

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE

SCIENTIFIQUE

جامعة محمد بوقرة بومرداس

UNIVERSITE M'HAMED BOUGRRA –BOUMERDES



Faculté des Sciences

Département d'Agronomie

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Production Végétale

Intitulé:

Les services écologiques des légumineuses  
en association avec des céréales: état de l'art.

Présentée par : Mhanni Chaimaa et Rahmoun Narimene

Soutenu 20.10.2020 devant du jury :

Encadreur : KACI Ghiles Maitre de conférences B (UMBB).

Présidente : CHEBOUTI Nadjiba Professeur (UMBB).

Examinatrice : DAGHBOUCHE Selma Maitre assistante B (UMBB).

Année universitaire : 2019/2020

## **REMERCIEMENT**

**Avant tout, je remercie dieu tout puissant de m'avoir accordé la volonté, le courage, la patience et les moyens pour accomplir ce modeste travail.**

**Nos plus sincères remerciements et reconnaissances vont spécialement à notre encadreur Mr KACI Ghiles Maitre de conférences B à l'université de M'hamed bougura , pour sa confiance, sa sincérité, sa rigueur, sa patience et surtout sa gentille.**

**Je remercie également :Madame CHEBOUTI Nadjiba , professeur à l'université de M'hamed bougura pour avoir accepté de présider le jury.**

**Je souhaite remercier aussi Madame DAGHBOUCHE Selma , Maitre-assistant classe B à l'université deM'haamed bougura pour avoir ,Accepté d'examiner ce travail.**

**Nos remerciements les plus sincères s'adressent à nos camarades de promotion de la spécialité « production végétale2020» pour leur soutien, et tous les sympathiques moments**

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

**Merci à tous .**

# DEDICACE

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

**A mes très chères parents**, que die les protège est surtout ma mère  
**tabet taous** pour toutes ; ses amours ; confiances ; compréhensions ;  
ses sacrifices, ses encouragements.

**A mes chères sœurs** Nesrine ,Donia tant que tu étais mon soutien

**A toute ma famille** Rahmoun et tabet sans exception.

**A mes chers grands parents** que Dieu les accueille dans son vaste  
paradis

**A mes adorables amies** Rima ,Adla ,Nadia ,lina Maissa pour leur  
fidélité

**A ma binôme** Chaima et sa famille

**A mon encadreur monsieur** Ghiles Kaci

**A Tout mes collègues de promotion** MASTER 2 production végétale a  
amhamed bougra

**NARIMENE**

## **Dédicace**

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

A la tendresse qui né entre dans son cour de nourriture que lorsque nous la saison, vous ne savez pas dormir tant que vous n'êtes pas convaincu que nous somme plongé dans les rêve. A toi la plus belle mère de l'univers **Fatima.**

A toi, le propriétaire du front, sale de suseur et d'innocent pour toi, o propriétaire de la main ravie de générosité et générosité à toi, mon père bien-aimé **Aissa**

**Ames chers frères :** Mohcen , yacine, Abd elhalim, Amine

**Ames chères seour :** Ismahane, Manal, Lamis, Ibtissam, kamilia

**Et les petits enfants de ma famille :** Maissam, Kossia, Aridje, Chahd, Rahaf, Rafif , Mohamed Baraa, Tassnim, Ayham Wassim .

**Et toute ma grande famille.**

**A mes amis :** Bassma, Nina, Amel, Iftikare, Chahinez, Nasrine, Sara, dorsaf, Amira, Maryme

**A mon binôme** Narimane et sa famille

**A mon mari :** Ahmed

**Je vous dédie ce travail**

**CHAIMAA**

### **Liste des abréviations :**

**N:** Azote.

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

**NH<sub>3</sub>** : Ammoniaque.

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

**N<sub>2</sub>O** : Oxyde nitreux

**NO**: Oxyde nitrique.

**NO<sub>2</sub><sup>-</sup>** : Nitrite.

**NO<sub>2</sub>**: Dioxide d'azote.

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

**P**: Phosphore.

**Ph**: Potentiel hydrogène.

**C**: Carbone.

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

**H**: Hydrogène.

**FAO**: Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.

## Liste de figures :

**Figure 1:** Production du blé dans le monde en 2017/2018(en Mt) (USDA en 2018).

**Figure 2 :** Production du blé dur en Algérie (FAO 2018).

**Figure 3 :** Photo de la maladie piétin (Soltner 1990).

**Figure 4 :** Photo de la maladie Piétin échaudage (Soltner 1990).

**Figure 5:** Photo de la maladie la rouille jaune (Soltner 1990).

**Figure 6:** Photo de la maladie la rouille brune (Soltner 1990).

**Figure 7:** Photo de la maladie Oïdium Soltner (1990).

**Figure 8:** Photo de la maladie Fusariose (Soltner 1990).

**Figure 9:** Photo de la maladie Septoriose(*Septoria tritici*) (Soltner 1990).

**Figure 10:** Photo de la maladie Septoriose(*Septoria nodorum*) (Soltner 1990).

**Figure 11 :** Photo de la fève (*Vicia faba* L.) (Nuessly et al., 2004).

**Figure 11:** Photo de la maladie de la Rouille (*Sillero et al., 2011*).

**Figure 12:** Photo de la maladie Botrytis (*Aversenq et al., 2008*).

**Figure 13:** Photo de la maladie Ascochytose (*Bitouche 2013*).

**Figure 14:** Photo de la maladie Bruches (*Rachef et al., 2005*).

**Figure 15:** Photo de la maladie Sitones (*Originales 2013*).

**Figure 16:** Photo de la maladie *Pucerons noirs* (*Kumari et Van Leur 2011*).

**Figure 17:** Echanges de signaux contrôlant les interactions symbiotiques précoces (*Lindstrom et al., 2010*).

**Figure 18:** Processus de la nodulation (*Alkama 2010*).

**Figure 19:** Photo d'association entre les céréales-légumineuses (*Willey 1979*).

**Figure 21 :** Photo de type d'association en sillon (*Eskandari et al., 2012*).

**Figure 22 :** Photo de type d'association en vrac (*Eskandari et al., 2012*).

**Figure 23 :** Photo de type d'association en bandes(Eskandari et al., 2012).

**Figure 24 :** Photo de type d'association en relais(Eskandari et al., 2012).

**Figure 25 :** Le cycle global du carbone (DOE 2008).

**Figure 26:** Cycle du carbone dans le système sol-plante-atmosphère (USDA 2013).

**Figure 27 :** Cycle de l'azote adapté selon Scheiner (2005).

**Figure 28:** Cycle simplifié du P montrant la répartition du stock totale de P du sol entre les différents pools de P (Harmsen 2007).

**Figure 29:** Cycle globale de N dans le système sol-plante-atmosphère (USDA 2013).

**Figure 30:** schéma des transferts d'N entre légumineuse et céréale (Christophe et Guénaëlle 2015).

**Liste de tableau :**

**Tableau 01** : Production de la fève en Algérie de 2010 à 2014 (FAO 2018).....16

**Sommaire :**

**REMERCIEMENT**

**Liste des abréviations**

**Liste des figures**

**Liste des tableaux**

**Introduction générale.....01**

**Partie I : Synthèse bibliographique**

**1. Généralités sur le blé et la fève.....02**

**1) Blé dur .....03**

**1.1. Historique et l'origine .....04**

**1.2. Classifications .....04**

**1.3 .Production de la culture de blé .....04**

**1.3.1. Dans le monde .....04**

**1.3.2. Dans le bassin méditerranéen.....05**

**1.3.3 .En Algérie .....05**

**1.4. Biologie du blé .....06**

**1.4.1. Cycle de développement du blé.....06**

**1.4.2. Exigences du blé.....08**

**1.5. Les maladies .....10**

**2) La fève .....14**

**2.1 .Origine et histoire .....14**

2.2. Classification.....	14
2.3. Production de la fève.....	15
2.3.1. Dans le monde .....	15
2.3.2 .Dans l'Algérie .....	15
2.4 .Caractéristiques agro-morphologiques.....	16
2.5 .Cycle biologique.....	16
2 6 .Exigences pédoclimatiques pour la croissance de la fève .....	17
2.7 .Maladies.....	17
2.8. La symbiose rhizobia- légumineuse.....	20
2.8.1. Etablissement de la symbiose rhizobienne.....	20
2.8.2. Mécanismes et spécificité de la reconnaissance symbiotique .....	20
2.9. Intérêt de la fixation symbiotique.....	23

## Partie 02 :L'association légumineuses-céréales

1. Définition de l'association.....	25
2. Types d'association des cultures .....	26
3. Avantages des cultures associées.....	28
4. Inconvénients de l'association des cultures .....	30
5. Les cycles du carbone, de l'azote et des phosphores dans le système sol-plante-atmosphère.....	31
5.1. Le cycle du carbone .....	31
5.1 .1. Le C dans le pool végétal .....	32
5.1.2 .Le C dans le pool sol .....	32
5.1.3 .Mécanisme du stockage du C dans le système complexe sol-plante -microorganisme .....	33
5.2. Le cycle de l'azote .....	34

<b>5.2.1. L'azote dans la plante .....</b>	<b>35</b>
<b>5.2.2. L'azote dans le sol .....</b>	<b>35</b>
<b>5.2.3 .Fixation symbiotique de l'azote atmosphérique .....</b>	<b>36</b>
<b>5.2.4. Processus de transfert et d'assimilation de l'azote .....</b>	<b>37</b>
<b>5.3. Le cycle phosphore .....</b>	<b>38</b>
<b>5.3.1. Le phosphore.....</b>	<b>38</b>
<b>5.3 .1.1 Le phosphore dans le sol .....</b>	<b>39</b>
<b>5.3.1.2 Le phosphore dans la plante .....</b>	<b>41</b>
<b>5.3.2 La biodisponibilité de phosphore et son prélèvement par la plante .....</b>	<b>41</b>
<b>5.3.3 Fixation symbiotique sous déficience en phosphore .....</b>	<b>41</b>
<b>5.3.4 Effet de l'association légumineuses-céréales sur la biodisponibilité du phosphore .....</b>	<b>42</b>
<b>5.3.5 Mécanismes d'acquisition de phosphore.....</b>	<b>42</b>
<b>5.3.5.1 Mécanismes biologiques.....</b>	<b>43</b>
<b>5.3.5.2. Mécanismes physico-chimique .....</b>	<b>43</b>
<b>6. Effet de l'association céréales-légumineuses.....</b>	<b>43</b>

**Conclusion**

**Reference**

**Résumé**

## Introduction générale :

Le système céréalier occupe une place importante dans la sécurité alimentaire en Algérie (Alkama et al., 2009). En effet les systèmes de cultures à base de blé restent les plus fréquents. Malheureusement, ce système demeure énergivore en matière d'éléments nutritifs et nécessite des apports chimiques excessifs afin de garantir une bonne production. De ce fait il est principalement conduit dans des rotations à base de jachère.

Cependant, 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 (Ferhd et Hireche 2002).

Les légumineuses à graines occupent une place privilégiée dans l'alimentation de par leur richesse en protéines et leur valeur nutritive. Elles jouent également un rôle essentiel dans la rotation des cultures grâce à leur capacité à fixer l'azote atmosphérique (Mylona *et al.*, 1995). La fève à l'image des autres légumineuses alimentaires est très riche en protéines (Bond et al., 1985). Elle constitue un aliment nutritif très important surtout pour les populations à faibles revenus qui ne peuvent pas toujours s'approvisionner en protéine d'origine animale. Cette culture est largement pratiquée à travers le monde couvrant environ 2,3 millions d'hectare (FAO 2006).

L'introduction des légumineuses dans le système de culture soit en association ou en rotation avec des céréales a plusieurs effets positifs sur la durabilité de la production agricole grâce à la facilitation de l'utilisation des ressources, à la restauration de la fertilité des sols et à l'augmentation des rendements en biomasses et en graines (Ofori et stem 1987 ; Jensen 1996 ; Latati et al., 2013, 2014).

Des recherches récentes rapportent l'avantage du système d'association légumineuse-céréale sur la croissance, la biodisponibilité des ressources et sur l'amélioration du rendement en grain (Betencourt et al., 2012 ; Latati et al., 2013, 2014). Cependant la présence des légumineuses dans les systèmes de cultures est une opportunité pour améliorer la fertilité des sols ; et cela par leur capacité à fixer l'azote atmosphérique grâce au mécanisme de symbiose avec les rhizobia, ce qui permet une amélioration du bilan azoté dans les systèmes de cultures (Wani et al., 1995 ; Chalk 1993, 1998).

La fixation symbiotique de l'Azote atmosphérique représente une source important pour les céréales associées aux légumineuses qui se traduit par l'accumulation de la biomasse et l'augmentation des rendements (Shen et chu 2004 ; Betoncourt et al., 2012 ; Latati et al., 2013). Cet effet positif est confirmé pour les associations niébé-mais, féverole-blé et haricot-mais (Zhang et Li., 2003 ; Li et al., 2005 ; Dahmardeh et al ., 2010 ; Latati et al., 2013).

De plus, plusieurs recherches rapportent l'avantage de l'association céréale - légumineuse chez le blé dur et le maïs associé avec le pois chiche et le haricot respectivement (Betencourt et al., 2012 ; Latati et al., 2013).

Cependant, l'augmentation du rendement de la céréale sous l'effet de l'association n'est pas due uniquement à l'augmentation des ressources en azote, mais à d'autres mécanismes qui restent inconnus (Connolly et al., 2001 ; Latati et al., 2014).

# **Généralité sur le blé et la fève**

## 1) Blé dur :

### 1.1. Historique et l'origine :

Le blé est l'une des premières espèces cueillies et cultivées par l'homme, depuis plus de 7000 ans, dans la Croissant Fertile, zone couvrant la Palestine, l'Irak, la Syrie et une grande partie de l'Iran (Croston et willaims 1981).

