



Réf : ...../UAMOB/F.SNV.ST/DEP.AGR/2017

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**  
**EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOMEMASTER**

**Domaine : SNV**      **Filière : Sciences Agronomiques**  
**Spécialité : Santé des plantes**  
**Présenté par :**

*DAAS Selma & HABOUSSI Ikram Ibtissem Meroua*

*Thème*

*Quantification de l'association entre céréale et légumineuse  
et acquisition de phosphore du sol dans la région Aïn  
Bessem*

**Soutenu le : 04 / 07 / 2017**

**Devant le jury composé de :**

<i>Nom et Prénom</i>	<i>Grade</i>		
<i>Mr. LEBDIRI Farid</i>	<i>M.A.A</i>	<i>Univ. de Bouira</i>	<i>Président</i>
<i>Mr. LAMINE Salim</i>	<i>M.A.A</i>	<i>Univ. de Bouira</i>	<i>Promoteur</i>
<i>Mme. KERBACHE Fatima</i>	<i>M.A.A</i>	<i>Univ. de Bouira</i>	<i>Examinatrice</i>

**Année Universitaire : 2016/2017**

## *Remerciement :*

C'est avec l'aide de Dieu tout puissant que ce modeste projet a pu être

Réalisé, Dieu qui nous a donné fois, raison et lucidité

Dieu Merci.

Mes sincères remerciements sont exprimés agréablement à monsieur SALIM LAMINE professeur à l'Université Akli Mohand Oulhadj –Bouira–, pour avoir accepté de m'encadrer et d'avoir été patiente et compréhensive.

Je remercie vivement Mr Libdiri, *pour m'avoir fait honneur de présider mon jury et aussi pour ses conseils et son encouragement.*

Merci Mmekirbache *pour avoir accepté d'examiner mon travail et pour sa sympathie et sa gentillesse.*

*Un très grand merci à Mme Rahmouni enseignante à l'université Akli Mohand Oulhadj – Bouira–, pour m'avoir accordé son aide à convertir les données brutes des concentrations par un courbe d'étalonnage.*

Je tiens également à exprimer ma gratitude à toute l'équipe du laboratoire de phytopathologie à I.E.N.S.A. d'El Harrach pour son aide.

Je n'oublierai pas de présenter mes vifs remerciements à ma famille, et tous mes proches qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Un grand merci à ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à réaliser ce travail.

## ***Dédicace***

Merci Allah (mon dieu) de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever mes mains vers le ciel et de dire

" Ya Kayoum "

Je dédie ce modeste travail :

*A Mes chers parents : **DAAS Kamel et fatiha HARKAT** pour tous leurs efforts, leur soutien sans faille, leur amour et leurs encouragements et tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils.*

*Ma grande mère pour son amour et ses prières, les mots ne peuvent résumer ma reconnaissance et mon amour à ton égard.*

*Mes sœurs **Samah et Ikram** et mon frère **Salah**.*

A mes adorables amies Asma, Affaf, Sarah, Safia, Nesrine, Hamza, mahmoud, pour leur fidélité.

Doit également être remerciée, toute personne ayant participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

A tous ceux qui m'aiment.

A tous ceux que j'aime.

Je dédie ce travail.

*Selma.*

## **Sommaire :**

Liste d'abréviation

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale

## **Chapitre I : Synthèse bibliographique**

1. Généralités sur le blé, la féverole et le pois chiche

1.1. Le Blé ( <i>Triticum durum</i> ).....	1
1.1.1. Origine et aire de répartition.....	1
1.1.2. Classification botanique.....	1
1.1.3. Caractéristiques agro-morphologiques.....	1
1.1.4. Cycle végétatif.....	2
1.1.5. Importance de la culture du blé.....	5
1.1.6. Maladies.....	6
1.2. Le pois chiche ( <i>Cicer areitinum</i> ).....	8
1.2.1. Origine et aire de répartition.....	8
1.2.2. Classification botanique.....	9
1.2.3. Caractéristiques agro-morphologiques.....	9
1.2.4. Cycle végétatif.....	9
1.2.5. Importance de la culture du pois chiche.....	10
1.2.6. Maladies.....	11
1.3. Le féverole ( <i>vicia fabae</i> ).....	11
1.3.1. Origine et extension de la culture de la féverole.....	11
1.3.2. Classification botanique.....	12
1.3.3. Caractéristiques agro-morphologiques.....	12
1.3.4. Cycle végétatif.....	12
1.3.5. Importance de la culture du féverole.....	13
1.3.6. Maladies.....	13

## **Chapitre II : Association légumineuses-céréales**

2.1. Types de l'association des cultures..... 15

2.2. Avantage de l'association des cultures..... 16

    2.2.1. Utilisation efficace des ressources et amélioration du rendement en grains... 16

2.2.2. Restauration de la fertilité du sol.....	17
2.2.3. Propagation des parasites et des maladies.....	17
2.2.4. Contrôle des mauvaises herbes.....	18
2.2.5. Stabilité et l'uniformité du rendement.....	19
2.2.6. Préservation de la diversité.....	19
2.3. Inconvénients de l'association des cultures.....	19
2.4. Effet de l'association légumineuse- céréales sur la biodisponibilité de l'azote.....	20
3. Dynamique des cycles du carbone et de l'azote dans le système sol-plante-atmosphère.....	20
3.1. Le cycle du carbone .....	20
3.1.1. Le Carbone dans le pool végétal.....	21
3.1.2. Le Carbone dans le pool sol.....	21
3.1.3. Mécanisme du stockage du C dans le système complexe sol plante- microorganisme.....	22
3.2. Le cycle de l'azote.....	22
3.2.1. L'azote dans la plante.....	23
3.2.2. L'azote dans le sol.....	23
3.2.3. Fixation symbiotique de l'azote atmosphérique.....	24
3.2.4. Processus de transfert et d'assimilation de l'azote.....	25
4. La déficience en phosphore : aspects physiologiques et agronomiques.....	26
4.1. L'état du phosphore du sol.....	26
4.2. Le phosphore dans la plante : forme et fonction.....	27
4.3. La biodisponibilité de phosphore et son prélèvement par la plante.....	28
4.4. Conséquence de la déficience en phosphore sur la plante.....	29
4.4.1. Modification morphologique.....	29
4.4.2. Modification physiologique.....	30
4.4.3. Modification biochimique.....	30
4.4.4. Modification Moléculaire.....	31
4.5. Fixation symbiotique sous déficience en phosphore.....	31
4.6. Effet de l'association légumineuses-céréales sur la biodisponibilité du phosphore.....	31
<b>Chapitre III :Matériels et méthodes</b>	
1. Présentation de la région d'étude.....	32
2. Présentation du site expérimental.....	32
3. Protocole expérimental.....	33
3.1. Objectif de l'essai.....	33

3.2. Mise en place de l'essai.....	33
3.2.1. La préparation du terrain.....	33
3.2.2. Le prélèvement du sol.....	33
3.2.3. Le dispositif expérimental.....	33
3.2.4. Matériel végétal.....	34
3.2.6. Le semis.....	34
4. Suivi de la culture.....	35
5. Echantillonnage et collecte des données.....	35
5.1. Préparation des échantillons.....	36
5.1.1. Le sol.....	36
5.1.2. Le végétal.....	36
5.2. Mesures réalisées.....	36
5.2.1. Sur le végétal.....	36
5.2.2. Sur le sol rhizosphérique.....	37
6. Traitements statistiques des données.....	38

#### **Chapitre IV: Résultat et discussion**

1. Caractéristiques physico chimiques du sol initial.....	39
2. Effet de l'association sur les échanges rhizosphériques.....	39
a) Effet sur la conductivité électrique (CE) du sol rhizosphérique.....	39
b) Effet sur la solubilisation du calcaire dans la rhizosphère.....	40
c) Effet sur l'acidification de la rhizosphère.....	42
d) Effet de l'association sur la biodisponibilité de phosphore dans la rhizosphère.....	42
3. Effet de l'association sur la teneur de phosphore dans le végétal.....	43
4. Effet de l'association sur la croissance en biomasse.....	44

#### **Conclusion**

<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>49</b>
---	-----------

#### **Annexe**

## Liste des abréviations

**ANOVA:** Analysis of Variance

**CaCO<sub>3</sub>:** Carbonate de calcium (calcaire)

**CE :** La conductivité électrique

**TDW :** la biomasse totale aérienne

**mgP/l :** Milligramme phosphore sur litre

**N :** Azote

**N<sub>2</sub>:** Azote moléculaire

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

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

**P:** Phosphore.

**Ph :** Le potentiel hydrogène

**Ppm :** Une partie par million : 10<sup>-6</sup>

**P-Olsen :** Phosphore assimilable

**ES :** Erreur standard

**FSN :** Fixation symbiotique de l'azote atmosphérique

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

**PP :** pois chiche pur

**PA :** pois chiche associé

**FP :** féverole pur

**FA :** féverole associé

**BP :** blé pur

**BA :** blé associé

**BAP** : blé associé avec le pois chiche

**BAF** : blé associé avec la féverole

**FAO** : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

**PARa** : rayonnement photosynthétiquement actif absorbé

**RUE** : Radiation Use Efficiency

## Liste des tableaux et figure

<b>Figure 1 :</b> Morphologie des graminées chez le blé.....	2
<b>Figure 2 :</b> Phase de semis-levée.....	3
<b>Figure 3 :</b> Phase Levée-Début tallage.....	3
<b>Figure 4 :</b> Phase Début tallage-Début montée (tallage herbacé).....	4
<b>Figure 5 :</b> Période reproductrice du blé.....	5
<b>Figure 6 :</b> répartition géographique du pois chiche.....	8
<b>Figure 7:</b> Émergence de la racine d'un germe de pois.....	9
<b>Figure 8:</b> Développement de la tige feuillée épicotylée d'un germe de pois.....	9
<b>Figure 9:</b> Développement du système racinaire.....	9
<b>Figure 10 :</b> Stade de germination.....	12
<b>Figure 11:</b> schéma des transferts d'N entre légumineuse et céréale.....	20
<b>Figure 12:</b> Cycle global du carbone.....	21
<b>Figure 13 :</b> Le cycle de l'azote.....	22
<b>Figure 14:</b> cycle globale de N dans le système sol-plante-atmosphère.....	25
<b>Figure 15:</b> Schéma du cycle simplifié de P dans un écosystème cultivé présentant les flux possibles entre les différents réservoirs de P.....	27
<b>Figure 16:</b> Effets d'un sevrage en P sur la physiologie chez le maïs durant 16 jours.....	28
<b>Figure 17 :</b> La carence en Pi entraîne des changements morphologiques des poils absorbants. Racines d'Arabidopsis après 10 jours de croissance en boîte petri avec 5mM (+Pi) ou 5µm (-Pi).....	29
<b>Figure 18:</b> Durée de l'activité APase exsudée des racines de moutarde indiennes cultivées dans des milieux stériles contenant 3, 1, 0,25 et 0,01 mm P. Chaque point est une moyenne de six répétitions ± se. L'expérience fut répétée trois fois avec des résultats similaires.....	30
<b>Figure 19 :</b> Localisation du site expérimentale.....	32
<b>Figure 20 :</b> le dispositif expérimental de l'essai.....	34

<b>Figure 21</b> : Photos de l'essai agronomique.....	35
<b>Figure 22</b> : digestion et dosage au spectrophotomètre du phosphore.....	37
<b>Figure 23</b> :pH mètre.....	37
<b>Figure 24</b> : Conductimètres.....	37
<b>Figure 25</b> :Calcimètre.....	37
<b>Figure 26</b> :spectrophotomètre du phosphore.....	38
<b>Figure 27</b> : Les étapes de la manipulation du carbone.....	38
<b>Figure 28</b> : Variation de la CE du sol rhizosphérique chez le blé (a), le pois chiche (b) et la féverole en monoculture et en association par rapport au sol initial. Les données sont la moyenne de 6 répétitions $\pm$ ES.....	40
<b>Figure29</b> : La teneur du calcaire (CaCO <sub>3</sub> ) du sol sous la monoculture et l'association.....	41
<b>Figure 30</b> : Variation du pH rhizosphérique en monoculture et en association par rapport au sol initial. BP: chez le blé dur ; PA : chez le pois chiche associé ; FA : féverole associé.....	42
<b>Figure 31</b> : P-Olsen (mg kg <sup>-1</sup> ) dans le sol de la rhizosphère du blé dur, pois chiche et de la féverole en association et en monoculture dans le site expérimental. Les données sont les moyennes de 6 répétitions $\pm$ SE.....	44
<b>Figure 32</b> : Concentrations en P dans la partie aérienne, les racines par le blé dur, pois chiche et la féverole en association et en monoculture. Les données sont les moyennes de 6 répétitions $\pm$ ES.....	44
<b>Figure 33</b> : la croissance en biomasse de la partie aérienne sous l'effet de l'association.....	46
<b>Figure 34</b> : la croissance en biomasse de la partie racinaire sous l'effet de l'association....	46

## Liste des tableaux

Tableau 1: les maladies de blé dur.....	6
Tableau 2:les maladies de la féverole.....	13
Tableau 3: Superficie et production de blé, féverole et pois chiche dans la région de Bouira.....	14
Tableau 4: Méthodes des analyses physico-chimiques du sol.....	33
Tableau 5 : Caractéristiques physico chimiques du sol initial.....	39

## Introduction générale

### **Introduction**

Le système de production le plus fréquent en Algérie reste sans conteste le système jachère-blé. La résorption de la jachère (40% de la surface agricole utile) est devenue une nécessité stratégique afin de garantir la sécurité alimentaire en réponse à l'instabilité de l'offre et la persistance de la hausse des prix des produits alimentaires sur le marché mondial. A cet effet, les légumineuses peuvent jouer un rôle important dans cette démarche notamment lorsqu'elles sont cultivées en association avec les céréales (Drevon et Ounane, 2009). Mais leur introduction dans les systèmes de culture céréalière reste difficile à mettre en œuvre en raison de la faiblesse et de la grande instabilité de leur rendement qui ne sont pas encourageants pour les producteurs (Alkama, 2010).

En plus, les sols du nord d'Algérie sont parmi les sols les plus alcalins avec un pH élevé (7,5 à 8,5) (Djilli et Daoud, 1999), qui est considéré comme un facteur important de limitation de la croissance et de la nodulation des légumineuses (Alkama et al., 2012).

Des recherches récentes rapportent l'avantage du système d'association légumineuses-céréales sur la croissance, la biodisponibilité des ressources en nutriments et sur l'amélioration du rendement en graine (Latatiet al., 2013, 2014). Ces derniers auteurs ont confirmé que la facilitation des ressources en éléments nutritifs au profit des céréales en association, est assurée *via* la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique (FSN) par les légumineuses. Dans des conditions de limitation de P dans le sol, Betencourt et al. (2012) ont rapporté une meilleure efficacité d'utilisation du P et de N par le blé dur cultivé en association avec le pois-chiche.

La déficience en P est un facteur déterminant de la croissance des légumineuses et du fonctionnement de leurs nodosités (Betencourt et al., 2012). A cet effet, l'utilisation des engrais phosphatés est pratiquée depuis toujours dans le but d'améliorer la production des légumineuses bien que leur efficacité soit limitée dans le temps (Dawson et Hilton, 2011). Cependant, la disponibilité des engrais phosphatés est de plus en plus limitée par l'épuisement des réserves minérales de notre planète (Dyson, 1999). Malgré d'énormes réserves de phosphates, il faut signaler que la majorité des sols algériens sont calcaires, ou à pH alcalin, conditions redoutables qui insolubilisent et bloquent le phosphore apporté par les engrais (Belaid, 2014). Ce manque d'intérêt s'explique par deux facteurs limitants, le déficit hydrique et la déficience en phosphore, qui caractérisent la plupart des zones méditerranéennes (Alkama, 2012).

## **Introducion générale**

## **Chapitre I : Synthèse bibliographique**

### **1.1. Blé dur (*Triticum durum*) :**

#### **1.1.1. Origine et répartition géographique :**

Le blé tendre est apparu entre 5000 et 6000 ans dans le croissant fertile, se répandit dans une grande partie de l'Asie, du nord de l'Afrique et de l'Europe (Martin B et Getachew M B, 2006). Dès le début du siècle, a montré que les blés formaient une série polyploïde. Ensuite, par la méthode d'analyse génomique, il a été clairement démontré que l'allopolyploïdie a eu un rôle essentiel dans l'apparition du blé dur et blé tendre. Les formules génomiques attribuée ont été :

AABB ( $2n = 4x = 28$ ) pour le blé dur,

AABBDD ( $2n = 6x = 42$ ) pour le blé tendre. (Gallais A et Bannerot H, 1992)

Les espèces tétraploïdes ( $4n = 28$ ) dont nous citons le blé dur (*Triticum durum*) selon CEDRIC GRIMOULT, 2000.

#### **1.1.2. Classification botanique de blé dur (*Triticum durum*):**

Le blé est une monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* famille des *Gramineae*. (Feillet, 2000). Ils appartiennent à quatre espèces : *T. monococcum* est diploïde ( $2n = 14$ ), *T. turgidum* et *T. timopheevi* sont tétraploïdes ( $2n = 28$ ) et *T. aestivum* est hexaploïde ( $2n = 42$ ) selon Mackey, 1966.

#### **1.1.3. Caractéristiques agro-morphologiques :**

Le blé est une plante annuelle, herbacée, à tige cylindrique, creuse, à nœuds pleins : les feuilles naissent des nœuds, elles sont alternes, à pétiole en gaine fendue, embrassant la tige selon Augustin P et Adolphe J, 1864. La fleur hermaphrodite possède 3 étamines et le pistil comprend un seul ovaire, un seul ovule et 2 styles se terminant chacun par stigmate plumeux; il est caractérisé par des épillets stamino-pistillés, des épis simples, solitaire, 2 glumes presque opposées, glumelle inférieure convexe, stigmates sessiles. Caryopse oblong, libre ou soudé avec les glumelles. Son système racinaire est fasciculé et comprend cinq à six racines primaires et de nombreuses racines secondaires.

