnes/an sur 953

000 hectares), l’Ethiopie (944000 tonnes/an sur 574 000 hectares), l’Australie (425 000 tonnes/an sur 160 000 hectares) et la France (273 000 tonnes/an sur 60 000 hectares). L’Afrique a produit en 2012 environ 1,5 million de tonnes de fève sèches. L’Ethiopie seul représente 62% de cette production suivie du Soudan et du Maroc par une production de 156 000 et 147 000 tonnes respectivement. La surface cultivée en Egypte est 127 000 hectares en 2000-2002, cette superficie est diminuée en 2010-2012 pour atteindre les 57 000 hectares, ce qui explique la diminution de la production qui a passée de 397 000 à 182 000 tonnes. La surface cultivée ainsi que la production au Maroc au cours de la même période ont augmenté, passant de 144 000 hectares avec une production de 67 000 tonnes à 155 000 tonnes produites sur 194 000 hectares. Cependant le rendement au Maroc est de 790 kg/ha et reste faible par rapport à l’Egypte dont le rendement est de 3 400 kg/ha (FAO, 2012).

Les données statistiques sur la superficie et la production de la fève en Algérie pour la décennie 2001-2015 sont présentées dans le tableau suivant :

**Tableau 3** : Evaluation de la superficie et production de la fève et féverole en Algérie (FAOSTAT, 2015).

Compagne agricole	Superficie (ha)	Production (qx)	Rendement (qx/ha)
2000/2001	31 416	211 760	6,64
2001/2002	33 565	228 880	6,82
2002/2003	34 028	306 810	9,02
2003/2004	36 767	320 450	8,72
2004/2005	35 031	268 330	7,66
2005/2006	33 537	242 986	7,25
2006/2007	31 284	279 735	8,94
2007/2008	30 688	235 210	7,66
2008/2009	32 278	364 949	11,31
2009/2010	27 782	366 252	8,93
2010/2011	27937	2 483 465	8,92
2011/2012	30 172	2 577 002	8,75
2012/2013	30 833	2 969 634	9,80
2013/2014	30 833	2 959 716	9,61
2014/2015	30 055	2 495 373	8,37

Il en ressort de ces données que la superficie moyenne réservée pour la culture de la fève en Algérie est de 31747 ha, elle présente des variations d'une année à une autre, ce qui influe sur la production qui

varie aussi, dont la moyenne de dix années est de 1087370 qx. Nous constatons également des fluctuations du rendement, qui présente une moyenne de 8.56qx/ha.

Le rendement maximal a été noté durant la campagne agricole 2008-2009 avec 11,31qx/ha, par contre le rendement minimal est enregistré durant l'année 2000-2001 avec 6,74qx/ha. Ces variations du rendement peuvent être expliquées, par la mauvaise conduite des cultures ainsi que les conditions climatiques.

## **6. Contraintes de la culture de la fève en Algérie**

La culture de la fève subit des contraintes d'ordre culturales, socio-économiques, abiotiques et biotiques qui causent une instabilité du rendement et une baisse de la production.

### **6.1. Contraintes culturales**

D'après (Zaghouane, 2016), la conduite culturale des fèves subit des contraintes qui se caractérisent par :

- L'absence de cultivars résistants.
- L'indisponibilité de graines certifiées.
- L'emploi très limité de fertilisants phosphorique et potassique ( $P_2O_5$  et  $K_2O$ ).
- Le manque de machines de récolte et de battage adéquates fait que ces opérations sont effectuées à la main.

### **6.2. Contraintes socio-économiques**

La culture de la fève impose des charges de mains d'œuvre élevées, de plus, les prix à la production offerts aux agriculteurs étaient insuffisants pour que cette culture soit vue comme profitable, de même que très peu d'efforts financiers sont consentis pour cette culture par les agriculteurs qui en ont fait une culture marginalisée (Maatougui, 1996).

### **6.3. Contraintes biotiques et abiotiques**

(Maatougui, 1996) rapporte qu'en Algérie, la culture de la fève est sujette à des stress biotiques et abiotiques importants notamment :

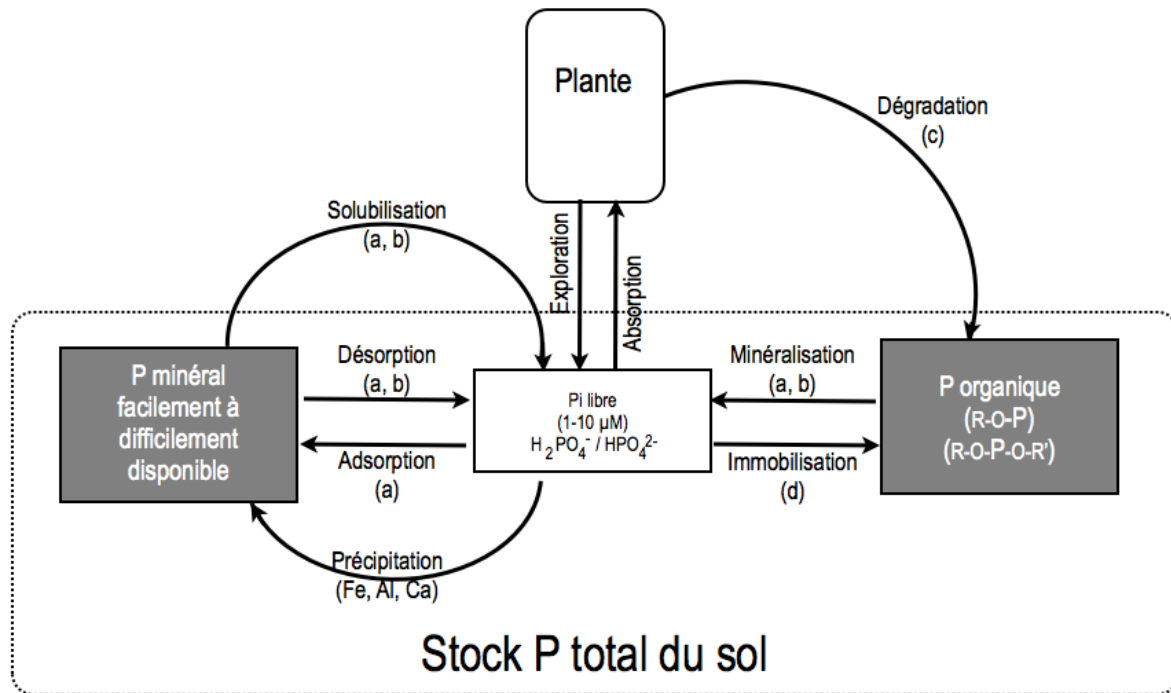
- Les gelées printanières et le froid hivernal provoquant la coulure des fleurs et aussi la mortalité des plantes sur les hauts plateaux et parfois sur les plaines intérieures.
- La sécheresse aussi bien sur les hauts plateaux qu'au niveau des plaines littorales due à l'irrégularité et à l'insuffisance de la pluviométrie dans ces zones.
- La chaleur est une contrainte dans les zones sahariennes, les hauts plateaux et dans les plaines intérieures où les vents chauds et secs (Sirocco) affectent la production.
- La salinité au niveau des zones sahariennes où la fève est irriguée avec des eaux chargées en sodium d'où une réduction de la productivité par les effets néfastes du sodium sur les plantes.

La fève est soumise à de nombreuses contraintes abiotiques qui attaquent à la fois les racines et les parties aériennes (parasites, champignons....etc).

## 7. Déficience du sol en phosphore

### 7.1. Phosphore

Le phosphore (P) 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  $\text{PO}_4^{3-}$ . 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 orthophosphates ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  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 orthophosphates libres (de 0,1 à 10  $\mu\text{M}$ ) (Hinsinger, 2001), soit sous des formes de P qui vont pouvoir alimenter rapidement le pool de Pi de la solution du sol. De nombreux processus gouvernent la libération de Pi vers la solution du sol comme la sorption ou l'immobilisation de P, mais également les interactions avec les cations et la matière organique. Tous ces processus limitent drastiquement la disponibilité et la mobilité de Pi comparativement à d'autres éléments nutritifs comme l'azote (N) et le potassium (K). Ainsi, les modèles de nutrition ont identifié très tôt que la vitesse de diffusion des ions orthophosphates est le facteur limitant majeur de l'acquisition de P par les végétaux (Barber, 1995 ; Fardeau, 1993). Or, les plantes, en interagissant avec les microorganismes du sol, peuvent largement modifier l'environnement au voisinage des racines, c'est-à-dire la rhizosphère qui est une zone « bio-influencée » par la plante, à la base du concept de « biodisponibilité » (Harmsen, 2007). La biodisponibilité du P dans le sol peut ainsi varier considérablement d'une espèce végétale à l'autre selon ses capacités à modifier elle-même la disponibilité de Pi ou *via* les organismes naturellement présents dans sa rhizosphère (Figure 2).



**Figure 2 :** Cycle simplifié du P montrant la répartition du stock total de P du sol entre les différents pools de P.

## 7.2. Formes du phosphore dans le sol

Le cycle de P est centré autour de la seule forme de P utilisable par les organismes vivants qui est le P en solution. L'approvisionnement de ce pool de P en solution est sous l'influence de deux sous-cycles ; l'un est biologique (pools organiques) et l'autre géochimique (pools minéraux), provient majoritairement de l'altération des roches mères (Larsen, 1967).

L'adsorption des différentes formes de P sur la phase solide du sol limite fortement leur diffusion dans la solution du sol. Les cations métalliques Al, Ca ou Fe forment avec le P des minéraux phosphatés insolubles et peu mobiles. Cependant, le réapprovisionnement de la solution du sol en P est assuré par un ensemble de processus chimiques et physiques à partir de la phase minérale par désorption. Les organismes vivants participent activement au processus de recyclage du P du sol. Ils sont capables de libérer le P par solubilisation du P minéral et par minéralisation du P organique malgré une forte immobilisation de cet élément.

### ✓ *Phosphore minéral*

Les ions orthophosphates ou Pi constituent la seule forme de P directement assimilable par les plantes. Seule une faible proportion de P est présente sous forme de Pi en solution et sa concentration dans la majorité des sols ne dépasse pas 0,1 mM (Hinsinger, 2001). Les mécanismes physico-chimiques responsables de la mobilisation de P sont l'altération des minéraux primaires, la destruction des agrégats qui libère des minéraux P secondaires suivie de la désorption des ions phosphate contenus dans ces minéraux et enfin les échanges ioniques qui permettent la mise en solution de Pi à partir du pool labile de P inorganique.

Cependant, le mécanisme majeur qui détermine la mise en solution de  $P_i$  à partir des minéraux phosphatés ou des surfaces d'échanges du sol est la variation du pH de la solution du sol (Hinsinger, 2001). Concernant la dynamique de la dissolution des minéraux phosphatés, deux grands types de réactions physico-chimiques ont été mis en évidence : les réactions de précipitation/dissolution et les réactions d'adsorption/désorption. La précipitation de  $P_i$  avec un cation est observée lorsque les concentrations en  $P_i$  et en cation sont suffisamment élevées. En effet, la fraction minérale de P du sol se trouve dans différentes combinaisons avec le  $Fe^{3+}$ , l' $Al^{3+}$ , le  $Ca^{2+}$ , le fluore et autres éléments. Ainsi, la plus grande partie du P ajouté sous forme soluble est soit adsorbée par le calcium présent sur le complexe d'échange, soit précipitée par les formes libres de fer ou d'aluminium qui se retrouvent en quantités importantes dans les sols de l'ordre de 0,2 à 0,7 % soit plusieurs tonnes par hectares (Frossard *et al.* 2004).

### ✓ *Phosphore organique*

On peut définir le P organique comme l'ensemble des composés comportant un ou plusieurs groupements phosphatés et qui sont produits par le métabolisme des êtres vivants.

De ce fait, le P organique dérive principalement des résidus végétaux, des cellules microbiennes et fongiques et des métabolites cellulaires. Le P organique peut représenter jusqu'à 80% du P total présent dans un sol (Condron et Tiessen, 2005). Il est essentiellement présent sous forme de phosphates d'inositol (phytate) et secondairement sous forme de sucres, acides nucléiques, et phospholipides (Mengel et Kirby, 1987). Les phosphates d'inositol constituent des réserves en P (Frossard *et al.*, 2004) provenant en majorité des plantes et stockées dans les graines. Les différentes formes du P organique peuvent être classées selon le nombre de liaison ester reliant le groupement P et le C. Une seule liaison définit les phosphates monoesters  $R-O-PO_3H_2$  et deux liaisons les phosphates diesters  $R-O-(PO_2H)-OR'$ . On distingue également le groupe des phosphoanhydrides organiques caractérisés par la liaison P-O-P comme l'ADP, l'ATP et les polyphosphates.

