



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et Recherche Scientifique
جامعة الشهيد حمة لخضر الوادي
Université Echahid Hamma Lakhdar – El-OUED
كلية علوم الطبيعة والحياة
Faculté des Sciences de la Nature et de la vie
قسم العلوم الفلاحية



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en Sciences Agronomique
Spécialité : Production Végétale
THEME

**Contribution à l'étude de comportement
de pois chiche (*cicer arietinum*L.) sous l'effet de
l'inoculation (*Rhizobium*) dans la région
d'EL-Oude**

Présenté par :

M^{lle} DJABALLAH Ouissal

M^{me} KENIOUA Meriem

M^{me} MENACER Wafa

15 Juin 2022

Devant le jury composé de :

Présidente: Mr.ZAATARA bdelmalek

Université d'El-Oued

Promotrice :. Mr.ALLALI Ahmed

Université d'El-Oued

Examineur:Mr.MERDASSI Samir

Université d'El-Oued

Année universitaire 2021/2022

Remerciement

Nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné la volonté, la santé et la patience de réaliser et de terminer ce modeste travail.

*Nous tenons d'abord à remercier notre encadreur de mémoire **Pr. ALLALI AHMED** pour ses orientations, ses remarques et ses conseils précieux.*

*Un grand merci également à **Mr. Bensaadia Zoubir**, ingénieur agronome chez **CCL-S d'El-oued** qui a suivi notre recherche depuis le début. Son aide, ses suggestions et ses conseils nous ont beaucoup servi.*

Nous lui sommes reconnaissantes.

*La réalisation de ce travail n'aurait pas été possible sans l'aide de **Dr. BOURAHLA SAMIA** et **Mme. YOUSFI WIDAD** et Le directeur **Mr. BAHJ ABDELKADER** de **CCL-S d'Eloude**.*

Nous remercions profondément les membres du jury d'avoir accepté d'examiner notre travail.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à notre famille et proches, aussi à tous ceux qui nous ont aidé, contribué et encouragé au cours de la réalisation de ce mémoire, de près ou de loin.

Merci

Dédicaces

*Nous dédions ce modeste travail de fin d'étude aux tres les plus chers à
notre cœur.*

*A nous chères parents, ceux qui nous ont aidé et soutenu dans toute
de notre vie , qui ont sacrifié leur efforts et leur vies pour nous voir
arriver ; grâce à leur paitences et encouragements que nous sommes
résussies et avancées .*

*A nous chères frères et soeurs pour leur grande patirnces et leur
conseils.*

A toute notre famille et amis

Djaballah Ouissal

Kenioua Meriem

Menacer Wafa

Résumés

Cette étude est basée sur l'essai expérimental à la région Hadhouddi à Ouarmas de la wilaya d'El Oued durant la saison agricole 2021/2022. Ce travail est réalisé sur trois variétés de pois chiche (*Cicer arietinum L*), il s'agit d'un traitement par d'inoculation selon trois modes d'action par enrobage, aspersion et par aspersion + enrobage.

Le résultat du phénomène des nodules racinaires est négatif pour les racines des trois variétés étudiées, mais les résultats ont montré que le traitement a des effets positifs sur tous les variables étudiés. Cet effet d'inoculation est apparent à travers des mesures sur les deux variétés étudiées du pois chiche (Rabat et Tadjna) :

- Taille végétative pour la variété Rabat traité par enrobage, où il a atteint 25 cm et traité par aspersion +enrobage , où il a atteint 24 cm
- Taille végétative pour la variété Tadjna traité par aspersion +enrobage , où il a atteint 19 cm
- Nombre des gousses pour la variété Rabat traité par enrobage , où il a atteint 12 gousses
- Nombre des gousses pour la variété tadjna traité par enrobage et traité par aspersion +enrobage , où il a atteint 6 gousses

A propos les caractères morphologiques et le rendement, il apparait que les deux modes d'action par Enrobage et A+E assurent un meilleur développement végétal pour la variété Rabat.

Le traitement du pois chiche par inoculation favorise le développement végétatif. Il permet d'améliorer les caractères morphologiques, la production et l'augmentation du rendement.

Mots Clé : Pois Chiche (*Cicer arietinum L*) – inoculation – caractères morphologiques- phénomène des nodules racinaires.

Abstract:

This study includes an experiment done on land at the Hadhouddi an ouarmase during the crop year 2021/2022, this work is carried out on three varieties of chickpea (*Cicer arietinum L*), this is a treatment with a inoculation slon three modes of action by Spraying, Dipping and S+ D . The goal is to determine the effect of the inoculation on growth and development of the plant (*Cicer arietinum L*). The phenomenon of the nodules roots, the measured parameters are morphological and the yield

The phenomenon of the nodules roots of results is low in three studied varieties, but the results showed that the inoculation to have significant effects on all variables studied. This effect of the inoculation is apparent through measures on the two

Studied varieties of chickpea (Rabat and Tadjna):

- Vegetative pruning for varietie Rabat ,treated by dipping ,where it reaches 25 cm and treated by sprinkling + dipping , where it reaches 24 cm
- Vegetative pruning for varietie Tadjna , treated by sprinkling + dipping , where it reaches 19cm
- Nmuber of pods for variete Rabat , treated by dipping , where it reaches 12 pods
- Number of pods for variete Tadjna , treated by dipping et treated by sprinkling + dipping , where it reaches 6 pods

About the morphological character and performance, it appears that the two concentrations by dipping and S+D provide better plant development for the varietie Rabat

Treatment of chickpea with the inoculation has promoting vegetative development and can improving of morphological character, the production and increasing crop yields.

Keywords: Chickpea (*Cicer arietinum L*) – inoculation –morphological character-phenomenon of the nodules roots .

ملخص

تشمل هذه الدراسة تجربة علمية على الأرض في منطقة هدهودي، بورماس ولاية الوادي خلال الموسم الزراعي 2022/2021 ويتم هذا العمل على ثلاث أصناف من الحمص Rabat- Tadjna- Flip وهذا عن طريق المعاملة بالتلقيح وذلك عن طريق الرش ، الطلاء و الرش + الطلاء معا.

نتائج ظاهرة العقد الجذرية سلبية في الأصناف الثلاث المدروسة، لكن النتائج أظهرت أن التلقيح له تأثيرات كبيرة على كافة المتغيرات التي شملتها الدراسة، يظهر تأثير التلقيح من خلال القياسات التي أجريت على صنفين من الحمص المدروسين Rabat- Tadjna .

- الطول الخضري للصنف Rabat المعالج بالطلاء ' حيث بلغ 25 سم ومعالج بالرش + الطلاء حيث وصل الى 24 سم

- الطول الخضري للصنف Tadjna المعالج بالرش + الطلاء ' حيث بلغ 19 سم

- عدد القرون للصنف Rabat المعالج بالطلاء حيث وصل الى 12 قرنة

- عدد القرون للصنف Tadjna المعالج الطلاء و المعالج بالرش + الطلاء حيث وصلو الى 6 قرون

فيما يخص الخصائص المورفولوجية والمحصول ' يبدو أن نمطي العمل بالرش + بالطلاء يضمن أفضل تطور

خضري للصنف Rabat

إن معاملة الحمص بالتلقيح تعزز التطور الخضري، ويسمح بتحسين الخصائص المورفولوجية، الإنتاج وزيادة

غلة المحصول.

الكلمات المفتاحية: الحمص (*Cicer arietinum L*) ، التلقيح، الخصائص المورفولوجية -ظاهرة العقد الجذرية

liste des Abréviations

A : Aspersión

ADN : Acide Déoxy-Riboncluique

A+E : Aspersión+ enrobage

CV : Croissance végétative

DPG : Détermination du pouvoir germinatif

E : Enrobage

FBA : fixation biologique de l'azote

Fig : Figure

HFPG : Histogrammes de fréquences de poids des grains

ITGC : Institut Technique des Grandes Cultures

NMG : Nombre moyen des gousses

NMGP : Nombre moyen des gousses par plante

OAIC : Office Algérien Interprofessionnel des Céréales

PCG : Poids de cent graine

T : Témoins

Tab : Tableau

TV : Tailles végétative

T° : Températures minimales et maximales

H% : Humidité

Liste des figures

Figure 01. Plante de pois chiche (<i>Cicer arietinum</i> L.).	6
Figure 02. Description morphologique du pois chiche.	7
Figure 03. Les différentes couleurs de fleurs de pois chiche.	7
Figure 04. Les différents types de graine de pois chiche..	8
Figure 05. Pourcentage de production de pois chiche par continent en 2018..	11
Figure 06. Les quantités de pois chiche exportées par les 5 pays les plus grands exportateurs en 2018.	11
Figure 07. Les quantités de pois chiche importées par les 5 pays les plus grands importateurs en 2018.	12
Figure 08. Évolution des superficies emblavées, de la production et des rendements du pois chiche de 1962 à 2018.	13
Figure 09. <i>Rhizobium leguminosarum</i> (cellule mobile flagellée et bactéroïdes).	18
Figure 10. nodule sur le pois chiche (Le genre <i>Mesorhizobium</i>).	21
Figure 11. Branche <i>Rhizobium</i> / <i>Agrobacterium</i>	21
Figure 12. Les nodules racinaires de <i>Rhizobium</i>	23
Figure 13. Structure et morphologie de nodule.	24
Figure 14. L'infection et la nodulation.	25
Figure 15. Tourbe.	36
Figure 16. Gomme arabique Poudre.	40
Figure 17. Méthylcellulose poudre.	40
Figure 18. Les variétés de pois chiche étudiées	45
Figure 19. Evaluation du volume de la suspension bactérienne pour inoculer le Support.	48
Figure 20. Préparation de l'adhésif.	49
Figure 21. A : tourbe, B : Autoclave	49
Figure 22. Préparation des semences pour le traitement d'enrobage	50
Figure 23. Préparation du mélange semences – adhésif.	50
Figure 24. Ajouter du mélange semences – adhésif avec le mélange l'inoculum et la tourbe	50
Figure 25. Séchage des semences	51

Figure 26. Schéma représentatif du dispositif expérimental	52
Figure 27. Rouleau lisse	53
Figure 28. Traçages du terrain.....	53
Figure 29. L'Ensemencement des grains de pois chiche manuellement.....	53
Figure 30. Appareille de pulvérisation.	54
Figure 31. Traitement d'aspersion 11/02 et 07/03/2022.	54
Figure 32. Evolution de la vitesse du vent, T° et H% durant le moins de février 2022.....	56
Figure 33. Evolution de la vitesse du vent, T° et H% durant le moins de Mars 2022.	56
Figure 34. Evolution de la vitesse du vent, T° et H% durant la période du moins de Février et Mars2022.....	57
Figure 35. Histogrammes de fréquences de poids des graines des variétés pois chiche (<i>Cicer arietinum L.</i>). (N=100 graines).	58
Figure 36. Cercle relativiste des valeurs exprimées en (%) du taux de germination des trois variétés de pois chiche (<i>Cicer arietinum L.</i>) étudiées.	59
Figure 37. Influences de l'inoculation sur la croissance végétative de variété Rabat.....	60
Figure 38. Influences de l'inoculation sur la croissance végétative de variété Tadjna.	61
Figure 39. Influences de l'inoculation sur la croissance végétative de variété Flip.....	61
Figure 40. Développement végétatif des trois variétés de pois chiche.	62
Figure 41. Evolution de taille végétative de la variété Rabat.....	62
Figure 42. Evolution de la taille végétative de la variété Tadjna.	63
Figure 43. Evolution de la taille végétative de la variété Flip.....	63
Figure 44. Influence de l'inoculation sur la moyenne du nombre des gousses des 03 variétés du pois chiche.....	64
Figure 45. Influences de l'inoculation sur la moyenne du nombre des gousses par plante des 03 variétés du pois chiche	65
Figure 46. Le racine des variétés de pois chiche étudiées.....	66

Liste des tableaux

Tableau 01. Valeur nutritive des grains de pois chiche.....	9
Tableau 02. Les principales variétés cultivées en Algérie.	10
Tableau 03. Classification des bactéries fixatrices d'azote formant des symbioses avec les plantes potagères.	19
Tableau 04. Avantages et limites des supports les plus courants.....	38
Tableau 05. Concentration pour préparation d'adhésifs utilisables pour L'inoculation (% en poids par volume d'eau).....	40
Tableau 06. Origines et caractéristiques des variétés de pois chiche étudiées.....	44
Tableau 07. Poids des graines des variétés pois chiche (<i>Cicer arietinum</i> L.). (N=100 graines).....	59

Table des matières

Remerciement.....	
Dédicaces	
Résumés	
Liste des Abréviations	I
Liste des figures	II
Liste des tableaux	IV
Table des matières	V
Introduction	2

Chapitre I: Etudes bibliographie

I.1. Généralités sur le pois chiche (<i>Cicer arietinum</i> L.)	5
I.2. Origine	6
I.3. Classification.....	6
I.3. Morphologie.....	7
I.4. Tinterite de pois chiche	9
I.4.1. Valeurs nutritives	9
I.4.2. Importance agronomique	10
I.4.3. Écologiques.....	10
I.6. Situation et importation de la clture de pois chchie	11
I.6.1. Dans le monde.....	11
I.6.2. Dans le Algérie	12
I.7. Exigences édapho-climatiques.....	13
I.7.1. Exigences édaphiques	13
I.7.2. Exigences climatiques.....	14

I.8. La place du pois chiche dans la rotation/assolement	14
I.9. les maladies et ravageurs de pois chiche.....	14
I.9.1. Les maladies fongicides	15
I.9.2. Les maladies virales	15
I.9.3. Les mycoplasmes	15
I.9.4. Les mauvaises herbes.....	15
I.9.5. Les ravageurs et les nématodes.....	16
II. Symbiose légumineuse- rhizobium	16
II.1. RHIZOBIA	17
II.1.1. Définition de rhizobium.....	17
II.1.2.Caractéristique de rhizobium.....	17
II.1.3. Taxonomie actuelle du rhizobium	18
II.1.4. Croupe d'inoculation	22
II.1.6. Importance en agriculture	23
II.1.7. Développement de nodules et fixation d'azote	23
III.2. Inoculation.....	26
III.2.1. Pratique d'inoculation	26
III.2.2. Histoire d'inoculation de léguminees	27
III.2.3. Bute d'inoculation	27
III.2.4. Facteurs affectant le succès de l'inoculation.....	28
III.2.5. Inoculum.....	31
III.2.6. Qualités souhaitables d'un inoculant de légumineuse	31
II.2.7. Méthode d'une inoculation	32

III.2.8. Le support d'inoculum	34
III.2.9. Différents types des supports d'inoculum	35
III.2.10. L'adhérence	39
III.2.11. Stockage d'inoculum.....	40
III.2.12. Normes de qualité inoculum	41

Chapitre II: Matériel et méthode

I.1. Le matériel végétal.....	44
I.1.1. Caractéristiques de variétés de pois chiche	44
I.1.2. Bactérie Rhizobiums	45
II.2. Méthode appliqué au pois chiche et culture	46
II.2.1. Détermination de Poids de cent graines (PCG)	46
II.2.2. Teste de germination (taux de germination).....	46
II.2.3. Dispositif en blocs aléatoires complets (ou blocs de Fisher).....	46
III. Méthodes expérimentales	47
III.1. Méthodes d'inoculation.....	47
III.1.1. Méthode enrobage	47
III.2. Descriptions de l'expérimentation dans terrain.....	51
II.2.1. Dispositif expérimentaux en parcelles divisées	51
III. 3. Méthode Aspersion	54

Chapitre III: Résultat et discussion

I.1. Caractérisation de climat.....	56
I.2. Caractéristiques du matériel végétal (pois chiche)	57
I.2.1. Détermination des histogrammes de fréquences de poids des grains(HFPG)	57

I.2.2 Détermination du pouvoir germinatif (DPG).....	59
I.3. Etudes des paramètres morphologiques.....	60
I.3.1. Influence de l'inoculation sur la croissance végétative des trois variétés de pois chiche (<i>Triticum durum L.</i>) (CV)	60
I.3.2. Influence de l'inoculation sur les Tailles végétative des trois variétés de pois chiche (<i>Triticum durum L.</i>) (TV).....	62
I.3.3. Influence de l'inoculation sur le nombre moyen des gousses des trois variétés de pois chiche (<i>Triticum durum L.</i>) (NMG)	64
I.3.4. Influence de l'inoculation sur le nombre moyen des gousses par plante des trois variétés de pois chiche (<i>Triticum durum L.</i>) (NMGP)	65
4. Discussion générale.....	66
Conclusion.....	69
Bibliographies	71



Introduction

Introduction

Les légumineuses font partie de l'alimentation traditionnelle et constituent la principale source de protéines disponibles localement dans les pays en voie de développement, aussi en raison de son importance environnementale **(Salhi, 2012)**. Son utilisation conduit à réduire l'utilisation d'engrais azotés et phosphatés, à augmenter l'efficacité du sol et à augmenter sa fertilité grâce à l'approfondissement des racines des légumineuses à différents niveaux du sol **(salhi, 2012)**.

En Algérie, les espèces cultivées de légumineuses alimentaires ont bénéficié de peu d'intérêt dans le domaine des ressources phytogénétiques. Les cultivars, populations ou variétés de pois chiche, de lentille, de haricot sec et de pois sec locaux ne sont pas connus actuellement bien qu'ils aient fait l'objet de plusieurs études de caractérisation, dans les années 60. Toutes ces espèces présentent des intérêts non négligeables. Leur perte, en tant que ressources génétiques, est due à des facteurs biotiques, abiotiques, mais essentiellement à des facteurs anthropiques (perte du savoir, des pratiques traditionnelles, changement de semences, progrès agricoles...). **(Laouar M.i, et al., 2001)**.

Les plantes légumineuses à une capacité de travailler avec des bactéries spéciales (*Rhizobium spp.*) nodules sur leurs racines et recueillent ou fixent l'azote atmosphérique. Grâce à ce processus phénoménal, inerte l'azote gazeux est extrait de l'approvisionnement inépuisable de l'air et utilisé par les plantes pour synthétiser des acides aminés et protéines si essentielles à toute vie. Ce processus est appelé "fixation biologique de l'azote" (FBA). Depuis l'engrais azoté est l'intrant le plus cher pour la production alimentaire, l'approche FBA devient très alternative intéressante aux engrais chimiques azotés coûteux. **(Burton, et al., 1984)**.

Les rhizobiums ne sont pas universellement présents dans les sols et souvent ceux qui y sont présents recueillent peu d'azote. Afin de prendre profitant de cette association miraculeuse de bactéries et de légumineuses, il faut souvent fournir des inocula de légumineuses fiables pour assurer une nodulation efficace des cultures de légumineuses. L'application de ces bactéries aux semences ou au sol est appelée "inoculation". **(Burton, et al., 1984)**.

Les méthodes de culture des rhizobiums, de fabrication d'inoculant efficaces pour les légumineuses et les utiliser correctement pour maximiser la production de nourriture, de fourrage et de fibres. Il décrit les milieux de culture ; systèmes de criblage et de culture de *Rhizobium spp*, sélection et traitement des matériaux de support ; préparation, transformation

et emballage d'inoculum pour légumineuses; Contrôle de qualité; normes réglementaires; et propre application d'inoculum aux graines de légumineuses. Le terme rhizobia est utilisé de manière générique pour s'appliquer à toutes les bactéries nodulaires racinaires. Y compris les espèces de *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Sinorhizobium* et *Azorhizobium*. (Burton, et al., 1984).

En effet, le but de toutes les recherches scientifiques précédentes menées sur le pois chiche est l'amélioration des caractères morphologiques et physiologiques pour l'obtention de bons rendements. Ces recherches sont menées à cause des plusieurs facteurs, en particulier des facteurs climatiques sécheresse, aridité et salinité des sols.

La culture du pois chiche à l'El-oued est encore faible sauf quelques expériences personnelles. Cette faiblesse de rendement est liée aux plusieurs facteurs climatique et abiotiques (faible pluviométrie, sécheresse, vent, pH et salinité du sol).

Notre étude du projet réalisé en partenariat avec OAIC d'Alger avec CCL-S d'El-Oued est basée sur l'influence d'inoculation sur le développement de trois Variétés du pois chiche (Rabat, Tadjna et Flip) et leurs effets sur le taux de formation des nodules sur l'hôte à différentes modes l'action et leurs influence sur les caractères étudiés de trois variétés de «*Cicer arietinum*.» en vue d'améliorer le rendement. Le terrain expérimentale étude à la région Hadhhouidi à Ouarmase de wilayet El-oued.

Notre étude se compose de trois parties :

- La première partie est une étude bibliographique sur généralité du pois chiche, et l'inoculation et rhizobia.
- la seconde est consacrée au travail expérimental (matériels et méthodes).
- Enfin la troisième partie va être consacrée à l'analyse des résultats obtenus dans la région Hadhhouidi à Ouarmas de El-Oued afin d'élaborer un développement des trois variétés étudiées du «*Cicer arietinum* .L» et le rendement sous l'effet de l'inoculation.



Chapitre I

Etude bibliographique

I.1. Généralités sur le pois chiche (*Cicer arietinum* L.)

Le pois chiche est arrivé sur les côtes du bassin méditerranéen après avoir traversé de nombreux pays. Rapporte que ce légume sec a conquis l'Europe durant le Moyen âge après que les croisés l'aient découvert au Proche orient (Sud-est de la Turquie, Syrie), mais, sa culture et sa consommation ont en réalité été attestées par des sources écrites et archéologiques, bien avant. Selon, l'espèce cultivée *Cicer arietinum* L. a été trouvée à Ramad (région près de Damas, Syrie) et à Jéricho (Jordanie), respectivement depuis les années 8500 A.J.C, l'expansion de cette culture a été rapide dans les régions méditerranéennes. **(Dekkiche, 2018)**

Et ont découvert deux espèces sauvages (*Cicer echinospernum* et *Cicer reticulatum* Ladiz) au Sud-est de la Turquie. Ces deux espèces ne diffèrent pas beaucoup morphologiquement de l'espèce cultivée *Cicer arietinum* L. L'identification basée sur l'analyse de protéines et d'enzymes a montré que l'espèce *Cicer reticulatum* Ladiz pourrait être un ancêtre spontané du pois chiche. **(Dekkiche, 2018)**

Le pois chiche se rattache à la famille des Papilionacées, du genre *Cicer* et en particulier l'espèce *Cicer arietinum* L.. Il est décrit comme une plante herbacée annuelle haute de 20 à 50 cm, dressée ou rampante couverte de poils glanduleux. Sa tige est anguleuse possédant une hauteur de 0.20 à 1 mètre de haut. Les feuilles de cette plante, se composent de 7 à 17 folioles ovales et dentées (figure 01). Les fleurs peuvent être blanches, bleues ou violettes, solitaires et pédonculées. Les gousses sont renflées à 1 - 2 graines. La culture du pois chiche nécessite une température optimale variant entre 18°C et 29°C le jour et 20°C la nuit. Malgré sa grande capacité d'absorption de l'eau dans le sol qui s'effectue grâce à son système racinaire très développé en profondeur, le pois chiche est sensible à la sécheresse notamment à la floraison. Un déficit hydrique à ce stade-là, se traduit par une diminution du nombre des gousses et par une augmentation de gousses vides. **(Dekkiche, 2018)**

Bien que le pois chiche semble préférer les sols meubles profonds, plus ou moins argileux avec une bonne capacité de rétention ou des sols limoneux profonds, il peut être cultivé dans différents. **(Dekkiche, 2018)**



Figure 01. Plante de pois chiche (*Cicer arietinum* L.).