# Chapitre I : Synthèse bibliographique

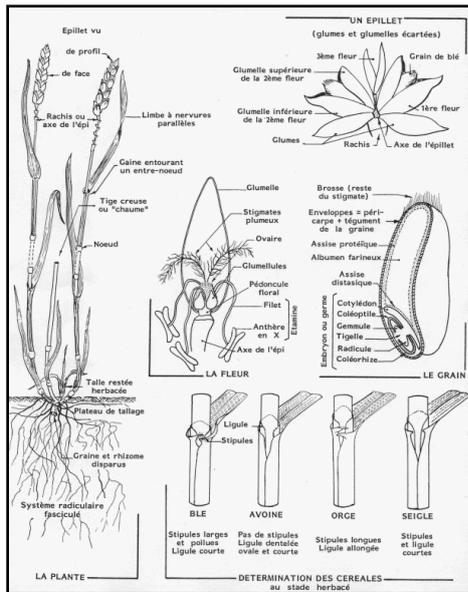


Figure 1 : Morphologie des graminées (exemple du blé) (Soltner 1998)

## 1.1.4. Cycle végétatif :

Dans le cycle annuel du blé, on distingue trois périodes importantes dans le cycle végétatif du blé : La période végétative ;

La période reproduction ;

La période de maturation.

### Période végétative

#### a. Phase semis- levée

Elle débute par le passage du grain de l'état de vie ralentie à l'état de vie active lors du processus de germination, qui commence quand le grain a absorbé environ 25 % de son poids d'eau. Les téguments se déchirent, la racine principale, couverte d'une enveloppe appelée Coleorhize, apparaît, suivie par la sortie de la première feuille, couverte d'une enveloppe appelée Coléoptile. À la surface du sol, puis apparaissent d'autres racines et feuilles. La durée de cette phase varie avec la température de 8 à 15 jours. (CLEMENTGRANDCOURTet PRAT., 1970).

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

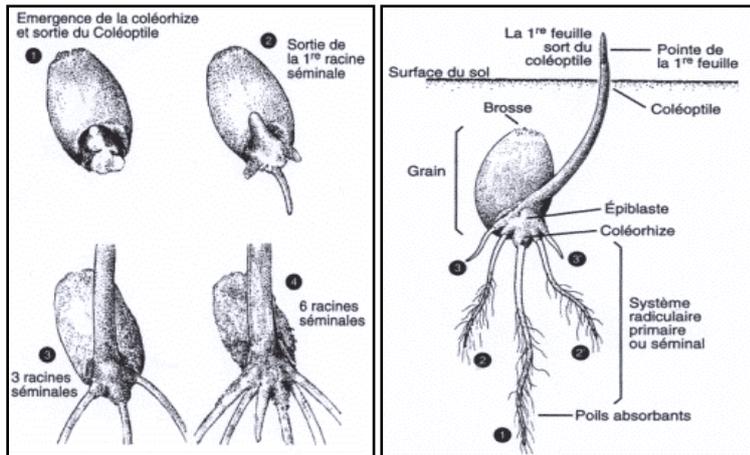


Figure 2 : Phase de semis-levée (Boyeldieu 1997)

### **b- Phase levée – tallage**

Après la levée, On peut distinguer à travers le coléoptile, un filament ou rhizome, termine par un renflement qui va se gonfler pour former le plateau de tallage qui se forme presque au niveau de la surface du sol. Le plateau de tallage s'épaissit et des racines secondaires se développent très vite. Des nouvelles feuilles apparaissent et à chacune correspond l'apparition d'une talle. La place des épillets fait par un simple étranglement sur la partie supérieure du végétal.

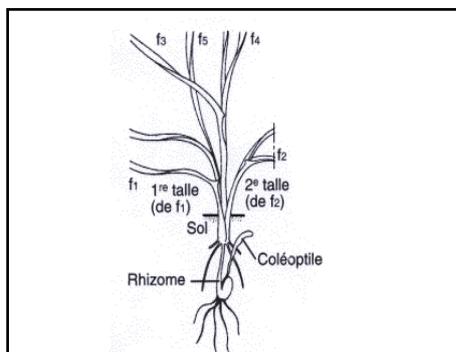


Figure 3 : Phase Levée-Début tallage (Boyeldieu 1997)

### **c- Phase tallage-montaison**

La différenciation des épillets se poursuit par étranglements successifs du cône formateur de l'épi. Les talles herbacées se forment activement.

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

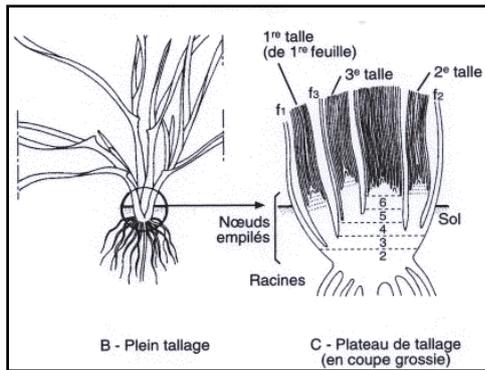


Figure 4 : Phase Début tallage-Début montée (tallage herbacé) (Boyeldieu 1997)

### **1.5.2. Période de reproduction**

Elle s'étend de la montaison à la fécondation :

#### **a- Phase de la montaison**

Au cours de cette phase, un certain nombre de talles herbacées vont évoluer vers des tiges couronnées d'épis, tandis que d'autres commencent à régresser. La croissance en taille et en matière sèche est alors active. Cette phase se termine au moment de la différenciation des stigmates. La durée de cette phase est de 29 à 30 jours.

#### **b- Phase de l'épiaison**

La vitesse de croissance de la plante est maximale. Cette phase correspond à l'élaboration d'une grande quantité de la matière sèche, à l'organisation détaillée des épillets et à la fécondation. La durée de cette phase est d'environ 32 jours.

Cette phase est suivie par le grossissement du grain qui devient mou et le dessèchement de presque toutes les feuilles. Sa durée est de 16 à 17 jours.

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

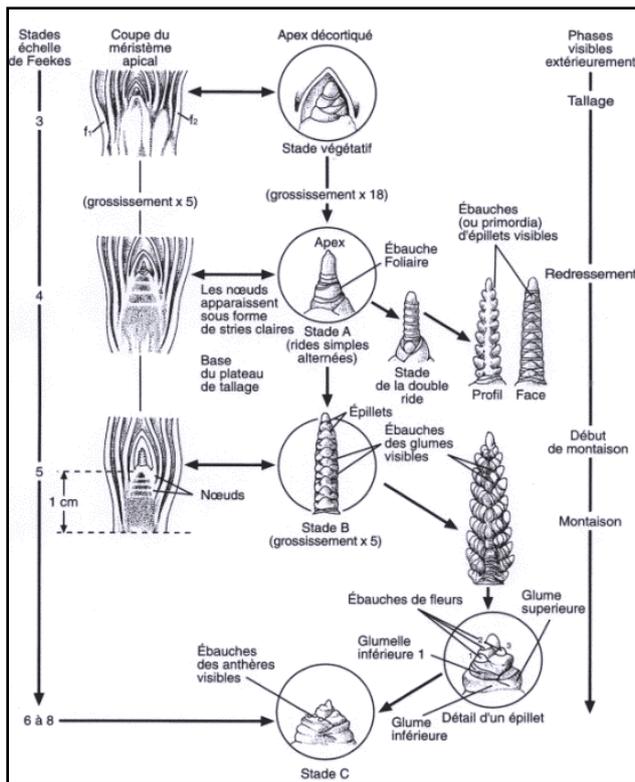


Figure 5 : Période reproductrice, exemple du blé (Boyeldieu 1997)

### 1.5.3. Période de maturation

Elle correspond à l'accumulation de l'amidon dans les grains et à la migration très active des réserves (glucides et protéines) vers le grain. La durée de cette période est de 25 à 26 jours en moyenne.

### 1.1.5. Importance de la culture du blé

#### Dans le monde :

Dans tous les pays du monde, les céréales constituent la base de l'alimentation humaine en tant que sources protéiques et énergétiques. Le blé est la base du régime alimentaire de l'Europe, de l'Amérique du Nord, de l'Afrique du Nord et d'une partie de l'Asie dont 250 millions d'Indiens, 200 millions de Chinois et un tiers de la population japonaise, c'est pour sa environ 70 % des surfaces ensemencées sont consacrées à la culture de céréales. Selon Germain Met Armand B, 1992.

#### Dans l'Algérie :

La filière céréalière constitue une des principales filières de la production agricole en Algérie. Les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. Cette caractéristique est perçue d'une manière claire à travers toutes les phases de la filière (Abdelkader D, 2009).

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

La production des céréales, jachère comprise, occupe environ 80% de la superficie agricole utile (SAU) dupays, La superficie emblavée annuellement en céréales se situe entre 3 et 3,5 million d'ha. Les superficies annuellement récoltées représentent 63% des emblavures. Elle apparait donc comme une spéculation dominante. Leur consommation des produits céréaliers se situent à un niveau d'environ 205 kg /hab/an (Chehat, 2007).

En relations avec le marché mondial, les produits céréaliers représentent plus de 40% de la valeur des importations des produits alimentaires. Les produits céréaliers occupent le premier rang (39,22 %), devant les produits laitiers (20,6%), le sucre et sucreries (10%) et les huiles et corps gras (10%). De 1995 à 2005, le marché Algérien a absorbé, en moyenne annuelle, 4244903 tonnes de blés dont 70,44% de blé dur, soit 2990265 tonnes représentant une valeur de 858 millions de dollars, dont 60,36% de blé dur, soit 578 millions (Chehat, 2007).

### 1.1.7. Maladies :

**Tableau 1 : les maladies de blé dur**

Tableau établi de moi et même

La maladie		Nom scientifique	Description	Figure	Référence
Piétin verse		<i>Cercospora blattaria</i>	-Tâches allongées, ocellées, brunes en périphérie des gaines. -Ponctuations grises sur la face interne de la gaine. -Pourriture sèche à la base de la tige		
Piétin échaudage		<i>Ophiobolus graminis</i>	-Épi stérile, blanc au début de l'épiaison. -Racines noires et cassantes. -Base des tiges noircit		
Carie		<i>Tilletia caries</i>	-Couleur vert foncée des glumes et glumelles. -Transformation du contenu de grain en masse poudreuse noirâtre		
Rouille	La rouille jaune	<i>Puccinia striiformis</i>	-Formation de pustules jaunes ou orangées alignées parallèlement aux nervures de la feuille		
	La rouille brune	<i>Puccinia triticina</i>	Pustules oranges ou brunâtres disposées de manière irrégulière		

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

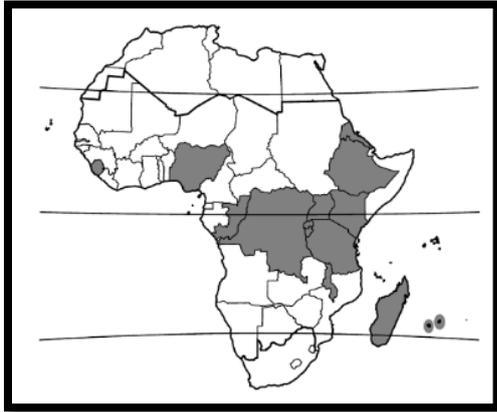
<b>Oïdium</b>	<u><i>Erysiphegramini</i></u> <u>s</u>	-Feutrage blanc d'aspect farineux. -Ponctuations noires (cleistothèces) apparaissent sur les feuilles âgées.		
<b>Fusariose</b>	<u><i>Fusariumspp</i></u>	-Décoloration -Des épillets (blanchâtre). -Grains échaudés et décolorés. -Fonte de semi		
<b>Septoriose</b>	<u><i>Septoriatritici</i></u>	-Taches rectangulaires allongées (sens des nervures)		<a href="http://www.INPV.dz">www. INPV. dz</a>
	<u><i>Septorianodoru</i></u> <u>m</u>	-Taches brun roux ovales plus fréquentes à la pointe du limbe		

### **1.2. Le pois chiche (*Cicer artienum*)**

#### **1.2.1. Origine et répartition géographique :**

L'origine et les ancêtres de *Cicer artienum* sont mal connus. On le trouve auteur de tout le bassin méditerranéen, l'Asie centrale et occidentale et l'Ethiopie ont été envisagés comme centre d'origine (Jean P et al, 2016). Le pois semble avoir été d'abord cultivé en Asie, d'où il s'est diffusé en Europe, en Chine et en Inde. Dans l'antiquité, les auteurs grecs et romains ont fait état de sa culture comme légume sec et plante fourragère. Le pois était déjà bien connu dans les régions montagneuses de l'Afrique centrale et orientale avant l'arrivée des européens et, vers 1860, c'était une culture vivrière importante et bien établie au Rwanda et dans le sud-ouest de l'Ouganda. Actuellement, on trouve *Cicer artienum* dans tous les pays tempérés et dans la plupart des hautes terres tropicales (Martin B et Getachew M ,2006)

## Chapitre I : Synthèse bibliographique



**Figure 6 :** répartition géographique du pois chiche

### **1.2.2. Classification botanique :**

Le genre *Pisum* comprend que quelques espèces et s'apparente aux genres *Lathyrus*, *Lens* et *Vicia*, dont il se distingue par ses tiges cylindrique, ses stipules très grandes et son style cannelé longitudinalement.

*Cicer artienuma* depuis longtemps été étudié par les généticiens ; knight a fait ses essais de croisement sur le pois en 1787, et Gregor Mendel s'en est servi pour ses travaux pionniers au XIX<sup>e</sup> siècle. Au sein de *Cicer artienum*, plusieurs variétés et sous-espèce ont été distinguée. Le groupe *sativum* est cultivé dans le monde entier, dont l'Afrique tropicale et diffère par ses feuilles (2-3 paires de folioles) selon Martin. B, Getachew. M. B, 2006.

### **1.2.3. Caractéristiques agro-morphologiques :**

D'après (M.SAVY, .1857) Sur le plan botanique, *Cicer artienum* plante annuelle, grimpante, glabre, d'un vert glauque. Tiges de 8 à 15 décimètre, grêles, anguleuses, rameuses. Feuilles paripennée à pétiole commun terminé par une vrille ginées, mucronulée, entières ou sinuées-ondulées. Stipules très amples, simulant deux folioles oblongues, prolongée, par leur base, en une oreillette arrondie et dentée sur son bord externe. Fleurs grandes, réunies en grappe, au nombre de 2-6, sur des pédoncules axillaires. Corolle ordinairement tout à fait blanche, quelquefois d'un blanc bleuâtre ou rosé sur l'étendard, et d'un violet foncé sur les ailes. Légume allongé, réticulé-veiné, renflé et subcylindrique ou fortement comprimé. Graines globuleuses, de couleur uniforme. Floraison d'avril à juillet. Plusieurs semences presque rondes, marquée d'une cicatrice.

### **1.2.4. Cycle végétatif :**

## **Chapitre I : Synthèse bibliographique**

La germination du pois est une germination hypogée. La graine (et donc les cotylédons) restent sous la terre. C'est la tige feuillée épicotylée qui va émerger. La première réaction apparente est la sortie de la radicule bientôt suivie du développement de cette tige feuillée épicotylée.

Premier stade : la sortie de la radicule



**Figure 7:** Émergence de la radicule d'un germe de pois

Deuxième stade : développement de la tige feuillée épicotylée



**Figure 8:** Développement de la tige feuillée épicotylée d'un germe de pois

Le développement de la plantule : Développement du système racinaire par l'apparition progressive et la croissance de racines secondaires.



**Figure 9:** Développement du système racinaire

### **1.2.5. Importance de la culture du pois chiche :**

#### **Dans le monde :**

D'après Martin. B, Getachew. M. B, 2006. Les petits pois sont également cuits à l'eau quelques minutes. Ils sont couramment disponibles en appertisé ou dans les pays occidentaux en surgelé. En Ethiopie, la consommation de pois est estimée à 6-7 kg par personne. Dans les pays occidentaux, les graines mures de pois sont partout utilisées dans l'alimentation animale. En alimentation humaine, le pois chiche est

## **Chapitre I : Synthèse bibliographique**

une excellente source de protéines pour les populations pauvres avec une teneur de 25.3 % - 28.9 % du poids du grain, riche également en fibres, en glucides complexes, en vitamines et en minéraux (MacMichael, 2001). En Inde et dans les pays voisins, on consomme les pois des entiers, écosés ou fendus pour produire le dhal, ou encore on les moule pour faire une farine fine appelée *besan* (MacMichael, G. 2004).

### **Dans l'Algérie :**

En Algérie, le pois chiche est l'une des principales légumineuses alimentaires qui occupe une place importante dans l'alimentation de la population. La culture du pois chiche était connue en Algérie avant 1830. Cultivée sur plusieurs zones agro écologiques, cette espèce constitue une source très importante de protéines avec une teneur qui peut atteindre, 30% du poids du grain. Le mélange des graines de pois chiche avec celle des céréales peut avoir une valeur nutritive équivalente à celle fournie par des protéines animales, Par ses propriétés fixatrices d'azote atmosphérique, la contribution de cette culture à la fertilité des sols et à l'amélioration de leur structure est une réalité reconnue selon Zine-Zikara F et al (2015).

#### **1.2.6. Maladies**

Le pois chiche d'hiver ne manque pas d'inconvénients. L'occupation du sol est plus longue et les travaux d'entretien, notamment le désherbage, sont multiples. Les conditions climatiques hivernales caractérisées par une hygrométrie relative élevée de l'ordre de 93 % et des températures clémentes, variant de 9 à 18,5 °C (kamel.M et al., 2008), favorisent le développement des maladies très redoutables, le fusariose (*Fusariumoxysporum*), l'anthracnose (*Ascochytarabiei*) et autres, telles que la pourriture grise (*Botrytis cinerea*), la pourriture humide des racines (*Fusariumsolani*) et la pourriture sèche des racines (*Rhizoctoniabataticola*), surtout pour les variétés sensibles. virale (mosaïque commune, mosaïque énation, jaunisse apicale, peaseed borne mosaic) ou bactérienne (graisse) se rencontre dans les cultures de pois (Michel. P et al, 2013).

### **1.3. Le féverole (*vicia fabae*)**

#### **1.3.1. Origine et extension de la culture de la féverole**

On ne connaît la fève que cultivée. Son centre d'origine et de domestication se trouve probablement en Asie occidentale, d'où elle s'est diffusée en Europe, en Afrique et en Asie centrale.

## **Chapitre I : Synthèse bibliographique**

L’Ethiopie et l’Afghanistan sont considérés comme des centres secondaires de diversité. La domestication de la fève a eu lieu entre 7000 et 4000 avant J.-C., et au 3<sup>e</sup> millénaire avant J.-C (Getachew M et Martin B, 2006).