La présence d'un ou plusieurs groupements phosphate dans les composés du P organique entraîne une faible mobilité dans la solution du sol. En effet, ils peuvent être fortement adsorbés par les minéraux argileux et peuvent former avec la matière organique des composés difficilement dégradables ou précipiter avec les oxydes de Fe ou d'Al dans les sols acides ou de Ca et Mg dans les sols alcalins. Le taux d'adsorption du P organique dans les sols est en fonction de sa structure, notamment du nombre de résidus P, de sa charge mais aussi de sa taille moléculaire (Louche, 2009). Ainsi, les phosphates d'inositol s'adsorbent plus facilement à la surface des argiles que les acides nucléiques, les phospholipides ou les sucres simples (Leytem *et al.*, 2002). La difficulté d'accessibilité aux formes du P organique en interaction avec les argiles et la matière organique du sol implique qu'une grande proportion en P organique du sol reste encore chimiquement non déterminée (Turner *et al.*, 2005).

Le P organique du sol se trouve sous diverses formes chimiques, mais principalement sous forme d'inositol-6-phosphate (phytate) et secondairement sous forme de sucres phosphatés, d'acides

nucléiques et de phospholipides (Quiquampoix et Mousain, 2005). Pour être utilisé par les plantes et les micro-organismes, le P organique doit être minéralisé par des phosphatases qui sont des enzymes qui peuvent être d'origine animale, végétale ou microbienne (Richardson et Simpson, 2011).

### **7.3. Biodisponibilité du phosphore dans le sol**

La biodisponibilité du P correspond à la quantité effectivement prélevée par un organisme. Cette quantité par définition varie, selon le sol, le temps d'exposition avec le sol ainsi que selon l'organisme considéré (Harmsen, 2007). Les organismes par leur activité influencent ainsi la disponibilité en P dans leur environnement immédiat correspondant selon (Harmsen, 2007) à la zone bio-influencée. Dans le cas des plantes elle correspond à la zone entourant les racines affectées par l'activité des racines ou rhizosphère (Hinsinger, 1998). Le sol non affecté par les racines sera par la suite désigné comme sol non rhizosphérique.

La biodisponibilité a longtemps été attribuée uniquement à l'absorption par la racine et à la capacité du sol à réalimenter la solution du sol par différents processus biogéochimiques. Il est actuellement admis qu'en plus de l'absorption, les plantes ont la capacité d'influencer la disponibilité du P par la modification des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol environnant les racines (Hinsinger et al, 2005). La biodisponibilité d'un nutriment dépend des propriétés du sol déterminant la quantité du nutriment dans la solution du sol ainsi que de la capacité d'acquisition de ce nutriment par la plante. L'acquisition d'un nutriment est influencée à la fois par les caractéristiques des racines qui déterminent l'accès à la ressource et les modifications de sa disponibilité, soit respectivement l'exploration et l'exploitation de cette ressource (Hinsinger, 2005 ; Rengel et Marschner, 2005)

On entend par biodisponibilité du P, la fraction du P susceptible d'être prélevé par la plante. L'évaluation quantitative et mécaniste 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. Parmi ces mécanismes, on peut distinguer par ordre d'importance :

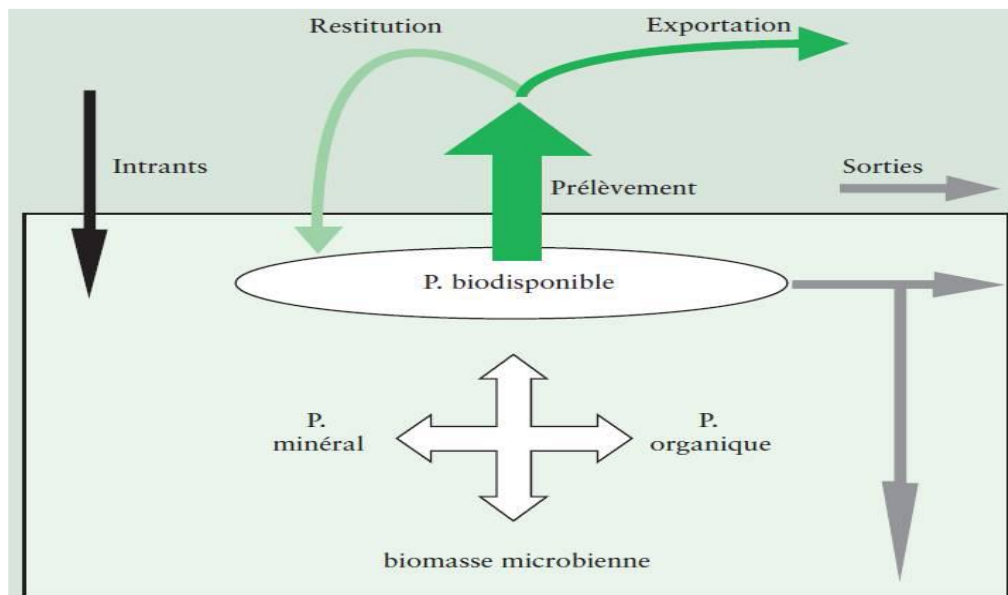
- L'abaissement de la concentration des ions P à la surface de la racine suite à son absorption conduisant à la création d'un gradient entre cette surface.
- Le déplacement des ions P par diffusion dans la solution du sol suite à l'existence de ce gradient de concentration (Jungk, 1984). Il est important de souligner que la distance sur laquelle se fait cette diffusion est très faible quelques millimètres selon (Claassen et al., 1981).
- La vitesse de mise en place des surfaces de prélèvement, racines, poils racinaires et hyphes mycorhiziens. Les endomycorhizes contribuent à améliorer la disponibilité du P en augmentant la surface de contact entre la racine et le sol mais également en mettant à la disposition de la plante des formes de P généralement mal utilisées par les végétaux supérieurs (phytates et polyphosphates)
- Le flux de convection de l'eau du sol (mass flow) associé à la transpiration des cultures. Ce transport est considéré négligeable (Jungk et Claassen, 1997) compte tenu de la faible concentration du P dans la solution.



- Les dissolutions de P précipité par modification du pH et/ou des propriétés redox et autres réactions de complexation par exsudation de composés organiques. Par exemple, le prélèvement d'un excès de charges cationiques conduit la plante, par osmorégulation, à excréter des protons, susceptibles de solubiliser du P non disponible pour la plante.

- La production d'enzymes (phosphatases, phytase) par les racines et les micro-organismes capable de dégrader des composés organiques et libérer ainsi des ions P dans la solution.

De par l'ensemble de ces phénomènes, il est illusoire de pouvoir séparer un pool de P biodisponible d'un pool non disponible par de simples extractions chimiques. Néanmoins, on peut avancer que la quantité de P biodisponible est caractérisée, à la fois, par la concentration induite en solution et le sens et l'intensité de la variation de cette concentration en fonction des facteurs pédoclimatiques et des variations de ces facteurs imposées par les organismes vivant et notamment la plante (Schneider et Morel, 2000).



**Figure 3** : Schéma du cycle simplifié de P dans un écosystème cultivé présentant les flux possibles entre les différents réservoirs de P (Morel et al., 2006).

#### 7.4. Facteurs influençant la disponibilité du phosphore dans la solution du sol

##### ✓ Effet du pH du sol

La solubilité des minéraux du phosphore et la concentration des sols en ions  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  et  $\text{HPO}_4^{2-}$  (formes les plus absorbées par les plantes) sont fortement dépendantes du pH (Azzaoui et al., 1994). La plupart des études ont montré que les prélèvements du P chez les plantes sont très importants à pH situé entre 5 et 6 où le  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  est dominant (Furihata et al., 1992). Les mêmes auteurs rapportent que dans les sols très acides, le mono-calcium de phosphate (forme de phosphore dans les engrais) est rapidement précipité sous forme de P-Fe et P-Al alors que dans les sols calcaires, il y a formation du di- et tri-calcium de phosphate de moindre solubilité et qui sont par la suite, graduellement convertis en carbonate d'apatite (Mengel, 1997).

A noter que le pH du sol peut être modifié par la réaction racinaire à travers la libération d'exsudats ou de protons  $H^+$  comme il peut être modifié par l'activité microbienne.

Dans une expérience sur l'effet du pH de la rhizosphère sur la libération des protons  $H^+$ , (Schubert et al., 1990) ont trouvé chez la fève que la réduction du pH du sol suite à la libération des protons  $H^+$  par les racines dépend fortement de la capacité d'échange cationique du sol relative au proton  $H^+$ . Par ailleurs, ils ont observé que la réduction du pH était très corrélée à l'inhibition de la production de matière sèche par le végétal. Les plantes absorbant les ions  $NO_3^-$  entraînent l'augmentation du pH de la rhizosphère tandis que celles qui absorbent l'azote sous forme de  $N_2$  ou  $NH_4^+$  induisent sa diminution (Mengel et Kirkby, 2001).

#### ✓ Effet de la texture du sol

La taille des particules constituant le sol a un effet sur la mise en disponibilité des éléments minéraux en général (Johnson, 2000).

(Azzaoui et al., 1994) estiment que l'augmentation de la teneur en argile diminue le coefficient de diffusion du phosphore à cause de l'augmentation des sites d'adsorption à la surface des particules et du pouvoir tampon.

#### ✓ Effet de la matière organique

La matière organique du sol ou l'humus joue un rôle important dans la disponibilité du phosphore pour les plantes cultivées. Il peut être aussi une source de phosphore que puits pour cet élément. Dans les sols cultivés, le P organique représenterait 50% du phosphore total. Cette proportion peut être plus élevée dans les horizons supérieurs du sol (Sharpley, 1985).

Elle est principalement représentée par la flore microbienne et consiste surtout en des composés cellulaires. L'humus présente des sites de faible énergie de liaison pour le phosphore rendant sa mise en disponibilité plus facile (Delgado et al. 2001 ; Johnson, 2000).

Certains anions organiques provenant de la décomposition de la matière organique peuvent se lier avec le fer, l'aluminium ou le calcium et éviter la fixation du phosphore par ces minéraux. (Hoefl et al. 2000).

#### ✓ Effet de l'activité microbienne

Vue l'importance du phosphore d'origine organique dans la part du P total dans le sol, toute action visant l'amélioration de la minéralisation de la matière organique mobiliserait d'avantage de P pour la nutrition des plantes. L'inoculation du sol par des champignons (*Aspergillus*) à grand potentiel de production de phosphatase a amélioré la disponibilité du P du sol et ses prélèvements et par la suite la matière sèche et le rendement grain chez le blé et le pois chiche (Tarafdar et Rao, 1996).

### **7.5. Absorption et mobilisation de P inorganique dans la rhizosphère**

Le prélèvement du P par la plante est contrôlé par ses besoins, par l'activité et la morphologie de son système racinaire, par la présence de micro-organismes symbiotiques dans ses racines (les mycorhizes à arbuscules) et par la disponibilité du P du sol.

Donc, pour qu'un  $P_i$  soit prélevé par une plante, il doit quitter la particule de sol à laquelle il est associé, être transféré dans la solution du sol, migrer ensuite par diffusion entre les particules de sol sur une distance de quelques millimètres pour être finalement absorbé par une racine non lignifiée ou un hyphes mycorhizien et ensuite être transporté par voie apoplastique vers la racine.

Une fois dans la plante, cet ion va participer à l'élaboration du rendement. Lors de son prélèvement, le  $P_i$  doit affronter deux obstacles.

D'une part, il doit être transféré contre un gradient de concentration puisqu'il est présent à Des concentrations comprises entre 0,01 et 0,1mM dans les solutions de sols agricoles, alors que dans les cellules de la racine sa concentration atteint des valeurs comprises entre 5 et 20 mM (Raghothama, 1999). Dans une cellule correctement alimentée, 85 à 95% du  $P_i$  est stocké dans la vacuole. Par contre, lorsque la cellule est carencée, le  $P_i$  stocké dans la vacuole est transféré dans le cytoplasme, les chloroplastes et les mitochondries La teneur en P dans les organites cellulaires varie et est régulée en fonction du milieu extracellulaire et les besoins physiologiques de la cellule. En effet le cytosol est le compartiment dont la concentration en P est la mieux régulée, elle est de l'ordre de 10 $\mu$ M (Jouhet et al., 2003). La concentration cytosolique est essentiellement contrôlée par les échanges avec le milieu extracellulaire et avec la vacuole : l'efflux de phosphate est régulé en fonction de la quantité présente dans le milieu externe (Raghothama, 1999) et la vacuole est le principal réservoir de phosphate de la cellule (85 à 95% du phosphate libre) (Raush et Bucher, 2002). La vacuole est d'ailleurs le premier compartiment à se vider en phosphate lors de la carence en phosphate.

### **7.6. Fixation symbiotique de l'azote sous déficience en phosphore**

La disponibilité du P dans le sol a un effet remarquable sur l'aptitude des légumineuses à fixer l'azote atmosphérique (Suliman et al., 2013. Lazali et al., 2016). En effet, des études ont montré que le taux de l'azote fixé est significativement augmenté sous suffisance en P, ce qui laisse suggérer que cet élément exerce un rôle spécifique dans le fonctionnement des nodosités (Christiansen et al., 2002). Les besoins en P sont plus importants pour la fixation symbiotique de l'azote que pour l'assimilation de l'azote minéral (Kouas et al., 2005). Ainsi, il a été démontré que la fixation de  $N_2$  était faible chez des plantes de haricot soumises à une sévère déficience en P, en comparaison avec d'autres plantes bénéficiant d'un régime modéré ou suffisant en P (Kouas et al., 2005 . Lazali et al., 2013). En outre, chez le soja plusieurs travaux ont indiqué que l'application de P améliore la fixation symbiotique de

l'azote en augmentant la taille, le nombre de nodules et l'activité de la nitrogénase (Tsvetkova et Georgiev, 2003).