I.2. Origine

Le pois chiche est probablement originaire du Moyen-Orient, plus précisément du Sud-est de la Turquie et de la Syrie. Des restes carbonisés découverts au Proche-Orient indiquent que cette espèce était cultivée au VII^{ème} millénaire avant notre ère avec les céréales, le petit pois et la lentille. L'expansion de cette culture a été rapide dans les régions mentionnées. (Davis, ont découvert deux espèces sauvages au Sud-est de la Turquie et ils les ont dénommées respectivement *Cicer echinospermum* Davis et *Cicer reticulatum* Ladiz. Ces deux espèces ne diffèrent pas beaucoup de l'espèce cultivée *Cicer arietinum* L. a indiqué que *Cicer reticulatum* Ladiz, à 2n chromosomes ($2n = 16$ chromosomes) et a identifié par des analyses protéiques et enzymatiques, comme étant l'ancêtre spontané du pois chiche. En Algérie, le pois-chiche a été cultivé avant la colonisation, sauf qu'il a été difficile de le maîtriser. (Rahmani, 2015)

I.3. Classification

- **Règne:** Végétal
- **Embranchement:** Phanérogames (Spermaphytes)
- **Sous embranchement :** Angiospermes
- **Classe:** Dicotylédones
- **Sous classe :** Dialypétales
- **Ordre :** Légumineux (Fabales)
- **Famille :** Légumineuses (Fabacées)
- **Sous famille :** Papilionacées
- **Tribu :** Viciées
- **Genre :** *Cicer*

- **Espèce :** *Cicer arietinum* L. (Afkir, et al., 2020) .

I.3. Morphologie

Sur le plan botanique, le pois chiche cultivé (*Cicer arietinum* L.) est une plante herbacée (dressée ou rampante), annuelle, diploïde ($2n=16$) et autogame présentant moins de 1% d'hybridation naturelle. Elle comporte (Fig02) une tige de 30 cm à 70 cm de hauteur, d'aspect velu et glanduleux. Elle est constituée de 1 à 8 branches primaires, des branches secondaires et tertiaires. (Bellemou, 2020).

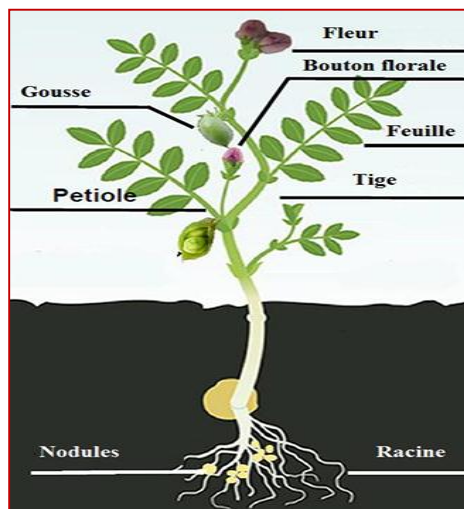


Figure 02. Description morphologique du pois chiche. (Bellemou, 2020)

On se basant sur l'angle des branches de la verticale, cinq types de port peuvent être identifiés: érigés, semi-dressés, semi-étalés, étalés et prostrés. Les feuilles du pois chiche sont velues, composées et imparipennées avec 5 à 17 paires de folioles crénelées-dentées. Les fleurs du pois chiche sont hermaphrodites, de couleurs violettes ou pourpres, blanches et parfois rose (Fig 03). (Bellemou, 2020).



Figure 03. Les différentes couleurs de fleurs de pois chiche. (Bellemou, 2020)

Les fruits sont des gousses ovales à réniformes, mesurent entre 15 et 30 mm de long sur 8 à 15 mm de large et porte de 1 à 3 graines. Les graines chez le pois chiche présentent peu d'albumen, leurs couleurs, leurs tailles ainsi que leurs formes, varient selon le type de pois chiches. En effet, trois types existent, à savoir **(Bellemou, 2020)** :

- Type Desi ou "microsperma" : caractérisé par des petites graines, angulaire avec la présence éminente d'un bec et une surface rugueuse. Les graine de ce type se caractérisent aussi par des téguments colorés et épais, les couleurs comprennent diverses nuances qui combinent : le marron, le jaune, le vert et le noir **(Figure 03) (Bellemou, 2020)**.
- Type Kabuli ou "macrosperma" : caractérisé par des grosses graines, de couleur blanche ou beige avec la forme de « tête de béliet », des téguments minces et lisses **(Fig. 04) (Bellemou, 2020)**.
- Un troisième type intermédiaire appelé Gulabi a été identifié par certains auteurs, présente des grains lisses, de couleur claire et d'une taille moyenne **(Bellemou, 2020)**.

Le système racinaire du pois chiche est généralement fort et profond (peut attendre les 1m) qui se développe dans les deux sens, latéral et pivotant. Les racines latérales forment des nodules avec les bactéries symbiotiques, *Rhizobium*, capables de fixer l'azote atmosphérique sous une forme utilisable par les plantes. Les nodules sont visibles environ un mois après la levée des plantes, et généralement confinés aux premiers 15 cm de la surface. Les études récentes ont rapporté que les populations de rhizobium du pois chiche sont assez diverses et se répartissent en plusieurs espèces à savoir *Mesorhizobium Amorphae*, *Mesorhizobium loti*, *Mesorhizobium Tianshanense*, *Mesorhizobium Oportunistum*, *Mesorhizobium Abyssinicae* et *Mesorhizobium Shonense*. L ; mais avec une dominance de *Mesorhizobium Ciceri* et de *Mesorhizobium mediterraneum*. **(Bellemou, 2020)**.

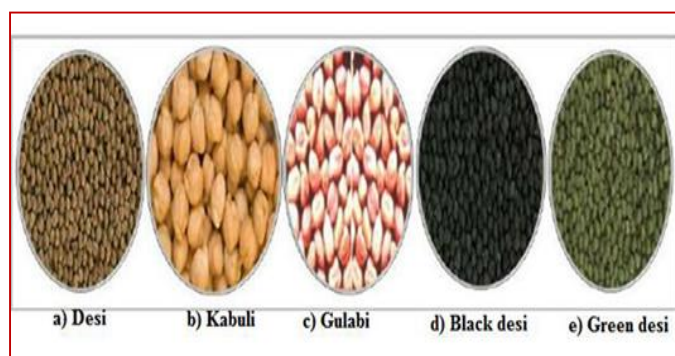


Figure 04. Les différents types de graine de pois chiche. **(Bellemou, 2020)**.

I.4. Tinterite de pois chiche

I.4.1. Valeurs nutritives

A travers le monde, le pois chiche est un aliment de base. Les cultivars du type ½ gros Kabuli sont les plus appréciés par le consommateur, en raison de la très importante valeur alimentaire de ses graines, le pois chiche est destiné, en sa majeure partie, pour la consommation humaine et le reste est utilisé pour le bétail comme fourrage. Il est dépourvu de tout facteur antinutritionnel. Il a également une composition alimentaire très riche en protéines digestibles et contient une fraction lipidique qui renferme des acides non saturés tels que les acides linoléiques et oléiques (Zaim, 2016).

Tableau 01. Valeur nutritive des grains de pois chiche. (GUISOUS, *et al.*, 2016).

Composition	Quantité
Energie(Kcal)	275
Eau (g)	10.4
Protéines (g)	20.0
Graisse (g)	4.4
Glucides (g)	48
Fibres alimentaires (g)	15
Sodium (mg)	30
Potassium (mg)	700
Calcium (mg)	140
Phosphore (mg)	350
Magnésium (mg)	130
Fer (mg)	7
Vitamine A (µg)	30
Vitamine B1 (mg)	0.50
Vitamine B2 (mg)	0.17
Niacine (mg)	1.5
Vitamine B6 (mg)	0.54
Vitamine B9 [acidefolique] (µg)	180
Vitamine C (mg)	4

I.4.2. Importance agronomique

Dans les régions semi-arides du bassin méditerranéen où les ressources en eau sont en constante régression, les agriculteurs se rendent compte, de plus en plus, du rôle appréciable que jouent les légumineuses à graines dans la fertilisation organique du sol, surtout, dans le système de l'agriculture durable. En fait, le pois chiche (*Cicer arietinum* L.) est cultivé sur une large gamme de zones bioclimatiques qui s'étendent du subtropical, l'Inde et le nord-est de l'Australie, aux zones arides et semi-arides des régions du Bassin méditerranéen et de l'Australie Méridionale. Le pois chiche peut fixer, par voie symbiotique, plus de 140 kg.ha-1 d'azote atmosphérique et satisfaire plus de 80% de ses besoins en azote. En raison des importantes quantités d'azote, incorporées dans le sol et délaissées dans les résidus, la culture du pois chiche maintient, pour une longue durée, la fertilité du sol et entre dans le système d'agriculture durable. (Zaim, 2016).

I.4.3. Écologiques

Le pois chiche est cultivé sur une large gamme de zones bioclimatiques qui s'étendent du subtropical, l'Inde et le Nord-est de l'Australie, aux zones arides et semi-arides des régions bassin méditerranéen et de l'Australie Méridionale. Cette légumineuse peut fixer, par voie symbiotique, plus de 140 kg/ha d'azote atmosphérique et satisfaire plus de 80% de ses besoins en azote. En raison des importantes quantités d'azote, incorporées dans le sol et délaissées dans les résidus, la culture du pois chiche maintient, pour une longue durée, la fertilité du sol et entre dans le système d'agriculture durable. (BOUAMAMA, *et al.*, 2016).

I.5. Variétés cultivées en Algérie

Dans le monde, Il existe de nombreuses variétés de pois chiche, plus de 20 mille variétés. Les principales variétés cultivées en Algérie (Tab 02), sont du type Kabuli et Gulabi. (Rahmani, 2015).

Tableau 02. Les principales variétés cultivées en Algérie. (Rahmani, 2015)

Variétés locales	En multiplication	Nouvelles variétés introduites
Ain- Temouchent	Chetoui 1 (ILC 32 79)	Gab 4 (Flip 93 93C)
Sabdou	Chetoui 2 (ILC 482)	Gab 5 (Flip 88 85 C)
Rabat 9	Flip 84 92 C	C Flip 97 706 C

I.6. Situation et importation de la culture de pois chiche

I.6.1. Dans le monde

Le pois chiche (*Cicer arietinum* L.) est la deuxième légumineuse alimentaire la plus cultivée dans le monde en termes de production et de superficie. En 2016, la production mondiale a été estimée à 17 217 705 tonnes pour une superficie totale de 17 849 300 ha. (Bellemou, 2020).

Plus de 80% de la production mondiale annuelle provient de l'Asie ; l'Inde étant le principal producteur de cette légumineuse (Fig.05). L'Afrique, par contre, ne contribue qu'avec 5.9% de la production annuelle mondiale, avec l'Ethiopie comme principal producteur du continent. (Bellemou, 2020).

Auparavant, 90% des pois chiches se consommaient dans le pays où ils sont produits, mais au cours de ces dernières années les échanges mondiaux de pois chiches ont fait que des pays exclusivement exportateurs ont apparus. En effet, les cinq plus grands exportateurs sont : l'Australie, la Russie, le Canada, l'Argentine et l'Inde (Fig.05). Par contre, les cinq plus grands importateurs sont : le Pakistan, l'Inde, le Bangladesh, le Pakistan, l'Emirates, et l'Algérie. (Bellemou, 2020)

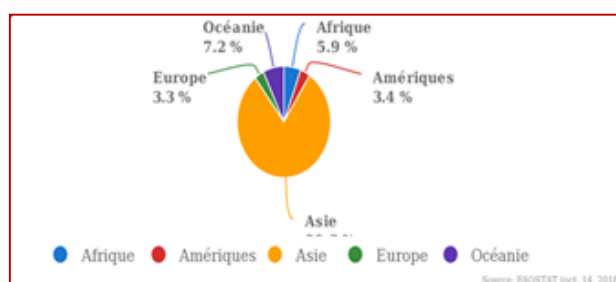


Figure 05. Pourcentage de production de pois chiche par continent en 2018. (Bellemou, 2020).



Figure 06. Les quantités de pois chiche exportées par les 5 pays les plus grands exportateurs en 2018. (Bellemou, 2020)

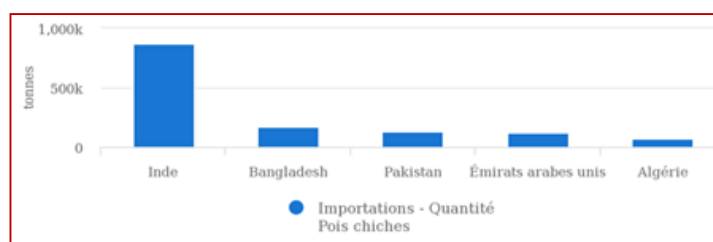


Figure 07. Les quantités de pois chiche importées par les 5 pays les plus grands importateurs en 2018. (Bellemou, 2020).

I.6.2. Dans le Algérie

I.6.2.1. Zones de productions

En Algérie, la culture de pois chiche est présente dans nos systèmes agricoles, associée aux céréales depuis fort longtemps. Le pois chiche est actuellement cultivé dans les zones de culture du blé dur, c'est-à-dire les zones où la pluviométrie annuelle moyenne est supérieure à 400 mm. Il s'agit de la zone Nord-Ouest (Ain Témouchent, Tlemcen, Sidi Bel-Abbès, Mostaganem, Mascara), du Nord-est (Guelma, Skikda) et le Centre. Les wilayas dont les superficies sont les plus importantes sont situées au Nord-Ouest. En effet, durant la campagne agricole 2016/2017, Ain Témouchent, Tlemcen, Mostaganem, Mascara et Sidi Bel-Abbès, ont emblavé 16 092 hectares, soit, 56,3% de la superficie nationale totale (28 553 ha) occupée par le pois chiche. Par contre, le Nord-est et le Centre ne représentent, respectivement, que 20,4 % et 17 % de la superficie totale). (Bellemou, 2020).

I.6.2.2. Productions, superficies, rendements et importation

De l'indépendance à 1987, l'évolution des superficies a connu des fluctuations avec des augmentations remarquables. Ces augmentations sont devenues plus prononcées en 1983, avec l'exécution du programme de diminution des superficies consacrées à la jachère et d'intensification de la production des légumineuses alimentaires. Mais depuis, on note une régression plus ou moins constante des superficies passant de 68 590 ha en 1987 à 19 480 ha en 2000. Ces dernières années, certaines augmentations considérables de superficie ont été enregistrées mais qui restent de loin inférieures à celles de 1987 (29 320 ha en 2013 ; 32 065 ha en 2018). (Bellemou, 2020).

Concernant la production nationale moyenne des pois chiches, elles fluctuent d'une décennie à l'autre. Le plus bas niveau a été enregistré en 2000 avec 66 610 q. Les productions les plus importantes ont été observées durant les années 2012-2014, avec une production

maximale en 2014 de 351 180 q. Durant les deux années 2015 et 2016, une nette régression a été notée et estimée à plus de 15 000 q. (Bellemou, 2020).

L'analyse de l'évolution des superficies et des productions du pois chiche en Algérie (**Fig. 08**) la culture du pois chiche occupe une superficie moyenne de 27 000 ha, pour une production nationale qui oscille entre 17800 et 35000 tonnes par an (2009-2017) (ITGC, 2018).

Cependant, la production nationale est très faible, irrégulière et ne peut satisfaire qu'une petite partie de la consommation locale croissante. En conséquence, afin de combler le déficit de la production en pois chiche, l'Algérie fait recours à des importations massives, de l'ordre de 66 000 tonnes, soit plus de 200% de sa production. (Bellemou, 2020).

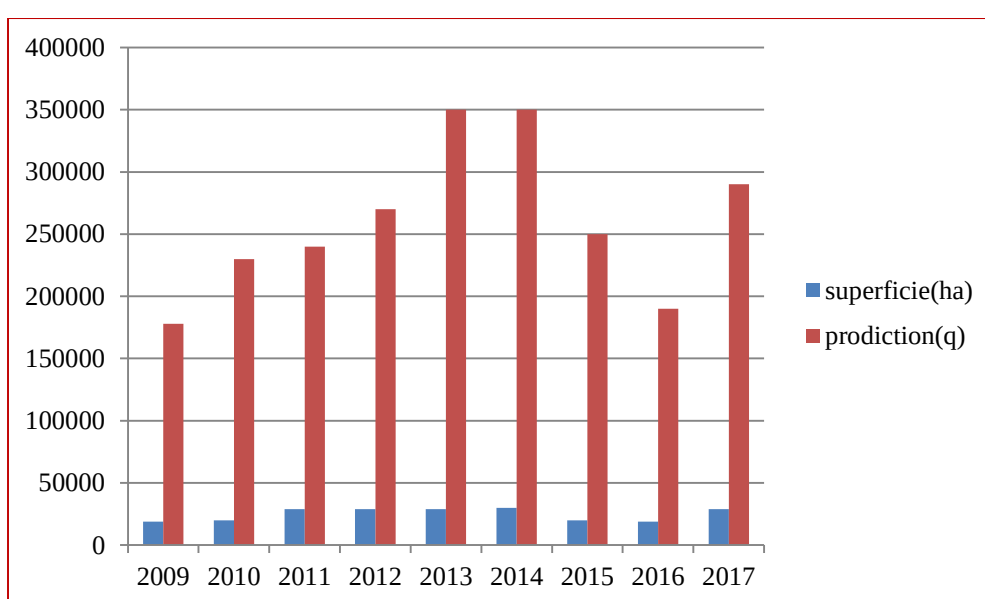


Figure 08. Évolution des superficies et des productions du pois chiche de 2009 à 2017 (ITGC, 2018) .

I.7. Exigences édapho-climatiques

I.7.1. Exigences édaphiques

Le pois chiche semble préférer les sols meubles, profonds, plus ou moins argileux avec une bonne capacité de rétention cités par dont le pH est neutre ou alcalin, variant de 7,3 à 8,2 .Il ne supporte pas les sols mal drainés qui favorisent le développement de maladies cryptogamiques. Les sols très calcaires sont à exclure, car ils donnent des grains qui sont mal cuits. (Rahmani, 2015).

I.7.2. Exigences climatiques

I.7.2.1. Température

La température exerce une forte influence sur les phases végétatives et reproductrices de pois chiche. Une température ambiante, variant de 20 à 30 °C le jour et de l'ordre de 20 °C la nuit, assure un bon développement végétatif du pois chiche. Au moment du semis, la température du sol doit être supérieure à 10 °C. En fait, un sol relativement chaud permet une réduction de l'exposition des semences aux maladies, une germination des graines et une émergence des plants rapides. **(Rahmani, 2015).**

I.7.2.2. Eau

Durant son cycle, les besoins en eau d'un plant de pois chiche varient de 300 à 400 mm selon la période de semis et la nature du sol. Les racines du pois chiche peuvent chercher l'eau à 150cm en profondeur. **(ITGC, 2018).**

I.7.2.3. Lumière

Il est considéré comme étant une plante de jours longs. L'intensité de la lumière et de la durée d'éclairement sont des facteurs importants pour la nodulation, la fixation d'azote et la floraison. Les photopériodes prolongées et les températures élevées accélèrent les phases de développement végétatif et reproducteur. **(Rahmani, 2015)**

I.8. La place du pois chiche dans la rotation/assolement

Le pois chiche, en tête d'assolement, constitue un excellent précédent cultural pour les céréales, car il permet le nettoyage du sol et la fixation d'azote. Il est recommandé de pratiquer les assolements suivants :

- Biennale : pois chiche-céréales.
- Triennal : pois chiche-céréales-jachère.
- Quadriennal : pois chiche-orge-jachère-blé dur. **(Ali Slimane, 2017).**

I.9. les maladies et ravageurs de pois chiche

Le pois chiche peut être attaqué par 172 pathogènes dont 67 espèces fongiques, 3 bactériennes, 22 virus et mycoplasmes et 80 nématodes, mais seulement quelques uns causent des dégâts importants. **(Ali Slimane, 2017).**

I.9.1. Les maladies fongiques

Les maladies fongiques de pois chiche sont divisées en deux groupes, les maladies de la tige et des racines et les maladies foliaires. Anthracnose (*Ascochyta blight* Pass.) Labr. *Phoma medicaginis* Malbr, et Roum .c'est des maladies les plus courantes qui affectent les Pois chiche.

- Toutes les parties aériennes de la plante peuvent être attaquées, sur les tiges et les pétioles, des taches brunes, ovoïdes ou allongées sur les folioles, les macules d'abord brunâtres puis grisâtres, sont arrondies ou oblongues et bordées d'une marge plus foncée. Les folioles atteintes jaunissent par la suite et tombent sur le sol, sur les gousses, les taches présentent une légère dépression avec également une bordure rougeâtre.
- Les symptômes peuvent être confondus avec ceux causés par *Ascochyta blight*. Des taches irrégulières, brunes claires sur les feuilles, les tiges et les gousses.
- Les pycnides sont irrégulières, sombres et submergées. (Zaim, 2016).

I.9.2. Les maladies virales

La maladie virale la plus dévastatrice est causée par le virus CCDV (Chickpea Chlorotic Dwarf Virus) du rapetissement chlorotique du pois chiche.

Le virus de l'enroulement des feuilles du pois chiches (P. L. R. V) est considéré comme l'agent principal du rabougrissement du pois chiche, ses symptômes au champ se traduisent par des taches jaunes, oranges ou brunes, des tiges brunes et des folioles courtes.

- Le virus de la mosaïque d'alfalfa. (Ali Slimane, 2017).

I.9.3. Les mycoplasmes

La prolifération des feuilles ou phyllodie. (Ali Slimane, 2017).

I.9.4. Les mauvaises herbes

Posent un grand problème pour la culture de pois chiche en Algérie. Parmi les espèces les plus importantes qui se trouvent presque sur tous champs de pois chiche, on peut citer :

- Le liseron des champs (*Convolvulus arvensis*).
- Le mouron des oiseaux (*Polygonum aviculare*).
- Le chardon (*Carduus* sp.).
- La moutarde des champs (*Sinapis arvensis*). (Ali Slimane, 2017).

I.9.5. Les ravageurs et les nématodes

Le pois chiche est la légumineuse la plus tolérante aux insectes, peut être du fait de l'importante quantité d'acide malique sécrétée par les feuilles. Des attaques de ravageurs rencontrés sur d'autres cultures comme les taupins et quelques dégâts de noctuelles (*Helicoverpa armigera*) qui percent les gousses et mangent les jeunes graines ont été observés. Mais seule la mineuse (*Liriomyza cicerina*) qui creuse des galeries dans les feuilles pourrait présenter un risque sérieux. Par contre, le pois chiche est résistant aux sitones, aux pucerons et aux bruches. Parmi les parasites qui peuvent causer des dégâts importants sur le pois chiche, les nématodes

- *Rotylenchulus reniformis* agent causal de la galle des racines.
- *Heterodera ciceri* et *Heterodera rossi* agents causaux des racines perlées (Zaim, 2016).

II. Symbiose légumineuse- rhizobium

Généralités

Il s'agit d'une association entre les légumineuses et les bactéries qui aboutit à la formation d'un petit organe au niveau des racines « le nodule », au sein duquel les bactéries (SALHI, 2012). Ces bactéries appartiennent au genre *Rhizobia* et se trouvent couramment dans le sol. Les rhizobiums infectent la légumineuse par les poils absorbants et forment des nodules sur le système racinaire de la légumineuse (Anonyme, 2015), fixent l'azote atmosphérique et transfèrent celui-ci à la plante sous une forme assimilable. En contrepartie, la plante fournit les éléments nutritifs assurant le développement de la bactérie (SALHI, 2012).