### **1.3.2. Classification botanique**

D’après DAJOZ (2000), la fève est classée comme suit :

Embranchement :	Spermaphytes
Sous-embranchement :	Angiospermes
Classe :	Dicotylédones
Sous-classe :	Dialypétales
Série :	Caliciflores
Ordre :	Rosales
Famille :	Fabacées
Sous-famille :	Papilionacées
Genre :	<u>Vicia</u>
Espèce :	<u>Viciafaba</u>

D’après Nuessly et al. (2004), selon la taille des graines, cette espèce est subdivisée en trois sous espèces :

*vicia fabaminorbeck* à petites graines appelée couramment féverole.

*Vicia fabaequina* pers à graines moyennes.

*Vicia faba* major hartz à grosses graines.

### **1.3.3. Caractéristiques agro-morphologiques**

C’est une plante annuelle herbacée, à tige creuse quadrangulaire (deux orthostiques), sa hauteur varie de 60 centimètres à un mètre, à racines pivotantes parfois, superficielles plus généralement portant des nodosités renfermant la bactérie spécifique fixatrice d’azote atmosphérique, *Rhizobium leguminosarum* selon Gallais A et Bannerot H, (1992). Les feuilles pennées vert brillant ont forme allongée. Les fleurs de 3 cm environ sont blanches avec de petites ailes tachetées de violet noirâtre. Les grains aplatis qui leur succèdent sont larges et ovales et ont 3 à 8 centimètres de long. Ils sont renfermés (5 à 10) dans une gousse verte devenant noire. Ces grains sont appelés fèves (Jean P, 2016).

### **1.3.4. Cycle végétatif**

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

D'après Weber und Bleiholder et al., 1990 :

1- germination : Graine sèche, début de l'imbibition de la graine, imbibitions complètes, la radicule sort de la graine, la jeune pousse sort de la graine (apparition de la plumule), la jeune pousse se dirige vers la surface du sol, la jeune pousse perce la surface du sol

2- développement des feuilles : 2 feuilles écailleuses visibles (10), première feuille étalée, 2 feuilles étalées, 3 feuilles étalées, 9 ou davantage de feuilles étalées

3- formation de pousses latérales : Pas de pousses latérales, début du développement de pousses latérales: première pousse latérale discernable, 2 pousses latérales discernables, 3 pousses latérales discernables 2, fin du développement de pousses latérales, 9 ou davantage de pousses latérales

4- élongation de la tige principale : Début de l'élongation de la tige principale, l'élongation du premier entre-nœud est visible, 2 entre-nœuds visibles, 3 entre-nœuds visibles, 9 ou davantage d'entre-nœuds visibles

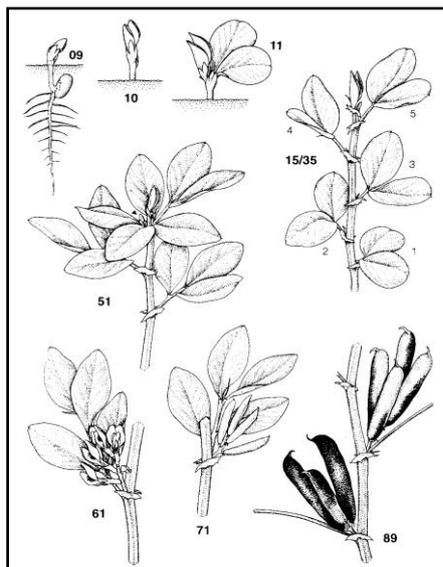
5- apparition de l'inflorescence : Les boutons floraux sont formés mais toujours enveloppés par des feuilles, les premiers boutons floraux sont visibles et ne sont plus enveloppés par des feuilles (51), les premiers boutons floraux sont individuellement visibles, toujours fermés mais dégagés des feuilles, les premiers pétales et de nombreux boutons floraux individuels toujours fermés sont visibles

6-la floraison : Les premières fleurs sont ouvertes, les fleurs de la première grappe sont ouvertes (61), les fleurs sont ouvertes sur 3 grappes par plante, pleine floraison: les fleurs sont ouvertes sur 5 grappes par plante, la floraison s'achève, fin de la floraison

7-développement du fruit : Les gousses ont atteint leur taille finale

8- maturation des fruits et graines

9- sénescence : La tige devient plus foncée, 50% de la tige est brune ou noire, plante desséchée et morte, produit après récolte



**Figure 10** : Stade de germination

### **1.3.5. Importance de la culture de la féverole**

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

La fève se cultive en plain champ pour ses graines mûres et sèches, et en jardin potager pour ses graines ou ses gousses immatures. En Ethiopie, dans les pays méditerranéens, au Proche-Orient et en Chine, les graines mûres et sèches sont un aliment très répandu (Getachew M et Martin B, 2006).

On peut dire que la féverole est un excellent précédent pour le blé, d'autre part, ce n'est pas une plante exigeante en engrais (Jean Paquereau, 2016).

### 1.3.6. Maladies

**Tableau 2 : les maladies de la féverole**

Tableau établi de moi et même

Maladies et ravageurs	Nom scientifique	Dégâts	figure	référence
<b>Rouille</b>	<i>Uromyces fabae</i>	-peut occasionner des pertes de rendement jusqu'à 25 q/ha -la présence sur les feuilles de pustules de couleur brun rouge auréolées d'une partie plus claire		
<b>Botrytis</b>	<i>Botrytis fabae</i>	- petites taches brunes de 2-3 mm de diamètre dispersés sur la feuille pouvant entraîner une chute précoce des feuilles.		
<b>Ascochytose</b>	<i>Ascochyta fabae</i>	Généralement sur une feuille, pas plus de 2 taches s'élargissent pour atteindre un diamètre supérieur à 3 mm, plus âgées sont de type "brûlure de cigarette" avec une plage blanche au centre.		

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

<b>Bruches</b>	<i>Bruchusrufi manus</i>	-Larve pénètre dans la gousse et dans la graine.		
<b>Sitones</b>	<i>Sitonelinea tus</i>	-L'adulte mord les feuilles (encoches sur le bord des feuilles). -Détruisant les nodosités.		
<b>Pucerons noirs</b>	<i>Aphisfabae</i>	-forment des colonies ou manchons sur les tiges de féverole. -affaiblissent les plantes		<b>ITAB, 2014</b>

**Tableau 3:** Superficie et production de blé, fèverole et pois chiche dans la région de Bouira

Les années	Blé dur		Pois chiche		féverole	
	Superficie	Production	Superficie	Production	Superficie	Production
	Ha	QX	ha	QX	ha	QX
2000	8107	2230	14	50	1 100	1 420
2001	33565	356520	85	320	608	4990
2002	2880	14500	5	0	388	1120
2003	31422	416510	90	700	904	4460
2004	32000	393000	97	770	1184	11300
2005	24489	500000	63	250	1415	19930
2006	35252	550000	112	478	1287	15328
2007	35477	624880				
2008	32987	488620	50	400	580	5220
2009	40867	760800	153	1468	1910	40173
2010	37238	841000	204	1522	232	24178
2011	41637	1060500	231	2918	934	13047
2012	41444	1007615	403	3977	856	11022

### **L'association légumineuses-céréales :**

Associer les céréales et les protéagineux Jusqu'au milieu des années cinquante, les associations céréales/protéagineux étaient largement cultivées en France et en Europe. Depuis, elles ont quasiment disparu en agriculture conventionnelle, mais sont toujours couramment pratiquées en agriculture biologique, où leurs intérêts en font une culture souvent incontournable dans la gestion de la rotation et dans la production d'alimentation animale à la ferme. Fixation d'azote atmosphérique, bonne maîtrise de l'enherbement, rendement régulier, apport d'énergie et de protéines en alimentation animale sont des atouts à ne pas négliger dans la gestion globale d'une exploitation en agriculture biologique. Aussi, les associations céréales/protéagineux ont de nombreux intérêts comme : une bonne compétitivité vis-à-vis des adventices, une moindre exigence en terme de fertilisation azotée, une meilleure résistance aux maladies, la limitation de la verse, l'amélioration de la structure du sol, de meilleurs rendements des associations par rapport aux cultures en pur [Aude Coulombel (ITAB), 2008].

Les associations de cultures à base de légumineuses à graines constituent un domaine d'innovation porteur d'enjeux d'avenir, exploré par quelques chercheurs, mais aussi par des agriculteurs curieux et inventifs. Les associations correspondent à la culture simultanée de deux espèces ou plus sur la même surface pendant une durée significative, sans pour autant qu'elles soient nécessairement semées et récoltées à la même période. Elles sont réputées présenter de nombreux avantages en comparaison de la culture de légumineuses en pur (Alice L et al, 2013).

### **2.1. Types de l'association des cultures :**

L'association des cultures inclut : des plantes annuelles avec des plantes annuelles, des plantes annuelles avec des plantes pérennes et des plantes pérennes avec des plantes pérennes (Ghanbari et Lee, 2003). Elle comprend quatre groupes : (Eskandari et al., 2012).

- **Cultures associées en sillon:** il s'agit de planter simultanément deux ou plusieurs cultures dans des rangées régulières, cependant, une ou plusieurs cultures peuvent être plantées simultanément dans la même rangée ou en alternance avec la première culture.
- **Cultures associées en vrac :** pour ce type d'association deux ou plusieurs cultures sont semées simultanément mais sans ordre défini. ce type est pratiqué en plus pour les associations des légumineuses avec les cultures fourragères.

- **Cultures associées en bandes** : elle consiste à cultiver deux espèces ou plus suivant différentes bandes suffisamment larges pour permettre une culture indépendante, mais suffisamment étroites pour que les cultures puissent se favoriser mutuellement.
- **Culture associée en relais** : la deuxième culture est installée après que la première ait atteint le stade floraison mais avant qu'elle atteigne le stade maturité.

### **2.2. Avantage de l'association des cultures :**

#### **2.2.1. Utilisation efficace des ressources et amélioration du rendement en grains :**

D'après Philippe Hinsinger, 2012. En effet, dans un peuplement monospécifique mono-variétal, tels que sont la plupart des champs cultivés, toutes les plantes d'une même parcelle sont en compétition pour les mêmes ressources, utilisant les mêmes pools de N et P du sol, tout en laissant de côté d'autres pools. Dans un peuplement complexe associant plusieurs variétés d'une même espèce, voire plusieurs espèces, il faut s'attendre, si celles-ci sont suffisamment différentes d'un point de vue fonctionnel, à ce que des interactions positives (facilitation, complémentarité) prennent le pas sur les interactions négatives (compétition) entre plantes. Il peut ainsi en résulter un meilleur partage des ressources du sol, comme nous l'avons étudié récemment dans le cas de cultures associées céréale-légumineuse.

Selon LATATI M, 2015. L'avantage du système maïs-haricot par rapport à la monoculture est une augmentation de l'efficacité d'utilisation de la symbiose rhizobienne chez le haricot en association avec le maïs. Cette augmentation est accompagnée par une forte biodisponibilité de N dans la rhizosphère chez le haricot en association, ce qui permet une meilleure accumulation de N dans la biomasse de la partie aérienne et dans la graine chez le maïs cultivé en association avec le haricot, plus particulièrement dans les sites où la teneur en N du sol initial est faible. A cet effet, le haricot a présenté un effet positif sous l'effet de la compétition interspécifique, et qui est traduit par le partage de l'azote issu de la fixation symbiotique avec le maïs en association.

#### **2.2.2. Restauration de la fertilité du sol :**

Les différentes modes de gestion de la fertilité se sont avérés tous plus productifs que la pratique traditionnelle, ces modes de gestion de la fertilité des sols associés aux systèmes de cultures à base de légumineuses, permettent une utilisation rationnelle de la terre et une

meilleure mobilisation de l'azote du sol. L'utilisation de la méthode isotopique  $^{15}\text{N}$  a permis de mettre en évidence le rôle important que joue la rotation avec les légumineuses dans les systèmes de cultures céréales-légumineuses dans l'absorption de l'azote (Hamidou Z et al, 2016).

**Philippe HINSINGER, 2012** pu démontrer que la manipulation des interactions rhizosphériques entre une céréale et une légumineuse en association pouvait être optimisée pour permettre l'augmentation de la disponibilité en P dans la rhizosphère des espèces associées, et encore plus dans le cas de sols présentant une faible valeur initiale de disponibilité.

Dans ces associations blé-légumineuse, la légumineuse est semée en même temps que la céréale en tant que plante de service. Elle est détruite pendant la montaison dans l'objectif de restituer, par minéralisation des parties aériennes et du système racinaire, de l'azote à la céréale. La légumineuse doit être suffisamment développée pour fournir une quantité significative d'azote après sa destruction sans pour autant exercer une concurrence trop importante pour l'eau et la lumière vis-à-vis du blé Corre-Hellou G et al, 2013.

Les associations blé-pois permettent de produire autant voire plus que les cultures pures de blé et de pois tout en garantissant un produit de qualité et cela avec moins d'intrants qu'en culture pure.

### **2.2.3. Propagation des parasites et des maladies :**

Les associations végétales, par la complexité du couvert végétal qu'elles créent, sont le siège d'interactions biotiques particulières avec les ravageurs, les prédateurs, les champignons pathogènes (G. Corre-Hellou et al, 2014). Une diminution du niveau d'infestation de plusieurs maladies (oïdium, septoriose, rouilles) a également été observée sur des céréales associées à des légumineuses par rapport à celui d'un peuplement pur de céréales, aussi bien pour des associations fourragères (triticale, avoine / vesce par exemple), que pour des associations à vocation de production de graines (blé, orge / pois) (Corre-Hellou et al, 2004).

Certaines cultures associées aient une incidence sur la dynamique des ravageurs, qu'elles peuvent détourner du cotonnier, ainsi que sur la diversité de l'entomofaune utile qu'elles renforcent. Les expérimentations réalisées dans les pays du C-4, avec le gombo (*Abelmoschus* sp.), le rosier d'Inde (*T. erecta*), le tournesol (*H. annuus*) et le pois d'Angole, ont permis de mieux cerner l'importance de l'attractivité de ces spéculations agricoles vis-à-

vis des principaux ravageurs du cotonnier. Leur utilisation dans les cultures cotonnières peut à des stades phénologiques déterminés, réduire l'utilisation d'insecticides dans les parcelles de coton. [Sandra Maria Morais Rodrigues ... et al. 2013]

### **2.2.4. Contrôle des mauvaises herbes :**

Les associations d'espèces cultivées peuvent aussi modifier la composition de la communauté d'adventices (G. Corre-Hellou et al, 2014). Dans des associations en relais composé de trèfle blanc semé au printemps dans du blé, le couvert perturbe la germination des adventices printanières dans l'association blé-trèfle blanc (Amosse et al., 2013).

L'étude de Lawane G et al, 2010 a permis de montrer l'avantage des cultures associées (sorgho ou mil et niébé) par rapport aux cultures pures. Les systèmes de cultures associées sont traditionnellement pratiqués au Tchad et leur amélioration en vue de lutter contre le striga devrait être bien acceptée par les paysans de ce pays. Les variétés améliorées de sorgho et de mil peuvent donner un rendement plus élevé que les variétés locales si elles bénéficient de bonnes conditions de production (fertilité, faible concurrence avec les adventices, pluviométrie, etc.). Les variétés locales sont plus rustiques et ne nécessitent pas autant de soins que les variétés améliorées ou importées. Les variétés locales méritent d'être prises en considération dans les programmes nationaux de sélection visant à améliorer leur productivité. L'effort doit être fourni pour maîtriser les systèmes de cultures associées en combinant la densité, la date de semis, le cycle de culture et la fertilité du sol et l'utilisation des faux-hôtes pour lutter contre le striga. D'autres essais sont aussi nécessaires pour étudier l'arrangement spatial des cultures associées et le choix des légumineuses à couverture rapide du sol.

### **2.2.5. Stabilité et l'uniformité du rendement :**

Les rendements des associations sont systématiquement supérieurs ou égaux aux rendements moyens des cultures «pures», avec une meilleure efficacité des mélanges plurispécifiques pour l'utilisation des ressources du milieu selon Laurent Bedoussac, 2012

La stabilité des cultures en association attribuée à la restauration partielle de la diversité perdue sous la monoculture, fournit une assurance élevée contre l'échec des cultures, particulièrement dans les régions sujettes aux conditions climatiques extrêmes telles que le gel, la sécheresse et les inondations (Lithourgidis *et al.*, 2011).

### **2.2.6. Préservation de la diversité :**

Un moyen de cultiver de nouvelles espèces :

Les associations sont aussi un moyen de cultiver de nouvelles espèces. Par exemple, afin de produire un fourrage riche en protéines sans risquer de perdre les protéagineux à la récolte (concurrence de la céréale), la voie de l'ensilage d'une association de deux protéagineux a été testé en Normandie, en cultivant ensemble féverole et pois protéagineux. Par ailleurs, afin de répondre à l'objectif de moindre pouvoir acidogène du mélange de graines récoltées pour l'alimentation des ruminants, de nouvelles associations sont examinées en orientant le choix des espèces vers des céréales et des protéagineux moins fermentescibles ou se dégradant plus lentement dans le rumen. Les espèces appropriées parmi les céréales sont celles qui présentent un grain vêtu comme l'épeautre ou l'avoine et parmi les protéagineux, le lupin qui ne contient pas d'amidon. (Pelzer E et al, 2014)

### **2.3. Inconvénients de l'association des cultures :**

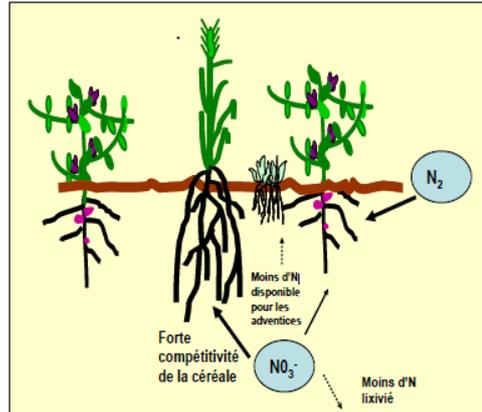
- Semis : hétérogénéité entre espèces (date, profondeur, pour certaines associations comme blé-féverole), choix des proportions
- Pas de sélection de variétés spécifiquement adaptées à la culture en association
- La conduite technique de ces associations pour une maîtrise de la production (et la présence sur le terrain d'un conseil technique adapté)
- Risque de salissement des parcelles (pas toujours d'herbicide homologué, désherbage mécanique compliqué)
- Décalage de maturité à la récolte (risque de grains cassés ou de problèmes de conservation des fourrages)
- Maîtrise de la proportion de chaque espèce à la récolte
- Collecte, tri et débouchés commerciaux (pour les associations grains, en particulier destinées à l'alimentation humaine) selon Pelzer E et al, 2014.