#### ✓ **Effet de la déficience en P sur la croissance racinaire et aérienne**

La déficience en P chez la fève est caractérisée par : des tiges courtes et minces, des feuilles droites et sans éclat dont la perte est précoce et une floraison très réduite.

En général et en condition de carence en P, l'architecture racinaire est modifiée pour augmenter la surface d'échange et explorer le sol au-delà de la zone d'épuisement présente autour des racines (développement de racines secondaires latérales et augmentation du nombre et de la taille des poils absorbants) (Hammond *et al.*, 2004). La plante s'adapte aussi à une distribution hétérogène du P dans un sol. Sous déficience en P, l'augmentation de la production de la biomasse racinaire et de l'allongement total des racines est une adaptation connue pour les plantes.

les racines nodulées de symbiose rhizobienne de légumineuse (Alkama *et al.*, 2009) interviennent activement dans le flux des protons  $H^+$  vers la rhizosphère conférant à la symbiose une sorte d'adaptation à la limitation en P.

L'acidification du milieu aurait un effet positif sur l'extensibilité des parois cellulaires des racines et favoriserait l'allongement de ces organes. Outre cette caractéristique de la symbiose rhizobienne, de nombreux travaux ont mis en évidence des structures racinaires particulières chez le lupin en situation de carence en P, des racines tertiaires fines et regroupées appelées racines "protéoïdes". Ces racines protéoïdes ayant une très grande surface et exsudant des flux importants d'acide citrique et de phosphatase dans la rhizosphère (Neumann et Martinoia, 2002 ; Stade-Miller *et al.*, 2001). Ces structures permettent à la plante d'explorer une grande partie de la rhizosphère et présentent une perspective pour faire face au déficit des sols en P.

#### ✓ **Effet de la déficience en P sur les nodosités**

Les nodosités constituent des puits importants pour le P en lien avec le coût énergétique élevé de la fixation symbiotique de l'azote. En effet, il est bien établi que la biomasse nodulaire est fortement corrélée à la disponibilité en P de la plante (Alkama, 2010). La carence en P diminue le nombre de nodosités par plante (Mullen *et al.*, 1988) et/ou la masse individuelle des nodosités (Gunawardena *et al.*, 1992).

Dans le cas des légumineuses, les plantes symbiotiques exigent plus de P que les non symbiotiques, car environ 20% du P total de la plante est assigné aux nodules (Gunawardena *et al.*, 1992). Par rapport aux autres organes végétaux, la concentration en P dans les nodules reste supérieure et moins affectée par la déficience en P (Vance *et al.*, 2003).

### 7.7. Stratégies adoptées par Les plantes pour améliorer leur nutrition phosphatées

Les plantes ont développé de nombreuses stratégies leur permettant d'assimiler le Pi avec une plus grande efficacité dans des sols pauvres en cet élément. Il s'agit de mécanismes Morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires. Ces stratégies consistent tout D'abord en une augmentation de la croissance racinaire,

- Mise en place d'organes spécialisés (Skene, 1998),
- Expression de transporteurs de Pi à haute affinité (Raghothama et Karthikeyan, 2005),
- Sécrétion d'exsudats racinaires et d'enzymes spécifiques (Hammond et al., 2004)
- Association symbiotique avec des microorganismes d u sol (Smith et Read, 2008).

#### ✓ Réponses morphologiques

Les réponses morphologiques impliquent la modification de l'architecture racinaire, principalement par une baisse de la croissance des racines primaires et l'augmentation du nombre des racines latérales et la formation des poils absorbants (Smith ,2001; López et al-Bucio. 2003; Vance et al. 2003; Plaxton ,2004; Shulaev et al. ,2008). La croissance et la configuration spatiale du système racinaire permettent l'exploration continue de nouveaux horizons du sol. Une augmentation significative du nombre de racines fines a été observée dans les sols pauvres en P chez légumineuses.

#### ✓ Réponses physiologiques et biochimiques

Les réponses physiologiques et biochimiques comprennent les modifications du métabolisme du carbone afin de contourner les mesures nécessitant le phosphore, la synthèse et la sécrétion des phosphatases et des phytases, l'exsudation d'acides organiques ( citrate , malate), et l'amélioration de l'expression des transporteurs de phosphate de haute affinité ( Smith, 2001; López et al-Bucio, 2003; Vance et al. 2003; Plaxton, 2004; Shulaev et al .2008).

Les plantes sont également capables de mobiliser du Pi à partir des formes de phosphore complexées par la sécrétion les exsudats racinaires et d'acides organiques et de phosphatases dans la rhizosphère.

#### ✓ Réponses moléculaire

L'accumulation différentielle des protéines sous la déficience en P est indicative des changements étendus de l'expression de gènes et/ou la synthèse des protéines (Carswell et al., 1997).

Ainsi, la synthèse de plusieurs types de protéines, y compris RNases, phosphatases, transporteurs de Pi et PEPCase, augmente sous la déficience en P, en raison de la synthèse de novo des protéines (Hawkesford et Belcher, 1991). L'identification des gènes exprimés en réponse à l'insuffisance de Pi a

augmenté rapidement. Les végétaux et les microorganismes ont développé des mécanismes à plusieurs facettes de réponse pour acquérir le P dans leur environnement (Raghothama *et al.*, 1998).

Ces mécanismes de réponse sont beaucoup plus complexes chez la plante que dans le cas des microorganismes unicellulaires tels que les bactéries et la levure (Raghothama, 1999).

Plus de 100 gènes sont impliqués dans l'adaptation des plantes à la déficience en P. Plusieurs de ces gènes peuvent avoir des rôles spécifiques en permettant aux plantes d'acquérir et d'utiliser le P efficacement, tandis que d'autres peuvent être impliqués en réglant l'expression des gènes induits par la déficience en P (Bariola *et al.*, 1994).

# **Matériels et méthodes**

## Matériels et méthodes

### 1. Présentation du site expérimental

L'essai a été réalisé au niveau de la station expérimentale de l'Université Djilali Bounaama de Khemis-Miliana, qui se trouve dans la plaine de Haut Cheliff.

La plaine a une superficie de 359 Km<sup>2</sup> et dont les coordonnées géographiques sont les suivantes :

- Latitude : 36°15' 40'' Nord.
- Longitude : 2°13' 13' ' Est.
- Altitude : 300 m.

La région de Khemis-Miliana est caractérisée par un climat méditerranéen avec une saison sèche et chaude en été et une autre pluvieuse et froide en hiver. Les précipitations annuelles présentent une variabilité interannuelle importante, caractéristique d'un régime pluviométrique irrégulier.



**Figure 4 :** Localisation du site d'expérimentation.



## 2. Conditions climatiques

### ❖ Température

**Tableau 4 :** Températures mensuelle de la campagne (2016-2017), ANRH 2017.

Moins	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai
<b>T max (°C)</b>	<b>14.6</b>	<b>18.9</b>	<b>21.3</b>	<b>26.7</b>	<b>30.8</b>	<b>37.7</b>
<b>T min (°C)</b>	<b>5.99</b>	<b>0.3</b>	<b>0.9</b>	<b>0.8</b>	<b>4.1</b>	<b>8.8</b>
<b>T moy (°C)</b>	<b>11.13</b>	<b>8</b>	<b>12.7</b>	<b>13.9</b>	<b>16.6</b>	<b>21.9</b>

D'après le tableau 4 on obtient que la température maximale soit de 37.7 °C au mois d'Avril et la température minimale soit de 0.3 °C au mois de Janvier.

Les températures moyennes enregistrées durant la campagne agricole (2017) varient entre 8°C et 21.9°C cela a eu une influence positive sur le développement normal de cycle végétatif.

### ❖ Pluviométrie

**Tableau 5 :** Pluviométrie mensuelle de la campagne 2016-2017.

Moins	Déc	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai
<b>Pluviométrie (mm)</b>	<b>56.97</b>	<b>160.2</b>	<b>9.4</b>	<b>29.4</b>	<b>1</b>	<b>0.1</b>

La pluviométrie de cette année est considérée très faible par rapport à la moyenne de l'année passé, malgré la bonne quantité reçue, la répartition était irrégulière, la plus grande quantité à été enregistrée au stade de développement végétatif au mois janvier.

## 3. Conditions édaphiques

Afin de connaître les caractéristiques physico-chimiques de notre champ expérimental, des analyses de sol ont été effectuées aux laboratoires de chimie 1 de l'Université de Djilali Bounaama Khemis Miliana au niveau du laboratoire des analyses du sol de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique d'Alger sur des échantillons prélevés à la tarière à une profondeur de 30 cm. Les prélèvements sont effectués en cinq endroits du champ expérimental. En suite les sont séchés à l'étuve, broyés puis on les passés au tamis de 2 mm de diamètre.

### 3.1. Analyse physique

#### ✓ *Granulométrie*

L'analyse granulométrique a pour le but de séparer les différentes fractions minérales et les évaluer en pourcentages pondéraux de l'ensemble de l'échantillon. Cette analyse a été réalisée par la méthode de la pipette de Robinson, qui consiste à détruire la matière organique dans 10 g de terre fine par une attaque à l'eau oxygénée ( $H_2O_2$ ), puis disperser les particules avec l'hexamétaphosphate de sodium.

Après destruction des agrégats, les particules sont séparées par sédimentation, au cours de laquelle elles présentent une vitesse de chute en rapport avec leur diamètre.

Le pourcentage des fractions granulométriques du sol (argiles, limons fins) est obtenu en prélevant au moyen de la pipette de Robinson, à une profondeur déterminée, au bout d'un temps de sédimentation donné. En ce qui concerne la proportion pondérale des limons grossiers, celle-ci est estimée par différence : Limon grossier = 100 - (argile + limon fin + sable fin + sable grossier). Pour connaître les proportions pondérales des autres fractions (sable fin et sable grossier), nous avons opéré par tamisage.

### 3.2. Analyses chimiques

#### ✓ *Mesure du pH*

Le pH de la solution du sol a été déterminé par un pH mètre. A une prise d'essai de 10g du sol, nous avons ajouté 25ml d'eau distillée pour pH eau et 25ml de KO (1mol /l) pour pH KC1. Cette suspension a été mise en agitation pendant 30 min avant d'entamer la mesure à l'aide d'un pH mètre.

#### ✓ *Conductivité électrique*

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

#### ✓ *Calcaire total*

L'évaluation du calcaire totale se fait grâce à l'estimation du volume de  $CO_2$  dégagé par action de l'acide chlorhydrique sur la terre, la détermination est rapide et précision suffisante.

Le dosage est effectué à l'aide d'un Calcimètre de Bernard et on étalonne l'appareil par action de HCL au 1/2 sur 0,5 g de  $CaCO_3$  pur de façon à avoir un dégagement de 80 à 100 ml de  $CO_2$

#### ✓ *Calcaire actif*

La mesure du calcaire actif permet de déterminé la quantité de calcaire présenté dans le sol, par l'action de réactif spécifique ; oxalate d'ammonium qui attaque une fraction du calcaire totale. Le

dosage différentiel du calcaire actif c'est le résultat de la Titration par l'action de permanganate de potassium  $KMNO_4$  ou 1ml de  $KMNO_4 = 0,01g$  de  $CaCO_3$ .

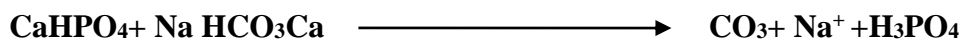
#### ✓ Matière organique

Nous avons opté pour la méthode ANNE. Le carbone organique est oxydé par le bichromate de potassium en milieu sulfurique. Le bichromate de potassium résiduel est titré par une solution de sel de Mohr en présence de la diphénylamine. Ainsi, le taux de matière organique est obtenu par la formule suivante :  $M.O (\%) = C (\%) \times 1,72$

#### ✓ Phosphore assimilable

Le dosage du phosphore assimilable se fait par la méthode Joret-Hebert. Cette dernière est basée sur le principe suivant : une extraction à l'aide bicarbonate de sodium (0.5N) ajusté à

pH =8.5

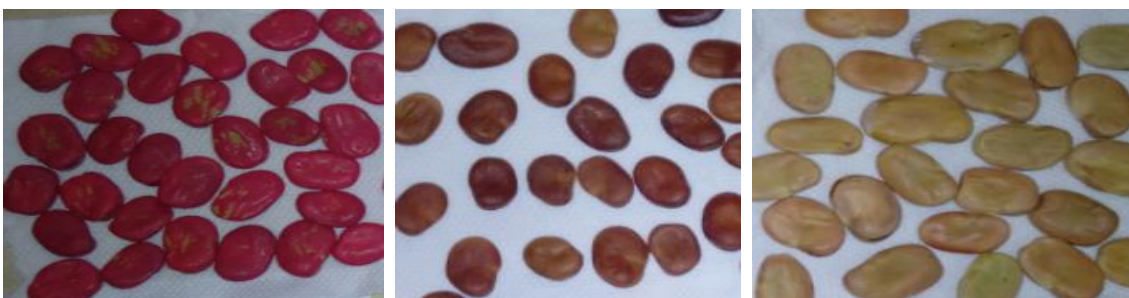


Le dosage est basé sur la formation et la réduction d'un complexe de l'acide molybdique ; la présence de phosphore dans le milieu considéré provoque par chauffage. Le développement d'une coloration bleue dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en ortho phosphate.