C'est donc une véritable symbiose avec un échange bénéfique pour les 2 partenaires. Grâce à cette association symbiotique, les légumineuses participent à la revégétalisation des écosystèmes pauvres en azote, en s'établissant comme flore pionnière, initiatrice d'une succession écologique. Elles constituent par ailleurs une source d'alimentation extrêmement importante aussi bien pour l'homme (soja, pois, haricot...) que pour l'animal (trèfle, luzerne...). Si les légumineuses ont été utilisées empiriquement depuis l'Antiquité pour améliorer ou entretenir la fertilité des sols, il n'y a qu'une quinzaine d'années que le mécanisme moléculaire régissant la mise en place de cette symbiose a été découvert. Il s'agit d'un véritable dialogue moléculaire permettant la reconnaissance entre les deux partenaires. Elles sont par ailleurs capables d'induire la formation de nodules aussi bien sur les racines que sur les tiges de certaines légumineuses aquatiques tropicales. Les bactéries qui prolifèrent

à la surface du système racinaire, sans aboutir dans ce dernier cas à la formation d'un nodule, permettent cependant une augmentation de la croissance de la plante et de sa production (SALHI, 2012).

Le nombre de nodules présents sur le système racinaire est directement lié à la quantité de fixation d'azote cela peut arriver ; plus le nombre de nodules est élevé, plus le potentiel de fixation de l'azote est élevé (Anonyme, 2015).

Les légumineuses sont modérément spécifiques quant aux espèces de Rhizobia qu'elles utilisent. De plus, il faudrait ne supposez jamais la présence d'une espèce de Rhizobia compatible dans le sol avant de planter une légumineuse. Pour s'assurer que la bonne espèce de Rhizobia est présente, les semences doivent être inoculées avec la bactérie avant plantation. Ces inoculants sont relativement peu coûteux et sont disponibles dans la plupart des magasins sources vendant des semences de légumineuses. L'inoculation correcte des graines de légumineuses avec le rhizobium approprié est importante pour développer des peuplements sains et productifs de légumineuses (Anonyme, 2015).

II.1. RHIZOBIA

II.1.1. Définition de rhizobium

Rhizobium est un genre de bactéries aérobies du sol à Gram négatif diazotrophes, qui fixent l'azote atmosphérique. Les rhizobiums, ou rhizobia appartiennent à la famille des Rhizobiaceae. Elles forment une symbiose avec des plantes de la famille des légumineuses, dont les représentants les plus connus sont : pois, haricot, soja, arachide, trèfle, luzerne. Les rhizobiums vivent en symbiose avec des plantes supérieures à système racinaire et fixent l'azote de l'air pour ces plantes (voir la fixation de l'azote), ce qui signifie qu'elles peuvent pousser sur un sol pauvre en azote. Au niveau des racines des plantes se forment des nodules d'azote (cannes) aux racines dans lesquelles vivent les bactéries. L'énergie produite est assimilée par le végétal (Anonyme, 2019).

II.1.2. Caractéristique de rhizobium

Les bactéries Rhizobium sont des organismes libres vivant dans la rhizosphère et se nourrissant des restes d'organismes morts. Ceux-ci contiennent un plasmide qui code des informations vitales pour l'infection et la nodulation de la plante hôte correspondante.

Ce sont des bacilles à Gram négatif mobiles, avec deux couches de paroi cellulaire (la première couche est constituée de glucides et de protéines, et la deuxième couche de lipides et de glucides), procaryotes, aérobies (qui ont besoin d'oxygène pour se développer), mobiles

(lorsque le test de mobilité, la gélose devient jaune et non sa couleur d'origine -morado-), bêta (digère l'hémoglobine), se développe à presque toutes les températures, mais son développement est plus optimal à une température de 25 °C, ses dimensions sont 0.5–0.9 x 1.2–3.0 µm, et il a des flagelles (**Anonyme, 2019**).



Figure 09. *Rhizobium leguminosarum* (cellule mobile flagellée et bacteroïdes). (**Jordan, 1984**)

II.1.3. Taxonomie actuelle du rhizobium

Les rhizobiums sont des bactéries en bâtonnets, à Gram négatif, aérobies, non sporulé. Phylogénétiquement, ils appartiennent à la sous-division alpha des protéobactéries. Lorsqu'il a été reconnu que le spectre de l'hôte n'était pas le seul critère pour prendre en compte pour la classification des rhizobiums, Les espèces de *Rhizobium* ont d'abord été reclassées en deux genres, le genre *Rhizobium* révisé comprenant la souche à croissance lente, et le nouveau genre *Bradyrhizobium*, créé pour celles à croissance lente. Depuis, l'isolement de rhizobiums d'un nombre croissant d'espèces végétales dans le monde et leur caractérisation par la modernité taxonomie polyphasique a conduit à la description de nouveaux genres et espèces supplémentaires (**Tab.03**). Basé sur Séquences d'ADN ribosomal 16S, les symbiotes des légumineuses appartiennent à trois principales branches phylogénétiques distinctes (**Fig 11**). (**Zakhia, et al., 2001**).

- **Classe:** Alpha Proteobacteria
- **Ordre:** Rhizobiales
- **Famille:** Rhizobiaceae
- **Genre:** *Rhizobium* (**Salhi, 2012**)

II.1.3.1. Branche Rhizobium/Agrobacterium

Une première branche se compose de plusieurs sous-branches, chacune correspondant à quatre genres rhizobiens, c'est-à-dire rhizobium, Sinorhizobium, Mesorhizobium et Allorhizobium, mélangés à d'autres genres, certaines bactéries liées aux plantes (Agrobacterium, Phyllobacterium), bactéries du sol Ochrobactrum, Bartonella). La première sous-branche correspond au s.s. genre Rhizobium et comprend *R. leguminosarum* (espèce type), *R. tropici*, *R. etli*, (*Mycoplana*) et des bactéries cliniques (*Brucella*, *R. gallicum*, *R. mongolense* et *Agrobacterium* et *S. xinjiangensis*, *S. meliloti*, *S. teranga* et *S. sahelense*, *S. medicae*, *S. kostiense* et *S. arboris*. La troisième sous-branche correspond au genre Mesorhizobium qui contient *M. loti*, *M. huakuii*, *M. ciceri*, *M. mediterraneum*, *M. tianshanense*, *M. plurifarum*, *M. amorphae*. La quatrième sous-branche comprend *Agrobacterium* biovar 1, *Agrobacterium rubi*, *Agrobacterium vitis*, mais aussi *R. galegae*, *R. giardinii*, *R. huautlense* et *Allorhizobium undicola*. Récemment Young et al. a révisé les données taxonomiques de la littérature. Celles-ci auteurs ont fait valoir que les caractéristiques phénotypiques discriminatoires à distinction entre ces genres n'étaient pas convaincantes, et que les relations phylogénétiques entre les genres déduits de l'analyse comparative de la séquence d'ADN 16S En fonction de l'algorithme choisi et plus particulièrement de la sélection des séquences incluses. Comme une conséquence, les auteurs ont proposé de regrouper les trois genres Rhizobium, Agrobacterium et Allorhizobium dans un seul genre modifié Rhizobium, comprenant toutes les espèces d'Agrobacterium et d'Allorhizobium en tant que nouvelles combinaisons: *R. radiobacter*, *R. rhizogenes*, *R. rubi*, *R. undicola* et *R. vitis*. (Zakhia, et al., 2001).

Tableau 03. Classification des bactéries fixatrices d'azote formant des symbioses avec les plantes potagères. (Zakhia, et al., 2001)

Espèce	Plante-hôte
Rhizobium	Pisum sativum, Vicia Lathyrus, Lens
<i>R. leguminosarum</i>	Trifolium pratense
biovar viciae	Phaseolus vulgaris
biovar trifolii	Phaseolus vulgaris Leucaenaleucocephala
biovar phaseoli	Phaseolus vulgaris, Leucaenaleucocephala
<i>R. tropici</i>	Phaseolus vulgaris
Type II A	Mimosa affinis, Leucaenaleucocephala, Phaseolus vulgaris L.
Type II B	Desmodium sinuatum & other plants of arid regions
<i>R. etli</i>	Phaseolus vulgaris
biovar phaseoli	Phaseolus vulgaris
biovar mimosae	Medicago ruthenica

R. hainanense	Galegaorientalis
R. gallicum	Galega officinalis
biovar gallicum	Phaseolus vulgaris
biovar phaseoli	Phaseolus vulgaris
R. mongolense	Sesbania herbacea
R. galegae	Lotus corniculatus
biovar orientalis	Astragalus sinicus, Acacia
biovar officinalis	Cicer arietinum
R. giardinii	Glycyrrhiza pallidiflora& other tropical plants
biovar giardinii	Cicer arietinum
biovar phaseoli	Acacia, Prosopis
R. huautlense	Amorpha fruticosa
Mesorhizobium	Medicago, Melilotus, Trigonella,
M. loti	Glycine max
M. huakuii	Glycine max
M. ciceri	Sesbania spp
M. tianshanense	Acacia spp
M. mediterraneum	Sesbania spp.
M. plurifarum	Acacia spp.
M. amorphae	Sesbania spp.
Sinorhizobium	Medicago
S. meliloti, 29	Acacia, Prosopis
S. fredii	Acacia, Prosopis
chemovar fredii	Sesbania rostrata
chemovar siensis	Sesbania rostrata
S. sahelense.	Glycine max, Glycine soja
biovar acaciae	Glycine max
biovar sesbaniae	Glycine max, Glycine soja
S. terangaie	Vigna, Lupinus, Mimosa
biovar acaciae	Acacia
biovar sesbaniae	Aeschynomene
S. medicae	Neptunianatans
S. kostiense	
S. arboris	
Azorhizobium	
A. caulinodans	
Azorhizobium sp.	
Bradyrhizobium	
B. japonicum,	
B. elkanii	
B. liaoningense,	
Bradyrhizobium sp.	
Allorhizobium	
A. undicola	

II.1.3.2. Le genre *Mesorhizobium*

Le pois chiche étant une légumineuse, il peut fixer symbiotiquement l'azote atmosphérique. Les racines et les bactéries fixatrices (du genre *Mesorhizobium*) procèdent à une signalisation mutuelle, qui aboutit à la mise en place de nodosités dans lesquelles se développeront les bactéries. (Dufour, *et al.*, 2010).



Figure 10. Nodule sur le pois chiche (Le genre *Mesorhizobium*) (Lambert, 2019)

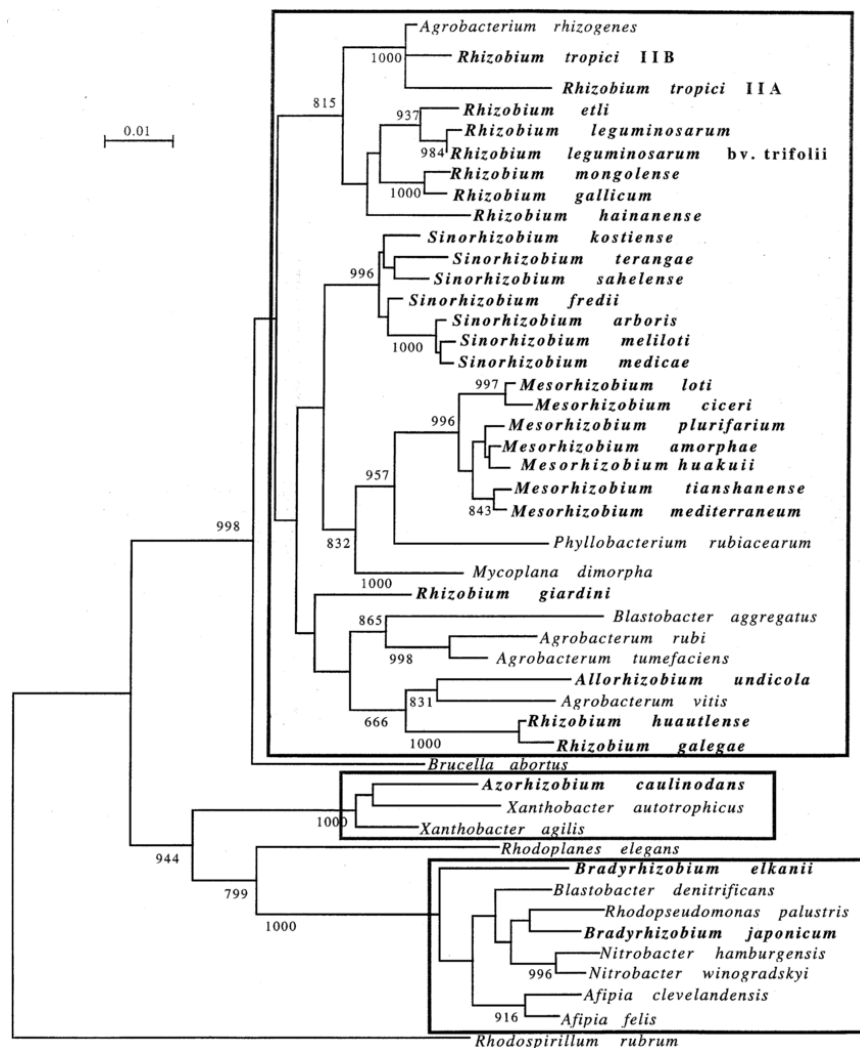


Figure 11. Branches *Rhizobium*/*Agrobacterium*. (Zakhia, *et al.*, 2001).

II.1.4. Croupe d'inoculation

Les groupes d'inoculation croisés sont les groupes de souches de *Rhizobium* qui n'infectent qu'un certain groupe d'espèces proches des légumineuses. Le fait qu'une souche puisse infecter une certaine légumineuse ne signifie pas que les nodules fixateurs d'azote apparaissent. Cette capacité est déterminée par les gènes présents dans les bactéries (Anonyme, 2019).

Les souches inefficaces sont identifiées car elles produisent des nodules plus petits, blanchâtres et dépourvus de capacité de fixation de l'azote, alors que les souches efficaces forment des nodules plus gros, rougeâtres et capables de fixer l'azote. En conclusion, étant donné qu'il existe différentes variétés de bactéries *Rhizobium*, chacune a la capacité de créer une symbiose avec une légumineuse spécifique. (Anonyme, 2019).

II.1.5. Symbiose de racine

Les rhizobiums entrent en symbiose avec les racines de certaines plantes, après un processus d'infection induite par la plante elle-même par la sécrétion de lectine, qui fournit l'azote nécessaire à la vie de la plante. Cela lui donne un abri. Plus spécifiquement, la condition de symbiose est donnée par la formation d'une molécule de transport d'oxygène, équivalente à l'hémoglobine, appelée lég'hémoglobine. Cette bactérie symbiotique ne peut être synthétisée que lorsque les deux organismes sont en symbiose; sur la partie de la bactérie, le groupe *Hémo* de ladite molécule est synthétisé et sur la partie de la plante, l'apoprotéine est synthétisée. Ainsi, au moyen de la nouvelle molécule formée, le transport de l'oxygène nécessaire au métabolisme de la bactérie (et ainsi capable de fixer l'azote requis par la plante) peut être effectué (Anonyme, 2019).

Les groupes d'inoculation croisés sont les groupes de souches de *Rhizobium* qui n'infectent qu'un certain groupe d'espèces proches des légumineuses. Le fait qu'une souche puisse infecter une certaine légumineuse ne signifie pas que les nodules fixateurs d'azote apparaissent. Cette capacité est déterminée par les gènes présents dans les bactéries (Anonyme, 2019).

Les souches inefficaces sont identifiées car elles produisent des nodules plus petits, blanchâtres et dépourvus de capacité de fixation de l'azote, alors que les souches efficaces forment des nodules plus gros, rougeâtres et capables de fixer l'azote. En conclusion, étant donné qu'il existe différentes variétés de bactéries *Rhizobium*, chacune a la capacité de créer une symbiose avec une légumineuse spécifique (Anonyme, 2019).

II.1.6. Importance en agriculture

La symbiose entre la bactérie *Rhizobium* et les légumineuses est d'une grande importance tant pour l'agriculture que pour l'environnement. Quant à l'agriculture, elle en profiterait, car elle entraîne une augmentation significative de l'azote combiné dans les sols nus, ce qui fait défaut. De plus, les légumineuses, une partie essentielle de l'agriculture, sont favorisées par leur capacité à pousser dans des zones où d'autres plantes ne pourraient pas (**Anonyme, 2019**).

D'autre part, l'azote étant l'un des nutriments essentiels limités pour la croissance des plantes, cette symbiose augmente le niveau de fixation de l'azote atmosphérique, augmentant ainsi la production agricole. Cela profite également à l'agriculture économiquement, car du fait que de nombreuses industries agricoles dépendent des légumineuses, le fait qu'elles puissent pousser sans engrais azotés (car les bactéries les remplaceraient) permet d'économiser des millions d'engrais(**Anonyme, 2019**)

En ce qui concerne l'environnement, les engrais sont l'une des principales causes de la dégradation de l'environnement, car ils provoquent l'eutrophisation des masses d'eau, l'érosion des sols et la génération de pluies acides. Ces bactéries fixant l'azote peuvent être utilisées en remplacement des engrais azotés pour augmenter la croissance des légumineuses, mettant ainsi fin aux problèmes environnementaux causés. (**Anonyme, 2019**)

II.1.7. Développement de nodules et fixation d'azote

II.1.7.1 Définition de nodule

Une nodosité est une petite excroissance comme une tumeur, une grosseur formant un nodule. En botanique, les nodosités sont présentes sur les racines des légumineuses dans les quelles se trouve la bactérie *rhizobium* fixatrice d'azote N. Elle peut être foliaire. (**Anonyme, 2009**).

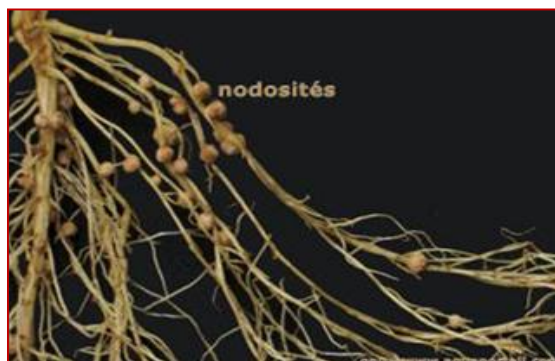


Figure 12. Les nodules racinaires de *Rhizobium*. (**Anonyme, 2009**)

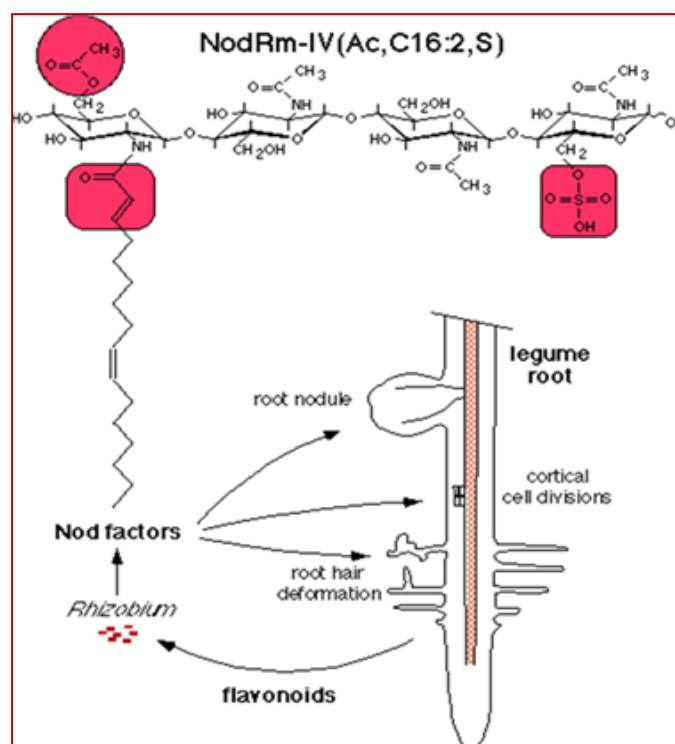


Figure 13. Structure et morphologie de nodule. (Maougla, 2004).

II.1.7.2. Infection et initiation de nodules

Lorsque des rhizobiums homologues s'attachent aux poils absorbants des légumineuses et sécrètent Facteurs de tête, les réponses précoces des poils absorbants incluent des oscillations périodiques dans calcium intercellulaire, suivi de l'enroulement des poils absorbants, qui emprisonne le rhizobium entre les parois des cellules ciliées .Améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'azote dans les plantes .La paroi cellulaire de la racine s'invagine, entraînant la formation de une structure tubulaire interne appelée le fil d'infection qui contient le multiplier les rhizobiums. La division cellulaire corticale commence simultanément, probablement due à l'expression de gènes de nodulaires végétales, donnant naissance à des nodules primordium et méristème. Le fil d'infection s'étend vers la division cellules de l'ébauche du nodule et, après son entrée dans le cortex, il se ramifie abondamment et libère les rhizobiums dans les cellules nodulaires. Le les rhizobiums sont ensuite écussonnés dans le cytoplasme cellulaire, où ils restent entouré d'une membrane pér bactéroïde. Cette membrane (a) fournit protection physique contre les réactions de défense de la cellule hôte, et (b) contrôle échange de nutriments entre les partenaires symbiotiques. Quand ils entrent dans le cytoplasme des cellules nodulaires, les rhizobiums se différencient en bactéroïdes et commencer à synthétiser l'enzyme (nitrogénase) et d'autres protéines nécessaire à la fixation de l'azote. Une infection sans formation de filaments infectieux a été

observée chez *Arachis* spp. et *Stylosanthes* spp., mais la plupart des légumineuses sont infectées via des fils d'infection. (Lupway, *et al.*, 2008)

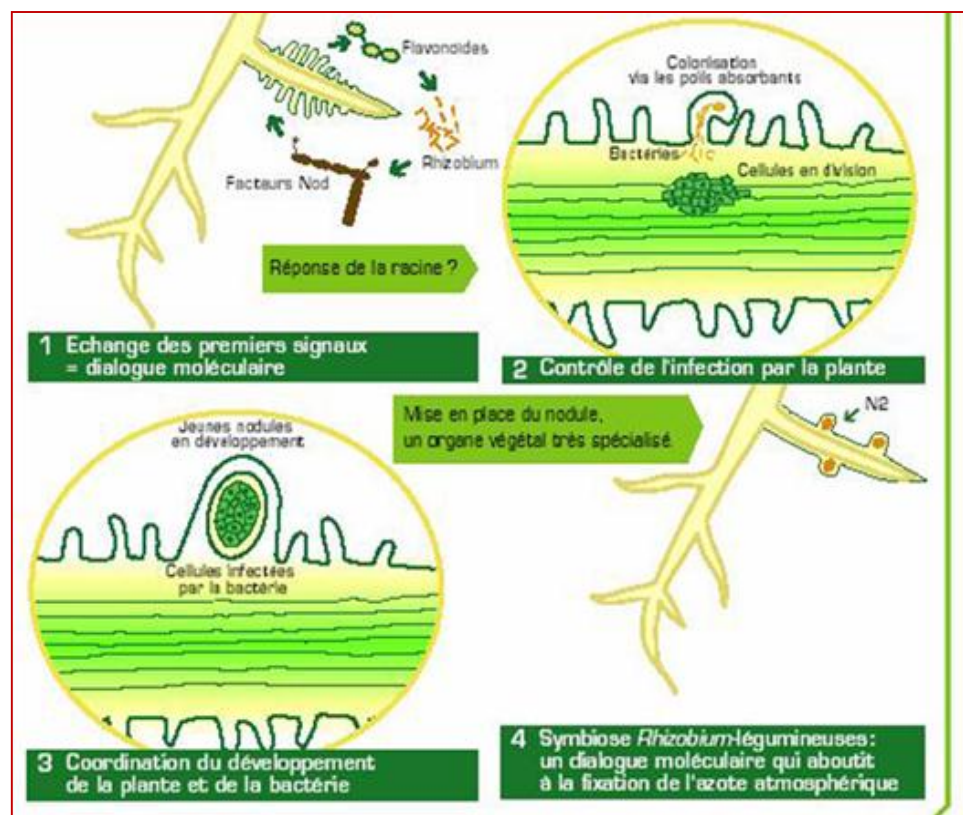
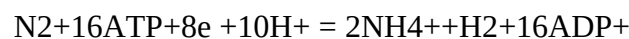


Figure 14. L'infection et la nodulation. (Maougal, 2004).