### **2.4. Effet de l'association légumineuses-céréales sur la biodisponibilité de l'azote**

Les légumineuses forment une symbiose avec les rhizobiums, qui peuvent fixer l'azote atmosphérique, augmenter la qualité et la quantité des cultures tout en diminuant les besoins en engrais azotés. (Emma Leslie McDonald, 2014) En association, la plus forte compétitivité de la graminée pour l'N du sol force la légumineuse à reposer principalement sur la fixation symbiotique pour assurer ses besoins azotés.

Des transferts directs et indirects d'azote de la légumineuse à la graminée peuvent se combiner aux effets de niche pour améliorer la nutrition azotée et la croissance de la graminée (Louarn G et al, 2010).

La céréale est plus compétitive que le pois pour prélever l'azote du sol en raison d'une progression racinaire plus rapide et plus dense et surtout en raison d'une demande en azote en début de cycle plus forte (UNIP-Arvalis, 2012).

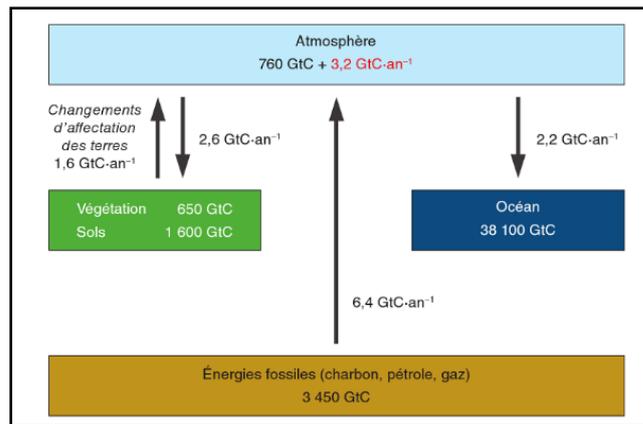


**Figure 11:** schéma des transferts d'N entre légumineuse et céréale

### 3. Dynamique des cycles du carbone et de l'azote dans le système sol- plante-atmosphère

#### 3.1. Le cycle du carbone

Le carbone organique du sol représente la plus grande réserve de carbone de l'écosystème terrestre, avec un stock de 1600 gigatonnes de carbone (GtC) contre 650 GtC pour la végétation et 760 GtC dans l'atmosphère. Le sol joue ainsi un rôle important pour la qualité de l'air en étant, soit source de gaz à effet de serre (dioxyde de carbone ( $CO_2$ ), protoxyde d'azote ( $N_2O$ ), méthane ( $CH_4$ )<sup>8</sup>), soit piège à  $CO_2$  et  $CH_4$  en favorisant le stockage stable du carbone. Chaque année, 2,6 GtC sont ainsi absorbées par la végétation et les sols, alors que le changement d'affectation des terres (principalement la déforestation et la conservation des sols forestiers et de prairie en sols de culture) conduit au déstockage de  $1,6 \text{ GtC.an}^{-1}$  (Laëtitia C et al, 2008).



**Figure 12:** Cycle global du carbone

### 3.1.1. Le C dans le pool végétal

Pour les plantes, le processus de photosynthèse qui permet la captation du CO<sub>2</sub> grâce à l'énergie lumineuse interceptée est assuré par des protéines, et surtout la RuBisCO (Anne S et al, 2015). La photorespiration déclenchée à de faibles concentrations en gaz carbonique peut avoir comme conséquence la perte d'une grande partie du carbone fixé au cours de la photosynthèse. Les voies photosynthétiques en C<sub>4</sub> et CAM réduisent la perte d'eau en évitant la photorespiration lorsque les concentrations en gaz carbonique sont faibles, ce qui permet aux plantes de maintenir leurs stomates fermés (Michael L et al, 2006).

### 3.1.2. Le C dans le pool sol

Les sols du monde contiennent trois fois plus de carbone que l'atmosphère. Ils représentent à l'échelle globale le troisième stock de carbone, après les roches et les océans (Martin E et al, 2016). La quantité totale de carbone de la matière organique des sols n'est pas connue avec précision en raison des incertitudes dues à l'hétérogénéité des sols. Elle est très variable selon le type de sol mais elle dépend aussi d'autres facteurs : le temps, le climat, la végétation, les roches parentales et la topographie (Raoul C, 2003). Au sein des nodosités, le carbone est utilisé pour la production de substrats énergétiques et de squelettes carbonés impliqués dans la synthèse et la maintenance des tissus des nodosités (Anne S et al, 2015).

### 3.1.3. Mécanisme du stockage du C dans le système complexe sol-plante-microorganisme

Le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère, fixé dans les végétaux par la photosynthèse, est ensuite stocké dans les sols sous forme de matières organiques, pour quelques décennies en moyenne, puis libéré par leur biodégradation et minéralisation (Martin E et al, 2016).

### 3.2. Le cycle de l'azote

L'azote atmosphérique (78% en volume) représente la principale source d'azote de la planète (Pierre D, 1996). On trouve également dans l'atmosphère, mais en très faible quantité, de l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) et des oxydes d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ) qui sont les produits des fumées industrielles, des feux de forêt et des activités volcaniques. Les organismes vivants, plantes et animaux peuvent aussi rejeter de faibles quantités de  $\text{NH}_3$  dans l'atmosphère.  $\text{NO}_3^-$  est surtout le produit de l'oxydation de  $\text{N}_2$  par  $\text{O}_2$  ou par l'ozone ( $\text{O}_3$ ) sous l'effet des éclairs et les radiations ultraviolettes.  $\text{NO}_3^-$  peut également provenir des océans et être apporté sur les côtes sous forme d'aérosols. Une très faible partie de l'azote atmosphérique est entraînée au sol, par les précipitations. Une autre partie de l'azote provient de la fixation de l'azote moléculaire par les microorganismes. L'azote assimilé par les organismes vivants est restitué au sol après décomposition de la matière organique végétale et animale par les bactéries, champignons et protozoaires,... La transformation par les micro-organismes de l'azote, organique du sol en formes azotées minérales est appelée minéralisation. Les composés organiques azotés dégradés sont utilisés comme source d'énergie et de carbone, et l'azote, non utilisé par les micro-organismes, est libéré généralement sous forme d'ammonium  $\text{NH}_4^+$  (Morot-Gaudry.J.-F., 1997).

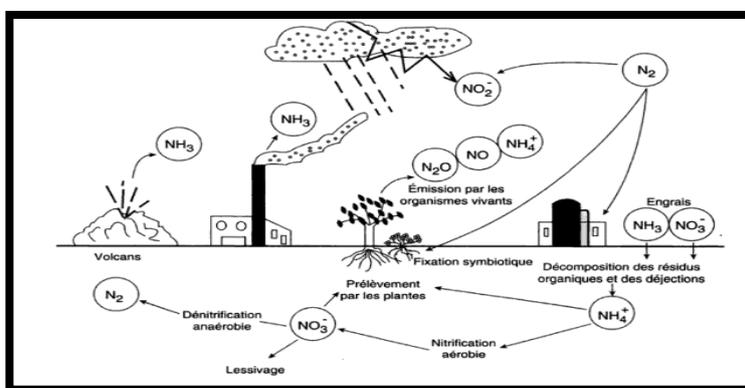


Figure 13 : Le cycle de l'azote

#### 3.2.1. L'azote dans la plante

L'azote (N) est généralement l'élément nutritif limitant la productivité végétale. (Vitousek PM et Howarth RW, 1991). Par conséquent, la croissance des plantes est directement liée à la disponibilité en azote du milieu. La réponse à la disponibilité en azote est observable du niveau cellulaire à l'organisme entier (Paul MJ et Foyer CH, 2001). Cet élément majeur est

essentiel à toutes les étapes de la croissance et du développement puisqu'il se retrouve dans nombre de

composés essentiels comme les protéines, les acides nucléiques, etc. (Stitt M, 1999). Les plantes, pour la synthèse de leurs tissus, ont besoin d'azote. Toutefois, la seule forme d'azote qui est directement utilisable ou assimilable par les plantes est l'azote minéral dissous dans le sol. Hormis les légumineuses, les plantes ne sont en effet pas capables d'absorber l'azote du sol sous sa forme organique (Yves B et Ghislain H, 2005). Le nitrate et l'ammonium sont absorbés activement par les cellules racinaires via des transporteurs spécifiques à haute affinité (Glass *et al.*, 2002).

D'après Smil V, 2002.

Dans le cas d'une association avec un végétal, la fixation d'azote bénéficie directement des photosynthétats de la plante et on obtient alors un système très performant. En effet, pour être utilisable par les végétaux, l'azote doit être sous forme minérale ( $\text{NH}_4^+$  et  $\text{NO}_3^-$ ).

### **3.2.2. L'azote dans le sol**

La plus grande partie de l'azote du sol est sous forme organique, 90%, environ, 10% correspondant à de l'ammonium fixé sur les minéraux argileux. La teneur moyenne de la couche de surface des sols cultivés est de l'ordre de 0,06 à 0,3 %. L'azote organique est un compartiment clé du cycle biogéochimique de l'azote et joue un rôle très important dans la nutrition azotée des plantes (Raoul, 2003).

L'azote minéral naturel provenant de la minéralisation est caractérisé par la répartition très aléatoire des bactéries dans le sol.

La dynamique de l'azote dans le sol est un phénomène particulièrement complexe, dominé par l'activité microbienne du sol. L'azote évolue constamment entre les formes minérales, organique, et les formes incluses dans la matière vivante. Il est malaisé d'accéder directement aux quantités d'azote des différentes formes mises en jeu dans les transferts qui se produisent à chaque instant dans le sol (Pierre D, 1991).

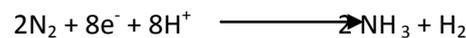
Les légumineuses apportent leur azote au sol afin de pouvoir utiliser ces plantes valablement pour enrichir le sol ou la culture associée. Certes, une culture de légumineuses peut fixer 200 à 300 kg d'azote à l'hectare et même parfois plus. Mais cela n'aura lieu que si la culture est florissante et si le sol est naturellement pauvre en azote. Il est même fréquent qu'une légumineuse appauvrisse le sol en azote si elle fixe peu l'azote de l'air et vit aux dépens de l'azote combiné du sol (FAO, 1992). L'association de cultures s'agit de cultiver sur une

même parcelle et pendant la même saison deux cultures, par exemple une céréale comme blé et une légumineuse, trèfle ou luzerne. Le blé bénéficie de l'apport d'azote symbiotique et la vie microbienne du sol se trouve améliorée (Bernard B, 2012).

### 3.2.3. Fixation symbiotique de l'azote atmosphérique

Les légumineuses constituent une famille très importante de plantes à fleurs, herbacées ou arborées, les Fabaceae, dont l'une des propriétés majeures est qu'elles peuvent former un partenariat (association symbiotique) avec une classe de bactéries (*Rhizobium sp.*) capables de fixer l'azote atmosphérique inerte (N<sub>2</sub>) pour le transformer en azote biologiquement utile (réactif) selon Vertès F et al, 2010. Cet azote est essentiel à la croissance des végétaux, notamment pour la synthèse des acides nucléiques et des protéines. L'azote est abondant sur terre et représente 78% de l'atmosphère terrestre, mais toutes les formes ne sont pas utilisables par les végétaux. Les légumineuses hébergent dans les nodules développés sur leurs racines. La ressource énergétique carbonée nécessaire à cette réaction ainsi qu'à la vie de la bactérie est fournie par la plante. On parle de relation symbiotique. Les espèces rhizobiées symbiotiques sont souvent spécifiques d'une espèce légumineuse ou d'un groupe d'espèces apparentées (Duc G et al, 2010). La fixation de l'azote est catalysée par une enzyme appelée la nitrogénase selon Pierre D, 1996.

Encadré 1 : La réaction de fixation de l'azote atmosphérique par les bactéries du genre *Rhizobium*



enzyme 'nitrogénase' des rhizobia

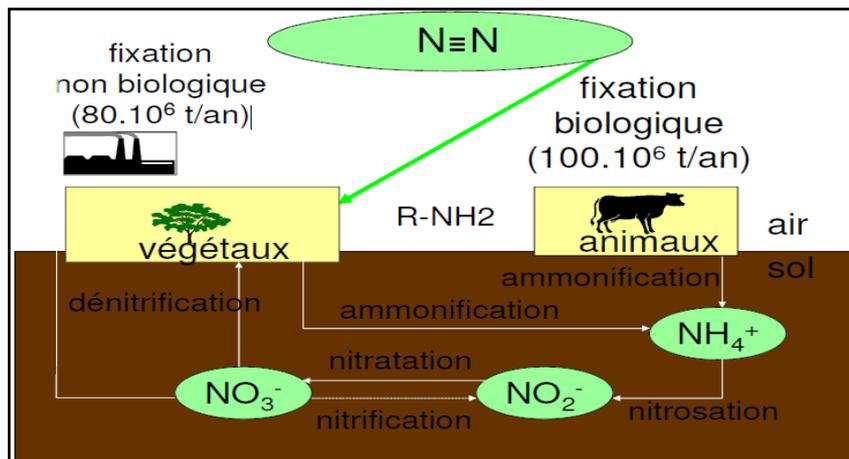
La nitrogénase est sujet d'une régulation à trois niveaux: une régulation transcriptionnelle de NifA (protéine activatrice de la transcription des gènes nif), une régulation post-traductionnelle de l'activité de NifA envers l'activation de la transcription des autres gènes nif, et la régulation post-traductionnelle de l'activité de la nitrogénase quand les cellules sont soumises à un choc d'ammoniaque (Nesrine RIAHI, 2010). La fixation de l'azote a lieu dans des nodules qui sont des protubérances qu'on observe au niveau des racines. Leurs tailles et leurs formes varient selon la plante hôte (Danso, 1991).

### 3.2.4. Processus de transfert et d'assimilation de l'azote

L'azote provient du processus de fixation et des apports par les pluies et les poussières (dépôts secs et humides, de l'ordre de 3 à 10 kilogrammes d'azote par hectare et par an). Les pertes sont constituées

essentiellement par les exportations de la culture, par la volatilisation, la dénitrification, le lessivage et l'érosion (Dommergues Y.R. et GANRY F, 1995).

La fixation biologique de  $N_2$  est uniquement le fait de procaryotes (bactéries ou cyanobactéries). Ces bactéries sont capables de réduire l'azote gazeux ( $N_2$ ) en ammoniac ( $NH_3$ ), qui est transformé en ammonium ( $NH_4^+$ ). L'ion ammonium sera incorporé immédiatement dans divers types d'acides aminés (Smil V, 2002)



**Figure 14:** cycle globale de N dans le système sol-plante-atmosphère (Thierry Heulin, 2013).

**L'ammonification** : est la transformation de composés azotés biologiques en ammoniac ( $NH_4^+$ ). L'ammonification débute lorsque les organismes produisent des déchets contenant de l'azote comme l'urée et de l'acide urique. Ces substances, ainsi que les composés azotés que l'on trouve dans les organismes morts, sont décomposés et relâchent l'azote dans l'environnement abiotique sous forme d'ammoniac. Les bactéries qui accomplissent ce processus dans le sol et dans les environnements aquatiques sont appelées bactéries ammonifiantes (Raven P. H et al, 2008).

**La dénitrification** est la réduction du nitrate ( $NO_3^-$ ) en azote gazeux. Les bactéries dénitrifiantes inversent l'action de fixation de l'azote et la nitrification des bactéries en restituant l'azote à l'atmosphère. Les bactéries dénitrifiantes vivent et se développent là où il y a peu ou pas du tout d'oxygène. On les trouve par exemple en profondeur dans le sol près de la nappe phréatique qui est presque dépourvue d'oxygène (Raven P. H et al, 2008).

### La nitrification :

On appelle nitrification l'oxydation biologique de l'azote ammoniacal en azote nitrique. Cette transformation se fait en deux étapes successives : la nitritation puis la nitratisation.

Ce sont des bactéries autotrophes spécifiques qui réalisent ces deux transformations au cours desquelles elles récupèrent de l'énergie. L'activité microbienne responsable de la nitrification est considérée comme effective sur les 40 premiers centimètres de sol seulement (Caroline C et al, 2002).

### **4. La déficience en phosphore : aspects physiologique et agronomiques**

#### **4.1. Le phosphore dans le sol**

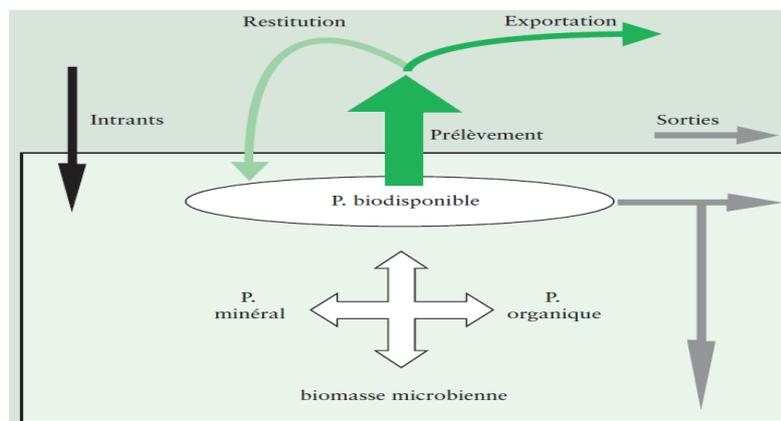
Le phosphore est disponible dans la solution du sol surtout sous la forme d'un triacide : l'acide phosphorique ( $H_3PO_4$ ). Bien que les sols contiennent des quantités importantes de P (de 300 à 9000 kg P par hectare dans l'horizon 0-0,25 m) (Pellerin S et al, 2014). Ainsi, quelle que soit la richesse 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 (Plassard C et al, 2015). Le pH du sol joue par conséquent un rôle majeur dans la disponibilité du phosphore.