### 1.2. Classification

Classification botanique selon Feillet (2000) :

**Embranchement :** Angiospermes.

**Sous embranchement :** Spermaphytes.

**Classe :** Monocotylédones.

**Ordre :** Glumiflorales.

**Super ordre :** Commeliniflorales.

**Famille :** Graminae et ou poaceae.

**Tribu :** Triticeae.

**Sous tribu :** Triticinae.

**Genre :** *Triticum*.

**Espèce** *Triticum durum Desf.*

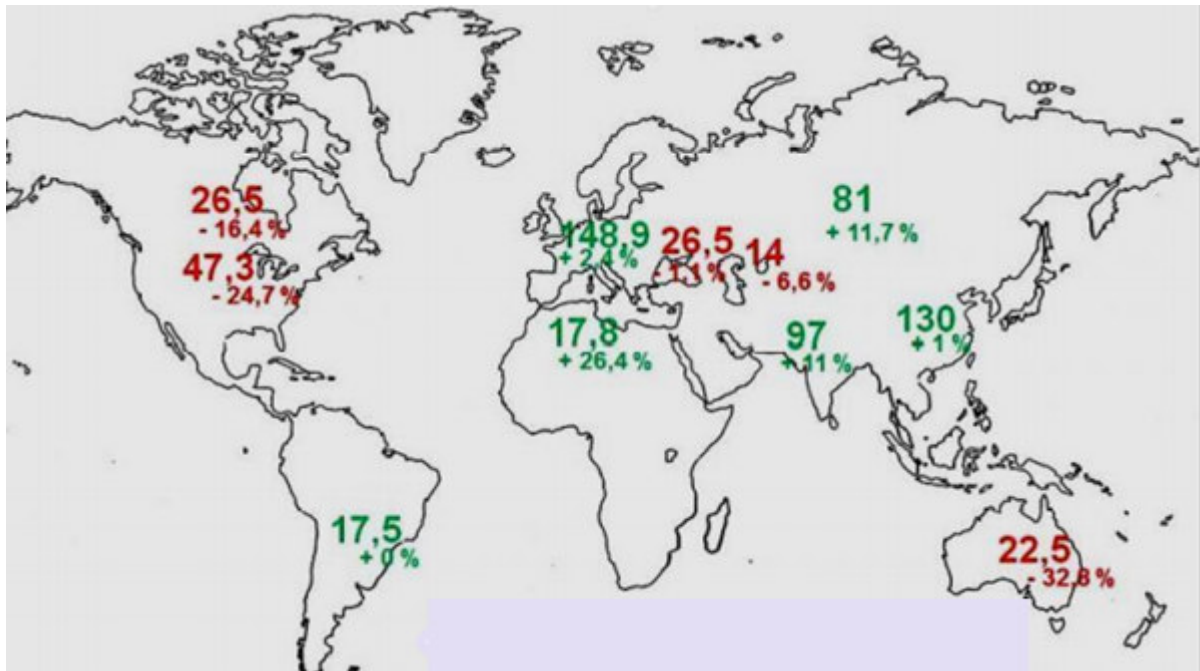
### 1.3. Production de la culture de blé :

#### 1.3.1. Dans le monde :

Le blé constitue la première ressource en alimentation humaine, et la principale source de protéine végétale. Il fournit également une ressource privilégiée pour l'alimentation animale et multiples applications industrielles (Bonjien et Picard 1990).

La figure 1 illustre la répartition des grandes zones de productions de blé dans le monde. Pour l'année 2016/2017 la production mondiale était de 753.3 Millions de tonnes. Par contre une baisse de 1.1% est enregistrée avec une production de 744.9 Mt. La figure montre également les pays qui ont connu une augmentation de la production au cours de la campagne 2017/2018 essentiellement répartis en Europe, en Afrique du nord, en Russie, en Ukraine et au

Kazakhstan et sont représentés en vert. En contre partie, des pays comme les Etats-Unis (-13 Mt) et le Canada (-7 Mt) enregistrent des baisses de production par rapport à la campagne précédente (en rouge).



**Figure1:** Production du blé dans le monde en 2017/2018(en Mt) (USDA en 2018).

### 1.3.2. Dans le bassin méditerranéen :

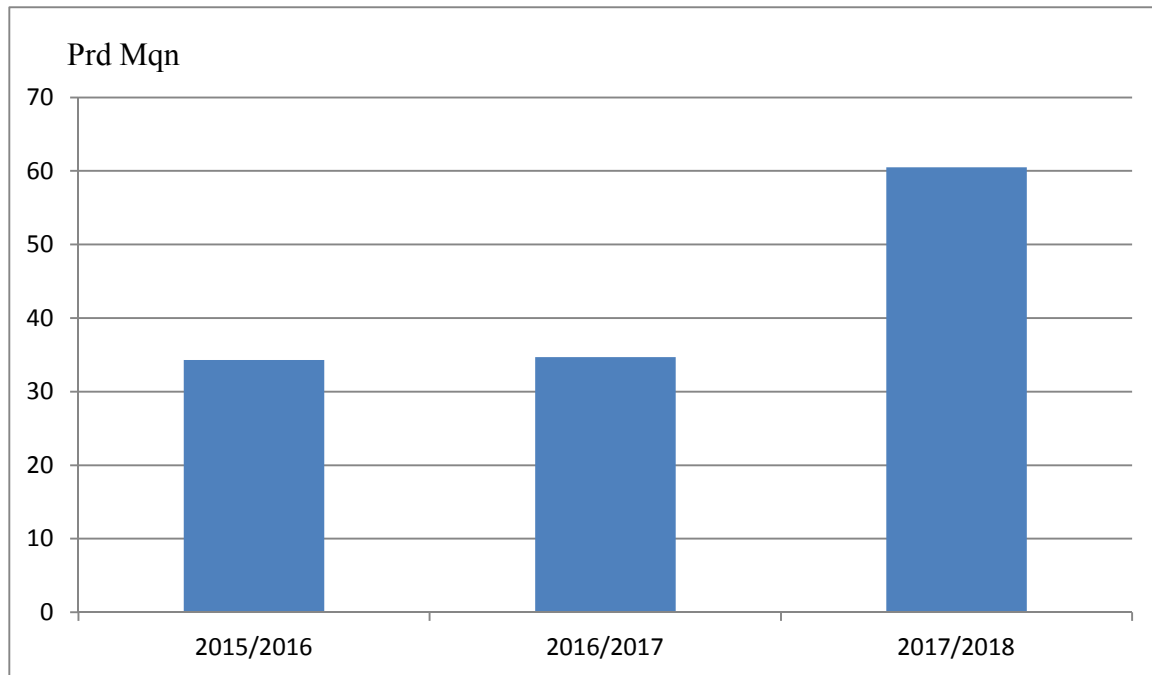
La superficie consacrée à la culture du blé dans les pays méditerranéens représente environ 8% de la superficie totale du monde. Les plus importants producteurs de blé dur de l'union européenne sont l'Italie et l'Espagne qui produisent environ 8 millions tonne (CIC 2002).

Cependant, le plus grand marché d'importation du blé dur se situe dans la zone nord-africaine représenté essentielle par l'Algérie, le Maroc, la Tunisie et la Libye (Lennox 2003).

### 1.3.3. En Algérie :

L'Algérie a réalisé une récolte record de 3,9 millions de tonnes (Mt) sur la campagne 2018/2019, soit une hausse de 61% de la production, dont 3,15Mt de blé dur. Le pas vers une autosuffisance en blé dur est presque franchi, mais il demeure primordial de développer la production de blé tendre qui continue de peser sur les importations algériennes (Fao 2019).

Ce graphique présente le rendement annuel en blé dur par millions de quintaux (Mqx) en Algérie, durant la période 2015 – 2018,, où nous remarquons une augmentation continue des productions de blé dur depuis 2015 pour atteindre son optimum en 2018 avec une production de 60 Mqx.



**Figure2 :** La production du blé dur en Algérie (FAO 2018)

### 1.4. Biologie du blé :

#### 1.4.1 Cycle de développement du blé :

Le cycle de développement du blé se compose de plusieurs phases (Gate 1995)

##### -La levée :

La date de levée est définie par l'apparition de la première feuille qui traverse la coléoptile ; gaine rigide et protectrice enveloppant la première feuille. Le stade levé englobe par conséquent trois étapes successives de nature différente :

- La germination qui correspond à l'entrée de la semence en vie active et au tout début de croissance de l'embryon.
- L'élongation du coléoptile, première organe du système aérien à émerger à la surface du sol.
- La croissance de la première feuille qui perce en son sommet du coléoptile.

##### -Stade 2-3 feuilles :

Ce stade est caractérisé par le nombre de feuilles de la plantule. Après la levée, les ébauches foliaires entassées en position alternée de la base jusqu'au tiers médian de l'apex croissent et émergent les unes après les autres selon un rythme régulier.

### **-Stade début tallage :**

La plante possède trois à quatre feuilles. Une nouvelle tige apparaît sur le maître-brin à l'aisselle de la feuille la plus âgée. L'émergence de cette première talle hors de la gaine de la première feuille constitue le repère conventionnel du stade début tallage.

### **-Stade plein tallage :**

Le stade plein tallage ne se définit pas par des caractéristiques précises. Il s'agit plus d'une période qu'un état particulier dans la mesure où la notion de plein tallage sous-entend que l'on connaît à priori l'abondance du tallage final, variable selon les dates de semis, la température et la variété. Néanmoins, on définit conventionnellement le stade plein-tallage lorsque les plantes portent deux à trois talles (Gate, 1995).

### **- Stade épis à 1 Cm :**

Les plantes se redressent, et la tige principale ainsi que les talles les plus âgées commencent à s'allonger suite à l'élongation des entre-nœuds auparavant empilés sous l'épi. Les autres tiges plus jeunes vont régresser : leur vitesse de croissance se réduit, elles s'engagent vers la sénescence puis mourront.

### **- Stade 1-2 nœuds :**

La talle, tige court-nouée, constituée essentiellement de nœuds empilés à l'origine, grandit par l'élongation des premiers entre-nœuds. Chaque entre-nœud débute sa croissance après le précédent sans attendre que le dernier ait atteint sa longueur définitive.

### **- Stade méiose pollinique :**

La méiose pollinique se réalise quand le sommet du jeune épi touche la ligule de l'avant dernière feuille. Ce stade a donc lieu un peu avant le gonflement ; en moyenne le stade méiose pollinique survient 10 jours avant l'épiaison pour le blé

### **- Stade épiaison :**

Juste après le stade gonflement, la gaine de la dernière feuille s'écarte progressivement suite à l'allongement des derniers entre-nœuds de la tige : c'est le stade gaine éclatée. Puis dans le jour ou les jours qui suivent, le sommet de l'épi sort de la dernière gaine qui a alors atteint sa longueur définitive : c'est le début de l'épiaison.

### - Stade floraison :

A ce stade, la tige et l'épi ont quasiment achevé leur croissance. En général, le poids maximum de l'épi est atteint 3 jours après la floraison.

### - La formation du grain :

Cette période comprend 3 stades essentiels (Gate, 1995) :

- **Le stade grain laiteux** : de la fécondation, stade identifié par la floraison jusqu'au grain laiteux, se mettent en place les enveloppes des futurs grains. Ces enveloppes qui déterminent le poids potentiel des grains ont atteint leur taille maximum à ce stade pour l'ensemble des céréales à paille à l'exception du riz.

- **Le stade grains pâteux** : du stade laiteux au stade pâteux, il y a expansion des cellules de l'enveloppe et remplissage de ces cellules de manière dominante par des sucres qui sont emmagasinés essentiellement sous forme d'amidon. La quantité d'eau contenue dans le grain est stable : c'est le palier hydrique, phase caractéristique du remplissage du grain.

- **La maturité physiologique** : La maturité physiologique a lieu quand il n'y a plus de migration de matière sèche vers le grain. Ce stade succède de peu de jours (2 jours en moyenne), au stade pâteux. A ce stade le poids sec du grain a atteint sa valeur maximum et définitive. Après ce stade, une phase rapide de dessiccation se met en place et le grain devient de plus en plus dur et peut être récolté à la machine : c'est la maturité récolte.

### 1.4.2. Exigences du blé :

Le blé dur n'a pas les mêmes exigences que le blé tendre. Il a des besoins élevés en ensoleillement, une faible résistance au froid et à l'humidité, et une sensibilité à certaines maladies cryptogamiques plus grande que chez le blé tendre (Allaoui 2013) :

### - La température :

La température est le facteur le plus déterminant dans la plupart des processus biologiques de production. Elle affecte le rendement par l'augmentation de la durée et le taux de remplissage. Pour atteindre une croissance optimale et un maximum de rendement, la température optimale du blé se situe entre 15 et 20° C (Doorenbos et al., 1987 ; Dupont et Altenbach 2003 ; Steduto et al., 2012).

### **- L'eau :**

En plus de ses fonctions d'alimentation, l'eau constitue surtout le milieu intérieur des plantes, véritable matrice vitale de leur fonctionnement (Gate, 1995). Les besoins d'eau correspondant à des bons rendements du blé, sont de 450 à 650 mm selon le climat et la longueur du cycle végétatif (Doorenbos et al., 1987).

### **- La photopériode :**

Le rayonnement solaire et la durée du jour consolide l'effet positif de la température sur le rendement quand elle n'est pas très élevée et accentue son effet négatif dans le cas contraire (Lasram et al., 2014). La photopériode affecte aussi la durée de chacune des périodes de développement citées. Les variétés du blé diffèrent quant à leur sensibilité à la photopériode (Hamadache 2013).

### **- Le sol :**

Le blé dur exige un sol sain, drainant bien mais pas trop sujet au stress hydrique surtout pendant la période de l'accumulation des réserves dans le grain (Abdellaoui et al., 2006). Un sol bien structuré est donc la base essentielle pour obtenir une récolte saine et vigoureuse (Harrad et al., 2006). Le pH optimal se situe dans la gamme de 6 à 8. La culture est modérément tolérante à la salinité du sol (Doorenbos et al., 1987). Les séquences de travail du sol à adopter doivent être en fonction du précédent cultural, de la texture du sol, et de la pente (Allaoui 2005).

### **- La fertilisation :**

L'azote est un élément fondamental pour la croissance et le développement des céréales à paille, c'est un élément constitutif des composés organiques azotés comme les protéines, les vitamines et la chlorophylle. Lorsque l'alimentation azotée est perturbée, les plants sont chétifs, le tallage est faible, les rendements diminuent et la teneur en protéines du grain est réduite (Ait abdallah et al., 2014). Les besoins d'engrais correspondant à de bons rendements vont jusqu'à 150 Kg/ha d'azote, 35 à 45 Kg/ha de phosphore et 25 à 50 Kg/ha de potassium (Doorenbos et al., 1987). Allaoui (2005), recommande de fractionner l'azote en 2 ou 3 applications.

### 1.5. Les maladies :

D'après Soltner (1990), les maladies du blé qui influent sur la qualité des grains :

**1.5.1 : piétin verse (*Cercospora herpotrichoïdes*)** :elle se caractérise par :

- 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



**Figure 3** : photo de la maladie piétin verse (Soltner 1990).

**1.5.2. Piétin échaudage (*Ophiobolus graminis*)** :elle se caractérise par :

- Épi stérile,
- Blanc au début de l'épiaison.
- Racines noires et cassantes.
- Base des tiges noircit

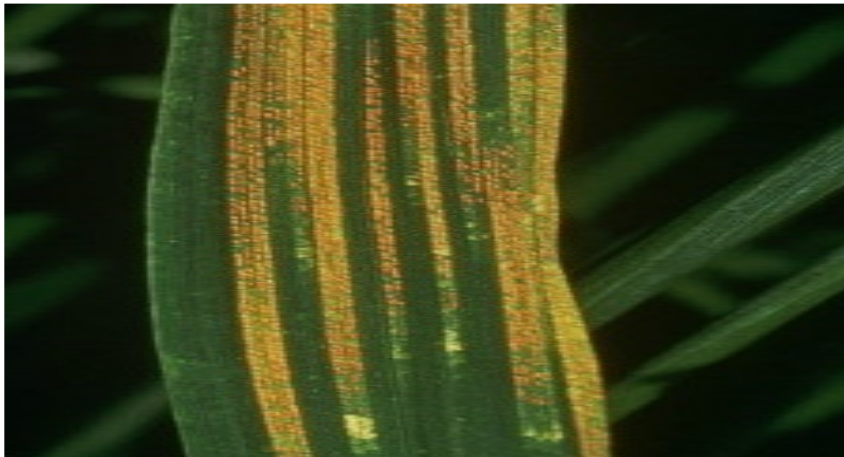


**Figure 4** : photo de la maladie Piétin échaudage d'après Soltner (1990)

**1.5.3. Rouille :** en trouve deux type :

**1..5.3.1. La rouille jaune (*Puccinia striiformis*) :** elle se caractérise par :

- Formation de pustules jaunes ou orangées alignées parallèlement aux nervures de la feuille.