II.1.7.3. Développement de nodule et fixation de l'azote

Selon la plante hôte, on distingue deux types de nodules, selon que les nodules contiennent ou non un méristème persistant : indéterminé types (allongés) et déterminés (sphériques). Le type de nodule indéterminé provient du nodule primordial dans le cortex interne de la racine. Il a une persistance méristème générant de nouvelles cellules qui continuent à être infectées, entraînant nodules allongés en forme de massue. Les nodules déterminés sont initiés dans le cortex externe. La division cellulaire s'arrête pendant le développement et l'expansion cellulaire donne des nodules sphériques. Le développement de l'indéterminé les nodules seront décrits brièvement. Le méristème, c'est-à-dire l'apex du nodule, est une région (appelée Zone I) de cellules en division active et ne contient pas de rhizobium. Le méristème est actif tout au long de la vie du nodule et se développe vers l'extérieur, donnant se transformer en cellules remplies de rhizobiums envahissants. C'est l'infection zone (Zone II) où les bactéries sont libérées dans les cellules racinaires par infection fils. Ces bactéries sont entourées par la membrane pér bactéroïde. Dans les zones

successives du nodule de la pointe au point d'attache à la racine de la plante (Zone IV), les rhizobiums sont à différents stades de différenciation, avec fixation de N₂ se produisant dans la zone III après la différenciation des bactéries entièrement en bactéroïdes. La zone IV est la zone de sénescence pour les deux partenaires symbiotiques et le nombre de rhizobiums diminue. Les gènes en- Aspects appliqués 295 impliqués dans ces stades de développement des rhizobiums sont décrits par Luyten et Vanderleyden (2000). Le processus global de fixation de N₂, qui comprend la réduction de N₂ et réduction associée de H⁺, peut être représenté comme (Lupway, *et al.*, 2008).



L'équation exacte est difficile à établir dans des conditions normales car de la variabilité de la quantité d'ATP hydrolysée par paire d'électrons transféré et dans le rapport de N₂ à H⁺ réduit. Le processus est médiatisé par l'enzyme nitrogénase (complexe de deux protéines fer-soufre, l'une des Pi qui contient également du molybdène). L'équation montre que la fixation de N₂ processus nécessite beaucoup d'énergie (ATP) de la part de la légumineuse hôte photosynthate, mais une partie de cette énergie est « gaspillée » lors de la réduction de H⁺ en H₂. Certains rhizobiums ont la capacité de recycler une Partie de cette énergie perdue (Lupway, *et al.*, 2008).

III.2. Inoculation

III.2.1. Pratique d'inoculation

L'inoculation est l'application de bactéries nodulaires racinaires (rhizobium) à une graine de légumineuse ou au sol dans lequel la légumineuse est semée. L'inoculation facilite l'infection des racines des semis par les rhizobiums et nodulation de la légumineuse par la souche appropriée des rhizobiums. (Loss, *et al.*, 2012).

L'aspect visuel de la légumineuse (bonne vigueur ou faible croissance), la couleur de ses feuilles (vertes ou jaunâtres) et la présence des nodosités sur ses racines donnent des indications très utiles, ainsi que l'observation d'une coupe de ces nodules :

- couleur blanche : inefficience
- rouge : présence d'hémoglobine et donc présomption d'efficience
- verte : couleur pouvant être due au prélèvement trop tardif (dégénérescence de cetténodosité). (Anonyme, 2004).

III.2.2. Histoire d'inoculation de légumineuses

Les agriculteurs australiens ont adopté les légumineuses et l'inoculation des légumineuses dès le départ. Les sols agricoles australiens sont naturellement bas en N assimilable par les plantes, mais l'utilisation d'engrais N n'a pas toujours été une option abordable. Légumineuses cultivées, principalement de pâturage et espèces fourragères, ont dû pouvoir fixer efficacement N dans le sol. En 1896, le célèbre agrochimiste F.B. (Frederick) Guthrie a écrit sur les légumineuses Fixation de N dans le Journal officiel de l'agriculture de New Pays de Galles du Sud en disant que "cela s'avérera être l'une des contributions les plus précieuses de tous les temps faite par la science à l'agriculture pratique (**Herridge., 2016**).

Plus de 100 ans plus tard, l'Australien les agriculteurs sèment des graines de légumineuses inoculées environ 2,5 millions d'hectares par an La totalité des 2,7 millions de tonnes estimées de N fixé annuellement par les légumineuses, poussant sur quelque 25 millions d'hectares de terres (dont légumineuses de culture et de pâturage nouvellement semées et pâturages pérennes et régénérants légumineuses), peut principalement être attribuée soit inoculation actuelle ou passée. Du début du XXe siècle jusqu'à vers 1950, des travaux sur les rhizobiums, dont fabrication d'inoculants, était le domaine des départements d'état de l'agriculture (**Herridge., 2016**).

Après 1950, cependant, la superficieensemencée en légumineuses – en particulier le trèfle souterrain et les médecins annuels - a augmenté de façon spectaculaire et la demande d'inoculant a augmenté. La fabrication des inoculant a été adoptée vers le secteur privé, et nodulation des échecs s'en sont suivis, qui ont conduit à la création d'un service de contrôle qualité indépendant, U-DALS, à l'Université de Sydney. La fabrication d'inoculant reste avec le secteur privé, désormais soutenu par un laboratoire de contrôle qualité indépendant, Groupe australien de recherche sur les inoculant (**Herridge., 2016**).

III.2.3. But d'inoculation

Cette technique permet d'apporter des éléments nutritifs (principalement azote et phosphore) fournis par les micro-organismes, et ainsi d'améliorer la croissance des plantes. Elle est écologique puisque basée sur le renforcement des performances des micro-organismes déjà présents dans le sol. L'inoculation permet donc l'amélioration de la productivité des cultures sans avoir recours à des fertilisants chimiques. Cette technique permet de :

- Ne pas avoir recours au fertilisant chimique.
- Se baser sur les principes respectueux de l'environnement.

- Améliorer la fertilité du sol via le renforcement des performances des micro-organismes présents dans le sol.
- Améliorer la productivité agricole des grandes cultures vivrières ou de rente, réhabiliter les sols dégradés, (notamment par le sel). (Anonyme, 2017)

III.2.4. Facteurs affectant le succès de l'inoculation

III.2.4.1. Effets de l'inoculation avec des souches sélectionnées en présence d'un Population

Nous n'aborderons pas les facteurs pédologiques et environnementaux qui peuvent affecter le succès d'inoculation. Certains de ces facteurs ont été examinés et seront discutés ailleurs dans ce volume. Il existe de nombreux rapports dans lesquels l'utilisation de souches de qualité inoculant, qui ont été appliqués sur des légumineuses dans des sols à faible teneur en N et peu indigènes. Rhizobium, a entraîné des avantages mesurables en termes de nodulation, d'accumulation de N, la biomasse végétale et le rendement en grain. Les avantages sont beaucoup moins courants, cependant, dans les sols ayant des populations de rhizobium indigènes ou établies. Populations de sol des rhizobiums aussi bas que 20-100 cellules g⁻¹ de sol peuvent limiter la réponse du soja et haricot commun à l'inoculation. Lorsque les sols sont dépourvus de rhizobium et l'inoculation est nécessaire pour assurer une nodulation et un apport en N adéquats, les agriculteurs ont tendance à inoculer et suivre les procédures recommandées. (Hungria, et al., 1991).

Cependant, lorsque le sol contient des populations de rhizobiums établies et que l'inoculation est utilisé comme assurance, l'attention portée aux bonnes pratiques d'inoculation peut être limitée. L'absence d'avantages de l'inoculation dans des sols contenant des populations établies de les bactéries des nodosités racinaires ne doivent pas être tenues pour acquises. Il existe de nombreux rapports de réponses positives à l'inoculation du soja et du haricot commun au Brésil en sols contenant un grand nombre de rhizobiums indigènes. Lorsque 13 expériences réalisées avec soja dans plusieurs états brésiliens ont été analysés, le ré inoculation a augmenté la nodosité nombre et poids sec, et occupation des nodules par la souche inoculée dans majorité des études. Dans neuf des treize expériences, le ré inoculation a significativement augmentation du rendement et de la teneur totale en N des grains. (Hungria, et al., 1991).

Lorsque les résultats des essais sur le terrain effectués au cours d'autres saisons et sites ont été ajoutés à cet ensemble de données, l'augmentation moyenne nationale du rendement en

grains a été estimée à 4,5 %. Il est intéressant de noter qu'avec le haricot commun, une nouvelle augmentation de la nodulation et du rendement a été obtenue par le ré-inoculation avec les mêmes souches sélectionnées dans la deuxième année d'application. (Hungria, et al., 1991).

III.2.4.2. Traitement des semences avec des fongicides et autres produits agrochimiques

Le traitement des semences avec des fongicides est un problème croissant qui affecte succès de l'inoculation dans les haricots et le soja. Insecticides et herbicides appliqués au semis peut également inhiber la nodulation, la fixation de N₂ et le rendement. Au Brésil, plus de 90 % des semences de soja sont traitées avec des fongicides, et des taux de mort cellulaire allant jusqu'à 70 %, après seulement deux heures de contact avec des fongicides, ont signalé. La réduction de la nodulation dans les conditions de terrain a également signalé. Ces effets sont plus graves dans les zones de culture de première année, principalement dans les sols sablonneux, mais aussi dans les zones où les populations sont établies. Sélection souches plus tolérantes aux fongicides n'est pas facile et seulement efforts limités pour utiliser des composés moins toxiques pour les rhizobiums. (Hungria, et al., 1991).

II.2.4.3. Inoculation dans des conditions défavorables

Dans des conditions défavorables, la tourbe est le support le plus approprié. Ce ne est pas doivent nécessairement être appliqués sur la légumineuse à laquelle ils sont finalement destinés. Une approche a consisté à inoculer la culture précédente et le succès a été obtenu lorsque du blé (*Triticum aestivum*), du riz (*Oryza sativa*) ou du maïs (*Zeamays*) ont été inoculés en prévision d'un semis ultérieur avec du soja, du gramme vert (*Vignaradiata*), ou l'arachide (*Arachishypogaeae*). (Hungria, et al., 1991).

Dans la plupart des cas, cette inoculation d'un hôte de substitution semble avoir limité valeur pratique. Il pourrait être important, cependant, là où les conditions du sol atténuent contre la survie des rhizobiums sur l'hôte prévu, par exemple avec des semences traitées avec un fongicide. Avec des nombres de cellules rhizobiales sur des hôtes alternatifs, comme le blé, multipliés par 10 à 300 fois après l'inoculation, il est possible que l'établissement initial de la souche sous des conditions environnementales difficiles pourraient être meilleures sur les céréales que sur la légumineuse hôte, mais cela reste à déterminer. Une situation où les avantages sont probables est dans le reverdissement de paysages perturbés dans le nord des États-Unis et en Europe. La pratique au Minnesota est de semer et de ratisser la culture de couverture avant le premier gel, mais de répandre les graines de légumineuses à la surface. Les rhizobiums sur ces semences doivent persister pendant la rude période hivernale, la

germination de la légumineuse hôte étant retardée jusqu'à 8-9 mois après l'ensemencement. L'inoculation de semis en serre ou en pépinière peut être très utile pour la foresterie pour garantir une nodulation réussie et une combinaison de semences et d'inoculation du sol peut également être recommandée pour les. Post-plantation l'inoculation peut être intentionnelle ou curative (pour corriger une mauvaise nodulation). Parmi les alternatives mentionnées dans la littérature figurent l'inoculation par le biais d'un centre irrigation par pivot, applications granulaires souterraines et pulvérisation en surface (**Hungria, et al., 1991**).

Une expérience de trois ans sur le soja a montré que, en plus de l'inoculation des graines, une inoculation de couverture du sol avec irrigation eau (au moment du semis ou au stade V3 à trois nœuds) avec inoculant de tourbe en suspension a augmenté la nodulation de 1,4 à 2,4 fois. Des résultats positifs et négatifs sont mentionnés dans la littérature conséquence de l'inoculation post-plantation et il semble que le succès de cette procédure est liée non seulement à la méthode d'application, mais aussi au moment de l'application et les conditions du sol lors de la distribution de l'inoculant. Étant donné la vie cycle de la plupart des cultures hôtes, il ne faut pas s'attendre à ce que l'inoculation en post-levée serait efficace plus de 30 jours après le semis (**Hungria, et al., 1991**).

Un facteur majeur affectant le succès de l'inoculation est l'application d'engrais N. Dans les cultures à haut rendement, comme le soja, il y a une pression croissante pour vendre des engrais azotés aux agriculteurs. Certains rapports font état d'avantages dus à la l'application de starter N mais, au Brésil, des doses aussi faibles car 20-40 kg de N ha⁻¹ ont considérablement diminué à la fois la nodulation et la fixation de N₂ sans avantage de rendement, a analysé 600 expériences réalisées sur une période de 25 ans et ont conclu que la contribution de la fixation de N₂ à la croissance et au rendement des cultures diminuait 245 après 1985 pour le soja et après 1987 pour le haricot commun. Ils ont suggéré qu'un le principal facteur a été l'utilisation accrue d'engrais azotés dans le monde. Par conséquent, plus il faut s'efforcer d'utiliser des inoculant et non des engrais dans les cultures de légumineuses (**Hungria, et al., 1991**).

Il est également important de se rappeler que, bien que le succès de l'inoculation soit lié à une bonne gestion des sols et des cultures, qu'est-ce qu'une bonne gestion en un environnement peut ne pas s'appliquer dans un autre. Ainsi, bien que des taux plus élevés de fixation de N₂ aient été signalés dans des conditions de non-labour dans les régions tropicales et subtropicales, les températures printanières plus fraîches dans des conditions sans travail du sol le nord des États-Unis et du Canada peut retarder la nodulation et peut-être inhiber le gène

nord. Dans les endroits où la production ou l'utilisation d'inoculant est limité, par exemple en Asie et en Afrique, de nouvelles approches devraient être recherchées pour l'utilisation de cultivars de soja promiscue capables d'effectivement noduler avec des Brady rhizobiums indigènes. (Hungria, *et al.*, 1991).

III.2.4.4. Inoculation et Co-inoculation avec d'autres micro-organismes

Azospirillum est une autre bactérie diazotrophe et favorisant la croissance des plantes testée dans plusieurs essais d'inoculation. Lors d'essais en Mexique, les différences de rendement du maïs inoculé avec *A. brasilensis* allaient de 15 % à 78% et plus de deux millions d'ha cultivés en maïs sont actuellement en cours d'inoculation. Des résultats importants ont également été obtenus avec la canne à sucre micropropagée (*Saccharum officinalis*) inoculée avec *Gluconoacetobacter diazotrophicus* au Brésil. Nous ne détaillerons pas les expériences de Co-inoculation, mais plusieurs articles pointent soit vers une synergie entre les rhizobiums Co-inoculés et bactéries favorisant la croissance des plantes ou aux avantages de l'inoculation avec des espèces de *Bacillus* ayant une activité de bio contrôle parmi plusieurs autres. L'inoculation de *Rhizobium* peut également stimuler d'autres micro-organismes, par ex. colonisation par des champignons mycorhiziens), émergence des semis et rendements en grains et en paille du riz de bas-fond. Sans aucun doute, il est nécessaire de mener une série d'études supplémentaires pour intégrer l'utilisation de ces différents organismes, seuls ou en combinaison, dans l'agriculture. (Hungria, *et al.*, 1991).

III.2.5. Inoculum

Les inoculum de légumineuses sont des préparations de rhizobiums vivants conçus pour être appliqués sur des graines ou des sols de légumineuses pour assurer une nodulation efficace des plants de légumineuses et, par conséquent, fournir un azote abondant pour la culture production. Normalement, les inoculants sont conçus pour être appliqués sur les semences car il s'agit d'une méthode simple et moyen pratique de placer les rhizobiums dans la zone racinaire du semis en développement où l'infection de la des poils absorbants peuvent apparaître et des nodules se développent. (Burton, *et al.*, 1984).

III.2.6. Qualités souhaitables d'un inoculant de légumineuse

La sélection et la maintenance des souches sont un aspect très important de la production d'inoculant pour légumineuses. Les qualités considérées comme importantes sont :

1. la capacité à former des nodules fixateurs d'azote sur les espèces et les cultivars de légumineuses pour lequel le rhizobium est recommandé,

2. la compétitivité dans la formation de nodules et la survie en présence d'autres rhizobiums infectieux dans le sol,
 3. une nodulation rapide et une bonne fixation de N₂ sur une large gamme de types de sol.
 4. bonne capacité de croissance dans le support et dans le sol.
 5. persistance dans le sol.
 6. efficacité sur une large gamme de géotypes hôtes ou de cultivars.
 7. tolérance aux facteurs de stress du sol y compris l'acidité, l'alcalinité, la salinité, la forte concentration d'aluminium et de manganèse Les inoculum de légumineuses peuvent consister en une souche sélectionnée pour une légumineuse hôte particulière ou ils peuvent comprendre deux ou plusieurs souches efficaces sur cet hôte particulier.
- (Burton, et al., 1984)**

Cette dernière est souvent avantageuse notamment dans les zones où plusieurs variétés ou cultivars de la légumineuse sont cultivés ou où les sols varient considérablement les caractéristiques. Cependant, il est important d'avoir des souches compatibles et les souches doivent être cultivées séparément avant de combiner pour faire l'inoculant. **(Burton, et al., 1984).**

Plusieurs inoculum hôtes sont souvent souhaitables. Ils sont réalisables. Comme le montre le tableau 1, certains genres et les espèces de légumineuses ont tendance à donner une réponse similaire à des souches particulières de rhizobium. Pour plusieurs hébergeurs les inoculum souches à large spectre sont préférables. Aucune souche ne doit être incluse dans un inoculant à hôtes multiples qui pourrait produire des nodules inefficaces sur n'importe laquelle des légumineuses hôtes auxquelles il est destiné. Les inoculum avec seulement deux ou trois souches sont préférés aux inoculum avec de nombreuses souches. **(Burton, et al., 1984).**

II.2.7. Méthode d'une inoculation

Un certain nombre de méthodes d'inoculation différentes sont utilisées par les agriculteurs, mais toutes ne le sont pas. Tout aussi efficace. En particulier, la pratique consistant à mélanger l'inoculant de tourbe avec les graines dans la jardinière, bien que populaire en raison de la facilité avec laquelle il peut être accompli, n'est pas recommandé. La majeure partie de l'inoculant ne collera pas au graines, entraînant une distribution non uniforme; l'inoculant laissé sur la boîte peut progressivement boucher les tubes d'ensemencement, retardant ainsi le semis, la méthode aspersion dans laquelle les graines sont d'abord aspergées d'eau puis d'inoculant sec poudre, c'est un peu mieux. Les graines

sèches absorbent rapidement l'eau, il ne reste pas grand-chose car un adhésif pour la tourbe, et la majeure partie de l'inoculant n'adhère pas aux graines. (Hungria, *et al.*, 1991).

III.2.7.1.1 Inoculation appliquée aux semences (enrobage)

Depuis l'introduction de l'inoculation artificielle, la pratique d'appliquer l'inoculant aux semences a été la plus courante méthode. Lorsqu'elle est correctement appliquée, cette méthode garantit que chaque graine reçoit les rhizobiums introduits. Désavantages inclure une limitation de la quantité qui peut adhérer à la surface de la graine (sauf si un processus de granulation est utilisé), direct contact avec tout produit chimique appliqué sur les semences (fongicide, insecticide, molybdène), éloignement de l'inoculant de la zone racinaire noduleuse (lorsque les téguments adhèrent aux cotylédons avec certaines espèces épigées), tégument possible toxicité, peu de protection contre la dessiccation sur la graine avant la plantation et l'exposition aux stress environnementaux (sécheresse et hautes températures) après la plantation. L'utilisation d'un autocollant améliore l'adhérence du inoculant sur la semence. La protection contre la dessiccation est également obtenue avec des autocollants, tels que la gomme arabique, le saccharose. Méthode, et d'autres gommes et nutriments solubles Commercial les autocollants sont disponibles dans un emballage séparé du inoculant mais dans le même emballage, ou pré mélangé avec l'inoculant. (Smith, 1992)

Les producteurs innovants assemblent des systèmes à la ferme pour améliorer les procédures d'inoculum, surtout si elles fournissent des l'inoculation et permet également de gagner du temps. Une inoculation continue la gravité du système alimente l'inoculant de suspension dans la tarière, qui déplace la semence d'un wagon dans un plus grand volume semoir ou semoir. La vis offre un excellent mélange action et obtient un revêtement uniforme. Un système d'inoculation discontinue adapté à l'incorporation d'autocollants emploie le bétonnière, qui culbute suffisamment la semence et autocollant. La plupart des producteurs qui plantent de grandes surfaces ne veulent pas prendre les mesures supplémentaires et le temps requis pour utiliser un inoculant autocollant. (Smith, 1992)

III.2.7.2 Inoculation appliquée au sol (liquide)

Les inoculants appliqués au sol présentent les avantages suivants :

Des taux de livraison plus élevés peuvent être utilisés (et donc plus rhizobiums par unité de surface) ; contact direct avec traité chimiquement la semence est minimisée ; élimination du mélange des graines, qui peut perturber un tégument délicat comme l'arachide (Arachis

hypogée); et capacité apparente à résister à une faible humidité meilleures conditions que la forme poudre. **(Smith, 1992)**

Les inoculant appliqués au sol sont le plus souvent livrés dans le sillon de semence directement avec la semence. D'autres procédures ont application de diffusion employée, avec ou sans incorporation. Bande des inoculant, soit à côté de la rangée ou incorporé à côté de la rangée, a été examiné. **(Smith, 1992)**

III.2.7.3 Pré-inoculation

Bien que le nombre de rhizobiums soit généralement plus élevé sur les semences fraîchement inoculées que sur graines qui ont été pré-inoculées pour une vente ultérieure , pré-inoculation de graines peut être utile soit pour semer de grandes surfaces en peu de temps, soit lorsque le temps est instable. Pour les légumineuses fourragères, comme la luzerne (*Medicago sativa*), la viabilité cellulaire peut être maintenue même lorsque la pré-inoculation est effectuée plusieurs mois avant la plantation .Cependant, seulement les sociétés de semences très réputées devraient être considérées pour l'achat de semences pré inoculées graine parce que le nombre de rhizobiums graine⁻¹ peut être considérablement réduit dans semences pré-inoculées mal entreposées. Une alternative, qui a été utilisée pour augmenter la viabilité cellulaire, est la pré-inoculation pour semer dans un délai maximum de 10 jours après le semis. Même ici, la qualité du produit peut être erratique .Traitement sous vide et utilisation de les adhésifs à base de luzerne peuvent également diminuer considérablement la viabilité des cellules et nodulation, même en cas de stockage au frais. **(Hungria, et al., 1991).**

III.2.8. Le support d'inoculum

Le support est le véhicule de livraison des micro-organismes vivants de l'usine au champ. Il représente la majeure portion (en volume ou en poids) de l'inoculant et a une énorme importance dans la livraison du bon numéro de cellules viables en bon état physiologique. Il fournit une niche temporairement protectrice aux inoculants microbiens dans le sol, De manière générale, un bon support remplit les caractéristiques suivantes:

- Fournir un microenvironnement adapté à la cible micro-organisme(s).
- Avoir des propriétés physiques et chimiques convenables : bonnes capacité d'absorption d'humidité (capacité de rétention d'eau élevée), bonne capacité tampon du pH et pH facile à régler.
- Être stable pendant le processus : le support doit être aussi chimiquement et physiquement uniforme que possible pour assurer la stabilité.