## 4. Matériel végétale

Le matériel végétal utilisé par notre étude est constitué de trois Variétés de fève : (Aguadulce, Hystal et Séville).

-la variété (Aguadulce) est fournie aimablement par l'ITGC et les deux autres variétés sont fournies par les vendeurs de semences agricoles.



Variété Hystal

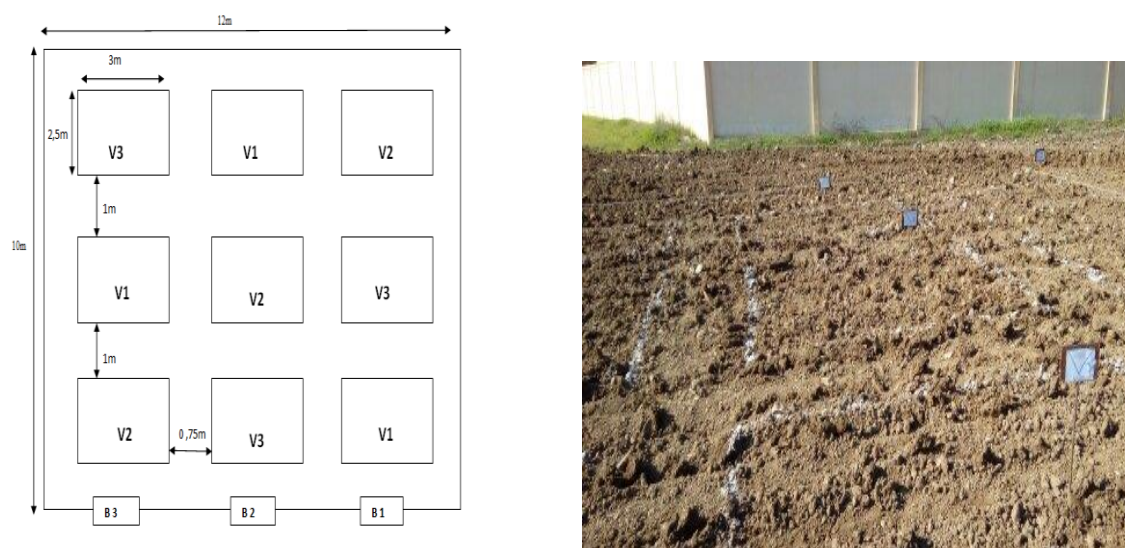
Variété Aguadulce

Variété Séville

**Figure 5** : Le matériel végétal concerné par l'étude.

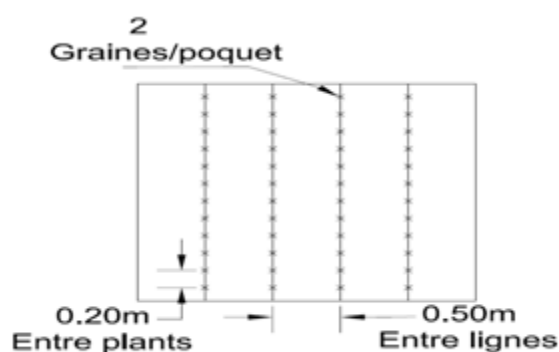
## 5. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental adopté de type aléatoire complet avec trois répétitions.



**Figure 6 :** Dispositif expérimental de l'essai.

La parcelle élémentaire est formée de 4 lignes de 3 m de longueur. Un écartement de 50 cm entre les lignes et 20 cm entre les poquets a été adopté (Figure14). Cet écartement permet de bien prélever les racines des plants pour l'évaluation de la nodulation. Chaque ligne présente 12 poquets avec une à deux graines de fève par poquet. Les parcelles élémentaires sont codées selon les variétés (V1, V2, V3).



**Figure 7:** schéma de parcelle élémentaire et les écartements de semis.

## 6. Gestion de l'essai

### ✓ Labour

Un labour profond (20 - 30 cm) est réalisée le 3/1/2017 avec une charrue a soc. Puis un passage d'un couver-croup pour casser les mottes et affiner la couche superficielle du sol afin de lui permettre une bonne réception des semences de fève.

### ✓ *Semis*

Les graines de la fève sont semées le 4 janvier 2017 à raison de deux grains par trou à une profondeur de 4 à 5 cm.

### ✓ *Irrigation*

L'irrigation est faite par aspersion toutefois que le besoin en eau se faisait sentir, nous avons recours à l'irrigation.

### ✓ *Lutte contre les ennemis*

La lutte contre les herbes non désirées est menée manuellement par fréquence d'une semaine afin de réduire considérablement la concurrence.

## **7. Paramètres mesurés**

### **7.1. Prélèvement des échantillons**

Au stade plein floraison de la fève, nous avons prélevé 3 plantes pour chaque génotype et par bloc. L'échantillonnage se fait manuellement par une pioche, les plantes sont rincées avec l'eau de robinet puis faire les différentes mesures dans le laboratoire.

### **7.2. Détermination de la biomasse aérienne, racinaire**

Les plantes sont déterrées, les parties aériennes sont séparées des parties racinaires au niveau du nœud cotylédonaire à l'aide de ciseaux. Les parties aériennes, Ensuite, les échantillons enveloppés dans un papier emballage sont séchées à l'étuve à 72° C durant 48 h puis pesées. Après le broyage, les poudres des deux parties sont utilisées pour les différentes analyses.

### **7.3. Détermination du nombre et du poids sec de nodosités**

Les nodosités sont délicatement séparées de la racine à l'aide d'une pince et comptées, puis elles sont séchées à l'étuve à 60°C pendant 72 heures. Ensuite, leur poids sec est mesuré à l'aide d'une balance de précision.

### **7.4. 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.

### **7.5. Hauteur des plantes**

Les différentes hauteurs et longueurs sont mesurées à l'aide d'un mètre.

### **7.6. Dosage du phosphore assimilable**

Le dosage du phosphore dans les différentes parties des plantes (tiges, racine set nodules) est réalisé selon la méthode au décrite précédemment.

### 7.7. Rendement et ses composantes

#### ✓ *Nombre de gousses/plante*

Le nombre de gousses produit par de la plante est estimé sur chacun des 03 plantes pris au hasard pour les différents génotypes de chaque bloc.

#### ✓ *Nombre de grains/gousse*

Nous avons pris 10 gousses au hasard sur lesquelles nous avons compté le nombre de grains par gousse pour les différents génotypes de chaque bloc.

#### ✓ *Poids de cent grains*

Après la récolte de chaque placette nous avons prélevé un échantillon de grains, puis nous avons procédé au comptage à l'aide d'un compteur de grains. Ces grains ont été ensuite pesés avec une balance de précision.

#### ✓ *Rendement en grain calculé*

Ce rendement est déterminé à partir de la formule suivante :

$$\text{Rendement (g/m}^2\text{)} = \frac{\text{Nombre de gousse/m}^2 \times \text{nombre de grains/plante} \times \text{poids de 100 grains}}{100}$$

## 8. Analyse statistique

Les données recueillies pour les caractères étudiés sur trois variétés ont été soumises à une analyse de la variance avec le logiciel XLSTAT.

L'analyse de variance permet de tester la similitude de variable en termes statistiques. L'effet variable est significatif lorsque la probabilité de l'erreur réellement commise est :

- P = 0.001 Très hautement significatif.
- P = 0.01 Hautement significatif.
- P = 0.05 Significatif.

# **Résultats et discussions**

## Résultats et discussions

### 1. Caractéristiques physico-chimiques du sol expérimental

Les résultats des analyses physico-chimiques du sol qui ont été effectuées au niveau du laboratoire de chimie la faculté SNV-ST et au laboratoire de département phytotechnie de l'ENSA d'Alger. Sont rapportées dans le tableau suivant :

**Tableaux 6** : Analyse physico-chimiques du sol.

Granulométrie		Interprétation
Argile (%)	32	Sol Limono-argileux
Limon (%)	49.6	
Sable (%)	18.4	
Matière Organique		
MO (%)	6.44	Sol riche en matière organique
C (%)	3.73	
Solution du sol		
PH eau	7.2	Sol légèrement à moyennement alcalin
PH K Cl	7.4	
CE (Ms/cm) 1/5	0.40	Sol légèrement salé
Réserves minérales		
Calcaire total (%)	10.34	Sol moyennement calcaire
Calcaire actif(%)	3.33	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> assimilable (ppm)	9.97	Teneur faible en P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>

D'après ce tableau, nous remarquons que le sol de la zone d'étude a une texture limono - argileuse, donc c'est un sol lourd à une bonne rétention pour l'eau, légèrement alcalin, pauvre en matière organique et en éléments fertilisants.

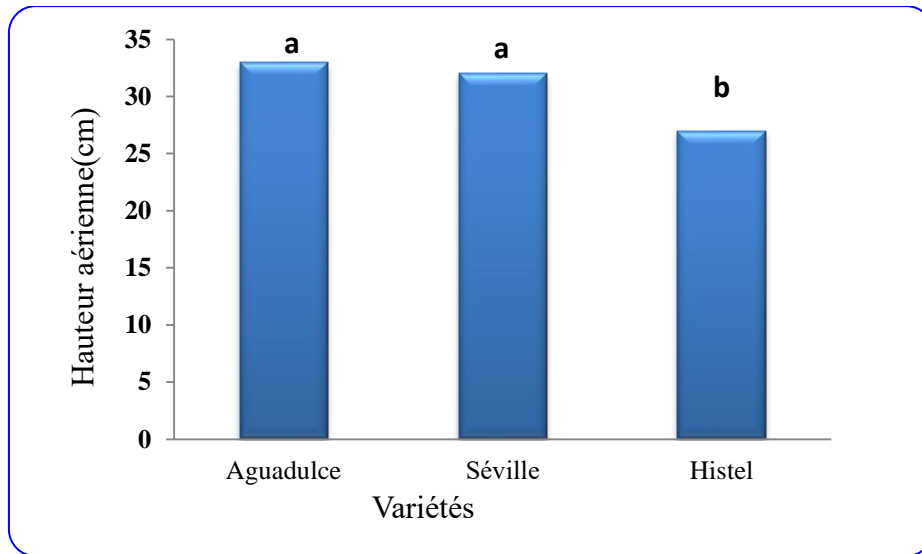
### 2. Evaluation des paramètres de croissance et de nodulation

#### 2.1. Hauteur de la plante

D'après la figure 11 nous avons remarqué que la variété Histel a enregistré une hauteur de plante la plus faible (27.1 cm) par contre Aguadulce et Séville ont enregistré des valeurs



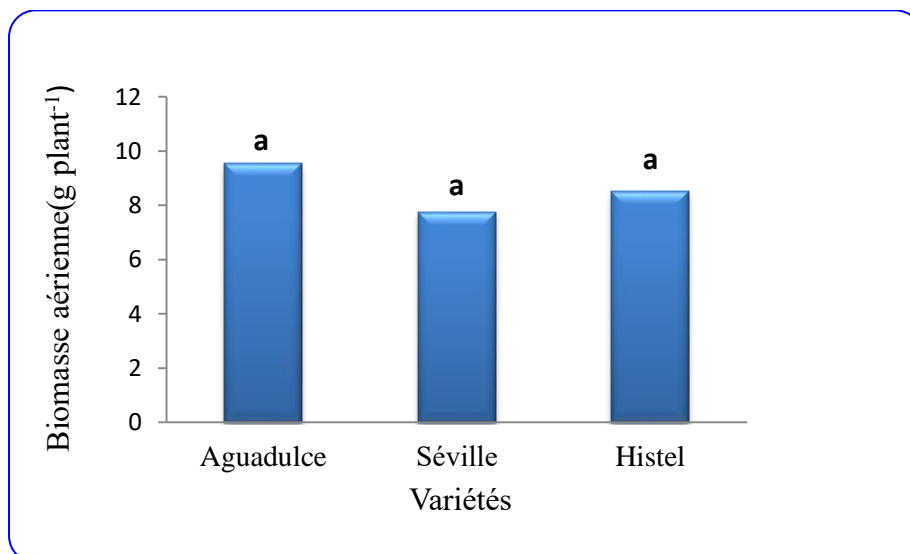
végétation les plus élevées (33.22 cm) et (33.1 cm) respectivement .L'analyse de la variance a montré une différence significative entre les variétés.