Des quantités substantielles de phosphore peuvent également être liées à des formes organiques, qui ne seront pas disponibles pour les plantes. Le phosphore organique doit d'abord être converti en phosphore inorganique par l'action de microorganismes du sol, avant de pouvoir être absorbé par les plantes (William G et Hopkins, 2003). Les ions phosphates prélevés par la plante sont en effet sujets à de nombreuses interactions avec les constituants du sol et sont fortement retenus par la phase solide (Ragothama, 1999).

Plus exigeantes que les graminées vis-à-vis du phosphore, c'est-à-dire qu'elles auraient plus de difficultés à acquérir leur phosphore dans des conditions de faible teneur du sol en phosphore. L'utilisation d'ions phosphore marqués a permis de montrer l'importance des cinétiques de transfert potentiel des ions phosphate de la phase solides vers la phase liquide ou vice-versa d'une part et de relativiser d'autre part la définition proposée, correspondant habituellement à un résultat de méthodes d'extraction chimique dont l'agressivité et/ou la force ionique sont souvent sans commune mesure avec celles rencontrées dans la rhizosphère (Clémen M et Jean L, 2011).

Dans les écosystèmes naturels, ce cycle est fermé et stationnaire puisque les entrées et les sorties de phosphore sont faibles et équivalentes. Dans les écosystèmes cultivés, l'exportation des récoltes hors de la parcelle, modifie profondément ce fonctionnement puisqu'une quantité importante de phosphore biodisponible est également exclue du cycle. Cette sortie contribue à abaisser la fraction biodisponible ce qui peut affecter la fertilité du sol à plus ou moins long terme. Ce réservoir est donc au cœur du fonctionnement du cycle biogéochimique et conditionne tout particulièrement le flux de prélèvement de phosphore par la culture. La

biodisponibilité du phosphore dépend potentiellement d'un grand nombre de réactions physico-chimiques et biologiques capables de libérer des ions phosphates dans la solution à partir des compartiments minéral, organique et microbien du sol. Ce sont les mêmes quel que soit le type de sol, son mode d'exploitation (grandes cultures, prairies, forêt), et les pratiques agricoles mises en œuvre dans le cadre de systèmes de productions. Par contre, ces mêmes facteurs peuvent modifier leur nombre et leur intensité de même que leurs interactions. En conséquence, l'importance relative de chacun de ces processus élémentaires dans le fonctionnement du cycle est probablement fonction des contextes et les pratiques agricoles (Morel *et al.*, 2006).



**Figure 15:** Schéma du cycle simplifié de P dans un écosystème cultivé présentant les flux possibles entre les différents réservoirs de P (Morel *et al.*, 2006).

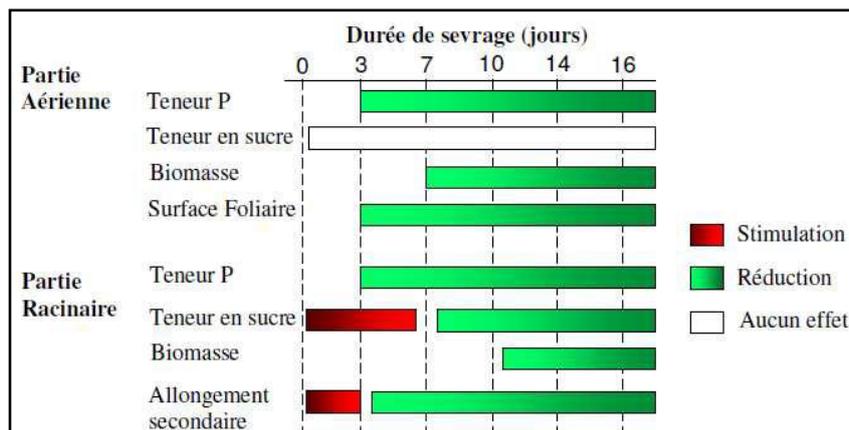
### 4.2. Le phosphore dans la plante

Parmi les nutriments indispensables à la croissance des plantes le phosphore (P) est considéré comme un facteur limitant dans de nombreux sols, en particulier dans les régions tropicales dominées par des sols âgés et altérés (Vitousek *et al.*, 2010). Le phosphore est nécessaire dans la plante surtout en début de végétation et dans les jeunes organes. Lors de la croissance de la plante, l'azote donne le volume de l'organe et le phosphore la vigueur. Il est aussi un constituant du noyau cellulaire. A mesure que le végétal approche de sa maturité, le phosphore quitte les organes végétatifs pour aller s'accumuler dans les organes de réserve et en particulier dans les graines selon Clément M et Jean L, 2011.

Dans la plante, le phosphore se trouve surtout sous la forme de phosphoesters, comprenant les glucides phosphorylés qui jouent un rôle extrêmement important dans la photosynthèse et la métabolisme intermédiaire. Le monophosphate est facilement absorbé par les racines des plantes (William G et Hopkins, 2003).

Au niveau de la plante, le P se répartit entre un pool métabolique, situé dans le cytoplasme et les chloroplastes et un pool non métabolique dit de réserve, sous forme inorganique au sein des vacuoles (Etchebest S, 2000). Ses rôles métaboliques sont :

- i) Structural, entrant dans la constitution de phospholipides et acides nucléiques (pont stable entre deux chaînes carbonées, estérifié sur un groupe hydroxyle d'une chaîne carbonée) ;
- ii) Energétique par le haut potentiel que le phosphoryle confère à certaines molécules (ATP) ;
- iii) Régulateur des voies métaboliques par sa répartition entre chloroplaste et cytoplasme



**Figure 16:** Effets d'un sevrage en P sur la physiologie chez le maïs durant 16 jours (Etchebest S, 2000).

### 4.3. La biodisponibilité de phosphore et son prélèvement par la plante

La biodisponibilité de phosphore pour les organismes vivants, les plantes en particulier, est limitée du fait de ses fortes interactions physico-chimiques avec la phase solide du sol. D'un point de vue fonctionnel, le compartiment central est la solution de sol car c'est par son intermédiaire qu'ont lieu les échanges entre le sol et les organismes vivants (Pellerin S et al, 2014). 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 (Plassard C et al, 2015).

Seule une petite fraction du phosphore présent dans le sol est susceptible d'être absorbée par les racines et les hyphes des champignons mycorrhizogènes du sol et participer à la nutrition des cultures. Cette fraction, souvent appelée phosphore biodisponible ou assimilable, est d'une importance capitale puisqu'elle conditionne la fertilité des sols (Morel *et al.*, 2006).

#### **4.4. Conséquence de la déficience en phosphore sur la plante**

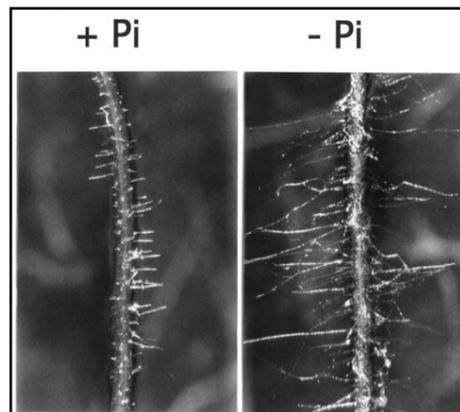
Les faibles concentrations d'orthophosphates dans la solution du sol, les taux de diffusions lentes de P dans le sol et la capacité limitée de la reconstitution du P du sol-solution sont les principaux facteurs qui contribuent à la carence en P pour les plantes (**Bieleski, 1973**). Par conséquent les plantes ont développé de nombreuses adaptations morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires pour acquérir le phosphate (Pi) (**Raghothama, 1999**).

Une carence en P modérée n'affecte pas les caractéristiques photosynthétiques des feuilles. A des niveaux de carence en P plus sévères, d'autres auteurs montrent que les processus fins de la photosynthèse peuvent être affectés (Rao et al. 1989).

Selon Plénet et al., (2000) la déficience en P ne modifie pas la capacité des plantes à transformer le PARa (rayonnement photosynthétiquement actif absorbé) en matière sèche, i.e. le coefficient de conversion du rayonnement en biomasse ou RUE (Radiation Use Efficiency).

##### **4.4.1. Adaptations morphologiques**

La croissance et l'architecture des racines sont altérées à fin de parvenir à couvrir un volume de sol plus grand en augmentant la densité des poils absorbants et il existe aussi une réduction des parties aériennes (Poirier et Bucher, 2002).



**Figure 17** : La carence en Pi entraîne des changements morphologiques des poils absorbants. Racines d'Arabidopsis après 10 jours de croissance en boîte petri avec 5mM (+Pi) ou 5 $\mu$ m (-Pi). Source : Poirier et Bucher, 2002.

##### **4.4.2. Adaptations physiologiques**

La déficience en phosphore affecte la multiplication des rhizobia dans la rhizosphère ayant pour conséquence une réduction de la probabilité d'infection, diminue la croissance des

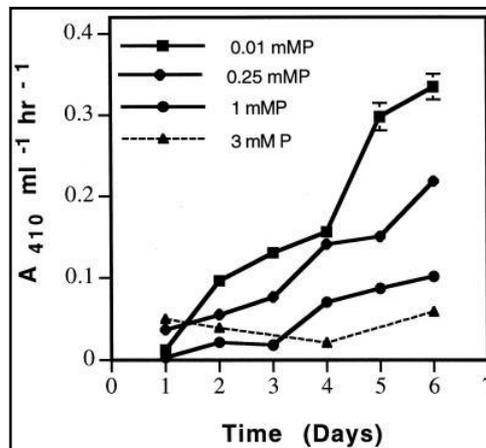
nodosités, inhibe l'activité des plantes ainsi que le transport l'utilisation des assimilats (Carthage et montpellier, 2003). La déficience en P retarde la floraison selon pierre, 2007.

La carence prolongée en P induit la formation de radicaux libres et la modification de la composition de la membrane cytoplasmique en phospholipides (Tang et *al.*, 2001).

La déficience en phosphore du plant de riz entraîne une réduction en hauteur et une diminution du nombre de talles, elle réduit également la capacité du plant à effectuer normalement la synthèse de protéines (lamine D, 2004).

#### **4.4.3. Adaptations biochimiques**

Les phosphatases sont présumées pour libérer le phosphore à partir de matériaux organiques (Goldstein A. H., 1992). L'induction des phosphatases acides sous la déficience en phosphore est une réponse universelle pour les plantes supérieures. Par exemple, Induction de l'APase dans les racines de moutarde indienne déficientes en P, les protéines sécrétées à partir de racines de moutarde indiennes cultivées en milieu hydroponique aseptique complétées par diverses concentrations de P ont été analysées pour l'activité APASE au fil du temps. Le niveau d'activité APase sécrétée à partir des racines des plantes affamées P a augmenté quotidiennement et était beaucoup plus élevé dans les plantes cultivées dans des concentrations inférieures à P que dans les plantes cultivées dans des concentrations de P plus élevées (Duff et *al.*, 1994).



**Figure 18:** Durée de l'activité APase exsudée des racines de moutarde indiennes cultivées dans des milieux stériles contenant 3, 1, 0,25 et 0,01 mm P. Chaque point est une moyenne de six répétitions  $\pm$  se. L'expérience fut répétée trois fois avec des résultats similaires.

#### **4.4.4. Adaptations moléculaires**

La carence en phosphate développe chez les plantes également des réponses moléculaires comme la surexpression de RNAses, la production accrue des acides organiques comme le malate et le citrate, qui entrent en compétition avec le Pi pour s'associer aux molécules liés aux cations, les phosphatases pour minéraliser le Pi des composés organiques et aussi des transporteurs de Pi (Poirier and Bucher, 2002).

### **4.5. Fixation symbiotique sous déficience en phosphore**

Le phosphore modifie la fixation de l'azote atmosphérique ainsi que le poids des nodules chez de nombreuses légumineuses. L'apport de phosphore sous forme assimilable améliore le développement du système racinaire et l'efficacité des nodules. Il permet d'accroître les rendements en matière sèche et en protéines. Une carence en phosphore provoque une accumulation d'acides aminés libres et un ralentissement de la croissance par diminution de la synthèse protéique et affecte la multiplication des rhizobia dans la rhizosphère (Carthage et Montpellier, 2003).

### **4.6. Effet de l'association légumineuses-céréales sur la biodisponibilité du phosphore**

Philippe HINSINGER, 2012 peut démontrer que la manipulation des interactions rhizosphériques entre une céréale et une légumineuse en association pouvait être optimisée pour permettre l'augmentation de la disponibilité en P dans la rhizosphère des espèces associées, et encore plus dans le cas de sols présentant une faible valeur initiale de disponibilité.

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

Cette étude a été effectuée dans la région de Bouira commun Ain Bessem qui se situe au Centre Nord du pays. Elle s'étend sur une superficie de 4456,26 km<sup>2</sup> représentant 0,19% du territoire national. Le chef lieu de wilaya est situé à près de 120 km de la capitale Alger. La grande chaîne du Djurdjura d'une part et les monts de Dirah d'autre part, encadrent la Wilaya qui s'ouvre de l'Ouest vers l'Est sur la vallée de la Soummam. La wilaya de Bouira est délimitée : au nord par la wilaya de Tizi-Ouzou; à l'est par la wilaya de Bordj Bou Arreridj; au sud par la wilaya de M'Sila; à l'ouest par les wilayas de Médéa et de Blida (ANDI, 2013). Son climat est chaud et sec en été et très froid, pluvieux et neigeux sur les hauteurs en hiver. La surface agricole utile (S.A.U) de la wilaya est estimée à 190 060 ha (42,67% de la superficie de la wilaya), dont 11 411 ha (6%) de superficie irriguée(<http://www.wilaya-bouira.dz/index.php/presentation-de-la-wilaya>) in (MESSAOUDI ,2009).

**2. Présentation du site expérimental**

L'essai a été réalisé à la ferme pilote **HAICHAR ALI**, qui se trouve à la daïra de Ain Bessem située à 22 Km au sud-ouest de Bouira et 75 Km au sud-est d'Alger.Elle couvre une superficie de 12600 ha. Elle a un climat méditerranéen avec un été chaud. La spéculation dominante dans cette région est la céréaliculture et la production de la pomme de terre (MESSAOUDI ,2009).



**Figure 19 :** Localisation du site expérimentale (Google earth, 2017).

### **3. Protocole expérimental**

#### **3.1. Objectif des essais**

L'objectif de ce travail est d'étudier les effets du système d'association Blé dur (*Triticum durum*)- Pois Chiche (*Cicer artium*) et celui du Blé dur- Féverole sur la croissance, le rendement, l'acquisition de l'azote et du phosphore par les céréales à travers les mécanismes des échanges rhizosphériques.

#### **3.2. Mise en place des essais**

##### **3.2.1. La préparation du terrain**

Le travail du sol a été réalisé par trois passages, le premier c'était un labour profond à l'aide d'un charrue à disque le 05 Décembre, suivi par une préparation du lit de semence par deux passage d'un covercrop le 15 du même mois.

##### **3.2.2. Le prélèvement du sol**

Un prélèvement du sol a été fait à une profondeur de 0-20 cm. Suivant un cheminement sous forme de zigzag, sur 09 endroits différents du champ expérimental. Les analyses du sol ont été effectuées au laboratoire du département de Phytotechnie d'Annexe l'ENSA. Les méthodes utilisées pour ces analyses sont représentées dans le tableau 4.

**Tableau 4:** Méthodes des analyses physico-chimiques du sol

<b>Paramètre d'analyse</b>	<b>Méthode d'analyse</b>
Phosphore assimilable (ppm)	Joret Hebert
Carbone total (%)	Méthode d'Anne
Calcaire total	Calcimètre de Bernard
pH eau et pH KCl	pH mètre
CE	Conductimètre

##### **3.2.3. Le dispositif expérimental**

L'essai a été réalisé en plein champ, le dispositif est un carré latin, avec trois facteurs étudiés qui sont les modalités des cultures, ils comprennent 6 modalités, chacune est répétée 6 fois, soit 36 microparcelles. Les 6 sont pois chiche pur (monoculture), blé pur

### Chapitre III : Matériels et méthodes

(monoculture), féverole pur (monoculture), association pois chiche – blé, association féverole - blé et une modalité laissée en jachère.

Lamicroparcelle est un carré de 5m×5m, la distance entre les microparcelles est de 0,5 m horizontalement et 1 m verticalement, un 1 m est laissé tout autour de la parcelle comme un effet de bordure, soit une longueur totale de 35m et une largeur de 32,5m ce qui correspond à une superficie de 1137,5 m<sup>2</sup>(Fig.20).

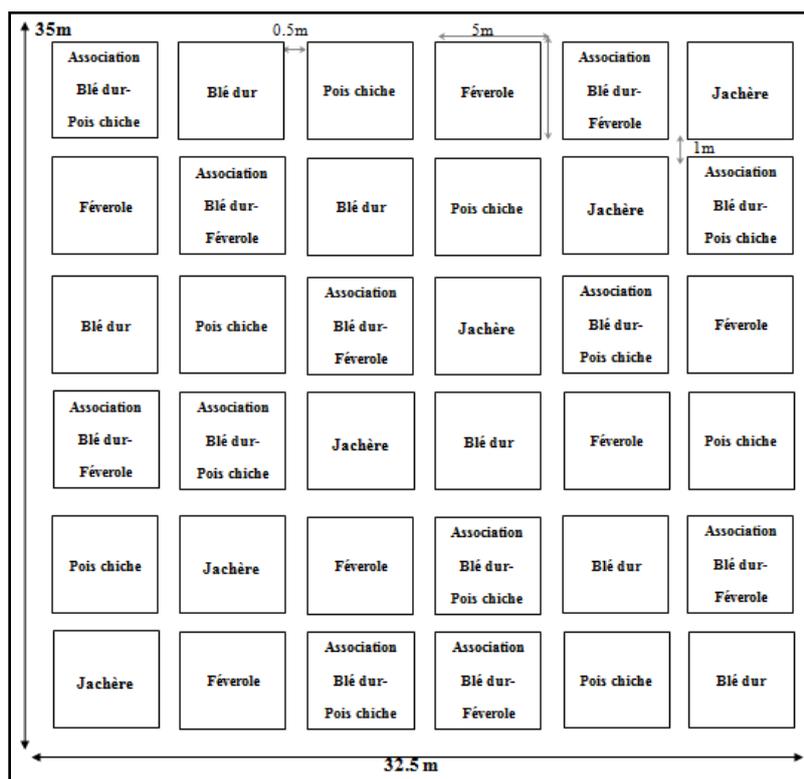


Figure 20 : le dispositif expérimental de l'essai (Original)

#### 3.2.4. Matériel végétal

L'étude a été effectuée en pratiquant un système d'association céréale-légumineuse avec la variété: Flip84/92C petit calibre pour le Pois Chiche, Sidi Aïch pour la féverole et Chen's pour le Blé dur.