**Figure 5:** photo de la maladie la rouille jaune (Soltner 1990).

**1.5.3.2. La rouille brune (*Puccinia triticina*) :** elle se caractérise par :

- Pustules orange ou brunâtres disposées de manière irrégulière.



**Figure 6:** photo de la maladie la rouille brune (Soltner 1990).

**1.5.4. Oïdium (*Erysiphe graminis*) :** il se caractérise par :

- Feutrage blanc d'aspect farineux.
- Ponctuations noires (cleistothécies) apparaissent sur les feuilles âgées.



**Figure 7:** photo de la maladie Oïdium (Soltner 1990).

**1.5.5. Fusariose (*Fusarium spp*) :** elle se caractérise par :

- Décoloration.
- Des épillets (blanchâtres).
- Grains échaudés et décolorés.
- Fonte de semi.

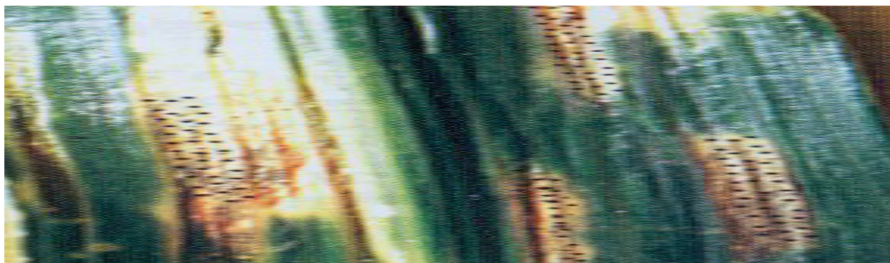


**Figure 8:** photo de la maladie fusariose (Soltner 1990).

**1.5.6. Septoriose :** on retrouve deux type :

**1.5.6.1. Septoriose (*Septoria tritici*) :** elle se caractérise par :

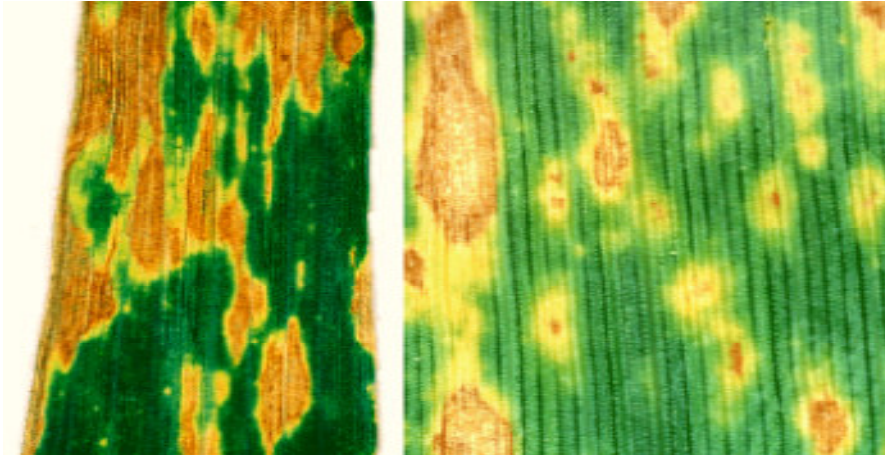
- Taches rectangulaires allongées (sens des nervures).



**Figure 9:** photo de la maladie Septoriose (*Septoriatritici*) (Soltner 1990).

**1.5.6.2. Septoriose (*Septoria nodorum*) :** elle se caractérise par :

- Taches brunes roux ovales plus fréquentes à la pointe du limbe.



**Figure 10:** photo de la maladie Septoriose (*Septorianodorum*) (Soltner 1990).

### 2. la fève

#### 2.1 Histoire et Origine :

Selon Mathon (1985), la fève *V. faba* L. est une plante cultivée par l'Homme depuis le Néolithique (7000 ans avant J.C).

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

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

#### 2.2. Classification :

Classification botanique D'après Dajoz (2000) in Mezani (2011), la fève est classée comme suit :

<b>Règne :</b>	Plantes.
<b>Embranchement :</b>	Spermaphytes.
<b>Sous-embranchement :</b>	Angiospermes.
<b>Classe :</b>	Dicotylédones.
<b>Sous-classe :</b>	Dialypétales.
<b>Série :</b>	Caliciflores.
<b>Ordre :</b>	Rosales.
<b>Famille :</b>	Fabacées (légumineuses).
<b>Sous- famille :</b>	Faboideae.
<b>Genre :</b>	<i>Vicia</i>
<b>Espèce:</b>	<i>Vicia faba</i> L.



**Figure 11 :** Photo de la fève (*Vicia faba L.*) (Nuessly et al., 2004).

### **2.3.1. Production de la fève dans le monde :**

La fève est l'une des quatre principales légumineuses alimentaires cultivées dans le monde. La production mondiale de la fève sèche en graines en 2012 a atteint 4,2 millions de tonnes sur 2,5 millions d'hectares. Les principaux pays producteurs sont la chine (1,4 million de tonnes/an sur 95000 hectares), l'Ethiopie (944000 tonnes/an sur 574 000 hectares), l'Australie (425 000 tonnes/an sur 160 000 hectares) (FAO 2012).

### **2.3.2. Production de la fève en Algérie :**

Les principales légumineuses alimentaires cultivées en Algérie sont la fève et le pois chiche. Ces deux espèces couvrent plus de 81% des superficies destinées aux légumineuses alimentaires (Maatougui 1996).

La fève est cultivée sur les plaines côtières, les plaines sub-littorales et les zones sub-Sahariennes, plus spécialement dans les wilayas de l'Ouest (Sidi Bel-Abbés, Tlemcen et Mostaganem), du centre (El Khemis et Boumerdès) de l'Est et du Sud-Est (Béjaia, Batna et Biskra) (Ouffroukh et Aggad 1996).

**Tableau 01** : Production de la fève en Algérie de 2010 à 2015 (FAO STAT 2015).

Années	Superficie (ha)	Production (Qx)	Rendement (qx/ha)
2010	34210	366252	10.70
2011	37090	379818	10.24
2012	36835	405070	10.99
2013	37668	423862	11.25
2014	37499	413886	11.03
2015	30 055	2 495 373	8,37

### 2.4. Caractéristiques agro-morphologiques :

La fève est une plante annuelle herbacée possédant une tige simple, dressée, creuse, de section quadrangulaire et de hauteur généralement comprise entre 0,80 à 1,20 m. Elle est pourvue d'un ou de plusieurs rameaux à la base et présentant un type de croissance indéterminé (DUC et al., 2010).

Le système racinaire de la fève est formé d'une racine principale pivotante et des racines secondaires, Ce système racinaire peut s'enfoncer jusqu'à 80 cm de profondeur, et porte d'une manière plus abondante dans les 30 premiers centimètres des nodosités contenant des bactéries fixatrices d'azote (*Rhizobium leguminosarum*) (DUC et al., 2010).

Les feuilles sont pennées, de couleur vert brillant en 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. Elles sont renfermées (5 à 10) dans une gousse verte devenant noire (Jean 2010)

### 2.5. Cycle biologique :

La fève est une plante annuelle, son cycle complet est d'environ 5 mois (Chaux et Foury 1994). D'après Brink et Blay (2006), le développement de la fève est caractérisé par cinq stades principaux : germination et levée, développement végétatif, développement reproductif, sénescence de la gousse et sénescence de la tige.

### 2.6. Exigences pédoclimatiques pour la croissance de la fève :

#### 1) Température :

La fève est une plante de jours longs et nécessite une saison froide pour un meilleur développement et peut être semée plus tôt. Les saisons de croissance de cette espèce devraient avoir peu ou pas de chaleur excessive, la température optimale est comprise entre 18 à 27°C (Duke 1981 ; Link et al., 2010).

#### 2) Nature du sol et besoins en éléments nutritifs non azotés :

La fève pousse mieux sur des sols à texture plus lourde, mais tolèrent presque n'importe quel type de sol (Duke 1981). Par la mesure de la résistance du sol de champ qui est un moyen efficace du diagnostic de la résistance mécanique de la croissance des racines. Rochester et al (2001), ont déduit que la fève peut améliorer la structure du sol par la stabilisation des agrégats. La fève est plus sensible à des niveaux élevés de sodium (Na) que les pois et les lentilles (Paulain et Al Mohammad 1995 ; Choi et al., 2006).

#### 3) L'approvisionnement en eau et l'efficacité de l'utilisation :

L'approvisionnement en eau est essentiel pour la fixation de N<sub>2</sub>, la photosynthèse et la formation des nodules racinaires (Sprent et al., 1977 ; Sprent et Bradford., 1977 ; Siddique et al., 2001).

### 2.7 Maladies :

**2.7.1. La Rouille (*Uromyces fabae*)** : elle se caractérise par :

- Une perte de rendement jusqu'à 25 qx/ha.
- La présence sur les feuilles de pustules de couleur brune rougeâtre auréolées une partie plus claire.



**Figure 11:** photo de la maladie de *Rouille* (Sillero *et al.*, 2011).

### 2.7.2. Le *Botrytis* (*Botrytis fabae*) : elle se caractérise par :

- Petites taches brunes de 2-3 mm de diamètre dispersés sur la feuille pouvant entraîner une chute précoce des feuilles.



**Figure 12:** photo de la maladie *Botrytis* (Aversenq *et al.*, 2008)

### 2.7.3. L'*Ascochyte* (*Ascochyta fabae*) : elle se caractérise par :

- Généralement trouver sur une feuille.
- Pas plus de deux tâches qui s'élargissent et pour atteindre un diamètre supérieur à 3 mm.
- Les taches les plus âgées sont de type "brûlure de cigarette" avec une plage blanche au centre.



**Figure 13:** photo de la maladie *Ascochyose* (Bitouche 2013).

**2.7.4. Les Bruches (*Bruchus rufimanus*) :** elles se caractérisent par :

- Larve pénètre dans la gousse et dans la graine.



**Figure 14:** photo de la maladie *Bruches* (Rachef et al., 2005).

**2.7.5. Les Sitones (*Sitona lineatus*) :** elles se caractérisent par :

- L'adulte mord les feuilles (encoches sur le bord des feuilles).
- Détruisent les nodosités.



**Figure 15:** photo de la maladie *Sitones* (Originales 2013).

**2.7.6. Les Pucerons noirs (*Aphis fabae*) :** ils se caractérisent par :

- Formation de colonies ou manchons sur les tiges de féverole.
- Affaiblissement les plantes.



**Figure 16:** photo de la maladie *Pucerons noirs*(Kumari et Van Leur 2011).

### **2.8. La symbiose rhizobia- légumineuse**

Les symbioses rhizobiennes sont des associations bénéfiques réciproques entre une plante et un microorganisme (Walter 2005), où les légumineuses nodulées contribuent à l'économie d'azote du sol, ce qui augmente la rentabilité des légumineuses (Dakora et al., 2008).

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

#### **2.8.1. Etablissement de la symbiose rhizobienne :**

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

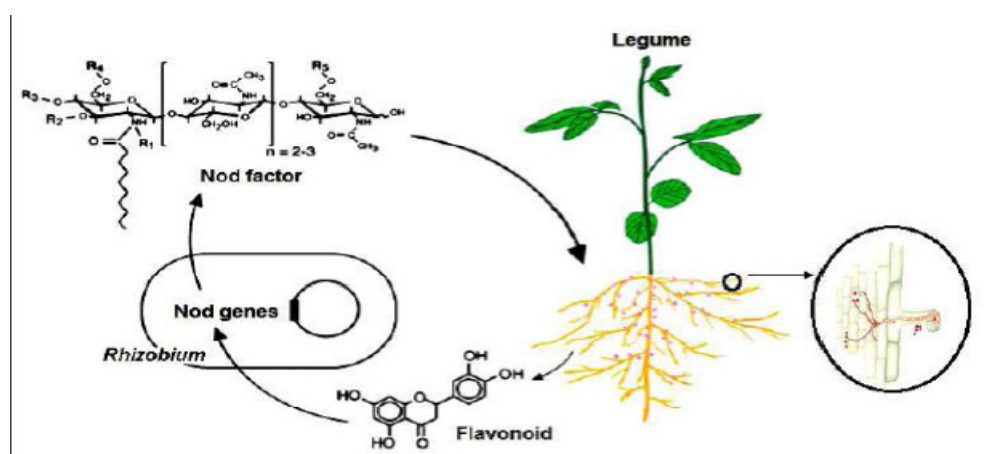
#### **2.8.2. Mécanismes et spécificité de la reconnaissance symbiotique :**

Le processus de fixation symbiotique de l'azote est précédé par la formation de nodules ou nodosités. En terme général, les nodules sont le résultat de l'infection des racines par les bactéries. Le processus est appelé nodulation (Patriarca et al., 2004). En présence des

rhizobia, la plante émet des signaux par la production de flavonoïdes qui stimulent la sécrétion des facteurs Nod par les rhizobia (D'Haeze et Holsters 2002).

### Pré -infection

Le processus de nodulation commence par un échange de signaux entre la plante hôte et la bactérie (Patriarca et al., 2004). Les racines rejettent par leur métabolisme normal, des substances qui ont des effets attracteurs sur certains microorganismes du sol. Certaines de ces substances appartiennent au groupe des flavonoïdes tels que les flavones, isoflavones et flavonones (Rasanen 2002). Ce signal, une fois perçu par le rhizobium, induit l'expression de gènes Nod codant pour les enzymes de synthèse de facteurs Nod (lipo-chitoooligosaccharides ou LCOs) (Dénarié 2000). Les facteurs Nod induisent des événements morphologiques, physiologiques et moléculaires chez la plante hôte. La déformation du poil racinaire est observée environ 12 à 24 heures après l'émission des signaux ; les poils absorbants changent leur direction de croissance et forment une structure en crosse de berger, courbées, renflées, entrelacées, déformées, branchées ou jointes qui enferme les rhizobium (Waligora et Tetu 2008 ; Alkama 2010).