Il doit être stérile ou facile à stériliser (autoclavage ou autres méthodes), être exempt de matériaux formant des grumeaux et compatible avec un broyage fin pour le mélange avec d'autres composés (nutriments, adjuvants) et application de machines standard.

Il devrait également convenir à autant espèces et souches bactériennes ou fongiques que possible et facile à manipuler Et à traiter.

– Optimiser les conditions de stockage et d'ensemencement : un bon support doit assurer une durée de conservation suffisante (au moins 2–3 mois à température ambiante), bien adhérer et survivent sur les graines, et permettent une libération rapide et contrôlée des micro-organismes dans le sol près des racines des héberger.

– Être économiquement et écologiquement durable : que

Implications pour un faible coût et une disponibilité et une qualité constantes.

Le support doit être exempt de matériaux toxiques, biodégradables et non polluants et minimiser les risques environnementaux (dispersion des cellules dans l'atmosphère ou les eaux souterraines. (Herrmann, *et al.*, 2013).

III.2.9. Différents types des supports d'inoculum

Le support d'inoculum utilisé est principalement de deux types : solide (support base) et liquide. (Krishnashis *et al.*, 2017).

III.2.9.1. L'inoculum solide

Les porteurs peuvent être d'origines diverses (organiques, inorganiques ou synthétiques) et peuvent être classés en quatre grandes. (Herrmann, *et al.*, 2013).

- Sols : tourbe, charbon, argiles, lignite, sol inorganique
- Déchets végétaux : charbon de bois, composts, fumier de ferme, cellulose, farine de soja, huile de soja et d'arachide,
- Son de blé, boue de presse, épis de maïs
- Matériaux inertes : vermiculite, perlite, phosphate naturel broyé, bentonite, sulfate de calcium, gels de polyacrylamide, perles d'alginate.
- Cultures microbiennes lyophilisées simples et vieilles bactéries séchées : peuvent être ultérieurement incorporées dans un support solide ou utilisées comme il est également possible de trouver des supports constitués d'une combinaison de ci-dessus : mélange de terre

et de compost, de terre, de tourbe, d'écorce et de cosses entre autres. **(Herrmann, et al., 2013).**

- Disponible sous forme de poudre et de granulés ; Offre adéquate; et prix raisonnable :

III.2.9.1.1. Inoculum Powder

Les inoculant secs sont produits à l'aide de sol, organique ou inerte Support. Dans la plupart des régions du monde, les inoculant sont formulés à l'aide de tourbe (support de sol). **(Herrmann, et al., 2013).**

• La tourbe

La tourbe est le support solide le plus couramment utilisé pour fabriquer des inoculant végétaux. C'est aussi le plus fiable car les racines du peuplement tourbeux restent viables plus longtemps dans l'emballage et dans la semence **(Burton, et al., 1984).**

Cependant, la tourbe de haute qualité n'est pas disponible dans de nombreux pays. Les analyses chimiques et physiques des supports sont informatives mais ne confirment pas la qualité des supports. La qualité ne peut être déterminée qu'en plaçant des racines phobiques viables dans le matériau et en observant la croissance et la survie des racines pendant 6 mois. **(Burton, et al., 1984).**



Figure 15. Tourbe

• Granulés

Pour pallier les inconvénients de l'utilisation de la tourbe (tableau), l'intérêt pour d'autres types de support, et en particulier pour les inoculant granulaires, est croissant. Les granulés sont faits de granulés de tourbe ou de petits grains de marbre, de calcite ou de silice qui sont mouillés avec un adhésif et mélangés avec un inoculum de type poudre. Les granulés sont enrobés ou imprégnés du ou des micro-organisme(s) cible(s). La taille des granules varie mais la relation entre la densité de population de la culture mère et la qualité du produit fini est directe : meilleure est la culture mère, meilleure est la produit. **(Herrmann, et al., 2013).**

Les granulés présentent de nombreux avantages par rapport à la tourbe. Ils sont moins poussiéreux et plus faciles à manipuler, stocker et appliquer. Le placement et le taux d'application peuvent être facilement contrôlés et les limites des applications de semences sont surmontées : l'inoculant est placé dans un sillon près de la graine pour faciliter les interactions latérales-racinaires mais n'est pas en contact direct avec les produits chimiques ou pesticides potentiellement toxiques pour les micro-organismes. Les inconvénients sont que les inoculants granulaires sont plus volumineux et les coûts de transport et de stockage sont donc plus élevés. Les taux d'application doivent également être augmentés (**Herrmann, et al., 2013**).

La supériorité des inoculants granulaires rhizobiens sur la tourbe et les inoculants liquides a été évaluée dans plusieurs études et les résultats sont variables. Certaines études ont montré que l'application granulaire de rhizobium ne présentait pas de nodulation supérieure ou de fixation biologique de N_2 par rapport à d'autres formulations (tourbe et enrobage de graines) et al., tandis que d'autres études sur l'inoculation de légumineuses ont montré que les formulations granulaires sont supérieures aux produits à base de tourbe supérieurs aux inoculants liquides en termes de nombre et de poids de nodules, d'accumulation de N, de fixation de N_2 (% Ndfa) et de biomasse totale. 2004b ; Herridge Les avantages de l'utilisation d'inoculants granulaires sont particulièrement prononcés dans des conditions de stress du sol comme le sol acide, le stress hydrique ou les sols frais et humides. (**Herrmann, et al., 2013**).

III.2.9.2 Inoculant liquides

Les inoculants liquides sont à base d'huiles aqueuses (bouillons de culture), minérales ou organiques, de suspensions d'huile dans l'eau ou à base de polymères. Les produits liquides ont été promus comme étant plus faciles à manipuler et à appliquer soit sur les graines ou dans le sol, et leur popularité a augmenté au cours des dernières décennies. Ils gagnent actuellement en popularité pour l'inoculation des légumineuses (dans les États-Unis et le Canada par exemple) parce qu'ils Appl Microbiol Biotechnol, 2013. Contiennent des concentrations élevées de cellules et permettent l'application d'une quantité d'inoculant moindre pour une efficacité similaire. (**Herrmann, et al., 2013**).

Cependant, un certain nombre de limites ont empêché leur utilisation dans la plupart des pays en développement : les inoculants à base de cultures en bouillon manquent de protection contre les porteurs et perdent rapidement leur viabilité sur la graine. Ils nécessitent des conditions de stockage plus spécifiques (températures fraîches) et ont généralement une durée de conservation limitée) ont également signalé que l'inoculum liquide était plus sensible

aux stress environnementaux et mal survécu dans le transporteur. Ajout de certains autres composants (saccharose, glycérol, gomme arabe, PVP) peut améliorer la survie des micro-organismes dans inoculum liquides. (Herrmann, *et al.*, 2013).

Tableau 04. Avantages et limites des supports les plus courants. (Herrmann, *et al.*, 2013)

Support	Avantages	Limites
Tourbe	Convient à une large gamme de micro-organismes : bactéries, AMF, ectomycorhize Environnement nutritif protecteur La teneur en humidité peut être ajustée pour optimiser la croissance et la survie des bactéries pendant le séchage, le stockage, et inoculation Fort pouvoir tampon	Pas facilement disponible Fort impact négatif sur l'environnement et les écosystèmes Investissement coûteux pour l'extraction Composés toxiques libérés lors du séchage et de la stérilisation Composition et qualité très variables selon sur l'origine Application de semences : contact avec d'autres composés chimiques (toxicité)
Liquide	Facile à manipuler et à appliquer Ajout facile d'additifs pour améliorer la croissance ou survie des cellules Composition facilement définie et contrôlée Concentration cellulaire élevée → faibles taux d'application	Absence de protection du support : faible viabilité pendant le stockage et sur les graines Températures fraîches pour le stockage (4 °C) Durée de conservation limitée Plus sensible aux conditions stressantes
Granulés	Facile à stocker, manipuler et appliquer Moins poussiéreux que la tourbe Taux d'application facilement évalué Application au sol : pas de contact direct avec l'autre produit chimique composés (pas de toxicité	Encombrant : coûts de transport et de stockage élevés Taux d'application plus élevés Porteurs souvent non stériles

Cellules encapsulées	Convient à tous types de cellules (toutes tailles) Cellules protégées dans une enveloppe nutritive contre les stress environnementaux et contre les prédateurs Libération lente et contrôlée des micro-organismes lorsque la coque est dégradée Grande variété de polymères : non toxiques, biodégradables Forte concentration de cellules/coquille → espace limité pour le stockage Conservation à température ambiante (capsules séchées)	Coût de production élevé Plus de travail de manutention au niveau de l'industrie Matériel spécifique requis Changements physiologiques, morphologiques et métaboliques survenant dans la coquille Plusieurs applications nécessaires si les souches ne peuvent pas s'établir dans le sol Aucun produit commercial disponible
----------------------	---	--

III.2.10. L'adhérence

Les agents collants sont principalement incorporés à la tourbe pour améliorer son uniformité de couverture sur les semences. **(Herrmann, *et al.*, 2013).**

Les adhésifs utilisés dans les pratiques agricoles actuelles sont essentiellement polymères et comprennent des polysaccharides (tels que la gomme arabique ou carboxyméthylcellulose), dérivés de polyalcools ou caséinatesels. Ils devraient être non toxique pour les graines ou les micro-organismes, dispensable dans l'eau, et offrent une meilleure adhésion et survie aux micro-organismes sur la semence. Ils ont été sélectionnés principalement pour leur capacité à maintenir la viabilité des rhizobiums sur la graine de légumineuse mais on en sait peu sur le mécanisme exact par lequel la survie est améliorée par ces polymères. L'inconvénient majeur est que, lorsqu'il est appliqué avec adhésif, plus de tourbe est retenue sur le tégument, ce qui entraîne une plus longue période de contact entre les bactéries et le toxique composés du pelage. **(Herrmann, *et al.*, 2013).**

Tableau 05. Concentration pour préparation d'adhésifs utilisables pour L'inoculation (% en poids par volume d'eau). (Anonyme, 2004).

Adhésif	Gomme arabique	Methycellulose
Simple inoculation	15%	2%
Enrobage	40%	3 à 4%



Figure 16. Gomme arabique Poudre.



Figure 17. Methylcellulose poudre. (Anonyme, 2011).

III.2.11. Stockage d'inoculum

L'importance d'une période de stockage (pour la maturation et le durcissement) après l'inoculation est reconnue depuis un certain temps. Burton et Curley (1965) ont montré que Rhizobia qui ont été autorisés à grandir et à coloniser les particules de tourbe après l'inoculation, étaient capable de survivre sur les graines plus grand et pendant des périodes plus longues que Rhizobia fraîchement adsorbé en tourbe. Les inoculants sont généralement tenus dans une pièce chaude Température pour stimuler la multiplication. ont noté des tentes,

Plus de croissance de *R. léguminosarum* BV. trifolii lorsque les porteurs de tourbe ont été stockés Pendant au moins quatre semaines après l'inoculation avant d'être utilisé. Après le durcissement, le L'inoculant est généralement maintenu à 4 ° C, cependant, la température utilisée doit être déterminé individuellement parce que la viabilité de certaines souches peut diminuer à ce Température Les conditions de stockage influenceront également le plateau la vie, ainsi affectant la viabilité cellulaire, les caractéristiques physiologiques (comme la sensibilité à séchage), et le temps de l'apparence de la colonie et des nodules. L'étiquetage des inoculants devrait inclure Informations sur l'enregistrement des produits et numéros de lots, la ou les déformations de Rhizobia et d'autres microbes inclus, si des micro-organismes génétiquement modifiés sont inclus, le nombre de cellules garanties par le fabricant et instructions pour une utilisation(Herrmann, *et al.*, 2013).

III.2.12. Normes de qualité inoculum

Les inoculants de légumineuses doivent contenir suffisamment rhizobium de sorte que l'hôte prévu sera de manière satisfaisante nodule dans un sol sans Rhizobium, ou le rhizobium inoculant peut concurrencer efficacement les rhizobiums indigènes dans les sols où la culture a déjà été cultivée. Ce sont des idéalistes normes et impliquent de nombreux sols, environnementaux et biologiques variables. Connaissances et compréhension insuffisantes existent concernant les réponses du microsymbionte et hôte pour sélectionner une norme d'inoculant qui permettrait d'obtenir nodulation par la souche d'inoculum dans toutes les conditions. Par conséquent, des normes artificielles pour les niveaux de viabilité rhizobia dans les inoculants ont été établies dans de nombreux pays .Les normes varient de 1×10^7 à 4×10^9 rhizobium viable par gramme. Certains pays comme les États-Unis (Smith, 1992).

Les États-Unis et le Royaume-Uni quittent la qualité du produit et standard à la discrétion des fabricants. Procédures d'estimation de la population de rhizobiums dans inoculants comprennent la méthode de comptage sur plaque, qui estime les rhizobiums viables et la technique standard d'infection des plantes pour estimer le nombre de rhizobium infecté. Estimations obtenues par le plus probable a été améliorée avec l'utilisation d'un programme informatique qui met des options à la disposition permettre une plus grande flexibilité par l'utilisateur. (Smith, 1992).

Les techniques sérologiques ont également été utilisées avec succès dans contrôle de la qualité des inoculants. L'immunosorbant lié à une enzyme(ELISA) a été utilisé comme test spécifique à la souche technique sérologique. L'immunoblot permet une analyse précise des souches Identification curative et quantification viable, même en cas de contamination (Après

mélange, Burton a recommandé que les inants soient égaux au nombre de rhizobiums. Ces téchinoculants sérologiques être étalé dans un bac ou un plateau peu profond pour un durcissement niques utiliser de nouvelles approches biotechnologiques pour période de 48-72 h à 22-24OC. **(Smith, 1992)**

La procédure en Australie établissant l'identité de la souche ; cependant, ils ne confirment pas (Thompson 1980) consiste à recouvrir l'inoculant d'un film plastique infectieux ou efficace contre les rhizobiums. **(Smith, 1992)**



Chapitre II

Matériel et méthodes

I.1. Le matériel végétal

I.1.1. Caractéristiques de variétés de pois chiche

Etudié de trois variétés de pois chiche (*Cicer arietinum L.*) dont les principales caractéristiques sont résumées dans le tableau :

Tableau 06. Origines et caractéristiques des variétés de pois chiche étudiées.

Génotype	Origine	Cycle végétative	Grosueur des grains	Poids de 100 graines (g)	Caractéristiques	Références
Flip	Syrie	Semi-tardive	Moyenne	32	-Beige clair -Grain lisse -Couleur de fleur blanc -Bon rendement -Supporte le froid (culture d'hiver) -Résistance aux maladies -Bonne valeur culinaire	(Chennafi, 2019)
Rabat	Maroc (sélectionne en Algérie)	Tardive	Grosueur	51	-Beige clair - Grain ridé -Courte à port érigé -Couleur de fleur blanc -Faible résistance au froid et aux maladies. -Elle est semée tardivement pour échapper aux rigueurs de l'hiver. -Très apprécié localement -Ce qui en fait un aliment d'une bonne valeur culinaire.	(Bedrani, et al., 1993)
Tadjna	Local	précoce	Moyenne	42	- Beige clair - Grain ridé	

					- Courte à port Erigé - Couleur de fleur blanc - Feuillage vert jaune- Bonne de valeur culinaire	Bedrani, et al., 1993)
--	--	--	--	--	--	------------------------

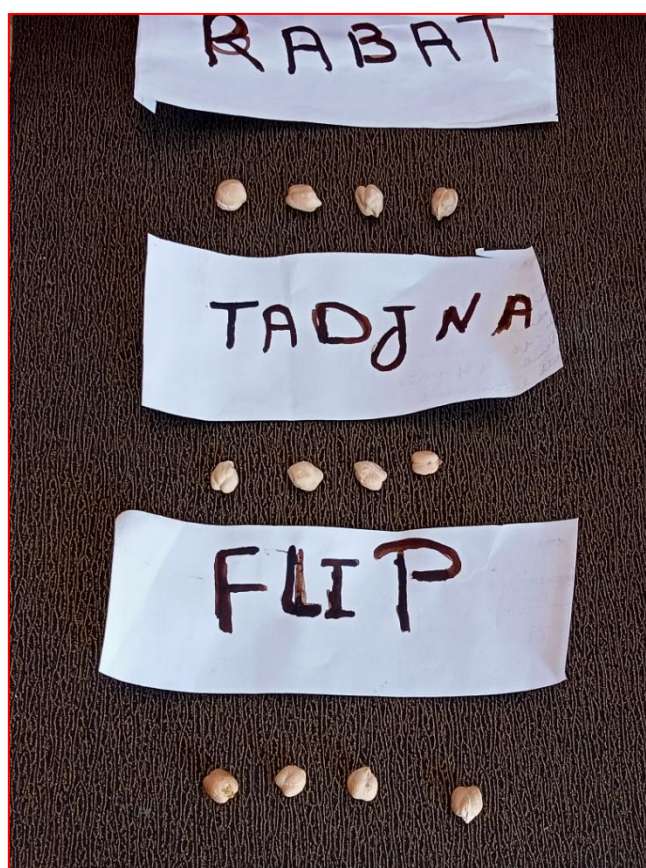


Figure 18. Les variétés de pois chiche étudiées

I.1.2. Bactérie Rhizobiums

• Origine :

Première isolement du rhizobium et vente de cultures pures M.W. Beijerinck a été le premier à isoler le rhizobium de nodules 1888, les termes rhizobium ou Les rhizobia sont utilisés collectivement pour les genres Rhizobium, Bradyrhizobium, Sinorhizobium, mésorhizobium, allorhizobium et azorhizobium, Sauf indication contraire.) Cela a ouvert la voie à l'artificiel Inoculation pour remplacer la méthode du «transfert de sol». ont breveté la première culture pure (Agar) commercialisée Inoculants en Angleterre et aux États-Unis en 1895 Nom Nitragin. (Rhizobial Inoculants for Legume Crops, 2008) (Lupway, *et al.*, 2008).

II.2. Méthode appliqué au pois chiche et culture

II.2.1. Détermination de Poids de cent graines (PCG)

Le Poids des cent grains est la détermination en grammes de la masse de 100 grains entiers. Une quantité de grains de chaque variété est prélevée au pois chiche. Des grains entiers sont ensuite sélectionnés, 100 graines de chaque échantillon sont comptés puis pesés. La classe modale choisie pour l'expérimentation in vivo est la classe.

II.2.2. Teste de germination (taux de germination)

La détermination de la capacité de germination a porté sur un échantillon de 100 graines de chaque variété de pois chiche (Tadjna, Rabat et flip) prélevées de manière aléatoire.

- On prépare trois contenants transparents (boîtes alimentaires), après on met deux couches de papier buvard au fond de chaque contenant, on écrit aussi sur chaque contenant la date du test et le nom de la variété testée.
- Mouiller l'évaporateur avec du papier buvard en prenant soin de ne pas le détremper c'est-à-dire que lorsqu'il est retourné, l'eau ne doit pas s'écouler, sinon les parties des graines pourraient pourrir.
- Placer les graines uniformément sur un papier buvard en laissant un espace (d'au moins trois fois la taille de la graine) entre chaque graine.
- Conserver le contenant dans un environnement chaud, humide et dans l'obscurité. Couvrir les graines de deux couches de papier buvard humide en prenant soin de ne pas les tremper.

II.2.3. Dispositif en blocs aléatoires complets (ou blocs de Fisher)

Le dispositif comporte plusieurs ensembles ou blocs de parcelles où tous les traitements figurent une fois et une seule. Au sein d'un bloc, supposé homogène, les différents traitements sont affectés au hasard. L'intérieur d'un bloc est le plus homogène possible. En revanche, au sein d'un même terrain, les blocs sont les plus différents possibles les uns des autres.

Il est cependant souhaitable d'éviter des différences trop importantes, sources possibles d'interaction entre blocs et traitement. Le dispositif en bloc peut donc compenser des différences connues à l'avance, du moment qu'elles ne sont pas trop importantes. Aucune raison théorique n'impose de placer les blocs les uns à côté des autres. On peut les disposer dans les zones les plus homogènes de la parcelle d'expérimentation. Lorsqu'un gradient de

fertilité est connu ou supposé dans une direction donnée, il faut disposer les parcelles de façon que leur grande dimension soit selon le sens de cette variation¹. En dehors de ce cas il faut chercher à donner aux blocs une forme s'approchant d'un carré afin de réduire au maximum les différences entre parcelles extrêmes.

Afin de réduire les risques d'hétérogénéité, il n'est pas souhaitable d'avoir un trop grand nombre de traitements : 8 à 9 sont possibles, 12 est un maximum (selon leur surface). **(Krishna, 2007)**

III. Méthodes expérimentales

III.1. Méthodes d'inoculation

Pour l'inoculation des graines deux méthodes sont étudiées testées : la méthode d'enrobage et la méthode d'Aspersions.

III.1.1. Méthode enrobage

III.1.1.1. Préparation des supports d'inoculum

Dans la production d'inoculum, plusieurs supports peuvent être utilisés. Les supports que l'on a utilisés dans notre étude est la tourbe.

• Origine

La tourbière est un type particulier de marais où le sol est constitué de végétaux peu décomposés qui se sont accumulés au cours des millénaires. Un mètre de tourbe se forme environ en 1000 ans. C'est le meilleur stock de carbone en surface sur terre. **(Dufrêne, 2019).**

On reconnaît des mousses dans le sol à 80 cm de profondeur sur la photo ci-dessous. Cette couche de tourbe, formée il y a 800 ans environ, renferme encore des morceaux de sphagnum, le principal constituant de la tourbière. Le carbone de cette plante est donc stocké quasi intact dans le sol. Les micro-organismes vivant dans le sol sont responsables de la décomposition des plantes mortes. Ces micro-organismes ont besoin d'oxygène pour vivre. Or il y a très peu d'oxygène dans l'eau d'un marais. C'est la raison pour laquelle les végétaux qui tombent sur un sol gorgé d'eau ne se décomposent pas et s'accumulent, formant ainsi la tourbe. **(Dufrêne, 2019).**

- Volume d'inoculum absorbé par le support (tourbe) :

- Ce volume est déterminé par le calcul de la capacité de rétention qui consiste à additionner 50 ml d'eau distillée avec 20 g de tourbe sèche à 70°C pendant 48 H%, puis agiter pendant 15 minutes.

- Le mélange est filtré à travers un entonnoir contenant du papier filtre au-dessus d'un flacon et laissé pendant une nuit (**Fig.19**) .

Après la décantation, on pèse le volume d'eau absorbée où on calcule le volume d'eau absorbée par la différence entre la valeur initiale et le volume collecté, correspondant au volume d'induction d'absorption.

Le volume d'inoculum est compris entre 40-60% de cette valeur (pour 100 g de tourbe, 195 ml d'eau distillée).