#### 3.2.5. Le semis

Le semis a été réalisé manuellement le 15 février 2017. La dose de semis appliquée pour le blé est de 300 graines/ m<sup>2</sup> pour la culture pure et 200 graines /m<sup>2</sup> pour la culture en association avec un écartement de 20 cm entre les lignes.

### Chapitre III : Matériels et méthodes

Cependant, pour le pois chiche et la féverole la densité est la même dans la culture pure que pour la culture associée, soit 30 plants /m<sup>2</sup>, avec un écartement de 20 cm entre les plants et 25 cm entre les lignes.



**Figure 21** : Photos de l'essai agronomique (Original).

#### **4. Suivi de culture**

La culture est conduite sous régime pluvial.

#### **5. Echantillonnage et collecte des données**

Les données ont été rassemblées durant le stade plein floraison. Une caractérisation physico-chimique du sol initial a été réalisée avant le semis.

Les prélèvements sont effectués de façon aléatoire suivant un trait en zigzag, en arrachant tout le plant dans chaque modalité de culture. Le sol rhizosphérique des plants prélevés (séparé du sol bulk ou sol non rhizosphérique) est regroupé, sachant que pour chaque micropercelle 10 plants ont été prélevés, pour l'association 10 plants pour chaque culture soit 20 plants dans cette modalité. Le sol rhizosphérique du blé est regroupé séparément de celui de pois chiche, même chose avec la féverole.

Pour la modalité « jachère », 4 à 5 échantillons de sol à une profondeur d'enracinement de 20 à 30 cm ont été prélevés.

## Chapitre III : Matériels et méthodes

### 5.1. Préparation des échantillons

#### 5.1.1. Le sol

Les échantillons du sol rhizosphérique est séchée à l'aire libre, puis diviser en deux partie une tamisée à 2 mm et l'autre à 0,2 mm pour les analyses.

#### 5.1.2. Le végétal

Pour les trois espèces prélevées, les deux parties de la plante aérienne et souterraine sont séparées, les racines sont rincées, puis séparées des nodules pour le pois chiche et féverole, les différentes parties sont séchées à l'étuve à 60°C pendant 48h, afin d'être pesés puis broyées pour le dosage du phosphore.

### 5.2. Mesures réalisées

#### 5.2.1. Sur le végétal

Pour les deux espèces les mesures effectuées sont les suivantes :

- Poids sec de la partie aérienne.
- Poids sec de la partie racinaire.
- La teneur en phosphore dans la matière sèche des parties aériennes.
- La teneur en phosphore dans la matière sèche des parties racinaires.

La teneur en phosphore a été déterminée par le dosage du phosphore par rapport à 0,1 g de matière sèche. Cette mesure nécessite deux étapes, une étape de digestion et une autre de détermination de la concentration du phosphore par la méthode colorimétrique au vert de malachite (Fig.22).

#### La digestion

La digestion a été conduite selon la méthode de **Valizadeh et al. (2003)**. L'échantillon de 0,1 g de matière sèche a été digéré dans un mélange de 3 ml d'acide nitrique HNO<sub>3</sub> à 70% et 1 ml d'acide perchlorique HClO<sub>4</sub> à 70%. Cette opération est assurée par le chauffage des tubes contenant l'échantillon et le mélange d'acide sur un bac à sable jusqu'à obtenir un liquide bien transparent (Fig.22).

#### Détermination de la concentration du phosphore par la méthode colorimétrique au vert de malachite

Elle a été conduite selon la méthode décrite par **Aznar et al. (2007)**. Elle nécessite la préparation de deux réactifs (le premier à base d'acide sulfurique,

### Chapitre III : Matériels et méthodes

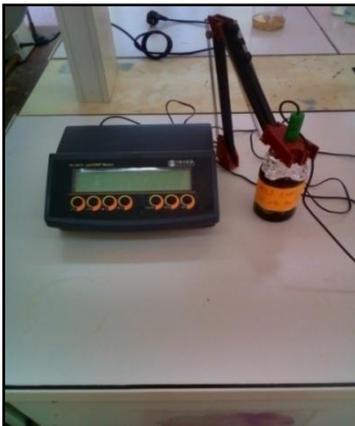
d'heptamolybdate d'ammonium et de l'eau, et le deuxième à base de PVA et d'oxalate de vert de malachite) ainsi qu'une gamme étalon.



**Figure 22 :** digestion et dosage au spectrophotomètre du phosphore (Original).

#### **5.2.2. Sur le sol rhizosphérique**

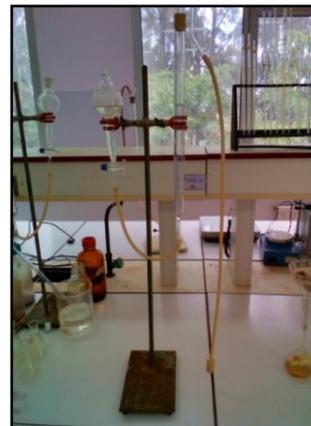
- Le pH eau et pH KCl : le pH eau est déterminé avec un rapport de sol /eau distillée de 2/5 avec le pH mètre, le pH KCl est déterminé par la même technique en ajoutant 3,72 g de KCl dans la solution sol eau.
- La conductivité électrique est déterminée avec un rapport sol/ eau distillée de 1/5 à l'aide du conductimètre.
- Le phosphore assimilable : le dosage du phosphore a été réalisé par la méthode de Joret Hebert.
- Le calcaire total : il a été mesuré par le calcimètre de Bernard.
- Le calcaire actif.



**Figure 23:** pH mètre



**Figure 24 :** Conductimètre



**Figure 25 :** Calcimètre

### Chapitre III : Matériels et méthodes



**Figure 26 :** Spectrophotomètre du phosphore.

- Carbone : il a été mesuré par la méthode d'Anne



**Figure 27 :** Les étapes de la manipulation ducarbone.

#### **6. Traitements statistiques des données**

L'analyse de la variance est réalisée à l'aide du logiciel STATISTICA 8.5 pour Windows (StatSoft Inc. Statistica 2007).

## Chapitre IV : Résultats et discussions

### 1. Caractéristiques physico chimiques du sol initial

Dans le but de caractériser le sol initial du site par rapport à la variabilité pédologique, nous avons mesuré les principales caractéristiques physico chimiques qui déterminent le gradient de la fertilité du site. Les différentes caractéristiques physico chimiques sont représentées dans le tableau 5.

**Tableau 5 :** Caractéristiques physico chimiques du sol initial Concernant le site expérimental :

MODALITE	CaCo3	Ph eau	Ph KCL	CE	C%	CO%	MO%	P ppm
PP	13,85	8,34	6,818	166	2,72	0,5166	0,74046	0,346
FP	13,48	8,43	6,848	174,67	3,24	0,3567	0,613524	0,317
BP	16,59	8,02	6,88	130	3,22	0,36285	0,520085	0,328
PA	11,89	8,07	6,707	141,6	3,317	0,333125	0,572975	0,364
FA	12,52	8,32	6,234	150,67	3,475	0,2844375	0,326155	0,417
J	11,59	8,29	5,987	174,25	2,93	0,451	0,77572	0,318
SOL INIT	11,56	7,72	6,87	136	1,96		0	0,3

Nous avons utilisé un courbe pour convertie les résultats, Selon la norme présenté de Gangnard et *al.* 1988 sur la variabilité du taux de calcaire dans les sols, la teneur en calcaire dans notre site expérimental est faible (11,56) dans le sol ce qui confirme que le sol est non calcaire, mais présente un pH alcalin avec une valeur de 7,72 Par ailleurs, le carbone représente une teneur de 1,96, ce qui rend le sol pauvre en matière organique (AFNOR, 1984).

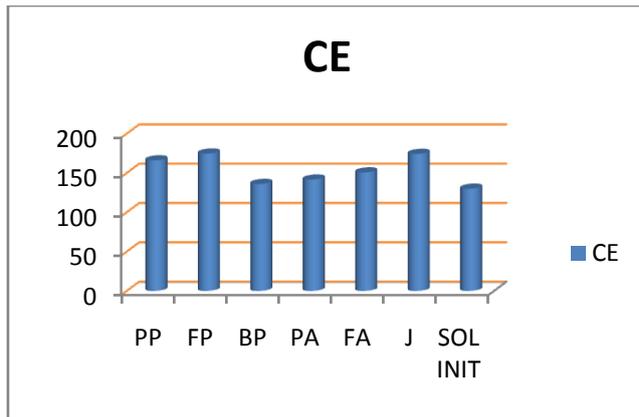
Cependant le sol est déficient en phosphore dont la teneur en phosphore assimilable est de 18 ppm, tandis que la valeur de P totale reste relativement faible. A cet effet, les caractéristiques physico-chimiques du sol du site expérimental ont permis de le classer comme étant un sol alcalin déficient en phosphore.

### 2. Effet de l'association sur les échanges rhizosphériques

#### a) Effet sur la conductivité électrique (CE) du sol rhizosphérique

La figure 28, représente la variation de la CE du sol rhizosphérique chez trois espèces : blé dur, féverole et pois chiche dans les différents sites expérimentaux en fonction des trois modalités de culture (sol initial, association, monoculture) dans chaque site expérimental.

## Chapitre IV : Résultats et discussions



**Figure 28 :** Variation de la CE du sol rhizosphérique chez le blé (a), le pois chiche (b) et la féverole en monoculture et en association par rapport au sol initial. Les données sont la moyenne de 6 répétitions  $\pm$  ES

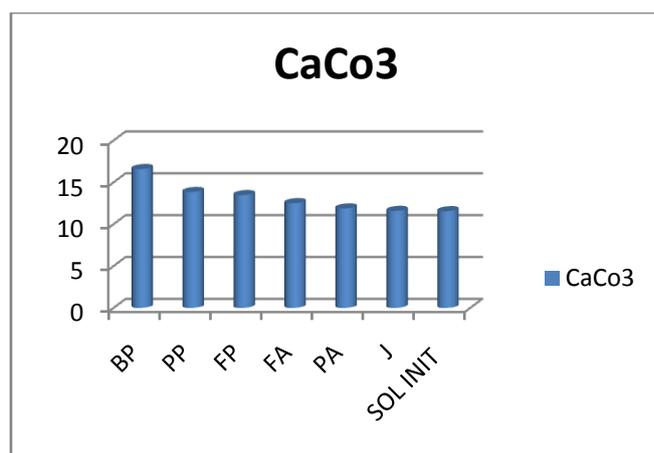
La CE chez le blé dur en associé avec la féverole est de (150,6) élevé par rapport à CE chez le blé dur en associé avec pois chiche est de (141,6). L'association a provoqué une augmentation de la conductivité de la rhizosphère du blé dur. Tandis que nous avons noté une augmentation chez l'association et la monoculture par rapport au sol initial.

Nos résultats montrent que la CE la plus élevée est enregistrée chez le féverole en monoculture nous pouvons expliquer cette augmentation, par la forte conductivité observée particulièrement en monoculture et qui a permis par la suite de stimuler l'absorption des cations comme le  $\text{Ca}^{++}$  par le féverole, ce dernier va contribuer systématiquement au maintien de l'acidification du sol. En revanche, la faible CE observée chez le maïs en association par rapport au celui en monoculture peut être expliquée par l'alcalinisation de la rhizosphère du blé dur associé avec la féverole à cause de la faible absorption des ions au niveau de la rhizosphère plus particulièrement les cations de  $\text{Ca}^{++}$ .

La mesure de la conductivité électrique dans la rhizosphère est considérée comme une approche innovante dans notre étude. Cependant, cette dernière mesure a confirmé l'effet de l'acidification par la légumineuse en association, comme elle peut permettre également de valider l'hypothèse de l'absorption préférentielle des ions de  $\text{Ca}^{++}$  par le féverole afin de stimuler sa croissance.

### **b) Effet sur la solubilisation du calcaire dans la rhizosphère**

La teneur en calcaire totale ( $\text{CaCO}_3$ ) du sol et sa variation en fonction de chaque modalité de culture sont observées dans la figure 29.



**Figure29** : La teneur du calcaire (CaCO<sub>3</sub>) du sol sous la monoculture et l'association

En outre, chez le blé la modalité de culture affecte très hautement significativement la teneur en calcaire dans le sol, où la teneur en calcaire la plus élevée (16,59) est observée lorsque le blé est en monoculture et devient faible dans le cas d'une association ; une fois avec le pois chiche et d'autre avec féverole, tandis que la valeur la plus faible est constatée le blé est associé avec le pois chiche (11,89), d'après ce dernier résultat, l'association a provoqué une diminution de calcaire dans la rhizosphère, plus particulièrement dans celui du blé dur.

Cependant, nous avons noté une augmentation de la teneur en calcaire dans la rhizosphère en stade floraison par rapport à celle observée dans le sol initial (11,56).

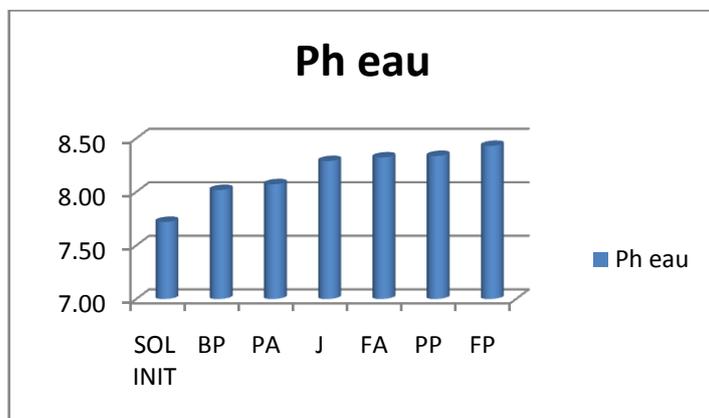
En comparaison avec les analyses du sol initial, il y a eu augmentation du pourcentage de calcaire dans le sol rhizosphérique, nos résultats sont semblables à ceux de Betencourt, (2012).

Le Ca interagit avec le P dans le sol, à un pH neutre, ceci favorise l'adsorption des ions phosphate et diminue la disponibilité en phosphore, l'augmentation de la disponibilité de P dans la rhizosphère du blé dur ne peut être expliquée entièrement par l'absorption de P combiné avec l'alcalinisation de la rhizosphère en raison de nutrition des nitrate (Hinsinger, 2011).

Dans notre travail, la réduction de calcaire dans le sol sous la déficience en phosphore dans l'association peut être justifiée par sa solubilisation en ions de Ca par l'effet de l'acidification de la rhizosphère au moment de la fixation symbiotique de l'azote. Afin de vérifier cette dernière hypothèse ; nous avons mesuré le pH rhizosphérique chez le blé dur, le pois chiche et la féverole en monoculture et en association.

### c) Effet sur l'acidification de la rhizosphère

La variation du pH rhizosphérique dans chaque modalité de culture par rapport au sol initial sont représentées dans la figure 30.



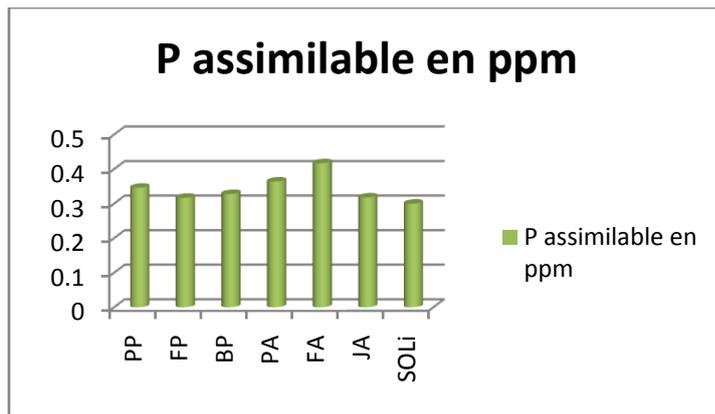
**Figure 30 :** Variation du pH rhizosphérique en monoculture et en association par rapport au sol initial. BP: chez le blé dur ; PA : chez le pois chiche associé ; FA : féverole associé.

D'après la figure, soit en monoculture ou en association, le pH rhizosphérique a connu une diminution dans la rhizosphère du pois chiche et féverole ou celle du blé dur par rapport au celui observé dans le sol initial avant la mise en place de la culture.

Chez le blé dur le pH du sol est affecté significativement par la modalité de culture. La valeur du pH obtenu est de (8.02) en monoculture et de (8.07) en association avec pois chiche et de (8.32) en association avec féverole. L'association a provoqué une acidification de la rhizosphère du blé dur. Ces résultats sont en ligne avec ceux rapportés par Betencourt (2012) qui a montré une réduction du pH rhizosphérique sous l'effet de l'association pois chiche-blé dur en suffisance de P dans le sol.

De cet effet, l'association a provoqué une augmentation du pH par rapport à celui de la monoculture dont l'augmentation du pH en association avec féverole plus que en association avec pois chiche. Ce dernier résultat confirme l'alcalinisation de la rhizosphère du blé dur en association ; et est similaire avec celui rapporté par (Betencourt, 2012).

### d) Effet de l'association sur la biodisponibilité de phosphore dans la rhizosphère



**Figure 31** : P-Olsen (mg kg<sup>-1</sup>) dans le sol de la rhizosphère du blé dur, pois chiche et de la féverole en association et en monoculture dans le site expérimental. Les données sont les moyennes de 6 répétitions  $\pm$  SE.

La concentration en P assimilable, dite P-Olsen, est mesurée dans la rhizosphère du blé dur, Pois chiche et de la féverole afin qu'elle soit comparée à celle du sol initial (témoin).

Les teneurs en P-Olsen de chaque répétition sont variées chez les trois espèces. La concentration de P-Olsen est mesurée dans le sol initial au semis durant la campagne de culture (2017). Les concentrations en P-Olsen dans la rhizosphère des trois espèces soit en culture pure ou en association augmentent significativement (par rapport à celles du sol initial) durant la campagne agricole. Cette dernière augmentation est estimée comme étant supérieure comparativement aux concentrations du P-Olsen du sol initial.