**Figure17:** Echanges de signaux contrôlant les interactions symbiotiques précoces (Lindstrom et al., 2010).

### Infection :

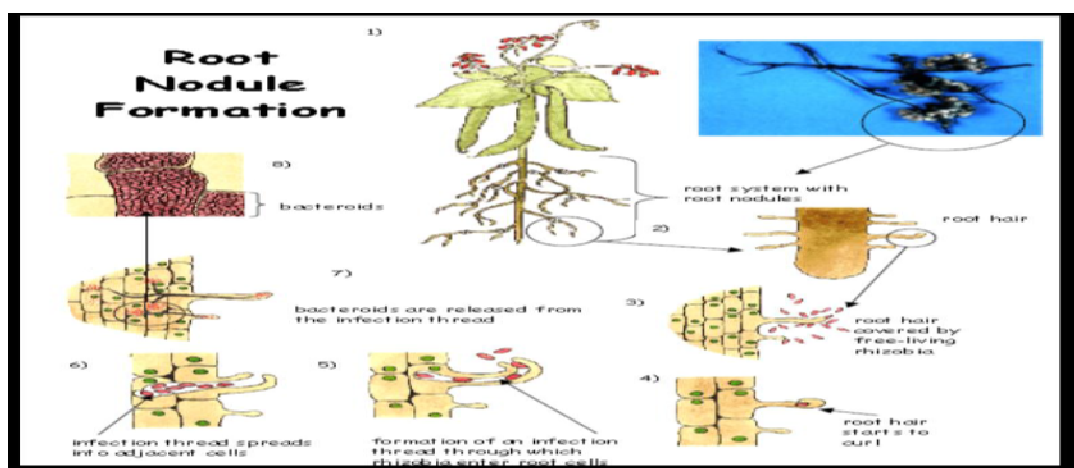
L'infection des racines peut avoir lieu à travers les poils absorbants ou des blessures, ou à travers l'espace intercellulaire (Rasane 2002). L'infection consiste en la pénétration des

rhizobia en différents points du système racinaire. Il se forme dehors, dans le poil absorbant, une poche d'infection qui s'agrandit en un filament infectieux. Après avoir pénétré dans les poils absorbants, les bactéries sont entourées par un cordon d'infection. Ce dernier se ramifie tandis que les rhizobia se multiplient (Khan 2010 ; Alkama 2010 ; Hopkins 1999).

### ➤ Développement du nodule :

Le stade final du processus infectieux est atteint lorsque les bactéries sont déversées dans la cellule hôte (Hopkins et al., 2003). Une fois que les parois se multiplient, les cellules des poils sont digérées, une structure tubulaire appelée le fil d'infection est formée. Elle se compose de cellules de la paroi nouvellement synthétisées qui formeront le matériel entourant le rhizobia. Le centre du tube est une glycoprotéine contenant quelques produits bactériens et quelques glycoprotéines de la plante hôte (Gage 2004).

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



Source : Alkama, 2010

Figure 18: Processus de la nodulation

### **2.9. Intérêt de la fixation symbiotique :**

Selon Danso (1992), dans les pays en développement ; l'azote de la fixation symbiotique a une contribution plus importante, pour la croissance des plantes, que celle des engrais azotés appliqués en agriculture. L'azote fixé contribue pour 50 à 60 % du N des légumineuses à graines, 55 à 60 % du N des arbres fixateurs d'azote, 70 à 80 % du N des légumineuses fourragères.

## **Partie 02 :L'association céréale-légumineuse**

### 1) L'association légumineuses-céréales

L'association légumineuses-céréales peut offrir une potentielle solution pour relever certains des défis tels que la sécurité alimentaire et promotion d'une agriculture durable ( Daryanto et al ;2020).

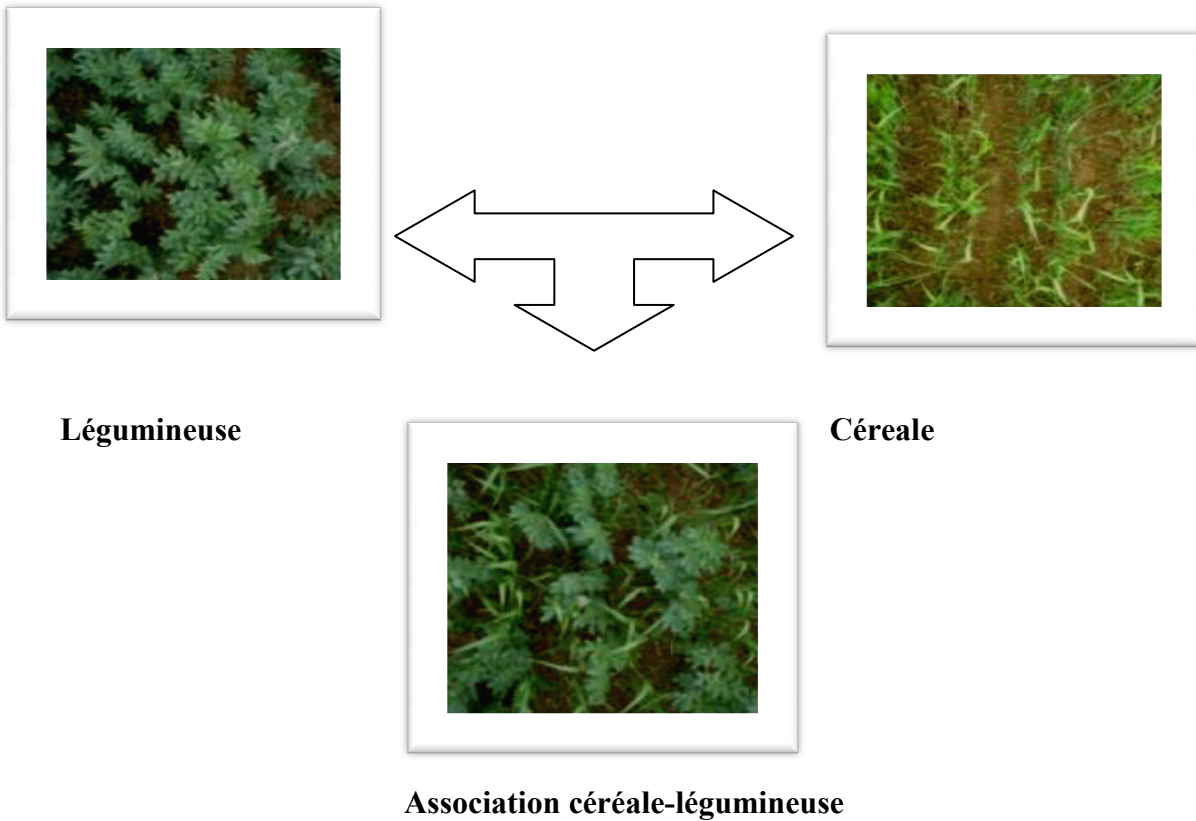
Les légumineuses associées avec des céréales peuvent améliorer le rendement, augmenter l'efficacité d'utilisation de l'azote (N), réduire l'apparition de certains ravageurs et maladies, construire la santé des sols en accumulant de l'N et en mobilisant d'autres éléments essentiels comme le phosphore (P) avec leurs exsudats racinaires (Inal et al., 2007 ; Li et al., 2014 ; Foyer et al., 2016). Le principe de l'association repose sur la maximisation de l'utilisation des ressources complémentaires (c.-à-d. canopée et architecture racinaire), la facilitation (c.-à-d. la fixation de N<sub>2</sub>, le P et l'acquisition de micronutriments) et le partage des ressources entre différentes espèces (Brooker et al., 2015). Par conséquent, lorsque conçues et gérées, les cultures associées peuvent généralement augmenter la productivité des terres par rapport au système de monoculture.

#### 1. Définition de l'association :

L'association d'espèces est définie comme étant la culture simultanée de deux ou de plusieurs espèces sur la même surface pendant une période significative de leur croissance mais sans nécessairement être semées et récoltées en même temps (Willey 1979). L'association de culture peut induire deux types d'interaction : la compétition et la facilitation (Vandermeer 1989).

La compétition d'une plante sur une autre a lieu quand une espèce modifie d'une façon négative l'environnement pour la seconde (effet d'ombrage, réduction des ressources du milieu). La Facilitation intervient lorsque le changement se fait d'une manière positive en améliorant les conditions du milieu pour la deuxième espèce (réduction des maladies, des adventices, accroissement des ressource) (Bruno et al., 2003). Ces deux types d'interactions interviennent dans la productivité de l'association de culture, en réduisant ou en améliorant la productivité de l'association des deux espèces.

## Partie 02 : association céréale - légumineuse



**Figure 19:** photo d'association entre les céréale-légumineuse (willey ,1979).

### 2. Types d'association de 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). Selon Eskandari et al., 2012, elle comprend quatre groupes :

- **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.



**Figure 21** : photo de type d'association en sillon (Eskandari et al., 2012).

## Partie 02 : association céréale - légumineuse

---

- **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.



**Figure 22** : photo de type d'association en vrac(Eskandari et al., 2012).

- **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.



**Figure 23** : photo de type d'association en bandes (Eskandari et al., 2012).

- **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.



**Figure 24** : photo de type d'association en relais (Eskandari et al., 2012) .

### **3. Avantages des cultures associés :**

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

L'association de cultures peut améliorer l'utilisation des ressources (nutriments surtout l'azote du sol, la lumière et l'eau) de 10 à 50 % par rapport aux monocultures (Dapaah et al., 2003 ; Hauggaard-Nielsen et al., 2008). Il est supposé que l'association d'espèces puisse permettre une amélioration de l'acquisition d'une ressource (eau, lumière, nutriment) par deux mécanismes généraux : la différenciation de l'acquisition de la ressource et l'augmentation de sa disponibilité suite à la modification de l'environnement par les espèces associées (Fridley 2001).

Plusieurs études, envisagées sur des mélanges céréales-légumineuses, se sont attirées à la dynamique des interactions entre les espèces et ont permis d'illustrer cette complémentarité dans l'utilisation des ressources, s'il s'agit de l'interception de la lumière, de l'acquisition des nutriments et particulièrement l'azote permettant d'expliquer les performances de ces mélanges en terme de rendement notamment (Jensen 1996; Andersen et al., 2004; Hauggaard-Nielsen et al., 2006; Corre-Hellou et al., 2006; Bedoussac et Justes 2010b).

Le système de culture en association peut augmenter les rendements et améliorer l'efficacité de l'utilisation des ressources du sol par rapport à la monoculture par la complémentarité, la facilitation et la concurrence entre les cultures intercalaires de légumineuses et de céréales (Hauggaard-Nielsen et al. 2008).

## **Partie 02 : association céréale - légumineuse**

---

### **3.2. Augmentation des rendements :**

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

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

Selon Latati et al. (2013), l'effet de l'association haricot-mais augmente le rendement du maïs de 39,2%, la teneur en azote dans la partie aérienne de 38,6% et la teneur en phosphore de 16%.

Selon Betencourt et al. (2012), le blé dur a augmenté son absorption racinaire d'azote de 22% lorsque ce dernier était cultivé avec des pois chiches. C'était pareil pour les pois chiches dont l'augmentation de l'absorption racinaire d'azote était de 19%.

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

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

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

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

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

## Partie 02 : association céréale - légumineuse

---

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

### 3.5. Enrichissement du sol :

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

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

De plus, la décomposition des résidus des légumineuses améliore la disponibilité de l'azote dans le sol pour les cultures associées, en particulier, sous les sols pauvres en azote.

En plus de l'azote, la facilitation interspécifique du prélèvement du P par les cultures associées a été rapportée chez le lupin blanc qui améliore la quantité du P prélevé par le blé associé, ainsi que chez le pois chiche et le haricot associés au maïs et au blé respectivement (Grierson 2000 ; Li et al., 2004 ; Latati et al., 2015) .

### 3.6. Préservation de la biodiversité :

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

## 4. Inconvénients de l'association des cultures :

Selon Pelzer et al. (2014) plusieurs inconvénients ont été mentionnés :

- **Semis** : hétérogénéité entre espèces (date et profondeur, pour certaines associations tel que l'association blé-féverole).
- 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 pollution des parcelles (pas toujours d'herbicide homologué, désherbage mécanique compliqué).

## **Partie 02 : association céréale - légumineuse**

---

- 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).

### **5. Les cycles du carbone de l'azote et du phosphore dans le système sol-plante-atmosphère :**

#### **5.1. Le cycle du carbone :**

Le carbone (C) est l'un des éléments constitutifs de la vie sur terre, il est à la base des trois grandes familles de nutriments (glucides, lipides et protéines). Les formes organiques de C présentes dans les matériaux vivants en décomposition sont donc à l'origine des matières organiques des sols (MOS) (Pansu et al., 2010). 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<sub>2</sub>), protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O), méthane (CH<sub>4</sub>)), soit piège à CO<sub>2</sub> et CH<sub>4</sub> en favorisant le stockage stable du carbone (Bardy et al., 2008)

Chaque année, 2,6 Gt C sont ainsi absorbées par la végétation et les sols, alors que le changement d'affectation des terres (principalement la déforestation et conversion des sols forestiers et de prairie en sols de culture) conduit au déstockage de 1,6 GtC.an<sup>-1</sup> (Laëtitia et al., 2008).

## Partie 02 : association céréale - légumineuse

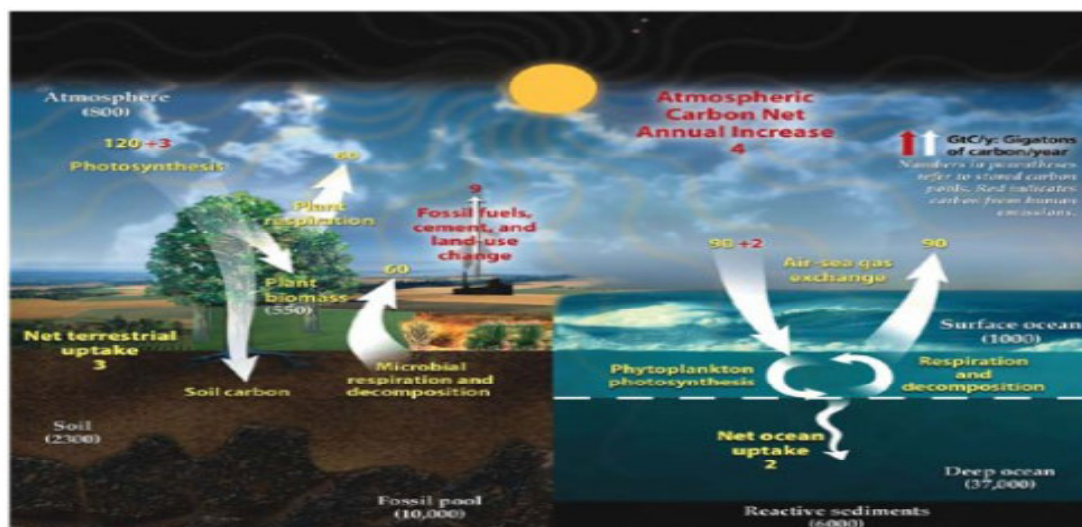


Figure 25 : Le cycle global du carbone (DOE 2008)

### 5.1.1. Le C dans le pool végétal :

Pour les plantes, le processus de photosynthèse qui permet l'absorption du  $\text{CO}_2$  grâce à l'énergie lumineuse interceptée est assuré par des protéines, et surtout la RuBisCO (Anne et al., 2015). La photo-respiration 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 C4 et CAM réduisent la perte d'eau en évitant la photo respiration lorsque les concentrations en gaz carbonique sont faibles, ce qui permet aux plantes de maintenir leurs stomates fermés (Michael et al., 2006).

### 5.1.2. 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 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 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 et al., 2015).