**Figure 7 :** Variation de la hauteur de végétation chez les trois variétés de la fève.

## 2.2. Biomasse aérienne

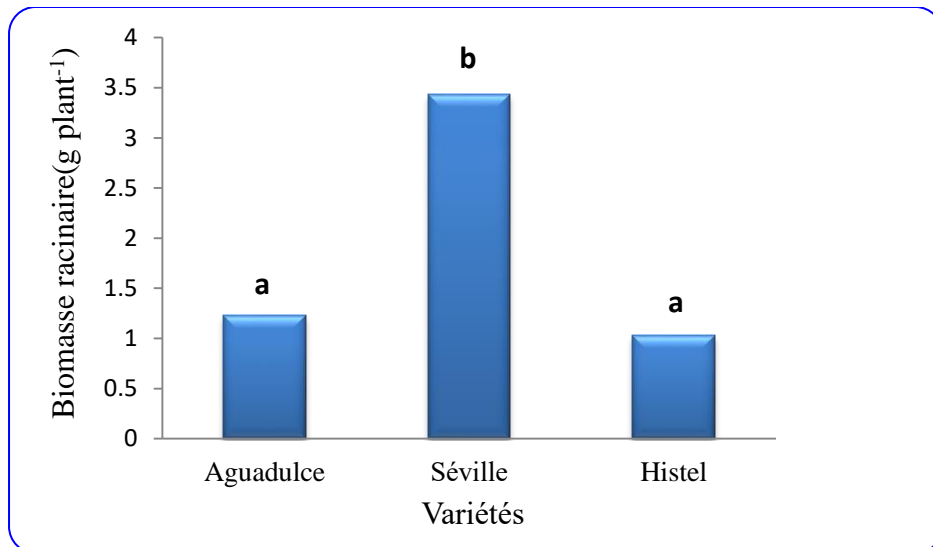
Les résultats de la variation de la biomasse aérienne chez de différentes variétés sont présentés sur la figure 8. L'analyses de ces résultats montre que variété Aguadulce plus de biomasse aérienne par rapport aux autres variétés. L'analyse de la variance n'a pas révélé une différence significative entre ces trois variétés.



**Figure 8 :** Variation de la biomasse aérienne chez les trois variétés de la fève.

### 2.3. Biomasse racinaire

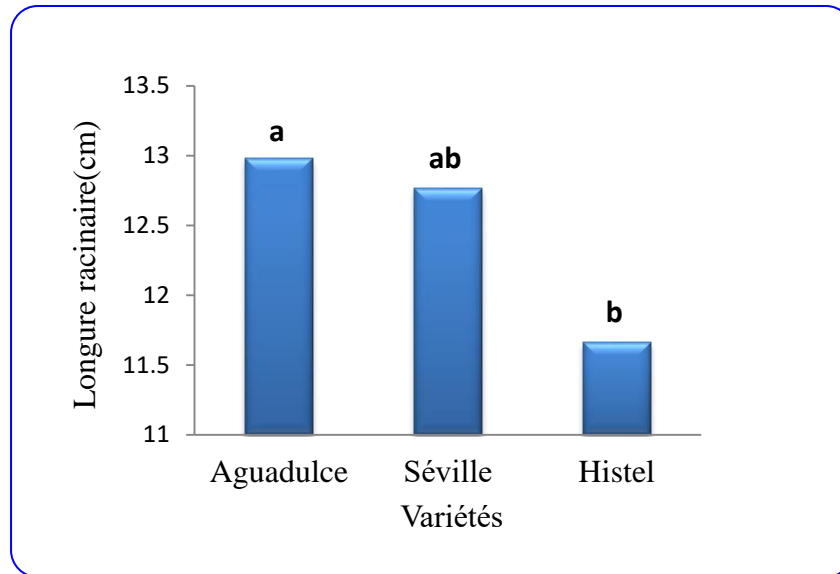
La figure 9 montre que la variété Séville a donné la plus grande biomasse racinaire par rapport aux autres variétés, elle dépasse (3,4 g/ plant). Nous avons enregistré la valeur la plus faible chez la variété Histel (1.03 g /plant). L'analyse de la variance a révélé une différence hautement significative entre ces trois variétés.



**Figure 9 :** Variation de la biomasse racinaire chez les trois variétés de fève.

### 2.4. Longueur des racines

D'après la figure 10, nous avons remarqué une variation claire de la longueur des racines entre les variétés étudiés. Enregistrent les valeurs plus élevés (12.98 cm) chez la variété Aguadulce et les valeurs plus faibles chez la variété Histel (11.66cm). L'analyse de la variance a montré une différence hautement significative entre les variétés.



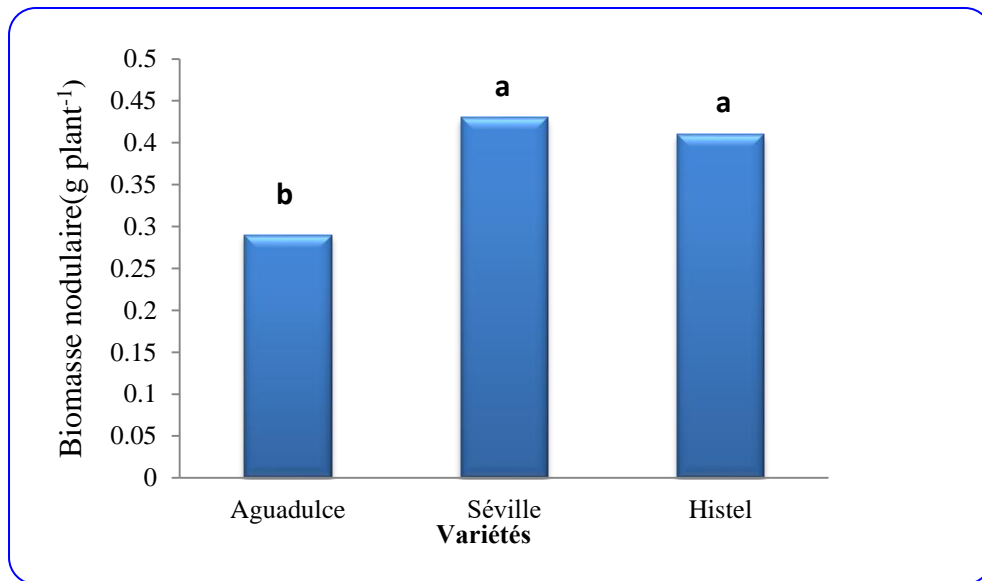
**Figure 10:** Variation de la longueur des racines chez les trois variétés de la fève.

L'allongement des racines chez les variétés Aguadulce et la variété Séville dans des sols pauvres en P peut être justifiée par la stratégie adoptées pour améliorer leur nutrition phosphatée. Les racines des plantes qui possèdent des activités élevées des phosphatases ont un grand potentiel d'utiliser le phosphore organique du sol (Helal,1990)

Nos résultats sont en accord avec plusieurs auteurs (Smith 2001);( López et al.,2003); (Vance et al.,2003; Plaxton,2004; Shulaev et al.,2008) . Ces auteurs rapportent que les réponses morphologiques impliquent la modification de l'architecture racinaire, principalement par une baisse de la croissance des racines primaires et l'augmentation du nombre des racines latérales et la formation des poils absorbants.

## 2.5. Biomasse nodulaire

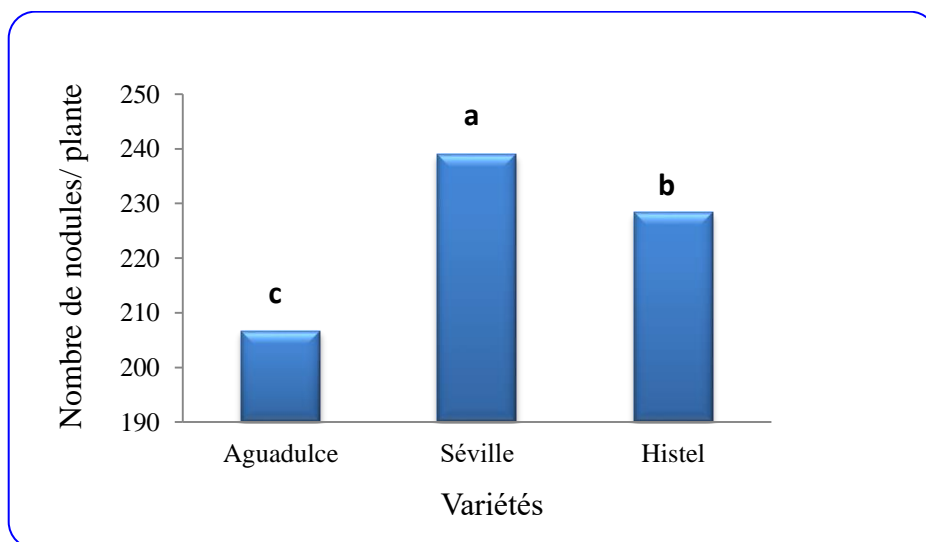
Les résultats de la biomasse nodulaire de la fève, présentés dans la figure 10 montrent que la biomasse sèche des nodules varie entre 0 et 0.43g /plante selon la variété. La valeur la plus élevée est enregistrée chez la variété Séville (0.43 g/plante), tandis que la valeur la plus faible est observée chez la variété Aguadulce (0.29 g/plante).L'analyse de la variance a montré une différence significative entre les variétés.



**Figure 11** : Variation de la biomasse nodulaire chez les trois variétés de la fève

## 2.6. Nombre de nodule

Nous avons observé que la variété Séville a enregistré le nombre de nodules le plus élevée suivie par variété Histel (239 nodules/plante) et enfin le nombre plus faible est noté chez variété Aguadulce avec (206 nodules/plante). L'analyse de la variance a montré une différence très hautement significative entre ces variétés.

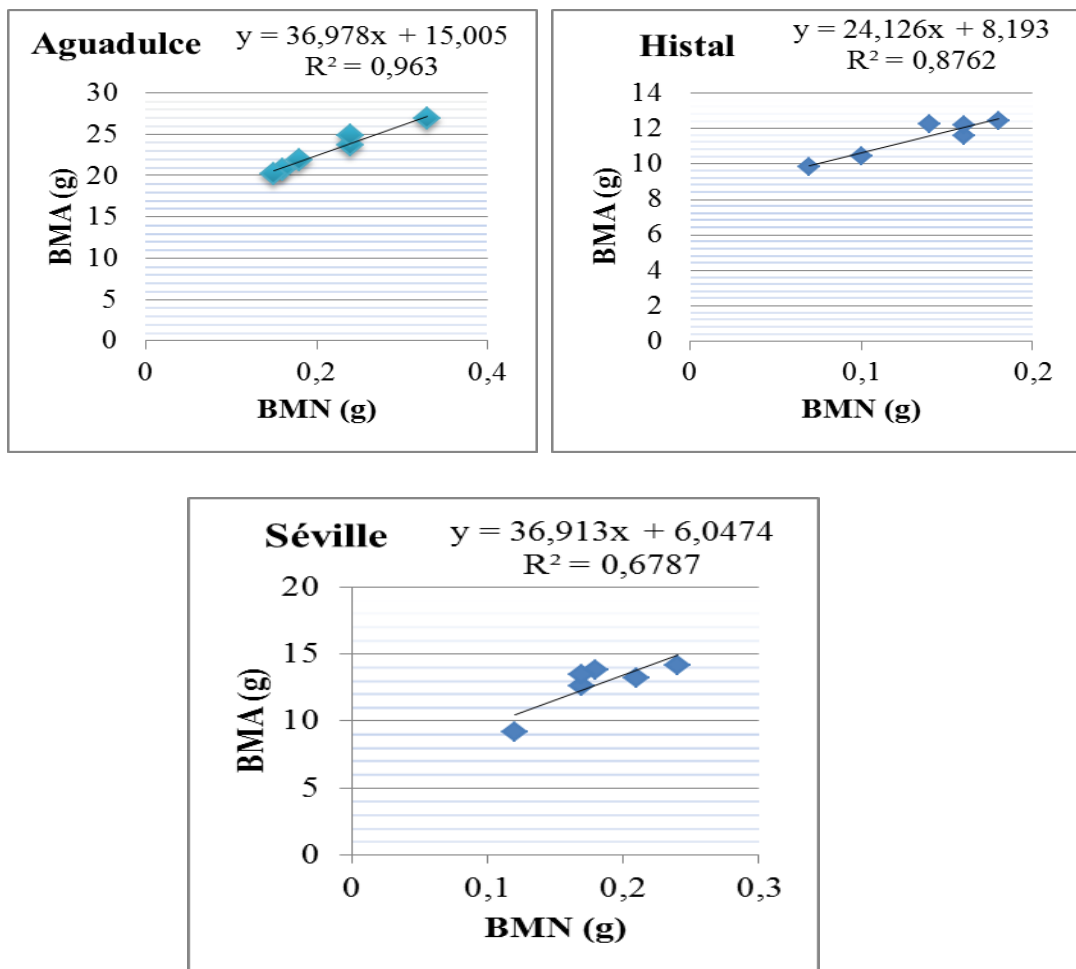


**Figure 12** : Variation du nombre de nodules chez les trois variétés de la fève.

## 2.7. 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. Selon l'équation de la droite de régression  $y = ax + b$ ,  $a$  représenté l'impact de la nodulation sur la biomasse des plantes et  $b$  est une constante de la biomasse des plantes non liée aux nodosités.