Notre étude montre que l'association a provoqué une augmentation du P-Olsen par rapport à celui de la monoculture. Ces résultats sont similaires aux résultats de certaines études précédentes, qui rapportent une augmentation significative de la disponibilité du P dans la rhizosphère des légumineuses ou des céréales en association par rapport à la monoculture. Ces dernières études confirment ces résultats sous des conditions de déficience en P dans le sol (Alia et zohra., 2015 ; Betencourt *et al.*, 2012).

Les taux les plus élevés de l'augmentation des teneurs en P assimilable dans la rhizosphère sont observés, lorsque le blé dur et la féverole sont cultivés ensemble par rapport au blé dur-pois chiche plutôt qu'en monoculture.

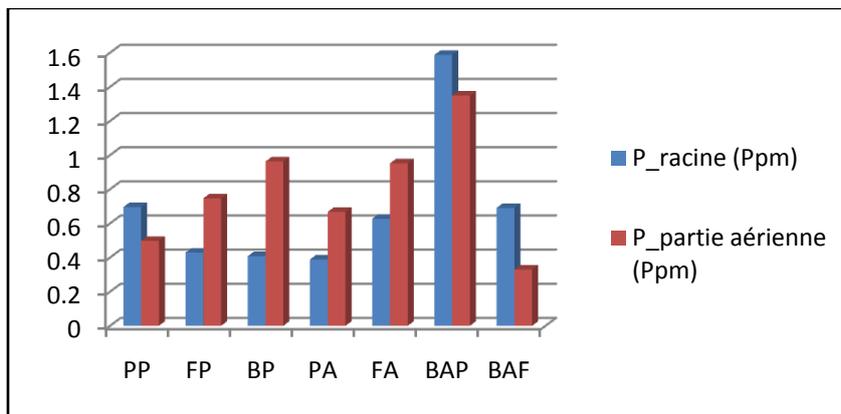
### 3. Effet de l'association sur la teneur de phosphore dans le végétal

Le P contenu dans la partie aérienne et les racines soit par le blé dur, pois chiche ou féverole, sont présentés dans la figure 32.

## Chapitre IV : Résultats et discussions

Toutefois, la concentration la plus élevée de P et les fortes teneurs de son prélèvement sont enregistrées dans l'association durant la campagne agricole. Dans le cas du blé dur en association, une augmentation est observée dans la concentration de P des racines, soit association blé-pois chiche, soit association blé-féverole (12% et 9% respectivement) et même dans la teneur en P total prélevé par le blé dur.

Chez le pois chiche, la concentration du P dans la partie racinaire en association diminue considérablement. Plus précisément, la dernière baisse est plus prononcée dans la partie racinaire et aérienne chez la féverole en association (24 et 27% respectivement).



**Figure 32 :** Concentrations en P dans la partie aérienne, les racines par le blé dur, pois chiche et la féverole en association et en monoculture. Les données sont les moyennes de 6 répétitions  $\pm$  ES.

Nos résultats suggèrent que la facilitation de la croissance en biomasse, le rendement en grains et le prélèvement du P seraient plus élevés dans les cultures en association notamment sous des conditions de limitations du P dans le sol.

Alia et zohra. (2015) ont rapporté une amélioration de la croissance du maïs cultivé en association avec le pois chiche *via* la facilitation de la nutrition en P, en revanche aucune amélioration n'est observée pour le pois chiche associé. Ces auteurs suggèrent que l'activité de la phosphatase produite par le pois chiche améliore la minéralisation du P organique qui facilite le prélèvement de P par le maïs associé. Des études antérieures ont indiqué que la limitation de la croissance des racines en raison de l'absorption limitée de N par la plante peut contribuer à diminuer l'absorption de P par les céréales associées avec les légumineuses dans un sol riche en P assimilable (Betencourt *et al.*, 2012).

### **4. Effet de l'association sur la croissance en biomasse**

## Chapitre IV : Résultats et discussions

Dans le but d'étudier le comportement de la croissance en biomasse sous l'effet de l'association ; nous avons quantifié la biomasse dans les différents compartiments de la plante, à savoir ; les racines, la partie aérienne. Les résultats obtenus sont illustrés dans la figure 33-34.

Les résultats indiquent que le traitement modalité de culture a affecté significativement la biomasse sèche des racines et de la partie aérienne chez le blé dur comme chez le pois chiche et féverole à l'exception de la partie aérienne du blé dur.

Cependant, la biomasse totale aérienne (TDW) a changée d'une manière significative dans l'association par rapport à la monoculture

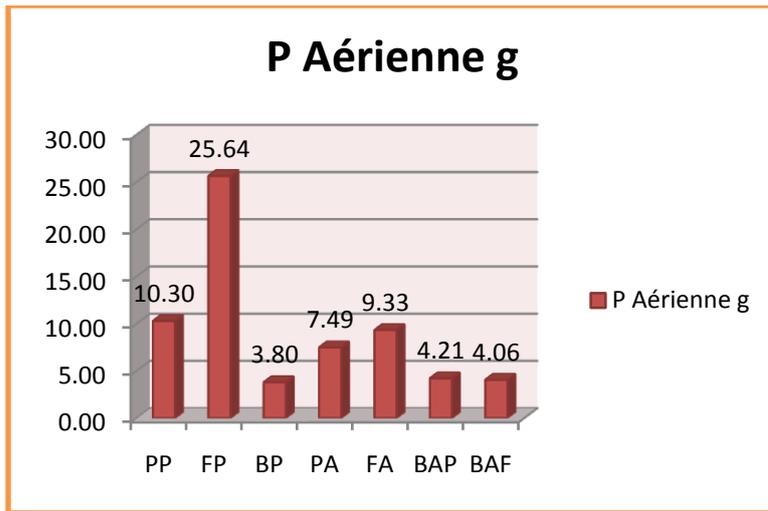
Chez le blé dur ainsi que pour le féverole et le pois chiche, le traitement modalité de culture a affecté significativement la biomasse sèche de la partie aérienne et racinaire.

La biomasse de la partie aérienne et racinaire du blé dur présente une valeur nettement plus élevée pour la modalité association blé dur- pois chiche où elles sont augmentée de (4% et 5% respectivement) par rapport aux celles en monoculture et même pour la modalité association blé dur – féverole la biomasse de la partie aérienne et racinaire du blé dur sont augmentée de (7% et 9% respectivement). La stimulation de la biomasse du céréale associé avec une légumineuse par la facilitation des ressources nutritives est confirmé par plusieurs études (Latati et *al.*, 2013).

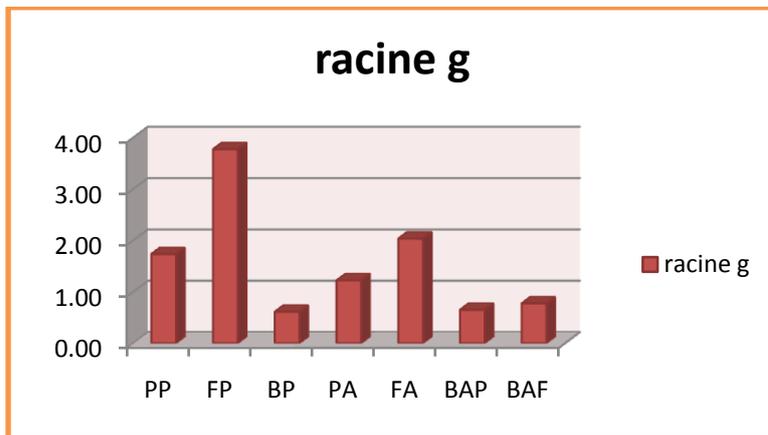
Tout au contraire pour le féverole et pois chiche, où la biomasse racinaire et aérienne est plus faible dans la culture en association par rapport à celle en monoculture où l'association a diminuée la biomasse de la partie racinaire et de la partie aérienne du féverole avec un taux de 8% et 6% respectivement.

Chez le pois chiche en association nous avons observé une diminution dans le poids sec de la partie aérienne et aussi de la partie racinaire de 5% et 3% respectivement en comparaison avec la monoculture (Fig. 33 et 34).

## Chapitre IV : Résultats et discussions



**Figure 33 :** la croissance en biomasse de la partie aérienne sous l'effet de l'association



**Figure 34 :** la croissance en biomasse de la partie racinaire sous l'effet de l'association

### Conclusion

L'objectif principal de cette étude est la compréhension des interactions entre des espèces pour l'acquisition du phosphore (P) du sol dans le cas de l'association d'une céréale et d'une légumineuse. Plus précisément, il s'agissait d'identifier les mécanismes rhizosphériques déterminant le partage de la ressource en P du sol entre ces espèces végétales associées et particulièrement ceux impliqués dans des processus de facilitation de l'acquisition de P.

Les résultats obtenus au cours de ce travail ont permis de répondre à notre objectif principal qui consistait à clarifier et vérifier la pertinence des critères d'adaptation du système d'association légumineuses-céréales à la disponibilité du P dans les sols alcalins déficients en P. Sous le système de culture d'association blé dur-féverole et blé dur-pois chiche, l'enjeu principal est d'évaluer certains processus rhizosphériques impliqués dans l'adaptation de l'association légumineuses-céréales à la déficience en P.

En plein champs nos résultats montrent que la disponibilité du P augmente de manière significative dans la rhizosphère de blé dur en association par rapport à la monoculture ou à la jachère. L'augmentation de la disponibilité de P est associée à (i) une acidification, avec un appauvrissement de la concentration de  $\text{CaCO}_3$  dans la rhizosphère du pois chiche par rapport dans la rhizosphère du féverole en association, (ii) une alcalinisation dans la rhizosphère du blé dur alors qu'elle est significativement plus marquée pour le blé dur en association par rapport au blé dur en monoculture, et (iii) une augmentation de la biomasse sèche des racines et de la partie aérienne chez le blé dur associée.

Les résultats obtenus montrent aussi une meilleure efficacité de prélèvement du P par le blé dur en association avec le féverole notamment sous déficience en P dans le sol. En revanche, le P total prélevé par le blé dur est relativement faible dans le cas du sol suffisant en P. A cet effet, l'étude comparative entre le système d'association blé dur - féverole et de la monoculture, a mis en évidence l'avantage de l'association par la facilitation du prélèvement du P notamment chez le blé dur. Cet avantage est probablement dû à la fixation symbiotique de  $\text{N}_2$  par le féverole lorsqu'il est cultivé en association avec le blé dur. Les interactions positives entre le blé dur et la féverole cultivée en association se traduisent par une augmentation de la production de la biomasse (plus de 30%) notamment dans le sol déficient en P.

Nos conclusions peuvent ouvrir d'autres perspectives de recherche en rapport avec les différents mécanismes de facilitation de l'acquisition des ressources en N et P dans le système d'association légumineuses-céréales.

## Références bibliographiques

### **Bibliographie**

1. **André Gallais et Hubert Bannerot, 1992.** Amélioration des espèces végétales cultivées. INRA, p23.
2. **Abdelkader Djermoun, 2009.** La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. Revue Nature et Technologie. N° 01/Juin 2009. Pages 45 à 53.
3. **Anne Schneider, Christian Huyghe, 2015.** Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables. Editions Quæ, 425 p.
4. **Augustin Privat-Deschanel et Adolphe Jean Focillon, 1864.** Dictionnaire général des sciences, I partie. 1770 p.
5. **Aude Coulombel (ITAB), 2008.** Quelques techniques performantes de l'agriculture biologique.
6. **Alice Lamé, Marie-Hélène Jeuffroy, Elise Pelzer, Jean-Marc Meynard, 2013.** Les agriculteurs sources d'innovations : exemple des associations pluri-spécifiques dans le grand Ouest de la France. Revue AE&S vol.5, n°2, 9. (Consulté le 17/03/2017)(<http://www.agronomie.asso.fr/carrefour-inter-professionnel/evenements-de-lafa/revue-en-ligne/revue-aes-vol5-n2-decembre-2015-innovations-agricoles-quelle-place-pour-lagronomie-et-les-agronomes/revue-aes-vol5-n2-9/>).
7. **Alkama N., Ounane G., Drevon J.J., 2012.** Is genotypic variation of H<sup>+</sup> efflux under P deficiency linked with nodulated-root respiration of N<sub>2</sub>-fixing common-bean (*Phaseolus vulgaris* L.)? *J. Plant Physiol.* 169, p.p. 1084-1089.
8. **Alkama N., 2010.** Adaptation de la symbiose rhizobienne chez le haricot à déficience en phosphore : Détermination de la réponse de la plante en termes d'échange gazeux et de flux minéraux échangés avec la rhizosphère. Thèse doctorat, ENSA. El-Harrach, Alger, 174 p.
9. **Amossé C., Jeuffroy M.H., Celette F., David C., 2013.** Relay-intercropped forage legumes help to control weeds in organic grain production. *European Journal of Agronomy* 49, 158-167.
10. **Alia HAFNAOUI et Fatma Zohra, 2015.** Effet de l'association blé dur (*Triticum durum*)- pois chiche (*Cicer arietinum*) sur la facilitation de l'acquisition de l'azote et du phosphore : Rôle fonctionnel de la symbiose rhizobienne dans le contrôle des échanges rhizosphériques. Mémoire master : Ressources génétiques et amélioration des productions végétales, ENSA. El-Harrach, Alger, 82P.
11. **AFNOR, 1984.** Qualité des sols méthodes d'analyses. AFNOR, Paris, 131p.
12. Analyse à l'échelle de la plante et à l'échelle de la feuille. Thèse doctorat, INAPG, Paris. 99 p.
13. **ABRAS M, CARTRYSSE C, FROIDMONT E, JAMAR D, RONDIA P, WAVREILLE J.,** la féverole : une légumineuse à graines riches en protéines et en énergie.

## Références bibliographiques

14. **Bernard Le Buanec, coordinateur. 2012.** Le tout bio est-il possible ? 90 clés pour comprendre l'agriculture biologique. Quæ, 239 p.
15. **Belaid D., 2014.** Algérie: les cultures associées en grandes cultures. <http://www.djamel-belaid.fr/grandes-cultures/alg%C3%A9rie-les-cultures-associ%C3%A9es-en-grandes-cultures/>
16. **Betencourt E., Duputel M., Colomb B., Desclaux D., Hinsinger P., 2012.** Intercropping promotes the ability of durumwheat and chickpea to increase rhizosphere phosphorus availability in a low P soil. *Soil Biol Biochem.* 46, p.p. 21-33.
17. **Boyeldieu, J. (1997).** Blé tendre. Techniques agricoles, Editions Techniques - Techniques agricoles. fascicule 2020.
18. **Bonni, Moïse Obayomi Adegnika, Amos Nodjasse Doyam, Bedingam Le Diambo, 2013.** Entomologie. Embrapa Brasília, DF, Brésil, p47.
19. **Bieleski R.L., 1973.** Phosphate pools, phosphate transport and phosphate availability. *Annual Review of Plant Physiology.* 24, p.p., 225–252.
20. **CLEMENT-GRANDCOURT et PRAT., 1970.** Les céréales. Collection d'enseignement agricole. 2ème Ed. PP351-360.
21. **Cédric Grimoult , 2000.** Histoire de l'évolutionnisme contemporain en France 1945-1995. DROZ-Genève-Paris, p 276.
22. **CHEHAT F, 2007.** Analyse macroéconomique des filières , la filière blés en Algérie . Projet PAMLIM « Perspectives agricoles et agroalimentaires Maghrébines Libéralisation et Mondialisation » Alger : 7-9 avril 2007.
23. **Corre-Hellou G., Bédoussac L., Bousseau D., Chaigne G., Chataigner C., Celette F., Cohan J.P., Coutard J.P., Emile J.C., Floriot M., Foissy D., Guibert S., Hemptinne J.L., Le Breton M., Lecompte C., Marceau C., Mazoué F., Mérot E., Métivier T., Morand P., Naudin C., Omon B., Pambou I., Pelzer E., Prieur L., Rambaut G, Tauvel O. ,2013.** Associations céréale-légumineuse multi-services. *Innovations Agronomiques* 30, 41-57.
24. **Corre-Hellou G, Baranger A, Bedoussac L, Cassagne N, Cannavacciuolo M, Joëlle J, Pelzer E, Piva G., 2014.** Interactions entre facteurs biotiques et fonctionnement des associations végétales. *Innovations Agronomiques* 40, 25-42.
25. **Corre-Hellou G., Dibet A., Aveline A., Crozat Y., 2004.** Le pois dans des systèmes à faibles intrants: cultures pures ou associées? *Perspectives Agricoles* 306, 8-10.
26. **Carthage et montpellier, 2003.** Fixation symbiotique de l'azote et développement durable dans le Bassin méditerranéen. Les Colloques, n° 100. INRA, Paris, p 204.
27. **Céline Guiard-Van Laethem, Fabienne butler, Sylvain Pellerin. , 2014.** Fertilisation et environnement : Quelles pistes pour l'aide à la décision ? Editions : Quæ et l'Acta, 256 p.
28. **Clémén Mathieu et Jean Lozet, 2011.** Dictionnaire encyclopédique de science du sol. LAVOISIER, p 439.