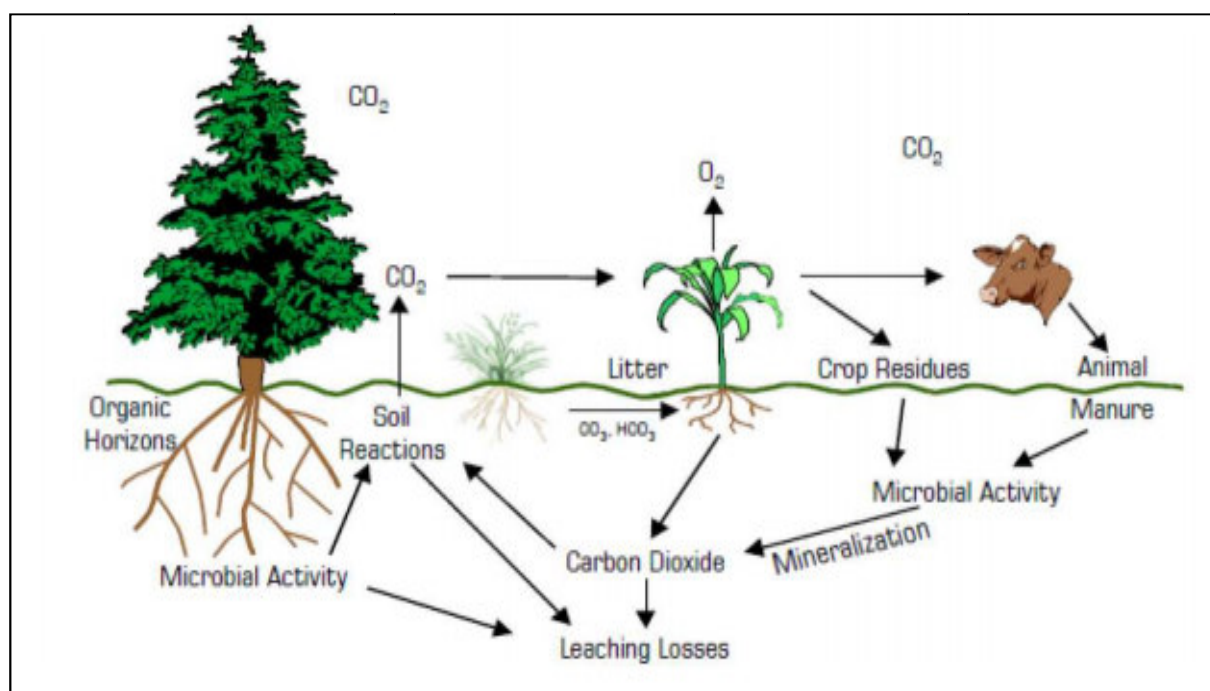
### 5.1.3. Mécanisme du stockage du C dans le système complexe sol-plante- atmosphère- microorganisme :

L'activité photosynthétique des plantes permet l'entrée de C organique dans le sol via la litière et les racines de la plante. La respiration des racines des plantes, la minéralisation de C

## Partie 02 : association céréale - légumineuse

organique par la microflore et la respiration de la méso- et macro- faune du sol sont les causes majeures des émissions de C du sol sous forme de  $\text{CO}_2$  vers l'atmosphère. La quantification de ces émissions reste assez peu documentée. Elles sont surtout très variables dans le temps et l'espace (Beyer 1991). Les apports de C exogène dans le sol sont vite minéralisés, par exemple 92 % du C apporté sous forme de feuille de maïs sont minéralisés sur une année (Ayanaba et Jenkinson 1990). Les racines vivantes et les organismes associés de la rhizosphère (microorganismes, myceliums) contribuent par des effets physiques « effet filet » ou chimiques (production de métabolites secondaires aux propriétés agrégantes), à l'agrégation du sol (Jastrow et al., 1998).

Le  $\text{CO}_2$  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 et al, 2016).



**Figure 26:** Cycle du carbone dans le système sol-plante-atmosphère (USDA 2013)

### 5.2. Le cycle de l'azote :

## Partie 02 : association céréale - légumineuse

L'azote atmosphérique (78% en volume) représente la principale source d'azote de la planète (Pierre 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 (Cellier et al., 2015). Les organismes vivants, plantes et animaux peuvent aussi rejeter de faibles quantités de  $\text{NH}_3$  dans l'atmosphère. Le  $\text{NO}_3$  est 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. Le  $\text{NO}_3$  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 (Mengelet Kirby 2000).

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 1997).

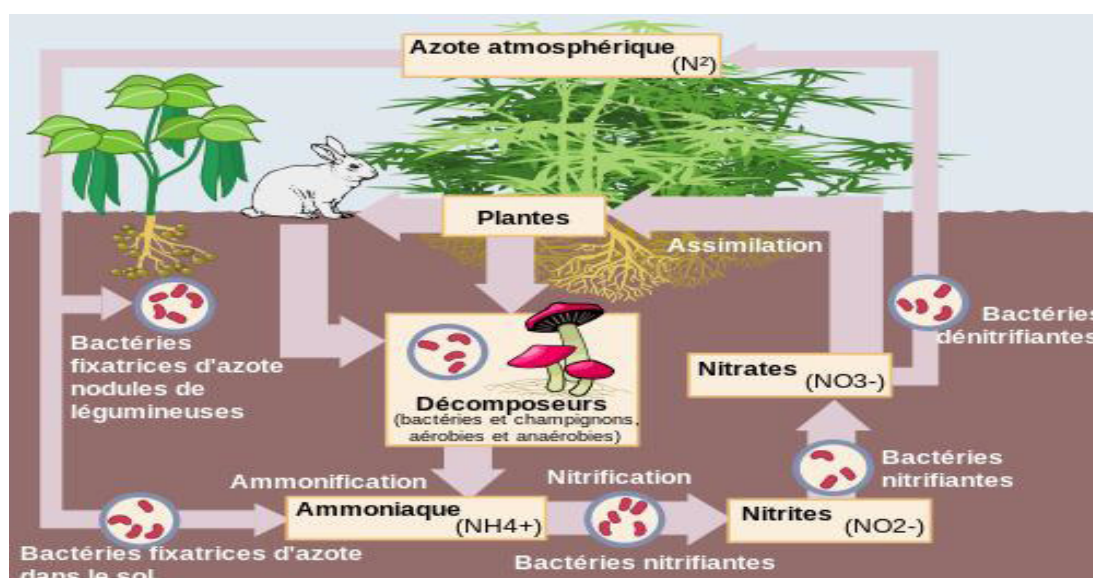


Figure 27 : Cycle de l'azote adapté selon Scheiner (2005)

## Partie 02 : association céréale - légumineuse

---

### 5.2.1. L'azote dans la plante :

L'azote (N) est généralement l'élément nutritif limitant la productivité végétale. (Vitousek et Howarth 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 et Foyer 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 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 (Bertrand et Halleux 2005). Hormis les légumineuses, les plantes sont incapables d'absorber l'azote du sol sous sa forme organique (Yves et Ghislain 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 (2002), dans le cas d'une association avec un végétal, la fixation d'azote bénéficie directement des photo synthétats 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  $\text{NO}_3^-$ ).

### 5.2.2. 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).

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 1991).

Les légumineuses enrichissent le sol et les cultures associées en apportant de l'azote. 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).

## Partie 02 : association céréale - légumineuse

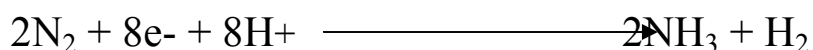
### 5.2.3. Fixation symbiotique de l'azote atmosphérique :

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 ( $N_2$ ) pour le transformer en azote biologiquement utile (réactif) (Vertès et al., 2010).

L'azote est abondant sur terre et représente 78% de l'atmosphère terrestre, mais toutes les formes ne sont pas utilisables par les végétaux. 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 rhizobiacées symbiotiques sont souvent spécifiques d'une espèce légumineuse ou d'un groupe d'espèces apparentées (Duc et al, 2010). La fixation de l'azote est catalysée par une enzyme appelée la nitrogénase (Pierre 1996).

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 transcription elle 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 (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).

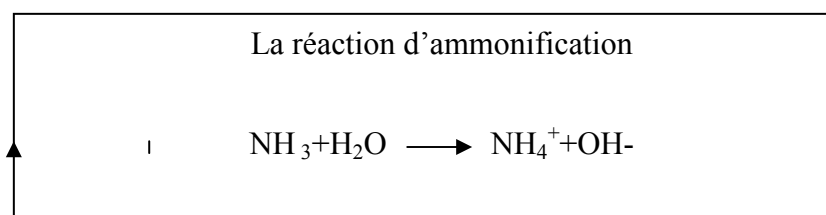
### 5.2.4. Processus de transfert et d'assimilation de l'azote :

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,

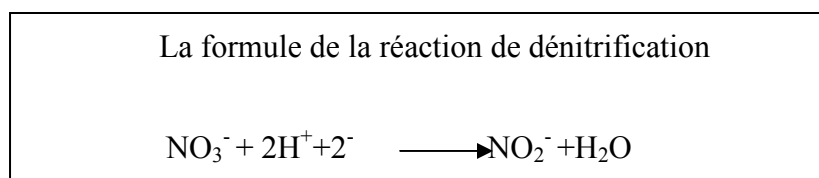
## Partie 02 : association céréale - légumineuse

la dénitrification, le lessivage et l'érosion (Dommergues et Ganry 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 2002). L'ammonification est la transformation de composés azotés biologiques en ammoniac ( $NH_4^+$ ) (Cellier et al., 2015).

**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 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 et al., 2008).

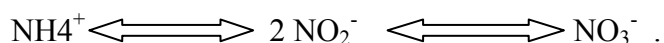


**La nitrification**:

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 nitrification. Ce sont des

## Partie 02 : association céréale - légumineuse

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 et al., 2002).



soit:

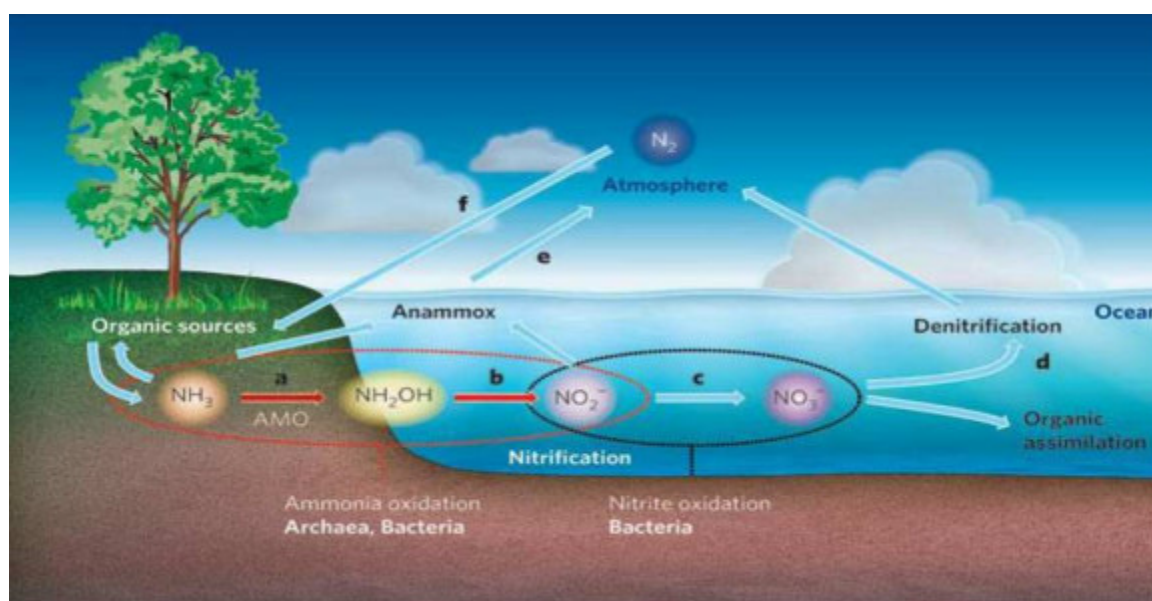
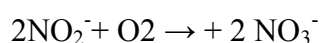


Figure 28: Cycle globale de N dans le système sol-plante-atmosphère (USDA 2013)

### 5.3. Le Cycle du Phosphore :

#### 5.3.1. Le phosphore :

Le phosphore (P) est un élément chimique non métallique abondant dans la nature. Il est le onzième constituant de la croûte terrestre (0,12 %), où il se combine à d'autres éléments pour former un grand nombre de minéraux, tels que les phosphates et les fluoro-phosphates d'aluminium, de calcium, de fer ou de manganèse (Bachelier et Belin 1997). Il est l'un des cinq éléments nutritifs essentiels (carbone, hydrogène, oxygène, azote et phosphore) à la croissance des végétaux. Le phosphore est un élément essentiel pour la croissance des plantes (Richardson et al., 2009).

## Partie 02 : association céréale - légumineuse

---

Le phosphore est présent dans tous les organismes vivants. Il joue un rôle essentiel dans les transferts d'énergie nécessaire à la croissance et à l'amélioration de la productivité des plantes.

Un sol agricole contient une à trois tonnes de P par hectare dans les 20 premiers centimètres de son profil (Frossard et al., 2004). Cette quantité dépasse largement les besoins annuels d'une culture qui sont de l'ordre de quelques dizaines de kilogrammes par hectare (Frossard et al., 2004). En fait, seuls quelques kilogrammes de P par hectare sont présents dans la solution du sol sous forme d'ortho phosphates et donc instantanément disponibles pour la culture.

Les sols contiennent 100 à 3000 mg P kg sol<sup>-1</sup> sous forme de phosphate qui peut être intégré dans une large gamme de constituants organiques et minéraux. La proportion de P associé à des composés organiques varie selon les sols et leur type d'utilisation (de 30 à 65% du P total) (Harrison 1987).

Le phosphore libéré des roches peut être utilisé par les végétaux terrestres et est absorbé par les plantes ou par les microorganismes, ou incorporé à des composés organiques et/ou fixé sur des argiles, ou encore transformés en un nouveau phosphate très peu soluble (Mathieu et Pieltain 2003).

### 5.3.1 .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<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>). 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 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 et al., 2015). Le pH du sol joue par conséquent un rôle majeur dans la disponibilité du phosphore.