Les courbes de régression illustrée sur (la figure 13) montrent des corrélations positives entre la nodulation et la croissanc aérienne de différente variété.



**Figure 13:** Relation entre les biomasses aériennes et biomasse nodulaires chez les différentes variétés de la fève.

## Discussion

La biomasse des nodosités d'un plant rend compte de l'ineffectivité des souches (Benth, 1988). Dans notre étude l'ineffectivité et l'effectivité sont évaluées respectivement en fonction des biomasses nodulaires et des biomasses des parties aériennes.

Des travaux précédents ont montré que la déficience en P affecte les paramètres de croissance chez les plantes de la fève. En effet, en cas de carence en P la croissance racinaire est beaucoup moins inhibée entraînant ainsi, en terme de matière sèche, une diminution du rapport parties aériennes /racinaires (Bernal *et al.*, 2005). Ainsi, chez la fève, ce rapport s'abaisse de 5.0 pour des plantes suffisantes en P à 1.9 en cas de déficience. Ces résultats sont en accord avec ceux de (Tang *et al.*, 2001) qui ont trouvé que chez des plantes âgées la croissance aérienne et racinaire des plantes en cas de déficience étaient respectivement de 55 et 62 % alors qu'en cas de suffisance elle est respectivement de l'ordre de 82 et 88 %. Ainsi, ils ont montré que la déficience en P a diminué la masse nodulaire plus que le développement racinaire et aérienne chez le haricot.

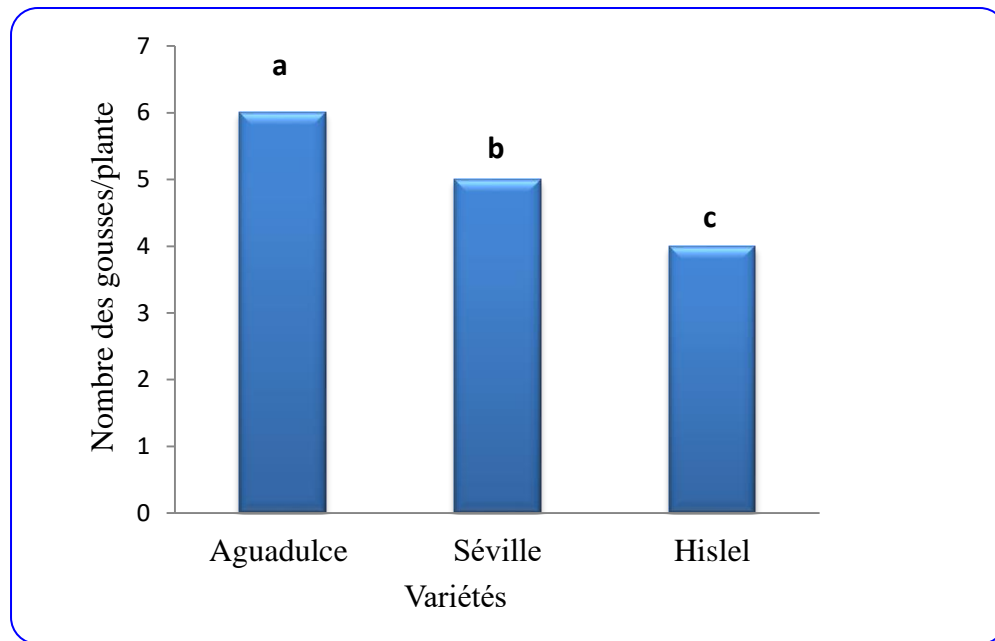
Le P améliore, en particulier, la fixation symbiotique de l'azote et beaucoup de travaux indiquent que l'efficacité du P sur la fixation de l'azote réside dans la capacité à augmenter la nodulation et l'activité de la symbiose (Olofintoye, 1986; Bationo *et al.*, 1995; Giller *et al.*, 1995). Dans notre expérimentation, les différences de biomasses entre les variétés peuvent s'expliquer par une variabilité pour l'efficacité d'utilisation du P. Ce résultat est similaire à celui trouvé par (Vadez *et Drevon* 2001) sur le haricot.

Les corrélations remarquables des deux variétés de la fève (Aguadulce *et Histel*) montrent que les biomasses aériennes sont corrélées avec les biomasses nodulaires ce qui signifie que ces génotypes ont en recours à la fixation symbiotique pour satisfaire leurs besoins en azote, contrairement à la variété Séville qui présente des corrélations faibles par le fait de sa nutrition en azote minéral du sol, et probablement de la faible part de la fixation symbiotique. Ceci suggère que les peu de nodules formés chez cette variété n'ont pas été fonctionnels, donc non fixateurs.

### **3. Rendement et ses composantes**

#### **3.1. Nombre de gousses/ plant**

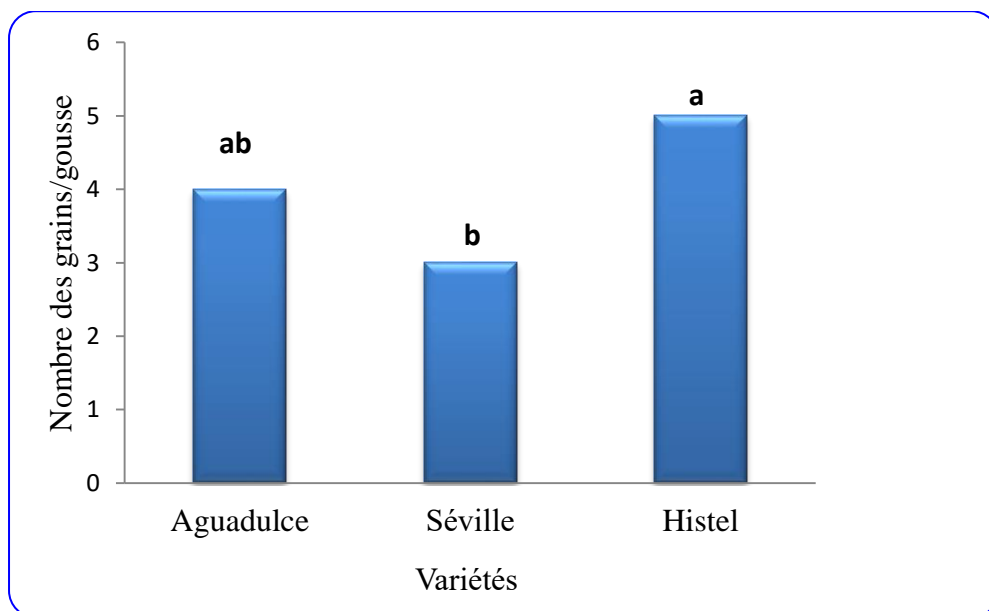
L'histogramme illustré dans la figure 14 montre que la variété Aguadulce a enregistré la valeur la plus élevée (6 gousse/plant), par contre le nombre de gousses le plus faible est noté chez la variété Histel (4 gousses/plant). L'analyse de la variance a révélé une différence hautement significative entre les différentes variétés étudiées.



**Figure 14:** Variation du nombre de gousses chez les trois variétés de la fève.

### 3.2. Nombre de grains/gousse

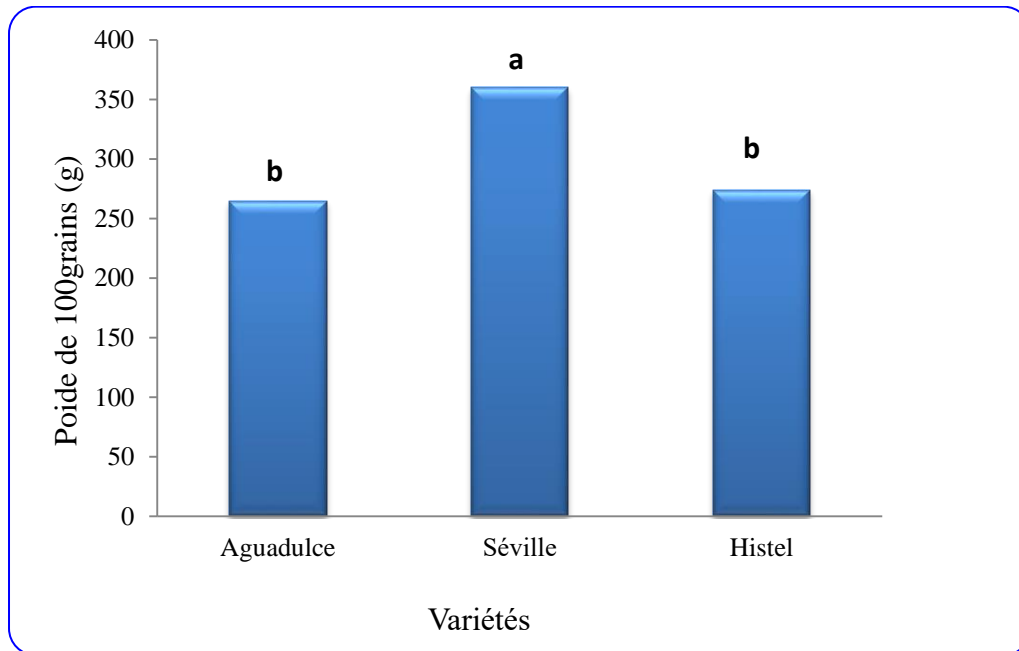
Les résultats de la figure 15 montrent que le nombre de grains /gousse varié en fonction des variétés. Ce paramètre s'est observé plus important chez les variétés Hislel (5grains/gousse) et Aguadulce (4grains /gousse). L'analyse de la variance a révélé une différence significative entre les différentes variétés étudiées.



**Figure 15 :** Variation du nombre de grains/gousse chez les trois variétés de la fève.

### 3.3. Poids de 100 grains

L'analyse des moyennes (Figure 16) montre que la variété Séville présente le poids de 100 grains le plus élevé (360 g), suivi par la variété Histel (274g) et enfin la variété Aguadulce (265 g). L'analyse de la variance a révélé une différence significative entre les différentes variétés étudiées.

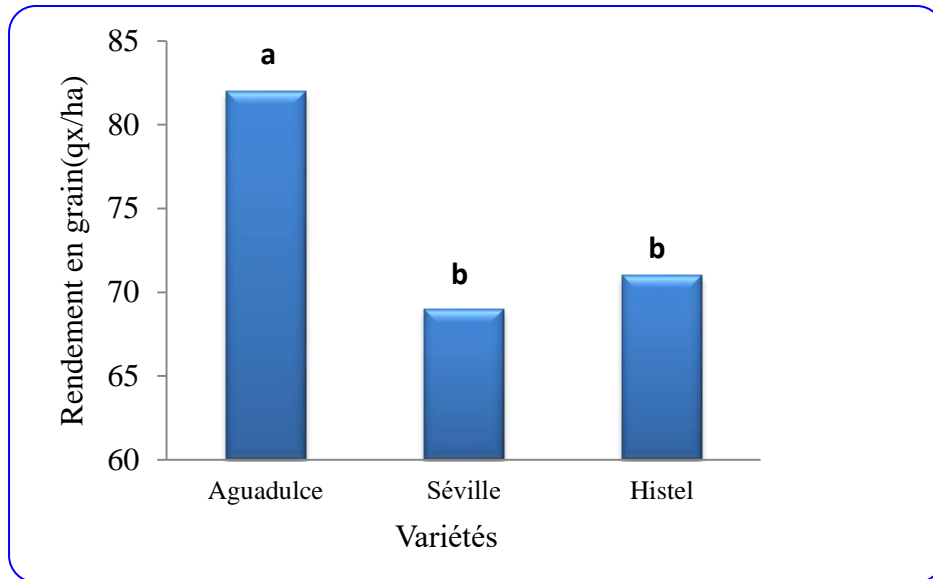


**Figure 16:** Variation de poids de cent grains chez les trois variétés des fèves.

### 3.4. Rendement en grains

Les résultats illustrés sur la figure 17 montrent que les valeurs du rendement en grains sont très hétérogènes, variant de 82 qx/ha à 69 qx/ha gr respectivement chez les variétés Aguadulce et Séville. L'analyse de la variance a révélé une différence hautement significative entre les différentes variétés étudiées.