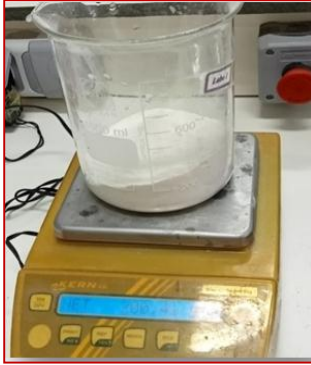
Figure 19. Evaluation du volume de la suspension bactérienne pour inoculer le Support.

III.1.1.2. Préparation de l'adhésif

Le type d'adhésif utilisé est la gomme arabique (40%). L'adhésif est obtenu en chauffant 500 ml d'eau distillée puis en ajoutant 200 g de gomme arabique.

- Agiter à chaud environ 170°C jusqu'à complète dissolution (**Fig.20**).
- Laisser refroidir.

Poids de la gomme
arabique 200g



Chauffant d'eau
500ml



Agiter d'adhésif (solution de la
gomme arabique) à environ
170°C



Figure 20. Préparation de l'adhésif.

III.1.1.3. Méthode enrobage

Pour réaliser l'enrobage, la préparation du mélange semences -inoculum adhésif doit se faire juste avant le semis dans un endroit frais et à l'arbi du soleil.

- Nous stérilisons la tourbe avec un autoclave à une température de 120°C (**Fig.21**).
- Le support stérile facilite la croissance rapide des racines dans l'emballage et une durée de conservation plus longue.



A



B

Figure 21. A : tourbe, B : Autoclave

-Mélanger le volume 117 ml de l'inoculum et 100g de la tourbe puis les semences comme cela a été précédemment décrit. Puis ajouter une solution d'adhésif la gomme arabique et les semences une seule fois .

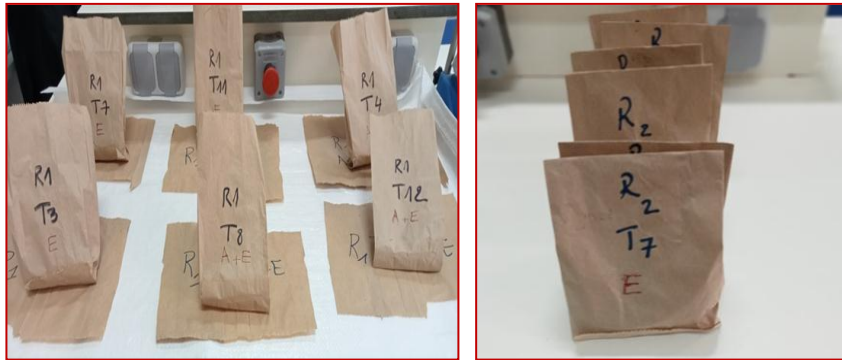


Figure 22. Préparation des semences pour le traitement d'enrobage



Figure 23. Préparation du mélange semences – adhésif.

- Mélanger les graines préalablement lubrifiées avec une solution de gomme arabique avec le mélange d'inoculum et la tourbe rapidement à l'intérieur d'un sac plastique ou contenant transparents (boîtes alimentaires) (**Fig.24**).



Figure 24. Ajouter le mélange semences – adhésif avec le mélange l'inoculum et la tourbe

- les graines sont purifiées à partir de sac en plastique ou dans un boîte transparent (boîtes alimentaires) et laisser sécher pendant toute la nuit (**Fig.25**).

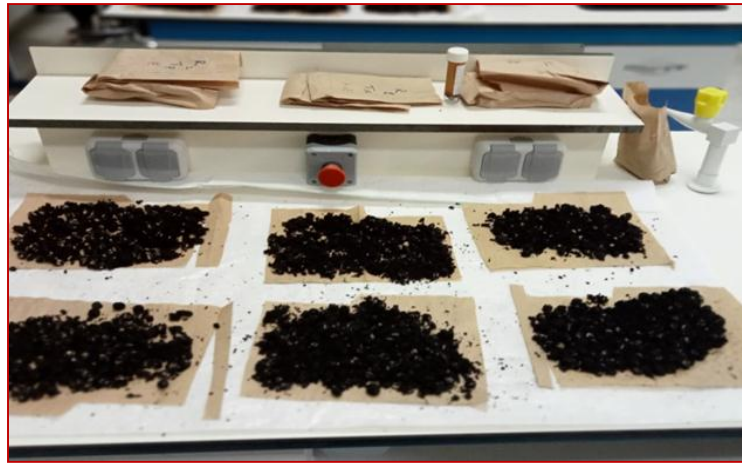


Figure 25. Séchage des semences

III.2. Descriptions de l'expérimentation dans terrain

La opération de semis des 03 variétés du pois chiche Rabat, Tadjna et Flip sur une parcelle le 28/29 janvier 2022, avant la mise en place des traçages de terrain au semis. La préparation du terrain pour la plantation s'effectue comme suit :

Le précédent cultural de la parcelle d'essai est une culture de pomme de terre Les techniques culturales appliquées pour notre expérimentation sont :

- Utilisation du cover-crop le 17janvier 2022.
- Irrigation de terrain par pivot :
 - Avant des semis en date : 27janvier 2022.
 - Après des semis : 30janvier 2022.

Le travaille de sol de laboure par un Rota-vator le 27 janvier 2022et le hersage au moyen du Roto- herse puis on commence avec Rouleau –lisse (**Fig.27**) qui permet le traçage des sillons, cette opération est effectuée en deux phases :

- Le avant de semis en date du : 27/01/2022.
- Le après des semis en date du : 30/01/2022.

L'Ensemencement des grains de pois chiche selon le plan de semi le 28/29 janvier 2022 comme suit :

II.2.1. Dispositif expérimentaux en parcelles divisées

Le protocole expérimental adopté est Dispositif en blocs aléatoires completsavec trois blocks (trois répétition). La superficie totale de L'essai est **782.4 m²** .Chaque block est constitué 12 micro parcelle d'une superficie 10.8 m² d'une longueur 1.80 m et d'une largeur 6

m, la densité de plantation sont entre les lignes 0.6 m et entre la plante 0.4 m (plantez 2 grains au même trou) dans chaque micro parcelle constituée 60 paires de grains. Correspondant aux trois variétés étudiées a réparti les différents traitements (04traitements), (voir figure 26).

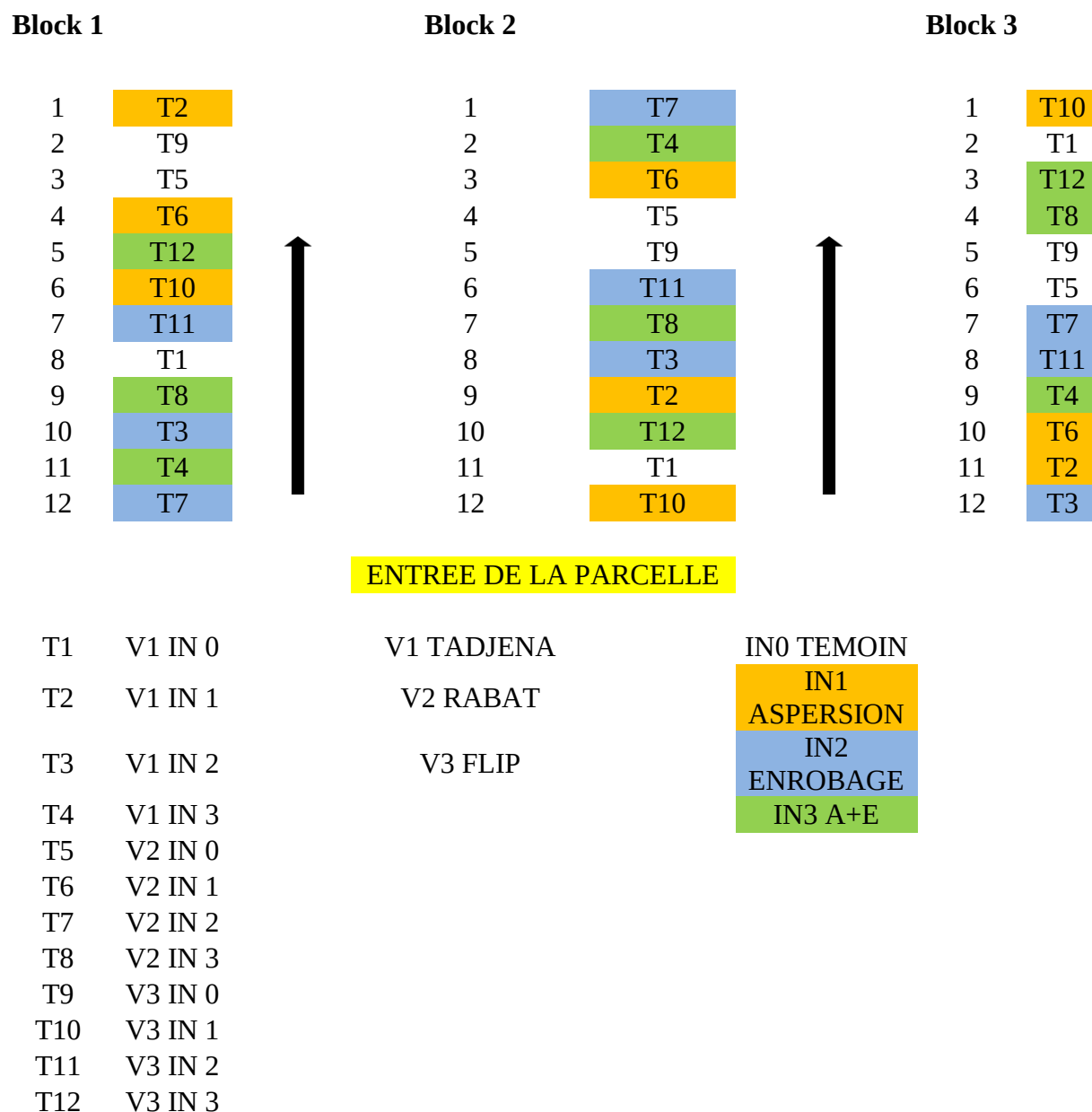


Figure 26. Schéma représentatif du dispositif expérimental



Figure 27. Rouleau lisse



Figure 28. Traçages du terrain.



Figure 29. L'Ensemencement des grains de pois chiche manuellement

III. 3. Méthode Aspersión

Les graines du pois chiches traitées par Aspersión (**Fig.31**) à raison de 0,2 L/parcelle du inoculant, pendant le couché du soleil dans cheque blocks (T2, T6, T10).

Cette opération est effectuée en deux phases :

- La première en date du : 11/02/2022.
- La deuxième en date du : 07/03/2022.au stade trois feuilles



Figure 30. Appareille de pulvérisation.

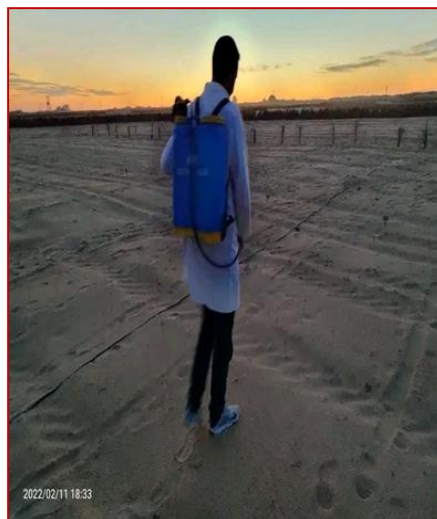


Figure 31. Traitement d'aspersión 11/02 et 07/03/2022.



Chapitre III

Résultat et discussion

I.1. Caractérisation de climat

Les caractéristiques climatiques durant la période de notre expérimentation de Février (semis) jusqu'au mois de Mars (fluorisation) de l'année 2022. Concernant les températures (T°) minimales et maximales ainsi que la vitesse du vent et humidité H% enregistrées durant cette période d'expérimentation sont ceux des données. (Tutiempo.net, 2022)

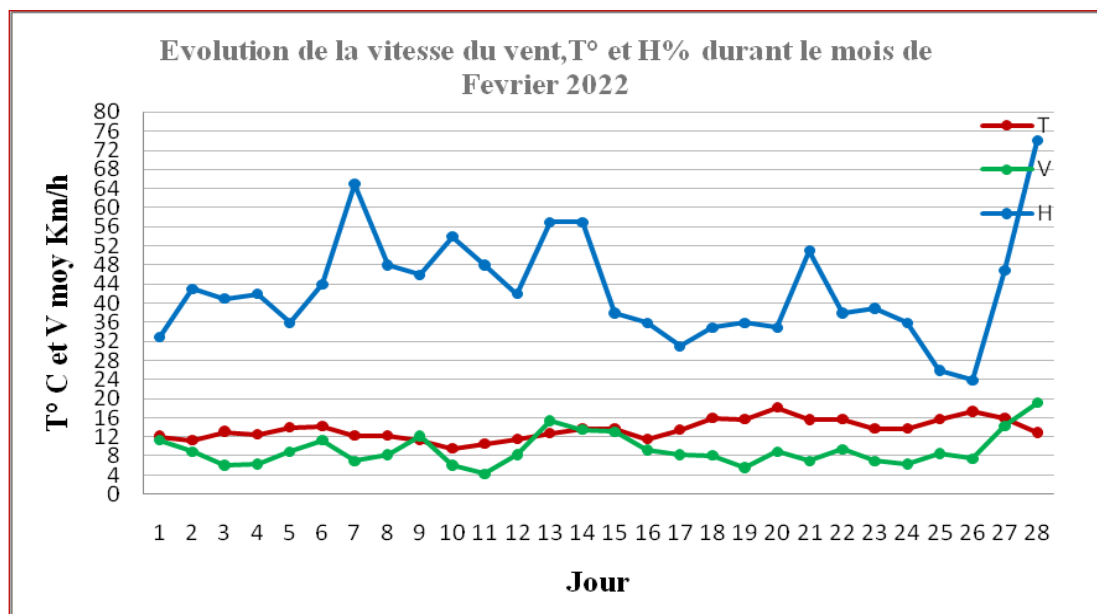


Figure 32. Evolution de la vitesse du vent, T° et H% durant le mois de février 2022.

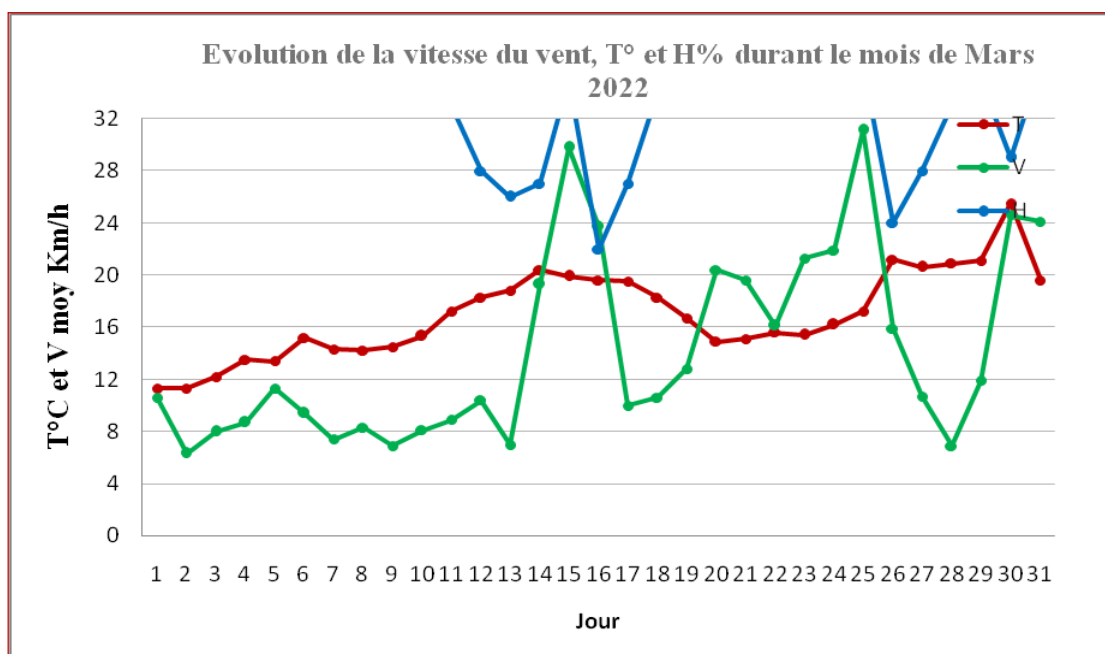


Figure 33. Evolution de la vitesse du vent, T° et H% durant le mois de Mars 2022.

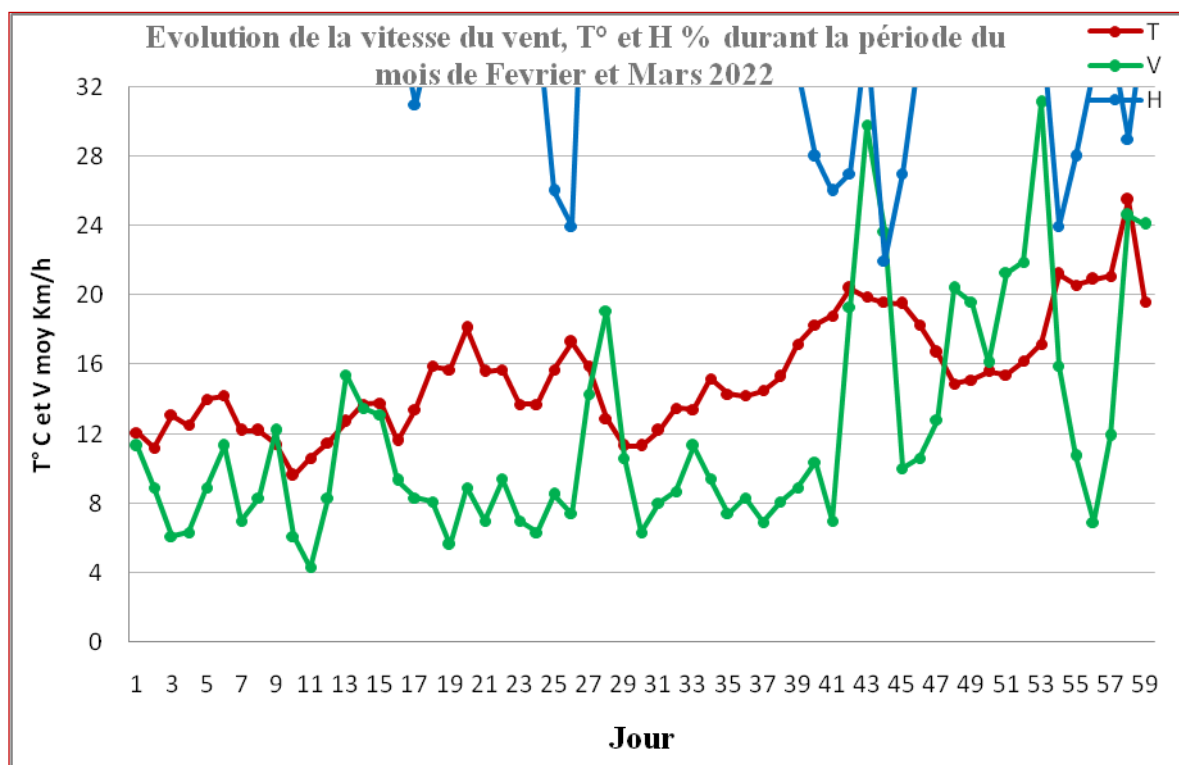


Figure 34. Evolution de la vitesse du vent, T° et H% durant la période du moins de Février et Mars2022.

I.2. Caractéristiques du matériel végétal (pois chiche)

Dans le présent travail, nous avons déterminé quelques caractéristiques des semences de 3 variétés de pois chiche (*Cicer arietinum* L.). (Rabat, Tadjna et Flip)

I.2.1. Détermination des histogrammes de fréquences de poids des grains (HFPG)

La détermination de la fréquence des poids des graines de pois chiche à caractériser la semence sur un plan purement agronomique, mais aussi à déterminer les classes modales de poids des différentes variétés au cours de l'expérience étudié dans ce travail. En effet, pour réduire la variabilité des résultats liée à la différence de poids des graines, il est impératif d'analyser les variétés en utilisant la même classe de poids des graines.

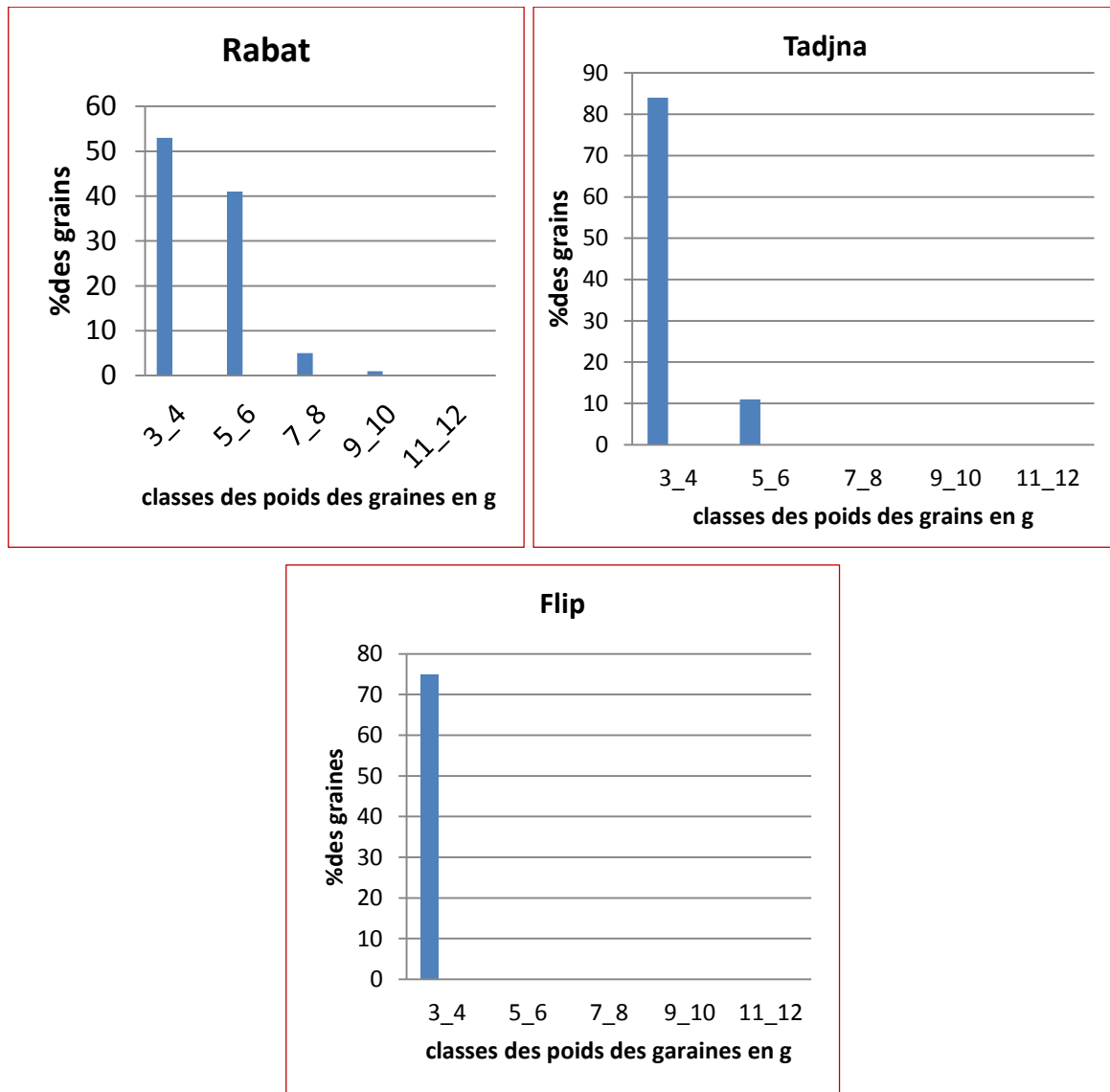


Figure 35. Histogrammes de fréquences de poids des graines des variétés pois chiche (*Cicer arietinum* L.). (N=100 graines).