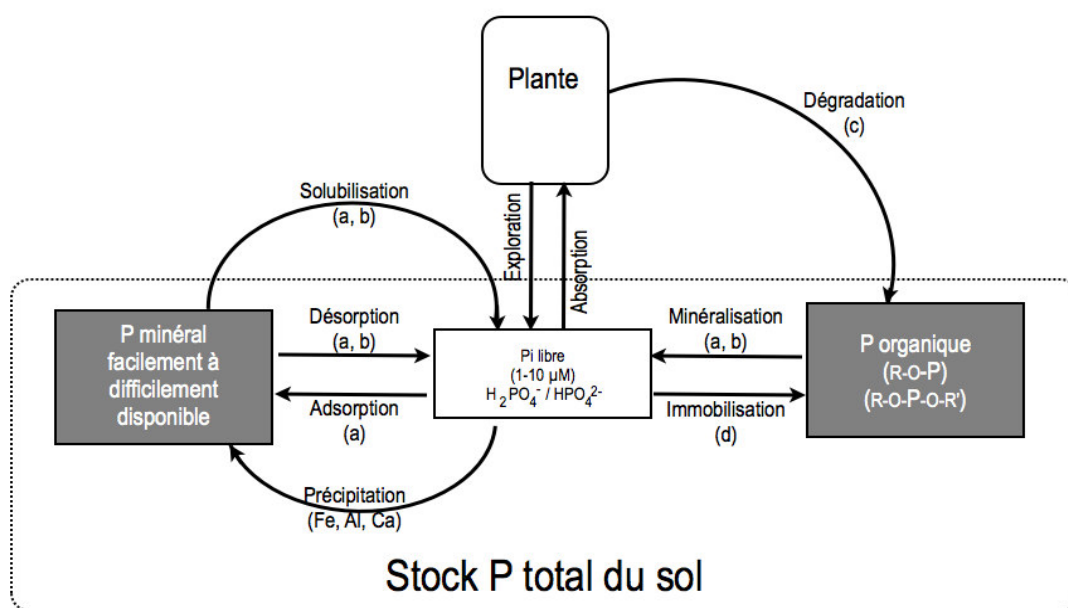
Des quantités substantielles de phosphore peuvent également être liées à des formes organiques, qui ne seront pas disponibles pour les plantes. Le phosphore organique doit d'abord être converti en phosphore inorganique par l'action de microorganismes du sol, avant de pouvoir être absorbé par les plantes (William 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).

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

## Partie 02 : association céréale - légumineuse

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 (Clément et Jean 2011).

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 (Morale et al., 2006)



**Figure 29** : cycle simplifié du P montrant la répartition du stock totale de P du sol entre les différents pools de P (Harmsen 2007)

### 5.3.1.2 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

## **Partie 02 : association céréale - légumineuse**

---

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 (Clémen et Jean 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 le métabolisme intermédiaire. Le monophosphate est facilement absorbé par les racines des plantes (William et Hopkins 2003).

### **5. 3.2.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 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  $P_i$  ou via les organismes naturellement présents dans sa rhizosphère (Plassard 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 mycorhizogènes 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).

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

La disponibilité du P dans le sol et surtout sa mobilisation par la plante a un effet direct sur l'aptitude à fixer l'azote atmosphérique (Raghothama 1999).

Pereira et Bliss (1993), suggèrent qu'il est possible d'améliorer en même temps la fixation du  $N_2$  et l'efficacité d'utilisation du P. En effet, plusieurs travaux indiquent que l'application de P augmente le contenu en azote dans les graines de légumineuses comme la luzerne et le soja. Il est admis que les faibles disponibilités en P affectent la fixation symbiotique de l'azote (Betencourt et al., 2012).

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

Philippe Hinsinger (2012), a démontré que la manipulation des interactions rhizosphériques entre une céréale et une légumineuse en association pouvait être optimisée pour permettre

## Partie 02 : association céréale - légumineuse

---

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.

### 5.3.5. Mécanismes d'acquisition de phosphore :

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

#### 5.3.5.1. Mécanismes biologiques :

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

Dans le cas du P les racines sont reconnues pour exsuder des enzymes hydrolysant le P organique. Ces enzymes constituent le groupe très diversifié des phosphatases. Plusieurs études ont abouti à considérer que les légumineuses ont la capacité de maintenir une activité phosphatase élevée dans leur rhizosphère, supérieure à celles de céréales (Venterink, 2011). Dans le cas du P, différentes études ont montré que l'exsudation d'anions organiques par les racines dépend de l'état nutritionnel de la plante (Pearce et al., 2006).

#### 5.3.5.2. Mécanismes physico-chimiques

Dans le cas des modifications de pH induites par les racines l'acidification de la rhizosphère par la légumineuse en lien avec la fixation de N<sub>2</sub> est habituellement proposée comme mécanisme de facilitation. Cette hypothèse a été formulée dans le cas de sols neutres à alcalins pour lesquels des travaux récents ont mis en évidence qu'outre une diminution de pH,

## **Partie 02 : association céréale - légumineuse**

---

une augmentation de ce dernier pouvait également influencer positivement la disponibilité en P (Devau et al., 2010).

### **6. Effet de l'association céréales-légumineuses :**

L'association céréales-légumineuses est un système productif et durable par sa capacité à faciliter l'acquisition des éléments nutritifs, et aussi par son effet élévateur de l'absorption d'azote pour les céréales associées par l'intermédiaire de la fixation symbiotique (Latati et al., 2013).

#### **6.1. 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 (McDonald 2014). En association, la plus forte compétitivité de la graminée pour l'azote 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 et al., 2010).

L'association avec les légumineuses a pour effet d'augmenter la teneur N dans les différentes parties de la plante associée (aérienne et souterraine) (Betencourt et al., 2012). La teneur de l'azote dans les parties aériennes et racinaires du blé dur augmente sous l'effet de l'association avec le pois chiche. Parallèlement, l'association des céréales avec les légumineuses augmente la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique par la nodosité des légumineuses (Latati et al., 2013; Li et al., 2009).

L'association avec les légumineuses a pour effet d'augmenter la teneur N dans les différentes parties de la plante associée (aérienne et souterraine) (Betencourt et al., 2012). La teneur de l'azote dans les parties aériennes et racinaires du blé dur augmente sous l'effet de l'association avec le pois chiche. Parallèlement, l'association des céréales avec les légumineuses augmente la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique par la nodosité des légumineuses (Latati et al., 2013; Liet al., 2009).

L'association légumineuse-céréales est un système productif et durable de par sa facilitation des nutriments et son effet d'augmentation de l'absorption de N pour les céréales associées ; via la fixation symbiotique de l'azote ( $N_2$ ). Selon Latati et al. (2013), une corrélation positive entre le nodule et le poids sec de la partie aérienne a été observée. Cette corrélation est plus

## **Partie 02 : association céréale - légumineuse**

---

significative dans la culture associée que la monoculture. Cependant, les cultures associées augmentent la concentration de N dans la partie aérienne (20,8%); en conséquence, la concentration de N dans le sol de la rhizosphère a été considérablement améliorée pour le haricot associé.

### **6.2. Effets sur la solubilisation du phosphore :**

Dans une culture d'association céréale-légumineuse, il est admis qu'il y a une absorption plus élevée du phosphore qu'en monoculture (Chalka et Nepalla 2006). Ceci peut être expliqué par une augmentation de l'exsudation d'acides organiques par les fabacées qui augmentent la disponibilité du phosphore du sol puis facilitent l'acquisition de cet élément par les céréales.

Selon Hinsinger et al. (2012), la légumineuse, en fixant l'azote atmosphérique, acidifie sa rhizosphère et provoque ainsi une augmentation de la taille du pool de P disponible (en mobilisant une part de P initialement non disponible) au profit du blé dur cultivé en association. Cette augmentation est d'autant plus importante quand le sol est déficient en P (Li et al., 2007).

Le blé dur et le pois chiche augmentent la disponibilité de P dans leurs rhizosphères. La disponibilité de P a été améliorée, en particulier lorsque les espèces étaient cultivées en association dans un sol à faible teneur en P. Des augmentations de la disponibilité de P se sont produites même avec une alcalinisation induite par les racines dans un sol neutre (Plassard et al., 2015).

D'autres processus rhizosphériques que les changements de pH induits par les racines ont été impliqués dans l'augmentation de la disponibilité du phosphore. Le pois chiche a facilité l'absorption du P par le blé dur dans un sol pauvre en P, et vice versa. La biomasse de la partie aérienne et des racines de blé dur a augmenté de 17 et 50% respectivement en association avec pois chiche (Betencourt et al., 2012).

### **6.3. Effets sur le rendement en biomasse :**

Le système de culture en associations permet d'accroître la production en biomasse par rapport aux cultures mono-spécifiques (Bedoussac et al., 2011). En effet, plusieurs études ont montré que les associations permettent une augmentation significative (au seuil de 10%) de la biomasse aérienne des céréales par rapport à la monoculture et le rendement de cette association peut être augmentée de plus de 22% (Dahmardeh et al., 2010 ; Latati et al., 2013).

## **Partie 02 : association céréale - légumineuse**

---

D'après une étude réalisée par Thobatsi (2009), l'association des cultures augmente aussi le nombre de nodules par plant comparé à la monoculture. De plus, il a été montré qu'il existe une corrélation, positive entre les nodules et le poids sec de la partie aérienne (Latati et al., 2013).

### **6.4. Effets sur le rendement en grain :**

Pour les agriculteurs qui ont des ressources limitées, le revenu et la stabilité du rendement des systèmes agricoles sont très importants. Quand plusieurs cultures peuvent être menées ensembles, l'échec de la production d'une culture pourrait être compensé par d'autres récoltes, ce qui réduit les risques. Le risque d'échec dans les systèmes d'association des cultures est inférieur aux systèmes des cultures pures (Eskandari et al., 2009).

Chez les céréales, la teneur en protéines est significativement plus élevée et le taux de mitadin (céréale) est nettement plus faible en cultures associées par rapport aux cultures pures, permettant ainsi une nette amélioration de la qualité technologique des grain (Haudggard-Neilsen et al., 2001 ; Jensen et al., 2006; Bedoussac et al., 2011). De même une telle amélioration des rendements en grain a été confirmée dans les systèmes d'association niébé-mais, fève-blé et blé-soja, par rapport aux monocultures (Zhang et Li, 2003 ; Dahmardeh et al., 2010). La culture en association avoine et féverole a permis une augmentation hautement significative de la concentration en P dans les deux compartiments de la plante: parties aériennes (+28%) et racines (+35%) en comparaison avec la monoculture.

La teneur en N absorbée dans le manteau racinaire des deux types est plus élevé dans la culture associée par rapport à la monoculture a augmenté de 43% et 27% respectivement en haricots de grande culture et l'avoine (Houassine et al., 2019).

### **6.5. Effets sur les maladies et ravageurs :**

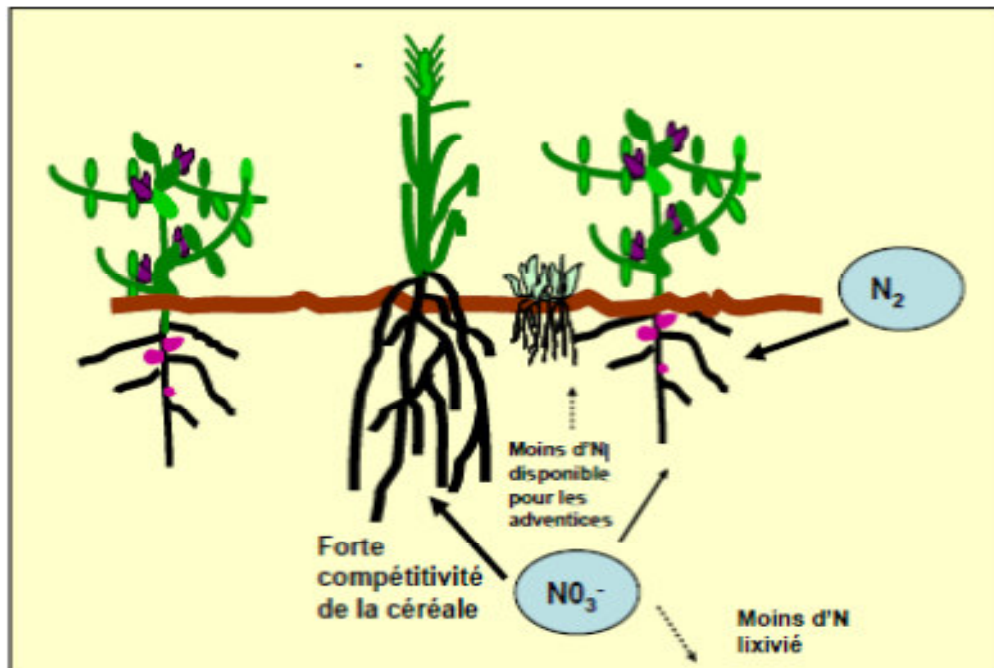
L'association des cultures peut réduire l'apparition des parasites et des maladies. En comparaison avec les monocultures, les cultures en associations sont souvent moins endommagées par les ennemis de cultures (Trenbath 1993).

L'association des cultures retarde également l'apparition des maladies en réduisant la diffusion des spores et en modifiant les conditions environnementales de sorte qu'elles soient moins favorables à la diffusion des agents pathogènes (Anil et al., 1998).

## Partie 02 : association céréale - légumineuse

### 6.6. Effets sur les mauvaises herbes :

Dans les systèmes de culture en association, la diminution des mauvaises herbes se fait naturellement, en raison de la forte compétition sur les ressources disponibles avec les espèces cultivées (Olorunmaiye ; 2010). Cet effet est observé chez le maïs en association avec des légumineuses, qui réduit considérablement la densité des mauvaises herbes comparé au maïs pure et ce grâce à la diminution de la lumière disponible pour les mauvaises herbes (Bilallis et al., 2010).



**Figure 30:** schéma des transferts d’N entre légumineuse et céréale (Christophe et Guénaëlle 2015).

### **Conclusion :**

L'objectif de ce mémoire était de faire une synthèse bibliographique sur l'influence de l'introduction d'une légumineuse dans les systèmes de culture soit en association ou en rotation avec des céréales. Le but était de comparer ces deux systèmes d'une part en terme d'activité microbienne du sol, de séquestration de carbone, d'enrichissement du sol en azote et de la solubilisation du phosphore, d'autre part, de déterminer le système de culture le plus productif en terme de biomasse et de rendement en grain.

De cette synthèse, nous observons que l'association blé/féverole favorise l'efficacité d'utilisation de la symbiose rhizobienne (EURS) et une meilleure utilisation du phosphore, induisant des teneurs plus élevées en azote et en phosphore de la plante ainsi qu'une meilleure nutrition azoté du blé. Ceci peut indiquer que la céréale associée domine la compétition interspécifique avec la légumineuse pour l'absorption de l'azote du sol et que la légumineuse peut utiliser des mécanismes de compensation pour augmenter la fixation symbiotique de l'azote pour contrer la réduction de l'azote du sol.

L'activité microbienne considérée comme étant un indice de minéralisation et de décomposition de la matière organique dans le sol, peut avoir influencé la séquestration de carbone ; nos recherches indiquent une potentielle augmentation des teneurs en carbone dans le sol. De plus, au cours de cette synthèse nous avons remarqué que la grande majorité des recherches indiquent que l'association augmente les teneurs en azote et en phosphore assimilable dans le sol.

Par ailleurs, en termes de rendement et qualité de la graine, nous avons remarqué une meilleure qualité ainsi que de plus forts rendements sous l'effet de l'association par rapport à la monoculture.

## **Référence :**

**Abdellaoui Z., Fettih S. et Zaghouane O., 2006.** Etude comparative de l'effet du semis direct et du labour conventionnel sur le comportement d'une culture de blé dur. In Arrue Ugarte J.L. (ed.), Cantero-Martínez C. (ed.). Troisièmes rencontres méditerranéennes du semis direct. Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; N° 69. CEHEAM : 7 p.

**Ait Abdallah- Djennadi F. Hamadou D. Bessai D. Gaagaa Y., 2014.** Effet de la fertilisation azotée de la culture de blé sur l'évolution du rendement et de ses composantes et sur l'amélioration de la teneur du sol en phosphore assimilable dans la région de Khroub. Céréaliculture : revue technique et scientifique de l'Institut Technique des Grandes Cultures. Numéro 62 : 6 et 7.