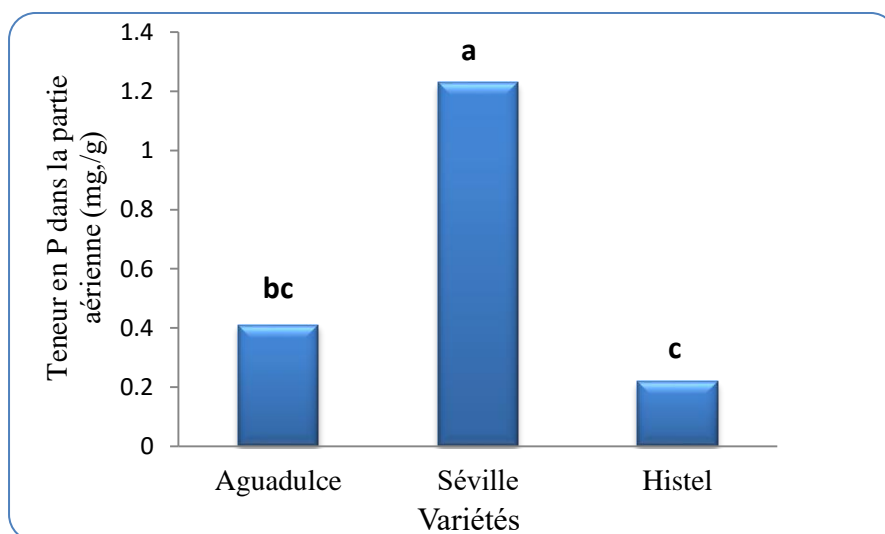


**Figure 17:** Variation de rendement en grains chez les trois variétés des fèves.

#### 4. Efficacité d'utilisation du phosphore

##### 4.1. Teneur en phosphore dans la partie aérienne

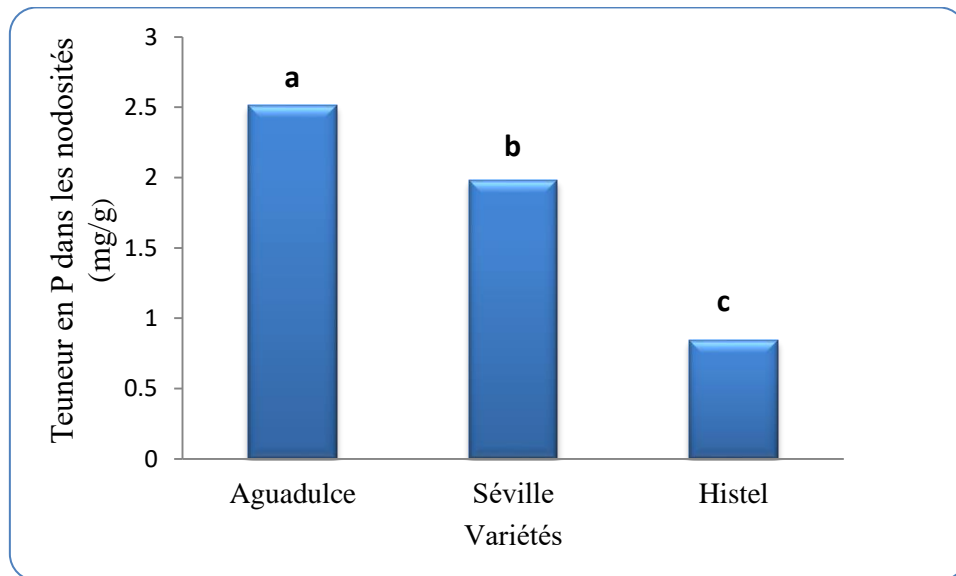
La figure 18 représente la variation de la concentration en P dans la partie aérienne chez l'ensemble de variétés étudiées. La plus forte concentration en P dans la partie aérienne est observée par la variété Séville (1.23mg/g) ; tandis que la valeur la plus faible concentration en P est observée par variété Histel (0.22 mg/g), L'analyse des données a révélé une différence hautement significative entre les génotypes pour ce caractère



**Figure 18 :** Variation de la teneur en phosphore dans la partie aérienne chez les trois variétés de la fève.

#### 4.2. Teneur en phosphore dans les nodosités

Les valeurs moyennes de ce caractère varient entre 2.51 mg g plant<sup>-1</sup> et 0.84 mg g plant<sup>-1</sup> (Figure 19). La valeur moyenne la plus élevée est notée chez la variété Aguadulce alors que la variété Histel enregistre la plus faible teneur en phosphore nodulaire. L'analyse de la variance a révélé une différence hautement significative entre les différentes variétés étudiées.



**Figure 19** : Variation de la teneur en phosphore dans la partie nodulaire chez les trois variétés de la fève.

#### Discussion

Plusieurs auteurs rapportent que la déficience en P provoque la réduction de la teneur du P dans les parties aériennes et nodulaires chez les légumineuses (Vadez et al., 1999 ; Zarrin et al., 2007; Kouas et al., 2009 et Alkama, 2010 ; Lazali et al., 2016). (Alkama , 2010), rapporte que la variabilité génétique des génotypes de haricot ainsi que le niveau de P dans le sol ont un effet significatif sur la teneur en P dans les parties aériennes et nodulaires, et que les lignées 115 et 34 du haricot inoculées par la souche rhizobienne CIAT 899 en hydro-aéroponie, ont présenté une concentration en P dans la partie aérienne sous suffisance en P qui est plus élevée 1.5 à 2 fois que celle observée en condition de déficience en P.

# **Conclusion générale**

## **Conclusion générale**

La production algérienne de la fève par exemple, reste très faible au regard des importations qui s'élèvent chaque année. Cette production s'est toujours heurtée aux effets des contraintes biotique et abiotique. Ce qui laisse le pays souffrir d'une production agricole insuffisante. Le processus naturel de la symbiose fève-rhizobia par leurs bienfaits agronomiques, économiques et écologiques permet d'augmenté la production en Algérie.

L'axe de notre recherche couvre l'étude de l'efficacité d'utilisation du phosphore pour la fixation de  $N_2$  chez la symbiose fève-rhizobia des trois variétés de la fève (Aguadulce et Seville et Hystal) cette étude qu'a été réalisée dans un sol déficient en P.

En conclusion, nos résultats ont suggéré qu'en réponse au déficit en P, des différences importantes ont été observées entre les variétés testés pour leurs La caractérisation agro-physiologique de la symbiose rhizobienne leurs demandes en P, et leurs capacités de fixation symbiotique de  $N_2$ . Les performances symbiotiques (biomasse sèche aérienne et racinaire, nombre et biomasse sèche nodulaire, taux et quantité de phosphore dans la partie aérienne) permet de sélectionner les meilleurs génotypes qui présentent des meilleurs rendements et adaptent mieux aux conditions édapho-climatiques de la région de Khemis Miliana. Parmi ces génotypes Aguadulce et Séville se sont montré les plus performants.

Les biomasses aérienne et nodulaire sont positivement corrélées à la richesse du sol en phosphore assimilable et en azote ; Les teneurs en P dans la partie aérienne et nodulaire des plantes sont en concordance positive avec les teneurs des sols en P.

Les faibles teneurs en phosphore assimilable du sol accentuent l'activité enzymatique des phosphatases acides au niveau des nodules et les sols rhizosphérique.

# **Références bibliographiques**

## Références Bibliographiques

- Alkama, N., Bi Bolou, EB., Vailhe, H., Roger, L., Ounane, S.M., Drevon, J.J. (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.
- Alkama, N., (2010).** Adaptation de la symbiose rhizobienne chez le haricot à la déficience en phosphore: Détermination de la réponse de la plante en termes d'échange gazeux et de flux minéraux échangés avec la rhizosphère. Thèse doc. ENSA. El Harrach, Alger, 174p.
- Azzaoui, A., El Mourid, M., Loudyi, B., Ryan, J. (1994).** Fertilité et fertilisation potassique au Maroc : Acquis et perspectives d'avenir. *Al Awamia* 83: 241-263.
- Barber S.A., (1995).** Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach. John Wiley & Sons, New York.
- Bariola, P.A., Howard, C.J., Taylor, C.P., Verburg, M.T., Jaglan, V.D., Green, P.J., (1994).** The Arabidopsis ribonuclease gene RNS1 is tightly controlled in response to phosphate limitation. *Plant J* 6: 673-85.
- Bationo, A.B.J., Ndunguru, C.B., Christianson, A.U., Mokwunye (1995).** Fertilizer management strategies for legume-based cropping systems in the West African Semi-Arid Tropics. In: Sahrawat, K.L. eds, 213-226. ICRSAT, Patancheru, A.P. 50234.
- Benachour, K., Louadi, K., Terzo, M. (2007).** Role des abricilles sauvages et domestiques (Hymenoptera: Apoidea) dans la pollinisation de la fève (*vicia faba L. var. major*) (Fabaceae) en région de Costantine (Algérie). *Ann. Soc. Entomol. Fr. (n.s.)* 43(2) : 213-219.
- Bennani, F., Badraoui, M., Mikou, M., (2005).** Effect of humic matter on soil phosphorus availability no23, p 9-14.
- Bernal, L., Coello, P., Martinez-Barajas, E., (2005).** Possible role of R1 protein on Starch accumulation in bean seedling (*Phaseolus vulgaris L.*) under phosphate deficiency. *Plant Physiol* 162, 970-976.
- Boyardieu, J. (1991).** La féverole. Chapitre VI in Produire des grains oléagineux et protéagineux. pp185-198.
- Brink, M., Belay, G. (2006).** Ressources Végétales de l'Afrique tropicale 1 : céréales et légumes secs, prota, pays bas, pp.221-223.
- Carswell, M.C., Grant, B.R., Plaxton, W.C. (1997).** Disruption of the phosphate starvation response of oil seed rape suspension cells by the fungicide phosphonate. *Planta* 203: 67-74.
- Chaux, C., Foury, C. (1994).** Production légumière : légumineuses potagères, légumes fruits, lavoisier. Paris. Pp. 4-8.
- Christiansen, I., Graham, P.H. (2002).** Variation in di-nitrogen fixation among Andean bean (*Phaseolus vulgaris*).

- Condrón, L.M., Tiessen, H. (2005).** Interactions of organic phosphorus in terrestrial environments. In: Turner B.L., Frossard E. and Baldwin D.S. Eds, Organic Phosphorus in the environment. CABI Publishing, Wallingford, Oxon, UK, p. 295-307.
- Crepona, K., Marget, P., Peyronnet, C., Carrouea, B., Arese p., Duc, G.(2010).** Nutritional value of faba bean (*Vicia faba* L.) Seeds for feed and food: Crop Research. 115:329-339.
- Delgado, A., Madrid, A., Andreu, L., Kassem, S. (2001).** Effects of organic amendments on the efficiency of applied phosphorus fertilizer. In I World Congress On Conservation Agriculture Madrid, 1-5 October, 2001. pp: 343-3347.
- Drevon, J.J., Sifi, B. (2000).** La fixation symbiotique de l'azote et développement durable dans le Bassin méditerranéen.
- Duc, G 1997.** Faba bean (*Vicia faba* L.). Field crops Resarch.53: 99-109.
- Fachmann., Kraut. (2006).** L'intérêt de la fève. Ed. Bourde. Paris. 74p.
- Fardeau, J.C. (1993).** Available soil phosphate its representation by a functional multiple compartment model. Agronomie 13, 317-331.
- FAOSTAT-Agriculture 2015.** Food and agricultural commodities production. Food and agriculture organization. Rome.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (FAO). (2012)** <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/F>.
- Frossard, E., Julien, P., Neyroud, J.A., Sinaj, S. (2004).** Le phosphore dans les sols. État de la situation en Suisse. Cahier de l'environnement no 368. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne. 180p.
- Furihata, T., Suzuki, M., And Sakurai, H. (1992).** Kinetic characterization of two phosphate uptake systems with different affinities in suspension-cultured *Catharanthus roseus* protoplasts. Plant Cell Physiology 33: 1151-1157.
- Giller, K.E.J.F., Mc Dognagh, B.R., Ntare, C.B., Chrietierson, A.U., Mkwunye. (1995).** Fertilizer management strategies for legume- based cropping systems in the West African Semi-Arid Tropics. In phosphates. Plant and Soil: 123:161-163.
- Girard, C. (1990).** Féverole. Techniques agricole . 2213 : 1-16.
- Graham, P.H., (1981).** Some problems of nodulation and symbiotic nitrogen fixation in *Phaseolus vulgaris* L. Field Crop Res., 4: 93 -112.
- Gunawardena, S.F.B.N., Danso, S.K.A., Zapata, F. (1992).** Phosphorus requirement and nitrogen accumulation by three mung bean (*Vigna radiata* (L.) Welzek) cultivars, Plant Soil. 147, 267-274.
- Hammond, J.P., Broadley, M.R., White, P.J. (2004).** Genetic responses to phosphorus deficiency. *Ann Bot* (Lond). 94, 323-332.