## Références bibliographiques

29. **Caroline Chambenoit, Jean-Marie Machet, François Laurent, 2002.** Fertilisation azotée de la pomme de terre : Guide pratique. INRA, 192p.
30. **Drevon JJ, Ounane MS, 2009.** Coopération sur le thème : Efficacité d'utilisation du phosphore et fixation symbiorhizobienne d'azote dans la culture du haricot. Rapport de mission. Relation internationale. INRA, Paris, 6p.
31. **Djilli K., Daoud Y., 1999.** Relation entre le pH et la teneur en carbonate de calcium des sols. Cas des sols du Nord Algérien. *Agrochimica*. 43, p173-177.
32. **Danso S. K. A., 1991.** Biological nitrogen fixation in tropical agrosystems: twenty years of biological nitrogen fixation in Africa. *In Biol. Nitrogen fixation and sustainability of tropical agriculture*. Ed. by Mulongoy K., Gueye M. and Spender D.S.C (John Wiley and Sons), 488 p.
33. **Duc G, Mignolet C, Carrouée B, Huyghe C., 2010.** Importance économique passée et présente des légumineuses : Rôle historique dans les assolements et facteurs d'évolution. *Innovations Agronomiques* 11, p1-24.
34. **Dren R, Ellsworth DS, Johnsen KH, Philipps N, Ewers BE, Maier C, Schafer KVR, McCarthy H, Hendrey G, McNulty SG, Katul GG., 2001.** Soil fertility limits carbon sequestration by forest ecosystems in a CO<sub>2</sub>-enriched atmosphere. *Nature* 411: 469-472.
35. **Duff S.M.G., Sarath G., Plaxton W.C., 1994.** The role of acid phosphatase in plant phosphorus metabolism. *Physiol. Planta*. 90, p.p. 791-800.
36. **Dommergues Y.R., GANRY F, 1995.** Arbres fixateurs d'azote : champ ouvert pour la recherche. *Agriculture et développement*. n° 7, 39-55.
37. **Dyson T., 1999.** World food trends and prospects to 2025. *Proc Natl Acad Sci*. 96, p 5929-5936.
38. **Dawson C.J., Hilton J., 2011.** Fertiliser availability in a resource-limited world: production and recycling of nitrogen and phosphorus. *Food Policy*. 36, p.p. 14-22.
39. **Eskandari H., 2012.** Intercropping of maize (*Zeamays*) with cowpea (*Vignasinensis*) and mungbean (*Vignaradiata*): effect of complementarity of intercrop components on resource consumption, dry matter production and legumes forage quality. *J. Basic Appl Scientific Res*. 2, p 355-360.
40. **Etchebest S., 2000.** Croissance foliaire du maïs (*Zeamays L.*) sous déficience en phosphore.
41. Edith Martin, Camille Guellier, Antonio Bispo, 2016. Les sols : Intégrer leur multifonctionnalité pour une gestion. Quæ, P123.
42. **Emma Leslie McDonald, 2014.** Influence of soil pH, phosphorus and sulphur on the rhizobia of four pasture legume species grown in an acid high country soil. *Lincoln University*, 76p.
43. **Feillet P, 2000.** Le grain de blé. Composition, utilisation. Edition INRA, Paris, 308p.
44. **Gate, P. 1995.** Ecophysiologie du blé de la plante à la culture. Paris, Lavoisier Tec&Doc – ITCF.

## Références bibliographiques

45. **Germain Ménard et Armand Boudreau., 1992.** Le blé. SAINTE-FOY (Québec) Canada, p 2.
46. **Gilbert Lawane, SouapibéPabaméSougnabé, VénasiusLendzemo, F. Gnokreo, N. Djimasbeye, G. Ndoutamia., 2010.**Efficacité de l'association des céréales et du niébé pour la production de grains et la lutte contre *Strigahermonthica* (Del.). 20-23.
47. **Ghanbari A., Lee H.C., 2003.**Intercroppedwheat(*Triticumaestivum L.*) and bean(*Vicia faba L.*) as a wholecrop forage: effect of harvest time on forage yield and quality. *Grass and Forage Science* 58,1, p 28-36.
48. **Goldstein A.H., 1992.**Phosphate starvationinducible enzymes and proteins in higher plants. In Society for ExperimentalBiologySeminarSeries 49: Inducible Plant Proteins. Ed. *JL Wray.* Cambridge, p.p. 25-44.
49. **Glass ADM, Britto DT, Kaiser BN, KinghomlR, Kronsuxker HI, Kumar A, OkamotoM, Rawat S.' Siddiqi MY, Unkles SE, Vidmar 11.2002.** The regulation of nitrateand ammonium, transport systems in plants. *Journal of ExperimentalBotany*53: 855-864.
50. **Hamidou. Z, Mahamane. S, Payne. W. A, Sedogo. M, Lompo. F, Nacro. H. B., 2016.** Impact des modes de gestion de la fertilité du sol et des systèmes de cultures sur la nutrition azotée et les rendements du mil (*Pennisetumglaucum (L.) R. Br.*) au Niger. *Tropicultura*, 34(4), 335-349.
51. **ITAB, 2014.** Fiche technique : la culture de la féverole en AB.
52. **Jean Paquereau, Bernard Fleury, Jean Adnet.,2016.** Pois chiche. Au jardin des plantes de la bible. CNPFDI, 196.
53. **Kamel BenMBAREK, Abdelhamid BOUJELBEN, Chérif HANNACHI, Mohsen BOUBAKER.,2008.** Criblage et performances agronomiques de 45 géotypes de pois chiche (*Cicer arietinum L.*) soumis à un régime hydrique limité. BASE[en ligne],13(3)(01/03/2017)«<http://popups.ulg.ac.be/1780-4507/index.php?id=4512>»
54. **K. Coulibaly, E. Vall, P. Autfray, P.M. Sedogo., 2012.** Performance technico-économique des associations maïs/niébé et maïs/mucuna en situation réelle de culture au Burkina Faso: potentiels et contraintes. *TROPICULTURA*, n 30 (3), 147-154.
55. **Louis-Etienne Diouf et OusseynouDieng ,2015.** Guide des pratiques agroécologiques Département de Mbour, Sénégal.
56. **LATATI Mourad., 2015.** Modélisation de la dynamique du carbone et de l'azote dans le système d'association légumineuses-céréales: Rôle fonctionnel de la symbiose rhizobienne dans le contrôle de la biodisponibilité du phosphore dans la rhizosphère. Thèse doctorat : Biotechnologies végétales. ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE El-Harrach –ALGER, 190 p.
57. **Latati M., Pansu M., Drevon J.J., Ounane S.M., 2013.**Advantage of intercroppingmaize (*Zeamays L.*) and commonbean (*Phaseolusvulgaris L.*) on yield and nitrogenuptake in NortheastAlgeria. *International Journal of Research in Applied Sciences* 1, p 23-29.

## Références bibliographiques

58. **Latati M., Blavet D., Alkama N., Laoufi H., Pansu M., Drevon J.J., Gerard F., Ounane S.M., 2014.** The intercropping cowpea-maize improves soil phosphorus availability and maize yields in an alkaline soil. *Plant Soil* 385, p 181-191.
59. **Laurent Bedoussac , 2012.** Les Cultures Associées Céréale / Légumineuse En agriculture « bas intrants » dans le Sud de la France. PerfCom-ANR.
60. **Lithourgidis AS, Dordas CA, Damalas CA, Vlachostergios DN., 2011.** Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture. *Australian J Crop Sci* 5(4): 396-410.
61. **Lamine Diédhiou, 2004.** Riz, symboles et développement chez les Diolas de Basse-Casamance. Les Presses de l'Université Laval, p 259.
62. **Laëtitia Citeau, Antonio Bispo, Marion Bardy, Dominique King, 2008.** Gestion durable des sols, Editions Quæ, p11.
63. **Louarn G.1, Corre-Hellou G.2, Fustec J.2, Lô-Pelzer E.3, Julier B.1, Litrico I.1, Hinsinger P.4, Lecomte C., 2010.** Déterminants écologiques et physiologiques de la productivité et de la stabilité des associations graminées-légumineuses. *Innovations Agronomiques* 11 (2010), 79-99.
64. **Michael L. Cain, Hans Damman, Robert A. Lue , 2006.** Découvrir la biologie. Edition : de boeck, 783p.
65. **Martin Brink, Getachew Melese Belay – 2006.** Céréale et légumes secs. Edition : PROTA, P171.
66. **Mackey, 1966.** IN André Gallais et Hubert Bannerot, 1992. Amélioration des espèces végétales cultivées. INRA, p23.
67. **Ministère des affaires étrangères, .2002.** Ministère des affaires étrangères. CIRAD – GRET en France. p 777.
68. **MacMichael, G. 2001.** Pois chiches : situation et perspectives. *Bulletin bimensuel* Vol. 14 N° 3. 4p.
69. **MacMichael, G. 2004.** Pois chiches : situation et perspectives. *Bulletin bimensuel* Vol. 17 N° 15. 4p.
70. **Morot-Gaudry J.-F., 1997.** Assimilation de l'azote chez les plantes. INRA, Paris, p22.
71. **Michel Pitrat, Claude Foury, coord., 2013.** Résistance aux maladies. Histoire de légumes. INRA, p 116.
72. **Morel C, Le Clech B, Linères M, Pellerin S., 2006.** Gare à la baisse de la biodisponibilité du phosphore. *Alter Agri* 79 : 21-23.
73. **Nesrine RIAHI., 2010.** Étude de la régulation de la nitrogénase chez *Rhodobacter capsulatus* à la noirceur. Mémoire de master : microbiologie et immunologie. Faculté des études supérieures et postdoctorales : Université de Montréal, 76p.
74. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. Fichier technique de la fixation symbiotique de l'azote : légumineuse /rhizobium. FAO, 1992.

## Références bibliographiques

75. **Pierre Duc, 1991.**L'azote et le soufre dans le sol. FRONTIERES, P 205.
76. **Pierre Davet, 1996.**Vie microbienne du sol et production végétale. INRA Paris, 389 p.
77. **Pelzer E, Bedoussac L, Corre-Hellou G, Jeuffroy M.-H, Métivier T, Naudin C, 2014.** Association de cultures annuelles combinant une légumineuse et une céréale : retours d'expériences d'agriculteurs et analyse. Innovations Agronomiques 40, 73-91.
78. **Philippe Hinsinger., 2012.** Les Cultures Associées Céréale / Légumineuse En agriculture « bas intrants » dans le Sud de la France. PerfCom-ANR.
79. **Philippe HINSINGER, 2012.** Interactions entre céréale et légumineuse en association et acquisition de phosphore du sol : processus rhizosphériques sous-jacents. Thèse doctorat : Écosystèmes. CENTRE INTERNATIONAL D'ÉTUDES SUPÉRIEURES EN SCIENCES AGRONOMIQUES (Montpellier SupAgro), p 222.
80. **Plassard C, Robin A, Le Cadre E, Marsden C, Trap J, Herrmann L, Waithaisong K, Lesueur D. Blanchart E, Chapuis-Lardy L, Hinsinger P. 2015.** Améliorer la biodisponibilité du phosphore : comment valoriser les compétences des plantes et les mécanismes biologiques du sol ? Innovations Agronomiques 43, 115-138.
81. **Plenet, D., S. Etchebest, A. Mollier, and S. Pellerin. 2000.**Growth analysis of maize field crops under phosphorus deficiency. I. Leaf growth. Plant & Soil 223:117-130.
82. **Pierre Nyabyenda, 2007.** Les plantes cultivées en régions tropicales d'altitude d'Afrique. CTA, 229 p.
83. **Paul MJ, Foyer CH. 2001.**Sink regulation of photosynthesis. *Journal of Experimental Botany*52: 1383-1400.
84. **Raoul Calvet, 2003.** Le sol: propriétés et fonctions : Tome 1, Constitution, Structure Phénomènes aux interfaces. Edition : France Agricole, P 462.
85. **Raghothama, K.G. 1999.** Phosphate acquisition. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 50: 665-693.
86. **Rao, I. M., Terry. N. 1989.**Leaf phosphate status, photosynthesis, and carbon partitioning in sugarbeet. I. Changes in growth, gas exchange, and Calvin cycle enzymes. Plant Physiology 90:814-819.
87. **Raven P. H., Berg L.R., Hassenzahn D. M., 2008.** Environnement. 6<sup>ème</sup> édition : de boeck, 680 p.
88. **Roger Prat, 2002.** Les plantules modèles : pois, blé, maïs et soja (2/2), Planet-Vie, (10/03/2017)(<https://planet-vie.ens.fr/article/1475/plantules-modeles-pois-ble-soja-22>).
89. **SAVY M ., 1857.**Pisumsativum. Botanique Agricole et Médicale. P189.
90. Sandra Maria Morais Rodrigues, José Ednilson Miranda, Raul Porfírio de Almeida, Carlos Alberto Domingues da Silva, Mamoutou Togola, Sacamba Aimé Omer Hema, Ninaon Hugues Somé, Gustave.

## Références bibliographiques

91. **Smil, V., 2002.** Biofixation and nitrogen in the biosphere and in global food production. In : Nitrogen fixation: global perspectives. T.M. Brogan et al. ed., CAB International, New York, 7-9.
92. **Soltner, D., 1998.** Les grandes productions végétales : céréales, plantes sarclées, prairies. Sainte-Gemme-sur-Loire, Sciences et Techniques Agricoles.
93. **Stitt M. 1999.** Nitrate regulation of metabolism and growth. *Current Opinion in Plant Biology* 2: 178-186.
94. **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. *Ann Bot.* 88, p.p. 131-138.
95. **Thierry Heulin (DR, CNRS) et Cécile Vriet, 2013.** Symbioses plantes-microorganismes.
96. **UNIP/Arvalis-Institut du Végétal (2012) :** Les Cultures Associées Céréale / Légumineuse,
97. **Vitousek, P.M., Porder M., Houlton B.J., Chadwick O.A. 2010.** Terrestrial phosphorus limitation: mechanisms, implications, and nitrogen–phosphorus interactions. *Ecological Applications* 20:5-15.
98. **Vertès F, Jeuffroy M.-H, Justes E, Thiébeau P, Corson M, 2010.** Connaître et maximiser les bénéfices environnementaux liés à l'azote chez les légumineuses, à l'échelle de la culture, de la rotation et de l'exploitation. *Innovations Agronomiques 11 (2010), 25-44.*
99. **Vitousek PM, Howarth RW., 1991.** Nitrogen limitation on land and in the sea: How common? *Biogeochemistry* 13: 87-115.
100. **William G et Hopkins, 2003.** Physiologie végétale. Editions De Boeck Université, 495 p.
101. **Weber und Bleiholder et al., 1990; Lancashire et al., 1991, in Uwe Meier., 2001.** Stades phénologiques des mono-et dicotylédones cultivées. 2<sup>ème</sup> Édition :
102. [www.INPV.dz](http://www.INPV.dz)
103. **Yves Bertrand et Ghislain de Halleux, 2005.** Chevaux et prairies. Editions : France Agricole, 223 p.
104. **Yves Poirier et Marcel Bucher, 2002.** Phosphate Transport and Homeostasis in Arabidopsis. Arabidopsis Book. 1: e0024.
105. **Zine-Zikara F., Bouzid L. et Yekkour A. (2015).** LE POIS CHICHE EN ALGÉRIE : SITUATION, POTENTIALITÉS ET PERSPECTIVES. Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie, (27), P 35-47.

## **Références bibliographiques**

## **Résumé :**

Ce travail porte sur le système de culture en association des légumineuses (pois-chiche-féverole) et d'une céréale (blé dur) dans une expérimentation factorielle réalisée dans la station expérimentale d'Ain Bassam à Bouira. La biomasse, les échanges rhizosphériques, la teneur du phosphore (P) assimilable sont mesurés chez les trois espèces en association et en monoculture. Les objectifs du présent travail ont été :

- 1) la culture associée légumineuse-céréales pourrait être une pratique agronomique alternative pour améliorer la productivité de nos systèmes de culture
- 2) tester si la présence du pois chiche et féverole en association augmenterait la disponibilité du P chez le blé dur associée.
- 3) vérifier la meilleure efficacité de prélèvement du **P** chez le pois chiche et féverole en association et évaluer certains processus rhizosphériques impliqués dans l'adaptation de l'association légumineuse-céréales à la déficience en **P**.

La disponibilité du P augmente de manière significative dans la rhizosphère du blé dur en association par rapport à la monoculture ou à la jachère. L'augmentation de la disponibilité de **P** est associée d'une part, à une acidification avec un appauvrissement de la concentration de  $\text{CaCO}_3$  dans la rhizosphère du pois chiche par rapport à la rhizosphère de la féverole en association. D'autre part, à une alcalinisation dans la rhizosphère du blé dur plus marquée en association par rapport au blé dur en monoculture. En fin, une augmentation de la biomasse sèche des racines et de la partie aérienne chez le blé dur associée.

## **Abstract:**

This work concerns the farming system in association of leguminous plants (pea-scanty-field bean) and a cereal (durum wheat) in a factorial experimentation carried out in the experimental station of Ain Bassam in Bouira. The biomass, the exchanges rhizospheric, The content of phosphorus (P) assimilable are measured at the three species of association and monoculture. The objectives of this work were:

- 1) The associated crop leguminous plant-cereals could be an alternative agronomic practice to improve the productivity of our farming systems
- 2) To test if the presence of chick-pea and field bean in association would increase the availability of P at durum wheat associated.
- 3) To check the best effectiveness of taking away of P at chick-pea and field bean in association and to evaluate certain processes rhizospheric implied in the adaptation of association leguminous plant-cereals to deficiency in P.

The availability of P increases significantly in the rhizosphere of durum wheat in association compared to monoculture or with the fallow. The increase in the availability of P is associated on the one hand, with an acidification with an impoverishment of the concentration of  $\text{CaCO}_3$  in the rhizosphere of chick-pea compared to the rhizosphere of field bean in association. In addition, with an alkalization in the rhizosphere of durum wheat more marked in association compared to durum wheat in monoculture. In end, an increase in the biomass dries of the roots and the air part at durum wheat associated.

## ملخص

يتناول هذا العمل في نظام الزراعة الجمع بين البقوليات (الحمص و الفول) و الحبوب (القمح) في تجربة عملية اجريت في منطقة زراعية بعين بسام البويرة

قمنا بقياس الكتلة الحيوية و تبادل الفسفور على مستوى الريزوسفير عند الانواع الثلاثة المدروسة احاديا او جمعا من بين اهداف هذا العمل

الجمع بين البقوليات و الحبوب كزراعة بديلة يمكن ممارستها من اجل تحسين الانتاج الزراعي

اختبار في ما اذا كان الجمع بين الحمص و الفول يزيد من اتاحة الفسفور عند القمح

التحقق من الفعالية الافضل لجمع الفسفور عند الحمص و الفول بالتعاون مع زيادة بعض العناصر في الريزوسفير

توافر كبير للفسفور في منطقة الجذور عند القمح في حالة الجمع مقارنة بحالة القمح لوحده او البور

زيادة في توافر الفسفور يرتبط مرة بالحموضة مع فقر في تركيز الكالكير في منطقة الجذور عند الحمص مقارنة بمنطقة الجذور عند الفول في حالة الجمع و من ناحية اخرى نجد حموضة في منطقة الجذور عند القمح اكثر ظاهرة عند الجمع مقارنة بالقمح لوحده

و اخيرا نلاحظ زيادة في الكتلة الحيوية على مستوى الجذور و المنطقة العلوية عند القمح في حالة الجمع