**Allaoui S.B., 2005.** Référentiel pour la conduite technique de la culture du blé dur (*Triticum durum*) : 15p., disponible sur URL :

[https://www.researchgate.net/publication/280804544\\_Referentiel\\_pour\\_la\\_Conduite\\_Technique\\_de\\_la\\_Culture\\_du\\_ble\\_dur\\_Triticum\\_durum](https://www.researchgate.net/publication/280804544_Referentiel_pour_la_Conduite_Technique_de_la_Culture_du_ble_dur_Triticum_durum) (Consulté le 20 avril 2018).

**Alkama N, Bolou Bi Bolou E, Vailhe H, Roger L, Ounane SM, Drevon JJ., 2009.**

Genotypic variability in P use efficiency for symbiotic nitrogen fixation is associated with variation of proton efflux in cowpea rhizosphere. *Soil Biol Biochem* 41: 1814-1823.

**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.

**Andersen M.K., Hauggaard-nielsen H., Ambus P., Jensen E.S., 2004.** Biomass production, symbiotic nitrogen fixation and inorganic N use in dual and tri-component annual intercrops. *Plant Soil* 266, 273– 287.

**Anne Schneider., Christian Huyghe., 2015.** Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables. Editions Quæ, 425 p.

**Anil L., Park J., Phipps R.H., Miller F.A., 1998.** Temperate intercropping of cereals for

forage: review of potential for growth and utilization with particular reference to the UK. *Grass and Forage Science*, 53, 301-317.

**Ayanaba, A., & Jenkinson, D. S., 1990.** Decomposition of carbon-14 labeled ryegrass and maize under tropical conditions. *Soil Science Society of America Journal*, 54(1), 112-115.

**Bachelier G., Behn O., 1997.** "Phosphore". Site internet consulté en ligne en Decembre 2005 à l'adresse : [http://www.ac-versailles.fr/etabhiss/herblay/briqueslfr/fr\\_p2](http://www.ac-versailles.fr/etabhiss/herblay/briqueslfr/fr_p2). Htm.

**Banik P., Midya A., Sarkar B. K., Ghose S. S., 2006.** Wheat and chickpea intercropping systems in additive series experiment: Advantages and weed smothering. *Eur. J. Agr.* 24, p.p. 325-332.

**Bardy, M., Citeau, L., King, D., & Bispo, A. (2008).** *Gestion durable des sols*. Editions Quae.

**Bedoussac L., Journete P., Rouet P., Josse C., Ledoux S., Justes E., 2011.** Cultiver le blé (dur ou tendre) en association avec une légumineuse à graine : un moyen efficace pour accroître la production et la qualité des graines en agriculture biologique.

**Bedoussac L., Justes E., 2010b.** Dynamic analysis of competition and complementarity for light and N use to understand the yield and the protein content of a durum wheat–winter pea intercrop. *Plant Soil* 330, 37–54.

**Bertrand, Y., Halleux, G. (2005).** *Chevaux et prairies*. France Agricole Editions.

**Bernard Le Buanec, coordinateur. 2012.** Le tout bio est-il possible ? 90 clés pour comprendre l'agriculture biologique. Quæ, 239 p.

**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.

**Beyer, W. H. (1991).** *CRC standard probability and statistics: tables and formulae*.

**Billalis D., Papastylianou P., Konstantas A., Patslali S., Karkanis A., Efthimladou A., 2010.** Weed-suppressive effects of maize-legume intercropping in organic farming. *Int J Pest Manag.* 56, 173-181.

**Bond, D.A., Laws, D.A., Hawtin, G.C., Saxena, M.C. and Stephens, J.H., 1985.** Faba bean (*Vicia faba* L.). In: R.J. Summerfield and E.H. Roberts (Editors). Grain Legume Crops. Collins, London, pp. 199-265.

**Bonjean A , Picard., 1990** les céréales à paille origine , historique , économie et sélection Eds Nathan ,235 pages .

**Brahimi .,1991.** Contribution à l'étude de l'utilisation des phosphates naturels dans la fertilisation phosphatée d'un sol saharien, à Biskra, Mémoire Ing. Agro. Ouargla 68p.

**Brink M, et Belay G .,2006.** Ressource végétale de l'Afrique tropical 1 : Céréales et légumes secs , Prota, Pays bas ,pp. 221-223.

**Brooker, R.W., Bennett, A.E., Cong, W.F., Daniell, T.J., George, T.S., Hallett, P.D., Hawes C., Iannetta, P.P., Jones, H.G., Karley, A.J., 2015.** Improving intercropping : a Synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. *New Phytol.* 206, 107–117.

**Bruno J.F., Stachowicz J.J., Bertness M.D., 2003.** Inclusion of facilitation into ecological theory. *Trends in Ecology & Evolution*, 18: 119-125.

**Chalk P. M., 1998.** Dynamic of biologically fixed N in legume-cereal rotations: a review. *Aust. J. Res.*, 49:303-316

**Chalka M.K., Nepalia V., 2006.** Nutrient uptake appraisal of maize intercropped with legumes and associated weeds under the influence of weed control. *Indian Journal of Agricultural Research* 40:86 – 91.

**Charles., 1976.** Diagnostic de la carence phosphorique des sols par symptomatologie végétale annales de l'INA vol 22 pp 119-121.

**Chaux , C., Foury C.,1994.** Production légumière : légumineuses potagères, légumes fruits, Lavoisier, Paris , pp. 4-8.

**Caroline Chambenoit, Jean-Marie Machet, François Laurent., 2002.** Fertilisation azotée de la pomme de terre : Guide pratique. INRA, 192p.

**Cellier P., Schneider A., Thiebeau P., Vertes F., 2015.** Impacts environnementaux de

l'introduction de légumineuses dans les systèmes de production. In: Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables.

**Choi, E., McNeill, A., Coventry, D., Stangoulis, J., 2006.** Whole plant response of crop and weed species to high subsoil boron. *Austr. J. Agric. Res.* 57, 761–770.

**CIC, Conseil International des Céréales. ,2000.**In: Le blé dur en Afrique du Nord. Le bulletin Bidimensionnel .Agriculture et Agroalimentaire Canada. Juin 2000.Vol13, N°11.

**Clément Mathieu et Jean Lozet., 2011.** Dictionnaire encyclopédique de science du sol. LAVOISIER, p 439.

**Connolly J., Goma H.C., Rahim M., 2001.** The information content of indicators in intercropping research. *Agric. Ecosyst. Environ.* 87,191-207.

**Corre-Hellou G., Fustec J., Crozat Y., 2006.** Interspecific Competition for Soil N and its Interaction with N<sub>2</sub> Fixation, Leaf Expansion and Crop Growth in Pea–Barley Intercrops. *Plant Soil* 282, 195–208.

**Crosten RP Williamt.,1981,**A world survey of wheat genetic resources IBRGR, Bulletin 80 59 ; 37 page.

**Cubero JL.,2011.**The faba bean : a historic perspective. *Grain legumes.*N° .56:5-7.

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

**Dajoz R., 2000.** Elements d'écologie . Ed. 5é

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

**Danso S. K. A., 1992.**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.

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

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

**Dommergues Y.R., GANRY F, 1995.** Arbres fixateurs d'azote : champ ouvert pour la recherche. *Agriculture et développement.* n ° 7, 39-55.

**Doorenbos J. Kassam A.H. Bentverisen C.L.M. Branscheid V. Plusjé J.M.G.A. Smith M. Uittengogaard G.O. et Van Der Val H.K. .,1987.** Exigence de blé dur. **Bulletin FAO d'irrigation et de drainage** (33). Rome : p 202.

**Dayranto et al 2020** Ecosystem service provision of grain legume and cereal intercropping in African agriculture systems 178

**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.

**Duc G, Shiyong- Bao B., Baumc M., Reddenb B., Sadiki M.E., Suso M.J., Vishniakova M .et Zong X., 2010 .** diversity maintenance and use of *Vicia faba* L . genetic resource . *Field Crops research* 115, pp 270-287.

**Duhoux E, and Nicole M .,2004 .** Biologie végétale: Associations et interactions chez les colloques.100, 59-68.

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

**Duke, J.A., 1981.** Handbook of Legumes of World Economic Importance. Plenum Press, New York, pp. 199–265.

**Dupont F.M. et Altenbach S.B.,2003.** Molecular and biochemical impacts of

environmentalfactors on wheat grain development and protein synthesis. Elsevier .Journal of CerealScience 38 : 133–146.

**Duthil J.,1973.**Eléments d'écologie et d'agronomie, T3, Ed. J.B. Baillière. 654p.

**Emma Leslie McDonald, 2014.**Influence of soil pH, phosphorus and sulphur on the rhizobiaof four pasturelegumespeciesgrown in an acidhigh country soil. *Lincoln University*, 76p.

**Eskandari H., 2012.** Intercropping of maize (*Zea mays*) with cowpea (*Vigna sinensis*) and mungbean (*Vigna radiata*): effect of complementarity of intercrop components on resource consumption, dry matter production and legumes forage quality. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 2, 355-360.

**Eskandari H., Ghanbari A., Javanmard A., 2009.** Intercropping of cereals and legumes for forage production. *Notulae Scientia Biologicae*, 1, 07-13 p.

**FAOSTAT-Agriculture 2015.**Food and agricultural commodities production. Food and agriculture organization. Rome.

**FAOstat 2006.** Pages web : [www.faostat.fao.org](http://www.faostat.fao.org)

**FAOstat 1992.** Pages web : [www.faostat.fao.org](http://www.faostat.fao.org)

**Feillet P, 2000.**Le grain de blé. Composition, utilisation. Edition INRA, Paris, 308p.

**Food and Agriculture Organization of the United Nations. (FAO),2012.**<http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/F>

**Foyer, C.H., Lam, H.-M., Nguyen, H.T., Siddique, K.H., Varshney, R.K., Colmer, T.D., Cowling, W., Bramley, H., Mori, T.A., Hodgson, J.M., 2016.**Neglectinglegumes has Compromisedhumanhealth and sustainablefood production.*Nature Plants* 2, 16112.

**Fridley J.D. ,2001.** The influence of species diversity on ecosystem productivity: how, where, and why? *Oikos* 93:514–526p.

**Frossard E., Julien P., Neyroud J.A., Sina S., 2004.**TM Cahier de l'environnement no. 368 – Le phosphore dans les sols - Etat de la situation en Suisse.” Office fédéral de l'environnement, des forets et du paysage (OFEFP), Berne, Suisse. 180 p.

**Gage D. J.,2004.** Infection and invasion of roots by symbiotic, nitrogen-fixing rhizobia

during nodulation of temperate legumes» *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 68(2): 280-300.

**Gate P.,1995.** Ecophysiologie du blé. ITCF, Tec et Doc : 430 p.

**Ghanbari, A., Dahmardeh, M., Siah SAR, B. A., & Ramroudi, M., 2010.** Effect of maize (*Zea mays* L.)-cowpea (*Vigna unguiculata* L.) intercropping on light distribution, soil temperature and soil moisture in arid environment. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 8(1), 102-108.

**Ghanbari A., Lee H.C., 2003.** Intercropped wheat (*Triticum aestivum* 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.

**Gervy R.,1970.** Les phosphates et l'agriculture. Ed. Dunod. Paris. 298p.

**Glass ADM, Britto DT, Kaiser BN, Kinghom R, Kronsuxker HI, Kumar A,**

**Okamoto M, Rawat S, Siddiqi MY, Unkles SE, Vidmar 11.2002.** The regulation of nitrate and ammonium transport systems in plants. *Journal of Experimental Botany* 53: 855-864.

**Glenn Lennox. 2003.** L'importance du blé dans le monde. Sur le site: (<http://pst.chezalice.fr/svtiufm/ble.htm>)

**Hamadache A.,2013.** Eléments de Phytotechnie Générale-Grandes Cultures– Tome 1 Le blé : 256 p.2.

**Harrad F. ; Saidi L. et Chaabna S.,2006.** Etude comparative de deux techniques de travail du sol sur les indices qualitatifs et quantitatifs du sol, incidence sur le développement racinaire et rendement du blé. ITGC. : 49 p.

**Harrison A.F., 1987.** Soil organic phosphorus: a review of world literature. (CAB International: Wallingford, UK).

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

**Hauggaard-Nielsen H., Andersen M.K., Jørnsgaard B., Jensen E.S., 2006.** Density and

relative frequency effects on competitive interactions and resource use in pea–barley intercrops. *F Crop Res* 95, 256–267.

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

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

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

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

**Hopkins W.G.,2003.**Introduction to plant physiology.Secondedition.Eds: De Boeck, De BoeckUniversity, Belgique p, 68-101.

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

**HouassineD, Latati, Nazih Y. Rebouh & Frédéric Gérard (2019).**Phosphorus acquisition processes in the field: study of faba bean cultivated on calcareous soils in Algeria, *Archives of Agronomy and Soil Science*, DOI: 10.1080/03650340.2019.1605166)

**Inal, A., Gunes, A., Zhang, F., Cakmak, I., 2007.** Peanut/maizeintercroppinginduced Changes in rhizosphere and nutrient concentrations in shoots. *Plant Physiol. Biochem.* 45, 350–356.

**Jastrow, J. D., Miller, R. M., &Lussenhop, J.,1998.** Contributions of interacting biological mechanisms to soil aggregate stabilization in restored prairie. *SoilBiology and Biochemistry*, 30(7), 905-916.

**Jean- Yves M(2010).** Identifier les céréales cultivées de la région toulousaine. 59p .

**Jensen E.S., Ambus P., Bellostas N., BoisenS., Brisson N., Corre-HellowG., Crozat Y., Dahlman C., Dibet A., Von Fragstein P., Gooding M., Hauggard-Nielsen H., Kasyanova E., Launay M., Monti M., Priteri A., 2006.** Intercropping of cereals and grain legumes for

increased production, weed control, improved product quality and prevention of N-losses in European organic farming systems. *European Joint Organic Congress*. 30-31 May, Odense, Danmark, p.p. 180-181.

**Jensen E.S., 1996.** Grain yield , symbiotic N<sub>2</sub> fixation and interspecific competition for inorganic N in pea-parley intercrops . *plant soil* 182, 25-38.

**Justes E., Bedoussac L., Rieur L., 2009.** Est-il possible d'améliorer le rendement et la teneur en protéine du blé en Agriculture Biologique au moyen de cultures intermédiaires ou de cultures associées ? *Innovations Agronomiques* 4, p.p. 165-176.

**Khan MS, Zaidi A, Musarrat J .,2010.**Microbes for Legume improvement .Ed .Springer.WienNewYork, printed in Germany, 535 p.