Selon de (fig. 35) on a observé à histogrammes nous permettent de distinguer 3 grands groupes de graines, en fonction de leurs poids :

- Des poids élevés enregistrés chez la variété rabat (7-9 g).
- Des poids faibles chez la variété flip (3-4 g).
- Des poids moyens chez la variété Tadjna (5-6 g).

L'analyse des poids des graines pois chiche (*Cicer arietinum* L.) est un paramètre qui décrit la capacité d'accumulation des substances de réserves en conditions environnementales optimales.

Ces résultats montrent que la variété Rabat qui présente des grains avec une capacité de réserve élevée. Tandis que la variété qui présente une capacité de stockage faible est la variété flip

Tableau 07. Poids des graines des variétés pois chiche (*Cicer arietinum L.*). (N=100 graines).

Variétés	Rabat	Tadjna	Flip
Poids des 100 grains (g)	52.0298	41.1539	32.9101

I.2.2 Détermination du pouvoir germinatif (DPG)

La capacité de germination des grains est une caractéristique biologique importante (Fig. 36).

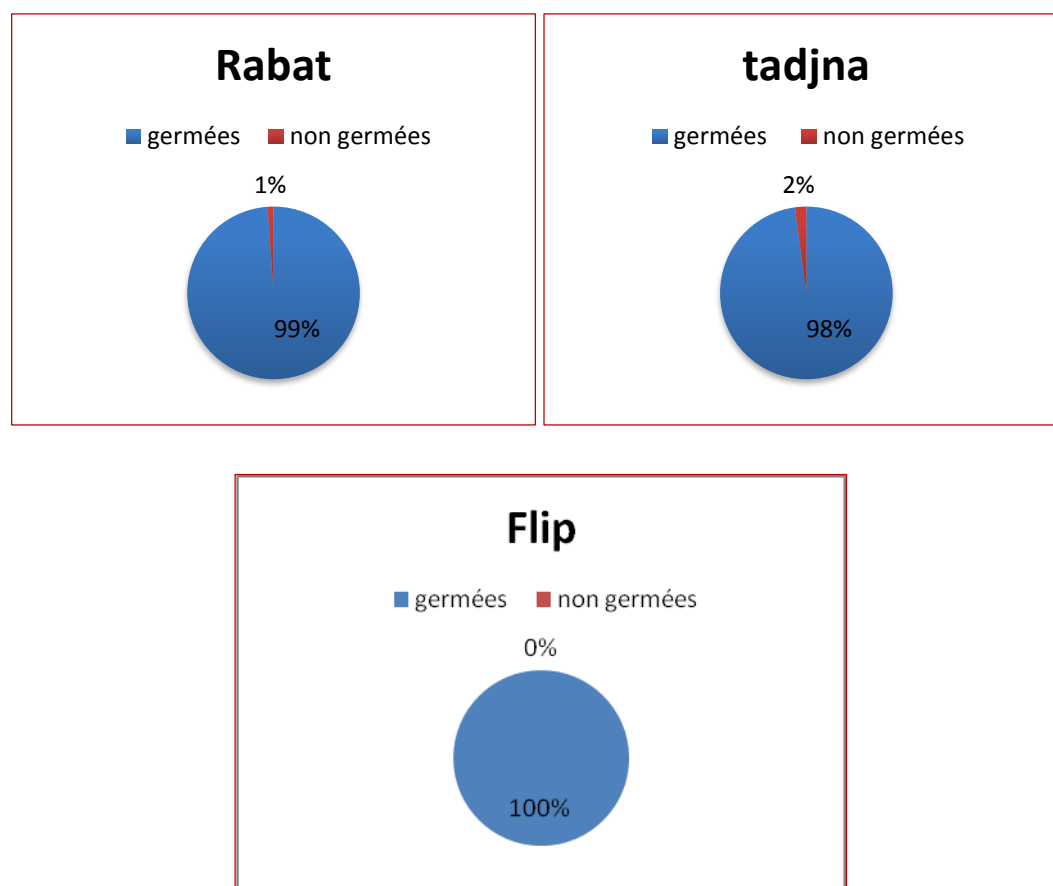


Figure 36. Cercle relativiste des valeurs exprimées en (%) du taux de germination des trois variétés de pois chiche (*Cicer arietinum L.*) étudiées.

D'après la (Fig.36) on constate que le pourcentage de la germination permet de connaître la capacité germinative(ou le taux de germination) d'un lot de graines,. Évolue Le

taux de germination des variété de pois chiche (*Cicer arietinum* L.) étude dans les 7 jours d'incubation avec un taux supérieur à 50% de germination .Il faut signaler qu'il s'agit là d'une formule générale qui permet une analyse globale de la vitesse de germination . La variété Rabat atteignent jusqu'à 99% de germination, la variété Tadjna 98% et la variété Flip 100%, après 7 jours.

Cette expérience nous a permis d'évaluer le taux de germination parmi les cultivars de pois chiches étudiés, où le taux de germination qui avaient un environ 100 %.

I.3. Etudes des paramètres morphologiques

I.3.1. Influence de l'inoculation sur la croissance végétative des trois variétés de pois chiche (*Triticum durum* L.) (CV)

Les courbes graphiques suivants montre l'influence du traitement d'inoculation selon les trois modes d'action (E : enrobage. A : aspersion et A+E : aspersion et enrobage) par rapport les témoins sur le développement végétatif de trois variété étudiées du pois chiche.

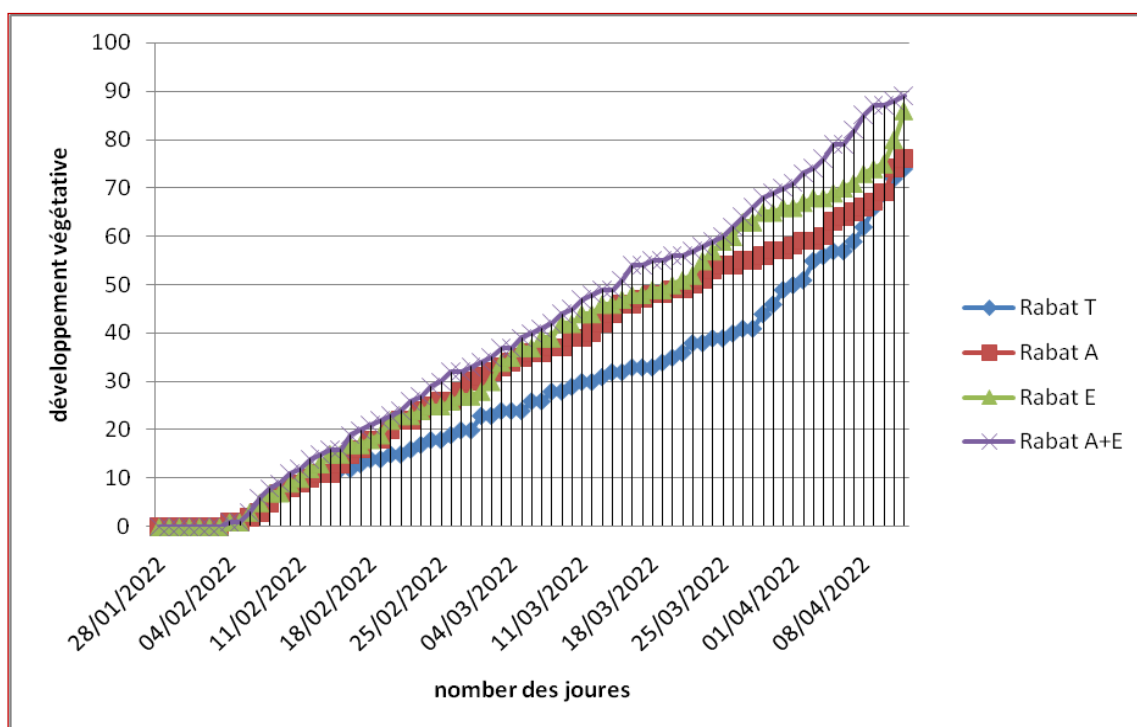


Figure 37. Influences de l'inoculation sur la croissance végétative de variété Rabat.

Selon les résultats obtenus dans la (Fig.37), on a remarqué que les modes d'actions pour la variété Rabat montre que l'aspersion + enrobage et enrobage donnent un bon développement végétatif par rapport les autres modes d'actions.

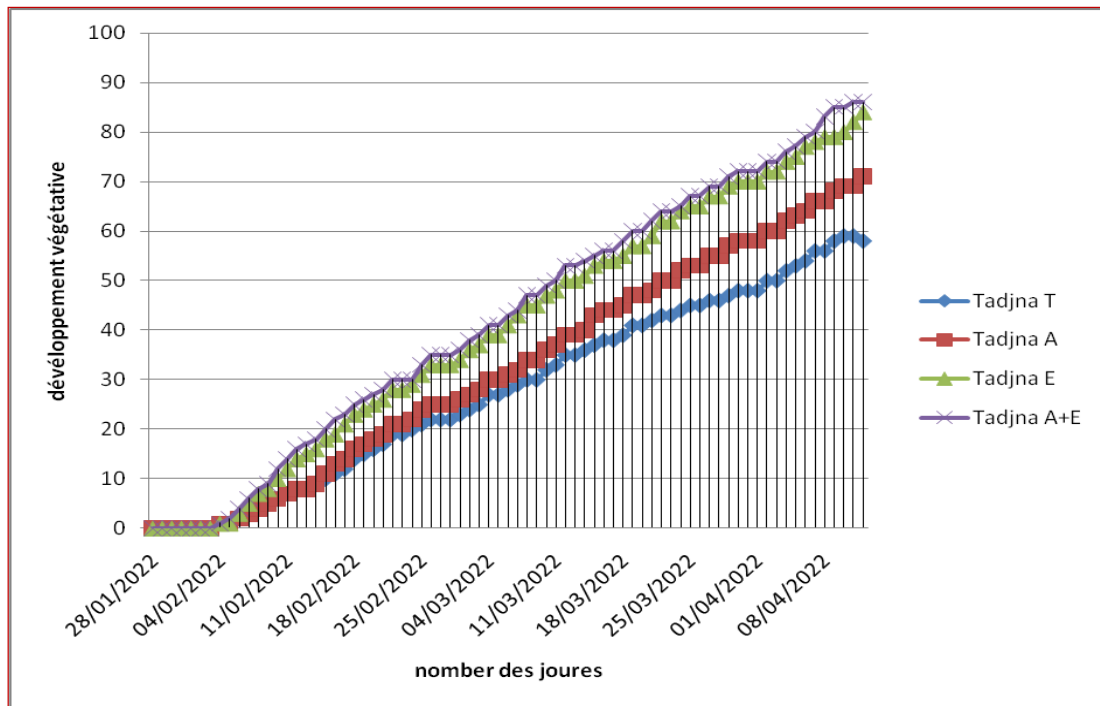


Figure 38. Influences de l'inoculation sur la croissance végétative de variété Tadjna.

Selon les résultats obtenus dans la (Fig.38), on a remarqué que les modes d'actions pour la variété Tadjna montre que l'aspersion + enrobage et enrobage donnent un bon développement végétatif par rapport les modes d'actions aspersion.

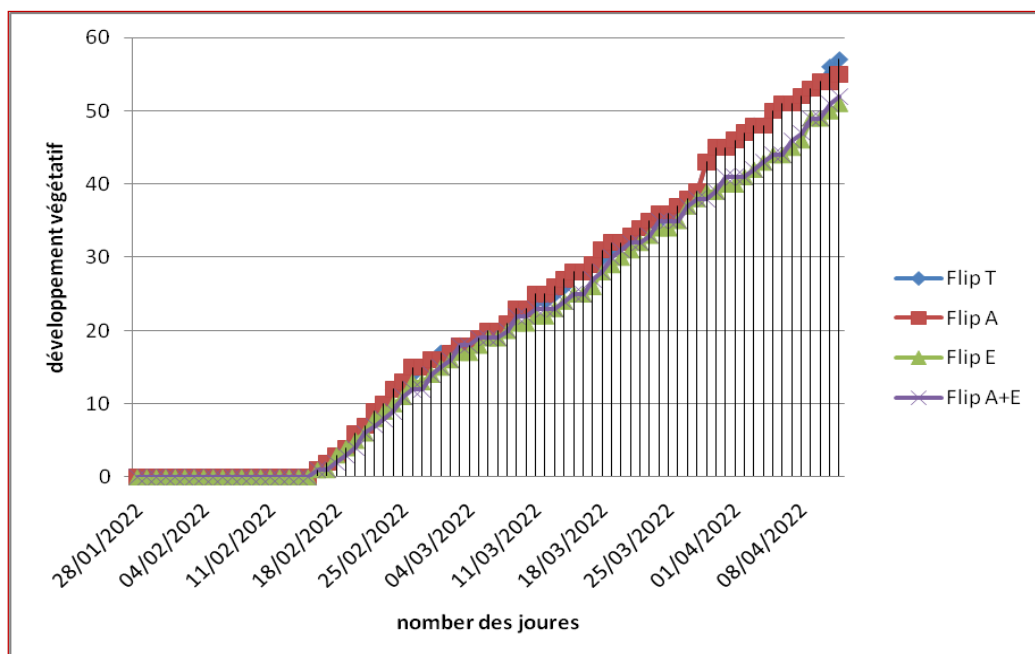


Figure 39. Influences de l'inoculation sur la croissance végétative de variété Flip.

A travers les résultats obtenus dans la **fig.39**, on a observé que l'influence de l'inoculation sur le développement végétatif est très faible par rapport le témoin Flip.

D'après ces résultats, on peut conclure que les variétés Rabat et Tadjna sont influencées par le traitement inoculation (selon deux modes d'actions : aspersion+ enrobage par rapport la variété flip, cependant la variété Rabat donne une meilleure réponse dans ce traitement.

Ces résultats reviennent au cycle végétatif des variétés étudiées où la variété Rabat et Tadjna sont tardives, ce qui explique le résultat positif d'inoculation sur le développement végétatif. Cela nous permet de dire que la variété flip est une variété semi-tardive, ce qui explique également l'influence faible de l'inoculation sur le développement végétatif de cette



Figure 40. Développement végétatif des trois variétés de pois chiche.

I.3.2. Influence de l'inoculation sur les Tailles végétative des trois variétés de pois chiche (*Triticum durum L.*)(TV)

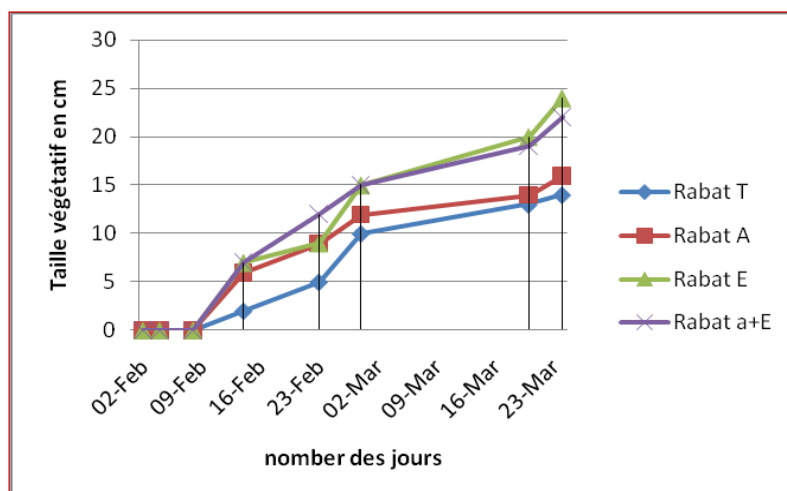


Figure 41. Evolution de taille végétative de la variété Rabat.

D'après les résultats obtenus dans (**fig. 41**), on observé que la variété Rabat traitée par (l'aspersion + enrobage) donne une augmentation de Taille végétatif par rapport les autres variétés traitées par (aspersion, enrobage).

L'influence est faible par l'inoculation soit en traités Aspersion, soit en Enrobage ou A+E pour le témoin. Cela est dû à ceci s'explique par les caractères génétiques et héréditaires de chaque variété étudiées (culture d'hiver).

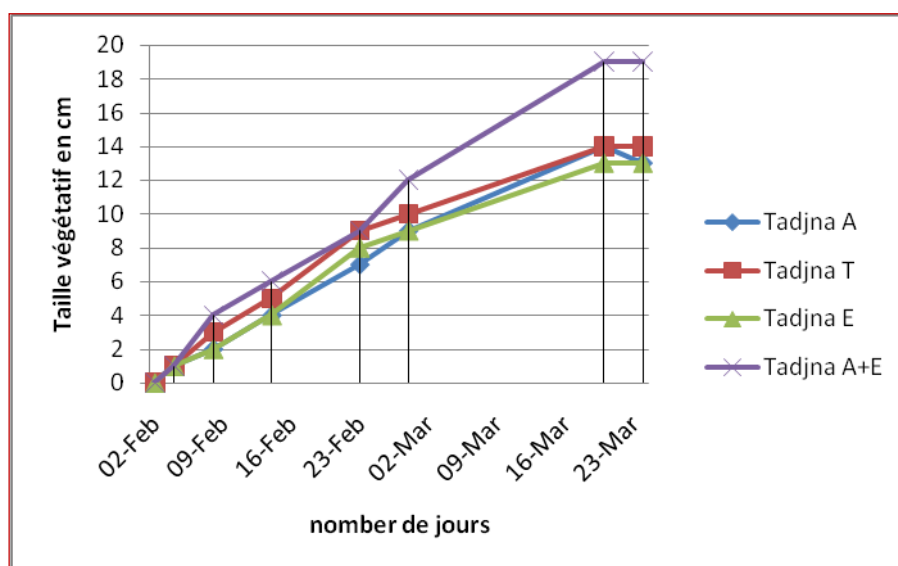


Figure 42. Evolution de la taille végétative de la variété Tadjna.

Selon les résultats dans (**fig. 42**), on a remarqué que la mode action de la variété Tadjna que l'aspersion +enrobage enregistre une augmentation marquée dans la taille végétative par rapport les autres modes d'action.

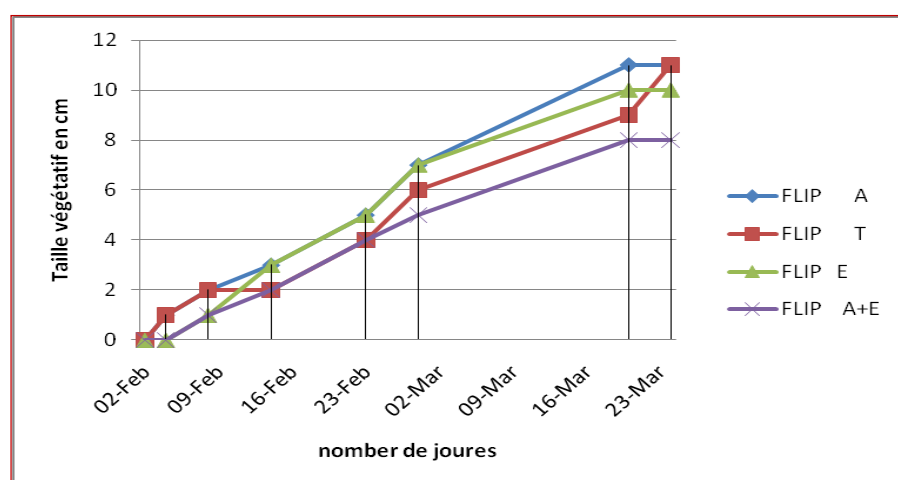


Figure 43. Evolution de la taille végétative de la variété Flip.

Les résultats dans la (**fig. 43**) montre que de la variété Flip ne sont pas affectées par l'inoculation sur la taille végétative par rapport le témoin Flip.

D'après les résultats obtenus dans les courbes graphiques précédents, on conclue que la taille végétative de la variété Rabat est influencée par l'inoculation aspersion+enrobage par rapport les autres variétés.

Les caractères morphologiques (taille des graines) des trois variétés étudiées expliquent les résultats montrés par les courbes graphiques de la taille végétative de ces trois variétés.

I.3.3. Influence de l'inoculation sur le nombre moyen des gousses des trois variétés de pois chiche (*Triticum durum* L.) (NMG)

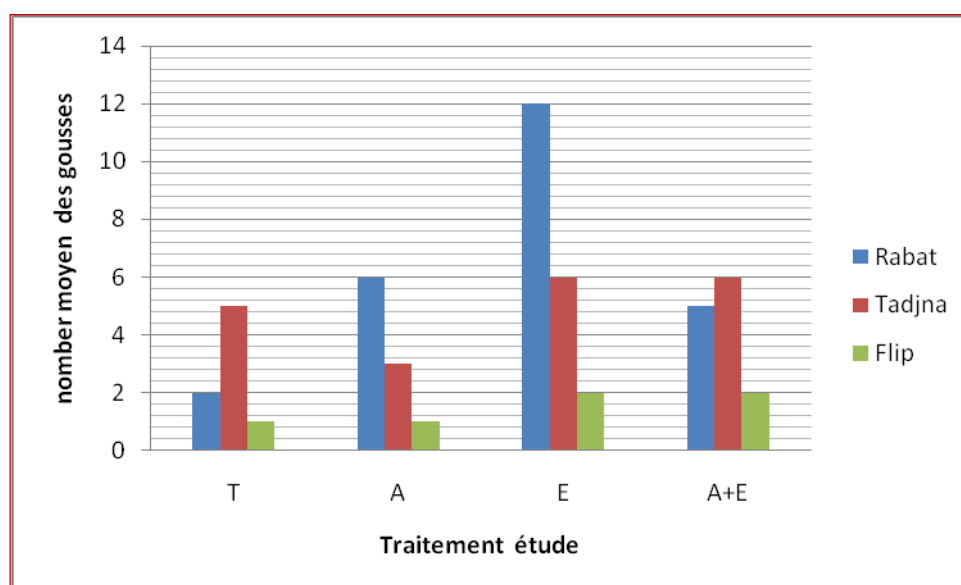


Figure 44. Influence de l'inoculation sur la moyenne du nombre des gousses des 03 variétés du pois chiche.

Selon les résultats obtenus dans la (**fig.44**), on a remarqué que le nombre des gousses pour la variété Rabat du mode d'action enrobage est nombreux par rapport aux autres modes d'action où il a atteint 12 gousses.

La deuxième remarque est que le nombre des gousses de la variété Tadjna traités par les deux modes d'action (enrobage+ aspersion) et enrobage est plus par rapport le mode d'action aspersion où il a atteint 6 gousses.

Concernant la troisième remarque, on peut dire que la variété Flip n'a pas affecté par le traitement d'inoculation où le nombre des gousses a atteint 2 gousses.