- Harmsen J., (2007).** Measuring bioavailability: From a scientific approach to standard methods. *Journal of Environmental Quality* 36, 1420-1428.
- Helal, M. (1990).** Varietal differences in root phosphatase activity as related to the utilization of organic phosphates. *Plant and Soil* 123: 161-163.
- Hinsinger, P. (1998).** How do plant roots acquire mineral nutrients? Chemical processes involved in the rhizosphere. *Adv Agron.* 64, 225-265.
- Hinsinger, P. (2001).** Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes – a review. *Plant Soil.* 237, 173-195.
- Hinsinger, P., Gobran, G. R., Gregory, P. J., Wenzel, W. W. (2005).** Rhizosphere geometry and heterogeneity arising from root-mediated physical and chemical processes. *New Phytologist* 168:293-303.
- Hoefl, R. G., Nafziger, E. D., Johnson, R. R., Aldrich, R. (2000).** Chapter 6 in *Modern Corn and soybean production*. Edt MCSP Publications. pp 107-171.
- Ibrahim, M.E., Bekheta, M.A., El-Moursi, A., Gaafar, N.A., (2007)** .Amélioration de la croissance et le rendement grainier de la qualité de *Vicia faba*. *Journal d'Australie et des sciences appliquées de base*, 657-666.
- Johnson, A. E., (2000).** Soil and plant phosphate. Edts International Fertilizer Industry Association. 46p.
- Jouhet, J., Marechal, E., Bligny R., Joyard, J., Block, MA. (2003).** Transient increase of phosphatidylcholine in plant cells in response to phosphate deprivation. *FEBS Lett* 544: 63-68.
- Jungk, A., Claassen, N. (1997).** Ion diffusion in the soil–root system. *Adv Agron* 61: 53- 110.
- Kouas, S., Labidine, N., Debez, A., Abdelly, C. (2005).** Effect of P on nodule formation and N fixation in bean. *Agron. Sustain. Dev.* 25, 389-393.
- Kouas, S., Alkama, N., Abdelly, C., Drevon, J.J. (2009).** Proton release by nodulated roots varies among common bean genotypes (*Phaseolus vulgaris*) under phosphorus deficiency. *Plant Nutri and Soil Sci.* 171, 242-248.
- Lazali, M., Mainassara, Z-A., Laurie, A., Ghanaia, O., Josiane,A., Jean-Jacques, D.(2013).** A phytase gene is overexpressed in root nodules cortex of *Phaseolus vulgaris*-rhizobia symbiosis under phosphorus deficiency planta.
- Lazali, M., Brahim, S., Merabet, C., Latati, M., benadis, C., Maougal, RT., (2016).** Nodular diagnosis of contrasting recombinant inbred lines of *Phaseolus vulgaris* in multilocal field tests under Mediterranean climate, *European Journal of Soil Biology* 73,100-107.
- Leytem, A.B. , Mikkelsen, R.L., Gilliam, J.W. (2002).** Sorption of organic phosphorus compounds in Atlantic coastal plain soils. *Soil Sci.* 167, 652-658.
- Field Crops Res.* 115, 287–296.



- López-Bucio, J., Cruz-Ramírez, A., Herrera-Estrella, L., 2003.** The role of nutrient availability in.
- Louche, J. (2009).** Régulation de la sécrétion des phosphatases acides des champignons ectomycorhiziens et mobilisation de phosphore organique dans la rhizosphère des arbres forestiers : Approches biochimiques et moléculaires. Centre international d'études supérieures en sciences agronomiques. Mémoire de thèse p11.
- Maatougi, M.E. (1996).** Situation de la culture des fèves en Algérie et Perspectives de relance .Céréaliculture. N° .29 :6-18.
- Mengel, K., Kirkby. (1987).** Principales of plant nutrition. 4<sup>th</sup> Eds, International Potash Institute, Bern, Switzerland, 687p.
- Mengel, K. (1997).** Agronomic measures for better utilization of soil and fertilizer phosphates. European Journal of Agronomy 7: 221-233.
- Mengel, K., Kirby, E.A.(2001).** Chapter 9 Phosphorus. In Principles of plant nutrition. 5<sup>th</sup> edition. ed. Kluwer Academic Publishers. pp: 453:479.
- Morel, C.H., Tunney, D., Plenet, S. pellerin. (2006).** Transfer of phosphate ions between soil and solution: perspectives in soil testing . Journal of Environmental Quality 29: 50-59.
- Mikic, A. (2011).** Words denoting faba bean (*vicia faba*) in European languages. Ratar.povrt./field veg. crop Res. 48:233-238.
- Mullen, M.D, Israel, D.W., Wllum,A.G.(1988).** Effects of bradyrhizobium japonicum and sobean (*glycine max* L.) phosphorus nutrition on nodulation and dinitrigen fixation. Appl. Env. Microbiol. 54, 2387-2392.
- Neumann, G., Martinola, E. (2002).** Cluster roots - an underground adaptation for survival in extreme environments. *Trends in Plant Science.* 7, 162-167.
- Nuessly, G.S., Hentz, M.G., Beiriger, R., Scully, BT. (2004).** Insects associated with faba bean, *vicia faba*(fabales: Fabaceae), in southern Florida. Florida entomologist.87(2):204-211.
- Olofintoye,J.A.(1986).** Cowpea response to different levels of phosphorous and nitrogen in the guinea Savanna of Nigeria. Philippine Agriculturalist69(3):411-418.
- Plaxton, W.C. (2004).** Plant responses to stress: biochemical adaptation to phosphorus deficiency In: Goodman RM, ed. Encyclopedia of Plant and Crop Science. Marcel Dekker, New York.
- Quiquampoix, H., Mousain, D., (2005).** Enzymatic hydrolysis of organic phosphorus. In B.L. Turner, F.E., B.D.S. (eds). Organic Phosphorus in the Environment, 89-112. CABI Publishing, Wallingford , UK.
- Raghothama, KG., Muchhal, US., Kim, DH., Bucher, M., (1998).** Molecular regulation of plant.
- Raghothama, K.G. (1999).** Phosphate acquisition. Annual Review of Plant Physiol and Plant Mol Biol. 50, 665-693.
- Raghothama, KG., Karthikeyan, AS. (2005).** Phosphate acquisition. Plant Soil 274. 37-49.

- Rausch, C., Bucher, M. (2002).** Molecular mechanisms of phosphate transport in plants. *Planta*. 216, 23-37.
- Rengel, Z., Marschner, P. (2005).** Nutrient availability and management in the rhizosphere: exploiting genotypic differences. *New phytologist* 168, 305-312.
- Reta Sanchez, DG., Santos Serrato Corona, J., Viramontes, RF, Cueto Wong, JA., Padilla, SB., César, JS.(2008).** Cultivos alternativos con potencial de Uso forrajero en la comarca lagunera, primera, Mexico, PP.41.
- Richardson, A.E., Simpson, R.J., (2011).** Soil Microorganisms Mediating Phosphorus Availability. *Plant Physiology* 156, 989-996.
- Schneider, A.C., Morel. (2000).** Relationship between the isotopically exchangeable and resinextractable phosphate of deficient to heavilyfertilized Soil. *European J. of Soil Science* 51:709-715.
- Schubert, E., Schubert E., Mengel, K. (1990).** Effect of low pH of the root medium on proton release, growth, and nutrient uptake of field beans (*Vicia faba* L.). In M. L. van Beusichem (Ed.), *Plant nutrition – physiology and applications*, 443 – 448.
- Sharply, A.N. (1985).** Phosphorus cycling in unfertilized and fertilized agricultural soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49: 905-911.
- Shulaev, V., Cortes, D., Miller, G., Mittler, R. (2008) .**Metabolomics for plant stress responses.
- Skene, KR., (1998).** Cluster roots: some ecological considerations. *J Ecol.* 86, 1060-1064.
- Smith, F.W.(2001).** Sulphur and phosphorus transport systems in plants. *Plant Soil* 232, 109-118.
- Smith, S.E., Read, D.J. (2008).** Mycorrhizal Symbiosis, 3rd edition. Academic Press, London,UK.
- Suliaman, S., Ha, C.V., Schulze, J., Tran L.S.P. (2013) .**Growth and nodulation of symbiotic *Medicago truncatula* at different levels of phosphorus availability. *J. Exp. Bot.* 64 (10): 2701-2712.
- Tang, C., Hinsinger, P., Drevon, J.J., Jaillard, B., (2001).** Phosphorus deficiency impairs early nodule functioning and enhances proton release in roots of *Medicago truncatula* L. *Annals Bot.*, 88.
- Tanno, K., Willcox, G. (2006).** The origins of cultivation of *Cicer arietinum* L. and (*Vicia faba* L.): early finds from Tell el-Kerkh, north-west Syria, late 10th millennium B.P. *Veget. Hist. Archaeobot.* 15, 197–204.
- Tarafdar, J.C., Rao, A.V. (1996).** Contribution of *Aspergillus* strains to acquisition of phosphorus by wheat (*Triticum aestivum* L.) and chick pea (*Cicer arietinum* L.) grown in a loamy sand soil. *Applied Soil Ecology* 3 (2):109-114.
- Thalji, T., Shalalkeh, G. (2006).** Effect of planting date on faba bean (*Vicia faba* L.) nodulation and performance under semiarid conditions. *World Journal of Agricultural Sciences*, Vol.2 (4), 463-479.
- Tsvetkova, G.E., G.I. Georgiev. (2003).** Effects of phosphorous nutrition on the nodulation, nitrogen fixation and nutrient use efficiency of *Bradyrhizobium japonicum* soybean (*Glycine max* L. Merr.) symbiosis. *Plant Physiol.*,(Special Issue), pp: 331-335.

- Turner, B.L., Frossard, E., Baldwin, D.S. (2005).** Organic phosphorus in the environment. CABI Publishing, 875 Massachusetts Avenue, Cambridge, USA, 399 p.
- Vadez, V., Rodier, F., Payre, H., Drevon, J.J. (1999).** Nodule conductance to O<sub>2</sub> and nitrogenase-linked respiration in bean genotypes varying in the tolerance of N<sub>2</sub> fixation to P deficiency, *Plant Physiol Biochem* 34, 871-878.
- Vadez, V., Drevon, J.J. (2001).** Genotypic variability in phosphorus use efficiency for symbiotic N<sub>2</sub> fixation in common bean (*Phaseolus vulgaris*). *Agronomie*, 21, 691-699.
- Vance, CP., Graham, PH., Allan, DL. (2000).** Biological nitrogen fixation. Phosphorus: a critical future need. In FO Pedrosa, M Hungria, MG Yates, WE Newton, eds, *Nitrogen Fixation: From Molécules to Crop Productivity*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp 506-514.
- Vance, CP., Uhde-Stone, C., Allan, DL. (2003).** Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytologist* 157: 423–447.
- Wang, H –F., Zong, X-X., Guang, J-P., Youg, T., sun, X-L, Ma, Y., Redden, R. (2012).** Genetic diversity and relationship of global faba bean (*vicia faba L.*) germplasm revealed by ISSR markers. *Theor APPL Genet.* 124: 789-797.
- Workalemahu, A. (2009).** L'effet des peuples autochtones et Nodulating bactéries Root sur la nodulation et la croissance de la fève (*Vicia faba L.*) dans le faible niveau d'intrants des systèmes agricoles du Tigré Highlands, Nord de l'Ethiopie.
- Zaghoun, O. (2016).** The situation of faba bean (*Vicia faba L.*) in Algeria. *Iptions Méditerranéennes*.
- Zarrin, F., Zia, M., Chaudhary, M.F. (2007)** .effet interactif de souches de rhizobium et p sur le rendement de soja, fixation d'azote fertilite du sol département de microbiologie, faculté des sciences biologiques, -i-azam quaid, islamabad. Pakistan.

# Annexes

## Annexes

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

Source de variation	DDL	SCE	CM	Test F	Pr
Blocs	2	6,362	3,181	1,116	0,412
Variétés	2	73,386	36,693	12,869	0,018
Résidus	4	11,405	2,851		
Total	8	91,152			

### Annexe 2 : Modélisation de la variable biomasse aérienne

Source de variation	DDL	SCE	CM	Test F	Pr
Blocs	2	2,309	1,154	0,403	0,693
Variétés	2	4,682	2,341	0,816	0,504
Résidus	4	11,471	2,868		
Total	8	18,462			

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

Source de variation	DDL	SCE	CM	Test F	Pr
Blocs	2	0,087	0,543	10,188	0,027
Variétés	2	0,380	0,190	3,0563	0,007
Résidus	4	0,213	0,053		
Total	8	1,680			

### Annexe 4 : Modélisation de la variable longueur des racines

Source de variation	DDL	SCE	CM	Test F	Pr
Blocs	2	61,009	30,505	16,856	0,011
Variétés	2	3,049	1,525	0,843	0,005
Résidus	4	7,239	1,810		
Total	8	71,298			

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

Source de variation	DDL	SCE	CM	Test F	Pr
Blocs	2	0,021	0,010	1,740	0,286
Variétés	2	0,033	0,016	2,750	0,018
Résidus	4	0,024	0,006		
Total	8	0,077			

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

Source de variation	DDL	SCE	CM	Test F	Pr
Blocs	2	188,667	94,333	0,039	0,962
Variétés	2	1808,667	904,333	0,377	0,001
Résidus	4	9590,667	2397,667		
Total	8	11588,000			

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

Source de variation	DDL	SCE	CM	Test F	Pr
Blocs	2	0,889	0,444	4,000	0,111
Variétés	2	6,222	3,111	28,000	0,004
Résidus	4	0,444	0,111		
Total	8	7,556			

**Annexe 8** : Modélisation de la variable rendement en grains

Source de variation	DDL	SCE	CM	Test F	Pr
Blocs	2	242,000	211,000	3,903	0,115
Variétés	2	224,000	112,000	3,613	0,013
Résidus	4	124,000	31,000		
Total	8	590,000			