Kumari SG, Van Leur JA.G (2011). Viral diseases infecting faba bean (*Vicia faba* L.). *Grain legumes*. No . 56: 24-26

**Laëtitia Citeau, Antonio Bispo, Marion Bardy, Dominique King, 2008.** Gestion durable des sols, Editions Quæ, p11

**Lasram A. ; Dellagi H. ; Masmoudi M. M. et Ben Mechlia N. ,2014.** Poids des facteurs climatiques au cours du cycle de développement du blé Dur. *Revue des Régions Arides - Numéro Spécial - N ° 35* (- Actes du 4ème Meeting International 'Aridoculture et Cultures Oasisennes : Gestion des Ressources et Applications Biotechnologiques en Aridoculture et Cultures Sahariennes : perspectives pour un développement durable des zones arides 17-19/12/2013 : 133.

**Latati ,2015.** Modélisation de la dynamique du carbone et de l'azote dans le système d'association légumineuse-céréale : Rôle fonctionnel de la symbiose rhizobienne dans le contrôle de la biodisponibilité du phosphore dans la rhizosphère (Doctoral dissertation, ENZA)

**Latati M, Blaved D, Alkama N, Laoufi H, Pansu M, Drevon JJ, Genard F, Ounane**

**SM.,2014.**The intercropping cowpea-maize improves soil phosphorus availability and maize yields in an alkaline soil. *Plant soil* 385 : 181-191.

**Latati M, Pansu M, Drevon JJ, Ounane SM.,2013.**Advantage of intercropping maize

(ZeamaysL.) and common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) on yield and nitrogen uptake in northeast Algeria. *International journal of research in applied sciences*, 01, 23-29.

**Li L., Tilman D., Lambers H., Zhang F.S., 2014.** Plant diversity andoveryielding: insights from belowground facilitation of intercropping in agriculture. *New Phytol.* 203, 63-69.

**Li W., Li L., Sun J., Zhang F., Lambers H., Li L., 2009 .** Intercropping and nitrogen application on Nitrate présent in the profile of an Orthic Anthrosol in Nothwesty china. *Agric Ecos Env* 105, 483-491.

**Li K, Xu C, Zhang K, Yang Y, and Zhang J .,2007.**Proteomicanalysis of roots growth and metabolic changes under phosphorusdeficit in maize (*Zea mays* L.) plants. *Proteomics.* 7, 1501–1512.

**Li W., Li L., Sun J., Guo T., Zhang F., Baob X., Peng A., Tang C., 2005.** Effects of intercopping and nitrogen application on nitrat present in the profile of on Orthic Anthrosol in Northwest in China. *Agriculture.Ecosystems and Environement* 105,483-491.

**Li S.M., Li L., Zhang F., Tang C. 2004.** Acid phosphatase role in chickpea/maize intercropping Lilienfein J., Wilcke W., Ayarza M.A., Vilela L., do Carmo Lima S., Zech, W. 2000. Chemical fractionation of phosphorus, sulphur, and molybdenum in Brazilian savannah Oxisols under different land use. *Geoderma* 96: 31-46.

**Li S.C., Gong J., Wang J., 2003.** Screening maize inbred lines seedling for tolerance to low phosphate stress. *Jornal of Maize Science* 11,85-89.

**Link, W., Balko, C., Stoddard, F.L., 2010.** Winter hardiness in faba bean: physiology and breeding. *Field CropsRes.* 115, 287–296.

**Lithourgi AS, Dardas CA, Damalas CA, Vlachostergios DN .,2011.**Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture. *Australian J crop Sci.* (4):396: 410.

**LindströmK,MurwiraM,WillemA,Altier N.,2010.**the biodiversity of beneficial microbe-hostmutualism :the case of rhizobia.research in microbiology 161 :453-463.

**Louarn G., Corre-HellouG., Fustec J., LÔ-Pelzer E., Julier B., Litrico I., Hinsinger P.,**

**Lecomet C., 2010.** Déterminants écologiques et physiologiques de la productivité et de la stabilité des associations graminées-légumineuses. *Innovations Agronomiques*, 11: 79-99.

- Maatougui.M.E.H., 1996.** Situation de la culture des fèves en Algérie et perspectives de relance, Revue technique de l'ITGC. 37p, Alger.
- M.A.D.R., 2015.** Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural. Annuaire Statistiques, Série B.
- Machrafi Y .,2001.**Inhibition de la symbiose Rhizobium-Légumineuse par les acides phénoliques provenant des écorces de résineux. Mémoire pour l'obtention du grade de maître des sciences. Université Laval.
- Malézieux E, Crozat Y, Dupraz C, Laurans M, Makowski D, Ozier-Lafontaine H et al .,2009.**Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 29, 43-62.
- Martin Brink, Getachew Melese Belay ., 2016.** Céréales et légumes secs. Edition : PROTA, P171.
- Mathieu C., Pielain F., 2003.** Analyse chimique des sols. méthodes choisies. 387p. Edition TEC & DOC, 11, rue Lavoisier, 75008, Paris, France.
- Mathon, 1985.** Liste de plantes utiles avec indication de leur aire probable de primo domestication. Faculté des sciences de l'université de Poitiers. 17p
- Mengel K., & Kirby, E. A.,2000.**Principios de nutrición vegetal. 4 Edición. 1 en español. *Instituto Internacional de la Potasa. Basilea, Suiza*, 607.
- Mezani S.2011.** Bioécologie de la bruchede la fève *bruchus rufimanus* Boh. (Coléoptère : bruchidae) dans des parcelles de variétés de fève différentes et de féverole dans la région de tizi-rached. Thèse de magistère. Inst. Bio. Tizi-ouzou. 114p. me édition. Paris .540p.
- Michael L. Cain, Hans Damman, Robert A. Lue , 2006.** Découvrir la biologie. Edition : de boeck, 783p.
- Mikic, A.,2011.** Words denoting faba bean (*vicia faba*) in European languages. *Ratar.povrt./field veg. crop Res.* 48:233-238.
- Morel C, Le Clech B, Linères M, Pellerin S., 2006.** Gare à la baisse de la biodisponibilité du phosphore. *Alter Agri* 79 : 21-23.

- Morot-Gaudry J.-F., 1997.** Assimilation de l'azote chez les plantes. INRA, Paris, p22.
- Mylona P., Pawlowski K., Bisseling T., 1995.** Symbiotic nitrogen fixation. *Plant Cell* 7: 869-885.
- Naudin C., Corre-Hellou G., Pineau S., Crozat Y., Jeuffroy, M.H., 2009.** Timing effect of nitrogen fertilization on winter pea-wheat intercrops. I-Growth dynamics and grain yield. *Field Crops Res. Under review.FIELD-D-09-00419.*
- Nuessly, G.S., Hentz, M.G., Beiriger, R., Scully, B.T., 2004.** Insects associated with faba bean, *vicia faba* (fabales: Fabaceae), in southern Florida. *Florida entomologist*. 87(2):204-211.
- Olorunmaiye P.M., 2010.** Weed control potential of five legume cover crops in maize/cassava intercrop in a Southern Guinea savanna ecosystem of Nigeria. *Aust J CropSci*, 4, 324-329.
- Ouffroukh A., Aggad H., 1996.** Identification des viroses affectant la fève (*Vicia faba* L.) en Algérie. In : Bertenbreiter W ET Sadiki M (eds). Rehabilitation of fababean Actes, Rabat, pp.173.
- Ofori F., Stern W.R. 1987.** Cereal – legume intercropping systems. *Adv Agron*. 41:41-90.
- Pansu M., Sarmiento M.A., Rujano M., Ablan D., Acevedo Bottner P., 2010.** Modeling Organic transformations by Micro-Organisms of Soils in six contrasting ecosystems: validation of the MOMOS model. *Global Biogeochemical Cycles*. 24:15-25.
- PGRO, 2008.. Pulse agronomy guide 2008.**
- 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.
- Patriarca E.J., Tate R, Ferraioli S, Iaccarino M., 2004.** Organogenesis of legume root nodules. *Int. Rev.Cytol*. 234: 201-62.222.
- Paul MJ, Foyer CH., 2001.** Sink regulation of photosynthesis. *Journal of Experimental Botany* 52: 1383-1400.

**Paulain, D., Al Mohammad, H.,1995.** Effect of boron deficiency and toxicity on faba bean (*Vicia faba* L.). *Eur.J.Agron* .4,127-131.

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

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

**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.

**Perry, R. ,2004.** Novel Relations: The Transformation of Kinship in English Literature and Culture, 1748–1818. Cambridge University Press.

**Pierre Duc ., 1991.**L'azote et le soufre dans le sol. *FRONTIERES*, P 205.

**Pierre Davet., 1996.**Vie microbienne du sol et production végétale. INRA Paris, 389 p.

**Pousse T.,2004.**Associations de céréales et de légumineuses : quelques éléments importants pour réussir.

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

**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.

**Rachef S.A, Ouamer F, Ouffroukh A (2005).** Inventaire des ravageurs de la fève en Algérie (identification et caractérisation). *Recherches agronomiques*. 16 : 36-41.

**Raghothama, K.G., 1999.** Phosphate acquisition. *Annual Review of Plant Physiology and*

Plant Molecular Biology 50: 665-693.

**Raoul Calvet., 2003.** Le sol: propriétés et fonctions : Tome 1, Constitution, Structure  
Phénomènes aux interfaces. Edition : France Agricole, P 462.

**Rasanen L., 2002.** Biotic and abiotic factors influencing the development of N<sub>2</sub>-fixing  
symbioses between rhizobia and the woody legumes Acacia. These de doctorat de l'université  
d'Helsinki. Finland Oldroyd. 220 p.

**Raven P. H., Berg L.R., Hassenzahl D. M., 2008.** Environnement. 6ème édition : de boeck,  
680 p.

**Raven P. H., Evert R. F, Eichlorn S. E., 2000.** Biologie végétale. 6ème Edition de boeck,  
Paris.

**RIAH N., 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.

**Richardson A.E., Barea J.M., McNeill A.M., Prigent-Combaret C., 2009.** Acquisition of  
phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms.  
Plant and Soil 321:305–339.

**Rocheter, I.J., Peoples, M.B., Hulugalle, N.R., Gault, R.R., Constable, G.A., 2001.** Using  
legumes to enhance nitrogen fertility and improve soil condition in cotton cropping systems.  
Field crops Res. 70, 27-41.

**Schöll., 2005.** Agrodok 2. Gérer la fertilité du sol. 90-8573-002-3. 22-24p.

**Shen Q.R., Chu G.X., 2004.** Bi-directional nitrogen transfer in an intercropping system of  
peanut with rice cultivated in aerobic soil. *Biol. Fertil. Soils* 40, p.p. 81-87.

**Siddique, K. H. M., Regan, K. L., Tennant, D., & Thomson, B. D., 2001.** Water use and  
water use efficiency of cool season grain legumes in low rainfall Mediterranean-type  
environments. *European Journal of Agronomy*, 15(4), 267-280.

**Sillero JC, Rojas-Molina MM, Emeran AA, Rubiales D (2011).** Rust resistance in faba  
bean. *Grain legumes*. No. 56: 27-28.

- 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.
- Sprent, J. F. A., 1977.** Ascaridoid nematodes of amphibians and reptiles: *Dujardinascaris*. *Journal of Helminthology*, 51(3), 253-287.
- Sprent, J. I., & Bradford, A. M., 1977.** Nitrogen fixation in field beans (*Vicia faba*) as affected by population density, shading and its relationship with soil moisture. *The Journal of Agricultural Science*, 88(2), 303-310
- Steduto P. C. ; Hsio T. ; Fereres E. and Raes D., 2012.** Crop yield response to water FAO Irrigation And Drainage Paper 66 : 98.
- Stitt M., 1999.** Nitrate regulation of metabolism and growth. *Current Opinion in Plant Biology* 2: 178-186.
- Thobatsi T., 2009.** Growth and yield responses of maize (*Zea mays* L) and cowpea (*Vigna unguiculata* L.) in an intercropping system. MSc. Thesis, Pretoria University. 149p.
- Trenbath R., 1993.** Intercropping for the management of pests and diseases. *Field Crops Res.*, 34, 381- 405.
- UNIP/Arvalis-Institut du Végétal., 2012.** Les Cultures Associées Céréale / Légumineuse.
- Uittengogaard G.O. et Van Der Val H.K., 1987.** Exigence de blé dur. Bulletin FAO.
- Vandermeer J., 1989.** The ecology of intercropping. Cambridge, UK : Cambridge University Press.
- Venterink H.O., 2011.** Legumes have a higher root phosphatase activity than other forbs, particularly under low inorganic P and N supply. *Plant and Soil* 347:137–146.
- 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.
- Vitousek PM, Howarth RW., 1991.** Nitrogen limitation on land and in the sea: How can it occur? *Biogeochemistry* 13: 87-115.

- Vitousek PM, Porder S, Houlton BZ, Chadwick OA.,2010.**Terrestrial phosphorus limitation: mechanisms, implications, and nitrogen– phosphorus interactions. *Ecol Appl* 20(1):5–15.
- Waligora C., Tetu T., 2008.** Légumineuses, il est urgent de les réhabiliter. *Techniques culturalessimplifiées*. n. 48, p.p. 12-22.
- Walter D .,2005.** The environmental impact of genetically modified crop plants on the microbiology of the rhizosphere. Ph.D.thesis. Flinders University, South Australia.
- Wanis.P., Rupela O.P., Leek .K., 1995.** Sustainable agriculture in the semi-arid tropics through biological nitrogen fixation in grain legumes. *Plant and Soil* 174:29-49.
- William G et Hopkins., 2003.** *Physiologievégétale*. Editions De Boeck Université,495 p.
- Willey RW .,1979.** Intercropping its importance and research needs. Part 1.Competition and yield advantages. *Field Crop Abstracts*.32, 1–10.
- Yves Bertrand et Ghislain de Halleux, 2005.** *Chevaux et prairies*. Editions : France Agricole, 223 p.
- Zhang F., Li L., 2003.** Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient-use efficiency. *Plant and soil* 248, p.p. 305-312.

## Résumé

L'association légumineuses-céréales est une pratique culturale importante pour l'amélioration de la disponibilité des éléments nutritifs dans le sol, au profit des céréales en association.

Grace à nos recherches et aux informations que nous avons recueillies, nous avons conclu que le système de co-culture qui combine les céréales et les légumineuses a un effet sur la croissance de la biomasse du blé, l'utilisation de la symbiose avec les rhizobiums des fève, le grain de phosphore et le rendement du blé.

**Les mots clés : association, blé, fève, rendement, croissance .**

## Abstrat

The combination of legumes and cereals is an important cultural practice for improving the availability of nutrients in the soil, for the benefit of combined cereals.

Thanks to our research and the information we have gathered, we have concluded that the co-cultivation system that combines cereals and legumes has an effect on the growth of wheat biomass, the use of symbiosis with rhizobia bean, grain of phosphorus and wheat yield.

**The key words: association, wheat, bean, yield, growth.**

## ملخص

مزيج من البقوليات والحبوب هو ممارسة ثقافية مهمة لتحسين توافر المغذيات في التربة لفائدة الحبوب المركبة. بفضل بحثنا والمعلومات التي جمعناها ، استنتجنا أن نظام الزراعة المشتركة الذي يجمع بين الحبوب والبقوليات له تأثير على نمو الكتلة الحيوية للقمح ، واستخدام التعايش مع الريزوبيا الفول وحبوب الفوسفور ومحصول القمح.

**الكلمات المفتاحية: الجمعيات ، القمح ، الفول ، المحصول ، النمو.**