I.3.4. Influence de l'inoculation sur le nombre moyen des gousses par plante des trois variétés de pois chiche (*Triticum durum* L.) (NMGP)

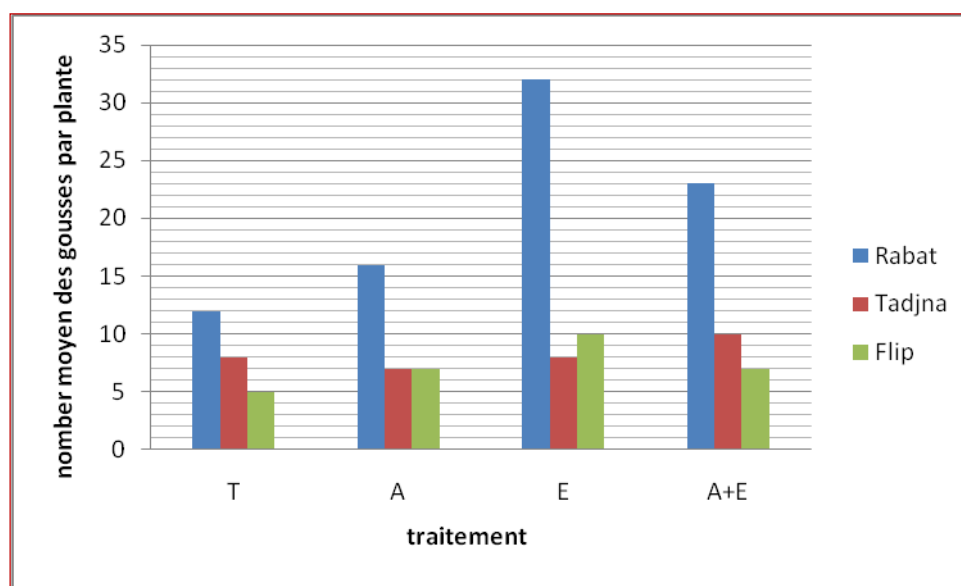


Figure 45. Influences de l'inoculation sur la moyenne du nombre des gousses par plante des 03 variétés du pois chiche

D'après la (Fig. 45), on a remarqué que la moyenne du nombre des gousses par plante pour la variété Rabat traité par le mode action enrobage est plus que d'autres modes d'action.

Pour la variété Tadjna, il donne un meilleur résultat dont le nombre moyen des gousses traité par le mode d'action aspersion+ enrobage par rapport aux autres modes d'action.

Selon les résultats, on a remarqué que la variété flip enregistre une augmentation du nombre des gousses par plante traité par le mode d'action (enrobage) par rapport aux autres modes d'action.

Les (Fig. 44 ,45) montrent que la variété Rabat est la plus influencée par l'inoculation de mode d'action enrobage dans les nombres des gousses par rapport aux autres variétés.

I.4. La nodulation :

Les conditions climatiques (le vent et la température) expliquent le résultat négatif de la formation des nodules racinaires sur les trois variétés. (voi fig.32,33,34).



Figure 46. La racine des variétés de pois chiche étudiées.

4. Discussion générale

A travers l'analyse des résultats obtenus, on peut conclure le suivant :

Les variétés de pois chiche étudiées présentent une capacité germinative élevée où le taux supérieur 100% de germination a été enregistré par la variété Flip.

Selon l'étude, les conditions climatiques étaient assez favorables pour la croissance du pois chiche au début du cycle végétatif, ce qui a donné un bon développement pour les variétés Rabat et Tadjna.

Concernant le développement végétatif, on peut conclure que le traitement par l'inoculation n'a aucun effet sur le stade de ramification (ramification précoce) où on a remarqué que l'inoculation a un effet sur la stade de floraison (floraison précoce) ce qui donne une diminution du nombre de jours de stade de la formation et du remplissage des gousses, ainsi cette diminution du temps est nécessaire pour leurs maturités. Cela est essentiel à la capacité d'inoculation sur la vitesse de floraison et l'ouverture précoce des fleurs. L'action d'inoculation est importante sur le développement végétatif traité par l'enrobage et asperasion + enrobage par rapport aux traitées Aspersion pour les variétés Rabat et Tadjna.

Les mesures des paramétrer morphologique montre que le traitement des trois variétés étudiées du pois chiche par l'inoculation sur le développement végétatif a un effet sur l'augmentation de la taille végétative des plante traités par Enrobage et A+E par rapport aux traités par Aspersion, en particulier la variété Rabat qui enregistre une taille végétative marquée.

En ce qui concerne les résultats de moyenne du nombre des gousses qui montrent que la deux variété du pois chiche Rabat traité par l'inoculation de mode d'action enrobage permet

de donner une augmentation du nombre des gousses. Où l'action d'inoculation a un effet sur l'augmentation du nombre des gousses.

Pour conclure, on peut dire que le traitement d'inculcation favorise le développement végétatif pour les deux modes d'action par Enrobage et A+E et également améliore les caractères morphologiques de la variété Rabat et Tadjna, en particulier la variété Rabat.

Concernant les nodules racinaires, les conditions climatiques ont été défavorables à la formation de nodules raciner sur les trois variétés étudiées du pois chiche.



Conclusion

Conclusion

L'objectif de cette étude expérimentale consiste à déterminer l'effet d'inoculation sur le développement de trois variétés de pois chiche « *Cicer arietinum.L*, selon trois modes d'action (Aspersion, Enrobage et aspersion+enrobage), également à améliorer le rendement et les effets sur le phénomène de nodulation racinaire. Cette étude est effectuée dans la région Hadhoudi à Ouarmes de la Wilaya d' El-Oued, saison agricole 2021/2022 tout en basant sur la sélection des trois variétés de pois chiche (Rabat, Tadjna et Flip). L'expérimentation a été appliquée selon le système blocs aléatoires complets. Il s'agit de cultiver une parcelle de terrain ou de répartir les différents traitements : 04 traitements, 03 répétitions des 03 variétés de pois chiche, donc 36 unités expérimentales.

Notre étude a montré que le traitement d'inoculation selon les deux modes d'action (Enrobage et aspersion+enrobage) a affecté toutes les variantes étudiées et aussi a augmenté la croissance végétative.

Cet effet d'inoculation était apparent à travers les changements de caractères morphologiques sur les deux variétés étudiées du pois chiche (Rabat et Tadjna) :

- Taille végétative pour la variété Rabat traité par enrobage , où il a atteint 25 cm et traité par aspersion +enrobage , où il a atteint 24 cm
- Taille végétative pour la variété Tadjna traité par aspersion +enrobage ,
- où il a atteint 19 cm
- Nombre des gousses pour la variété Rabat traité par enrobage , où il a atteint 12 gousses
- Nombre des gousses pour la variété tadjna traité par enrobage et traité par aspersion +enrobage , où il a atteint 6 gousses

Cette expérimentation montre que la variété Rabat est la plus influencée par cette inoculation à travers le développement végétatif. Notons que les graines de cette variété ont une capacité de réserve élevée.

En effet, le résultat négatif de formation des nodules racinaires était à cause des conditions climatiques qui ont été défavorables à la formation de ces nodules sur les trois variétés étudiées. Ces nodules ont joué un rôle important dans l'amélioration et l'augmentation de la production. Malgré ce résultat négatif du phénomène des nodules racinaires, cependant le traitement d'inoculation a donné des résultats positifs sur les variables étudiées et l'amélioration du rendement.



Références Bibliographies

Bibliographies

Abdelguerfi, Abdelguerfi-Laouar M.i, et al. 2001. EVALUATION DE QUELQUES CULTIVARS LOCAUX. *Revue de la Recherche Agronomique d'Algérie* . 1 INRAA station de Mehdi Boualem, Laboratoire des Ressources Phytogénétiques. Alger., 2001,p 32.

Afkir, Meriem, Benharket, Amina et Mokaddem, Imane. 2020. Isolement et caractérisation des bactéries nodulantes le pois chiche en. s.l. : Université Djilali Bounaama Khemis Miliana, 2020. p. 5.

Ali Slimane Sara. .2017 Réaction de quelques lignées de pois chiche (*Cicer arietinum* L.) vis-à-vis des pathotypes I et III de *Ascochyta rabiei* (Pass.) Labr., agent causal de l'anthracnose et effet du parasite sur la teneur en flavonols, en azote et en chlorophylle. 2017 , p.6.

Ali Slimane Sara. .2017 Réaction de quelques lignées de pois chiche (*Cicer arietinum* L.) vis-à-vis des pathotypes I et III de *Ascochyta rabiei* (Pass.) Labr., agent causal de l'anthracnose et effet du parasite sur la teneur en flavonols, en azote et en chlorophylle. 2017 , p10-11.

Anonyme,2019Génotypes de pois chiche (*cicer arietinum* L.) testés pour leur réponse aux conditions pluviales*REVUE AGRICULTURE*Revue semestrielle – Université Ferhat Abbas Sétif 110(2) : 68 – 76, (2019)

Anonyme. 2015. Legume Seed Inoculation. *United States Department of Agriculture*. Natural resource Conservation ServiceTechnical Note No:TX-PM-15-01, February , 17, 2015, p. 1.

Anonyme, 2017. Technique de l'inoculation des plantes avec des micro-organismes symbiotiques*Task Force multi-acteurs pour la promotion de l'Agroécologie au Sénégal*Task Force multi-acteurs pour la promotion de l'Agroécologie au Sénégal

Anonyme2017 Technique de l'inoculation des plantes avec des micro-organismes symbiotiques*Task Force multi-acteurs pour la promotion de l'Agroécologie au Sénégal*Task Force multi-acteurs pour la promotion de l'Agroécologie au Sénégal1

Anonyme, 2017.Technique de l'inoculation des plantes avec des micro-organismes symbiotiques. *Task Force multi-acteurs pour la promotion de l'Agroécologie au Sénégal*. 06 joan 2017, p. 1.

Anonyme , 2004.TECHNIQUES D'INOCULATION ET D'ENROBAGE. Document obtenu sur le site Cirad du réseau <http://agroecologie.cirad.fr>.

Anonyme,2019,www.aquaportail.com<https://www.aquaprotail.com/definition-1111/rhizobium.htm> -

Anonyme;2009www.aquaprotail.com<https://www.aquaportail.com/definitin-5469-nodosite.html>

Bedrani·et al., .1993 .La vulgaris ation de la culture du pois chiche dans la wilaya de Sétif. *CIHEAM - Options Méditerranéennes*. h ttp://om.cih eam.org/article.php p?ID PD F=93400072 ,1993 ,(1) , p121.

Bedrani, s (comp.), et al. 1993. La vulgaris ation de la culture du pois chiche dans la wilaya de Sétif. *Cahiers Options Méditerranéennes*. <http://www.ciheam.org/>, 1993, n. 2(1), p. 121.

Bellemou, Djihad. 2020. Diversité et structuration génétique du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) local (Algérie). s.l. : ÉCOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE – EL HARRACH- ALGER, 13 sep 2020. p. 13.

Bellemou, Djihad. 2020. Diversité et structuration génétique du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) local (Algérie). s.l. : ÉCOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE – EL HARRACH- ALGER, 13 sep 2020. p. 13-14.

Bellemou, Djihad. 2020. Diversité et structuration génétique du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) local (Algérie). s.l. : ÉCOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE – EL HARRACH- ALGER, 13 sep 2020. p. 15-16.

Bouamama Meriem , Harcha Hanane. .2016 Etude de l'antagonisme entre certaines espèces du Mesorhizobium nodulaires et leur effet sur l'alimentation phosphaté et sur l'amélioration de tolérance pour Zinc du pois chiche. Université des Frères Mentouri Constantine.2016 ‘

Bouزيد LJ, Zine F.i, Hamdi N.2, Bouزيد H.^ et Zidouni F.^ Abdelguerfi-Laouar M.i. .2001EVALUATION DE QUELQUES CULTIVARS LOCAUX. *Revue de la Recherche Agronomique d'Algérie*. 9 Décembre, 2001, p32

Bouزيد LJ, Zine F.i, Hamdi N.2, Bouزيد H.^ et Zidouni F.^ Abdelguerfi-Laouar M.i. 2001. Evaluation de quelques cultivars locaux de pois chiche, dans la région de. *Revue de la Recherche Agronomique* . 9 Décombres, 2001, p32.

Burton, Joe C and D, Ph. 1984. LEGUME INOCULANT PRODUCTION. [book auth.] Nakao Patty and Keyser Harold Ekdahl Sally. *LEGUME INOCULANT PRODUCTION*. USA : NifTAL Center - MIRCEN, 1984, p. 1.

Burton, Joe C and D, Ph. 1984. LEGUME INOCULANT PRODUCTION. [book auth.] Patty Nakao and Harold Keyser Sally Ekdahl. *LEGUME INOCULANT PRODUCTION*. USA : NifTAL Center - MIRCEN, 1984, p. 11.

Burton, Joe C and D, Ph. 1984. LEGUME INOCULANT PRODUCTION. [book auth.] Patty Nakao and Harold Keyser Sally Ekdahl. *LEGUME INOCULANT PRODUCTION*. USA : NifTAL Center - MIRCEN, 1984, p. 21.

Challenges of formulation and quality of biofertilizers. Appl Microbiol Biotechnol (2013) 97:8859–8873, 2013, p. 8863.

Chennafi, H. (2019). Génotypes de pois chiche (*cicer arietinum* L.) testés pour leur réponse aux conditions pluviales. *REVUE AGRICULTURE* (10(2) : 68 – 76, (2019)).

Chennafi, H. (2019). Génotypes de pois chiche (*cicer arietinum* L.) testés pour leur réponse aux conditions pluviales. *REVUE AGRICULTURE* (10(2) : 68 – 76, (2019)).

David Herridge. : 2016 *Rhizobial Inoculants* ,Grains rsearch & développement copporation . 2016

Dekkiche, Samia. 2018. Diversités taxonomique et moléculaire des rhizobiums nodulant le pois chiche (*Cicer arietinum*L.), dans l'Est Algérien. s.l. : Université des frères Mentouri Constantine-1, 2018. pp. 26-27.

Dufour, Lydie, Metay, Aurélie et Mahieu, Stphanie. 2010. *Programme Intégré de Recherche en Agroforesterie à Restinclières*. s.l. : Document remis au Conseil General du Département de l'Hérault, 2010. p. 26.

Dufour, Lydie, Metay, Aurélie et Mahieu, Stphanie. 2010. *Programme Intégré de Recherche en Agroforesterie à Restinclières*. s.l. : Document remis au Conseil General du Département de l'Hérault, 2010. p. 26.

Dufrêne, Marc. 2019. Les liens oubliés le climatet la biodiversité. *le magazine natagira* 92. Université de Liège – Gembloux Agro-Bio Tech,, 2019, p. 11.

GUISSOUS, H., & Tayeb Hammani, A. (2016). Etude de quelques facteurs épidémiologiques de la fusariose. *Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A. , 7. Sciences Biologiques.*

Herrmann, Laetitia and Lesueur, Didier. 2013. Challenges of formulation and quality of biofertilizers. *Appl Microbiol Biotechnol* (2013) 97:8859–8873, 2013, p. 8861.

Herrmann, Laetitia and Lesueur, Didier. 2013. Challenges of formulation and quality of biofertilizers. *Appl Microbiol Biotechnol* (2013) 97:8859–8873, 2013, p. 8862.

Herrmann, Laetitia and Lesueur, Didier. 2013. Challenges of formulation and quality of biofertilizers. *Appl Microbiol Biotechnol* (2013) 97:8859–8873, 2013, p. 8863.

Herrmann, Laetitia and Lesueur, Didier. 2013. Challenges of formulation and quality of biofertilizers. *Appl Microbiol Biotechnol* (2013) 97:8859–8873, 2013, p. 8863-8864.

Herrmann, Laetitia and Lesueur, Didier. 2013. Challenges of formulation and quality of biofertilizers. *Appl Microbiol Biotechnol* (2013) 97:8859–8873, 2013, p. 8865.

Herrmann Laetitia et Didier Lesueur. .2013 Challenges of formulation and quality of biofertilizers. *Appl Microbiol Biotechnol* (2013) 97:, 2013, p8859–8873

Hungria, M., Loureirrom M.F, Mendes.I.C, Campo, R.J. and Graham .P. H. 1991. INOCULANT PREPARATION, PRODUCTION. 4Department of Soil, Water, and Climate, University of Minnesota,, Upper Buford Circle, St Paul, MN 55108, USA,1991, chapitar 11, p. 236.

Hungria, M., Loureirrom M.F, Mendes.I.C, Campo, R.J. and Graham .P. H. 1991. INOCULANT PREPARATION, PRODUCTION. 4Department of Soil, Water, and Climate, University of Minnesota,1991 Upper Buford Circle, St Paul, MN 55108, USA, 1991, Chapter 11, p. 239.

Hungria, M., Loureirrom M.F, Mendes.I.C, Campo, R.J. and Graham .P. H. 1991. INOCULANT PREPARATION, PRODUCTION. 4Department of Soil, Water, and Climate, University of Minnesota,1991 Upper Buford Circle, St Paul, MN 55108, USA, 1991, Chapter 11, p. 240-245.

Inoculant Preparation, PRODUCTION..239

ITGC.(2018). Institut technique des grandes cultures .*La culture du pois chiche en Algerie* , p. 4

ITGC. (2018). Institut technique des grandes cultures. *la cultue du pois chiche enAlgérie* , p. 7.

Jordan. 1984. systematic Bacteriology ,Vol.1. [book auth.] N.R.Krieg et J.G. Bergey : Holt eds.,Williams et Wilkins pub, 1984, p. 236.

Krishna, N, 2007. *Expérimentations agronomiques.* MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DE L'ELEVAGE ET DE LA PÊCHE.

Krishna, N, 2007*Expérimentations agronomiques*MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DE L'ELEVAGE ET DE LA PÊCHE2007MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DE L'ELEVAGE ET DE LA PÊCHE

Lamber quentin, 2019Terres Inovia<http://www.terresinovia.fr>

Laouar M.i , Abdelguerfi, et al. 2001. EVALUATION DE QUELQUES CULTIVARS LOCAUX. *Revue de la Recherche Agronomique d'Algérie.* 1 INRAA station de Mehdi Boualem, Laboratoire des Ressources Phytogénétiques. Alger., n°9 Décembre 2001, p. 32..

Laouar M.i , Abdelguerfi, et al. 2001. EVALUATION DE QUELQUES CULTIVARS LOCAUX. *Revue de la Recherche Agronomique d'Algérie.* 1 INRAA station de Mehdi Boualem, Laboratoire des Ressources Phytogénétiques. Alger., n°9 Décembre 2001, p. 32.

Legume Inoculant Production. Nakao Patty and Keyser Harold Ekdah lSally. *LEGUME INOCULANT PRODUCTION.* USA : NifTAL Center - MIRCEN, 1984, p. 11.

Loss, Stephen et al., .2012 .INOCULATING LEGUMES:. *Grains Reserch & development copporation.* NSW DEPARTMENT OF PRIMARY INDUSTRIES. 2012 , P11.

Loss Stephen ,et al., .2012 .INOCULATING LEGUMES:. *Grains Reserch & development copporation.* NSW DEPARTMENT OF PRIMARY INDUSTRIES. 2012 , P13

Lupwayi, Newton Z., Clayton, George W and Rice, Wendall A. 2008*Rhizobial Inoculants for Legume Crops*,https://doi.org/10.1300/J411v15n02_09Journal of Crop Improvement293

Lupwayi, Newton Z., Clayton, George W and Rice, Wendall A. 2008. 09sep 24, 2008, *Rhizobial Inoculants for Legume Crops* Journal of Crop Improvement, 15:2, 289-321, p. 293. ISSN: 1542-7528 (Print) 1542-7536.

Lupwayi, Newton Z., Clayton, George W. and Rice, Wendall A. 2008. 15:2, 289-321, s.l. : *Rhizobial Inoculants for Legume Crops* https://doi.org/10.1300/J411v15n02_09, sep 24, 2008, Crops, Journal of Crop Improvement, p. 294-295. ISSN: 1542-7528 (Print) 1543-7538.

Lupwayi, Newton Z., Clayton, George W. and Rice, Wendall A. 2008. 15:2, 289-321, s.l. : *Rhizobial Inoculants for Legume Crops* https://doi.org/10.1300/J411v15n02_09, sep 24, 2008, Crops, Journal of Crop Improvement, p. 295-296. ISSN: 1542-7528 (Print) 1542-7536.

Maougla RyimTinhinen. .2004 Techniques de production d'inoculum Rhizobial. Université Mentouri, Constantine.2004 , P23.

Maougla RyimTinhinen. .2004 Techniques de production d'inoculum Rhizobial. Université Mentouri, Constantine.2004 , P24.

Rahmani, Saliha. 2015. Effet de l'antracnose du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) sur le. 21 octobre 2015. Université Ferhat ABBAS Sétif 1 Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie p. 3.

Rahmani, Saliha. 2015. Effet de l'antracnose du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) sur le. 21 octobre 2015. Ferhat ABBAS Sétif 1 Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie p. 6-7.

Rahmani, Saliha. 2015. Effet de l'antracnose du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) sur le. 21 octobre 2015. Ferhat ABBAS Sétif 1 Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie p. 7-8

Salhi, Zine El Abidine. (2012, 06. 26). Impact de quelques phytohormones sur le développement. *Université Laarbi Ben Mhidi Oum El Bouaghi* . des sciences de la nature et de la vie.

Salhi Zine El Abidine.(2012, 06 .26). Impact de quelques phytohormones sur le développement. *Université Laarbi Ben Mhidi Oum El Bouaghi* ,p 04. des sciences de la nature et de la vie.

Salhi, Zine El Abidine. 2012. Impact de quelques phytohormones sur le développement. s.l. : Université Laarbi Ben Mhidi Oum El Bouaghi, p. 19. des sciences de la nature et de la vie.

Salhi, Zine El Abidine. (2012, 06. 26). Impact de quelques phytohormones sur le développement. *Université Laarbi Ben Mhidi Oum El Bouaghi* , p15. des sciences de la nature et de la vie.

SMITH et R. S. 1992 Legume inoculant formulation and application LiplhaTech, Inc., 31 01 West Custer Avenue, Milwaukee, WI 53209, U. S.A .487

SMITH et R. S ,1992 Legume inoculant formulation and application LiplhaTech, Inc., 31 01 West Custer Avenue, Milwaukee, WI 53209, U. S.A .488

SMITH et R. S. .1992 Legume inoculant formulation and application.1992 , p.488

Tutiempo.net. (2022). Récupéré sur <https://fr.tutiempo.net>.

Zaim, Souda. (2016). Essai de lutte biologique contre le *Fusarium oxysporum*. p,4. UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS.

Zaim, Souda. (2016). Essai de lutte biologique contre le *Fusarium oxysporum*. *UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS* , 3.

Zaim Souad. .2016 Essai de lutte biologique contre le *Fusarium oxysporum*. :UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS, 2016, p4

Zaim Souad. .2016 Essai de lutte biologique contre le *Fusarium oxysporum*. :UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS, 2016, p 13-14

Zaim Souad. .2016 Essai de lutte biologique contre le *Fusarium oxysporum*. :UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS, 2016, p 15

Zakahia, Frédéric et De lejudie, Philippe. 2001. Taxonomy of rhizobia. *HAL Open science*. Agronomie, EDP Sciences, 2001, 21, 1 Jan 2001, 10.1051/agro:2001146 . hal-00886134, p. 570.

Zakhia, Frédéric and De Lajudie, Philippe. 2001. Taxonomy of rhizobia. *HAL Open science*. Agronomie, EDP Sciences, 2001, 21, Jan 1, 2001, 10.1051/agro:2001146 . hal-00886134, p. 571.

Zakhia,Frédéric; Philippe, de Lajudie;. 2001. Taxonomy of rhizobia. *HALOpen science*. Agronomie, EDP Sciences, 2001, 2001, Agronomie 21 (2001) pp.572

Zakhia,Frédéric; Philippe, de Lajudie;. 2001Taxonomy of rhizobia. *HAL Open science. Agronomie, EDP Sciences, 2001*, 21(6-7), pp.569-576., Jan 1, 2001, 10.1051/agro:2001146 . hal-00886134, p. 572..