

République Algérienne Démocratique et Populaire

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre

Domaine des Sciences de la Nature et de la Vie

Département Biologie

Spécialité : Biotechnologie microbienne



Etude d'association entre le Blé dur (*Triticum durum Desf*) et la Lentille (*Lens culinaris Medik*)

Présenté par

- METRITER Fatima Zohra
- HADJ SADOK Lobna
- LAHMER Amel

Composition du jury

- Pr. Lazali M. Président UKM
- Dr. Bousalhih B. Promoteur UKM
- Dr. Arous A. Examineur UKM
- Melle Boughanem W. Co-Promotrice UKM

Année Universitaire : 2021-2022

Remerciement

Avant tout, nous remercions Allah, c'est grâce à lui que nous sommes arrivées à
Ce niveau.

À l'heure où nous apportons la touche finale à ce mémoire, nous tenons à
Remercier tout d'abord les personnes qui nous ont permis de réaliser ce mémoire:
Nos chaleureux remerciements à notre promoteur : Docteur « **BOUSALHIH Brahim** » pour
son aide, son soutien moral et pour ses précieux conseils et orientations qu'il
nous a prodigué tout le long de ce travail de recherche.

Nous tenons aussi à remercier les membres de jury :

Professeur «**LAZALI. M** » pour avoir accepté de présider le jury

Monsieur le docteur «**AROUS A** », de nous avoir fait plaisir d'accepter d'être un membre de
jury de notre soutenance afin d'examiner et de juger ce travail.

Nous tenons à remercier vivement « **Melle BOUGHANEM**

Wassila », assistante en Institut Technique de Grandes Cultures (ITGC) d'Harrach.

A l'équipe de l'ITGC de Khemis Miliana, pour son aide dans toute la démarche pratique, de
la mise en place de l'essai jusqu'à la récolte.

Notre reconnaissance et gratitude envers tous les enseignants, les responsables et les agents de
la Faculté des Science de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre, Département
Biologique de l'Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana sans exception.

Nous remercions tous les techniciens de laboratoire de chimie.

En fin, nous tenons à exprimer, nos remerciements à toutes les personnes qui ont participé de
près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Grand **Merci** à tous

Salem nous avons l'honneur de vous inviter à la cérémonie de clôture de l'année universitaire 2021/2022 le
Mardi 28/06/22 à 9h30 amphi 5. Votre présence nous honore.

Salem j'ai corrigé le document vous pouvez le déposer demain pour le donner au membres du jury. .

Dédicace

Tout d'abord je rends grâce à Dieu le tout puissant qui ma donné la force, le courage, la santé et patience d'accomplir ce travail. Ces pages sont l'occasion pour moi de remercier toutes mes proches qui m'ont prodigué je la dédie spécialement : En premier, à mes chères parents :

**« Mohamed » et « Malika », qui ont toujours été présents à mes cotés.
Pour me soutenir et m'encourager**

**Pour tous les sacrifices que vous avez consentis pour mon éducation et mes études.
Pour tout l'amour que vous m'avez donné Je ne serais surement pas réalisé ce chemin sans votre aide constante. Aujourd'hui cette thèse est là pour vous montrer que vos efforts ne furent pas vains.**

Puisse Dieu vous prête une bonne santé et longue vie.

A mes chères sœurs "Salma", "Meriem" et "Aya" et à mon cher frère "Ali" a qui je leur souhaite une vie pleine de sourires, d'amour et tout le meilleur.

A Mon marie" Adel " Je lui souhaite une vie pleine de bonheur et de réussite.

L'avenir est la chance et la réalisation de leurs rêves.

À ma cousine Sara qui m'a donné la force, la capacité, la foi en lui et la patience pour continuer à rêver et à surmonter tout ce qui m'est arrivé, je lui souhaite une vie heureuse et réussie.

A mes amies Lobna et Amal, je leur souhaite une vie agréable pleine

De joie et de bonheur

A mes collègues de promotion Biotechnologie Microbienne

En fin je dédie ce mémoire à tous ceux qui de prés ou de loin nous ont aidé à notre

Formation et à La réalisation de ce travail.

Merci aussi à tous ceux que nous avons oubliés.

fatma Zohra



Dédicace

Tout d'abord je rends grâce à Dieu le tout puissant qui ma donné la force, le courage, la santé et patience d'accomplir ce travail

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents, pour leur soutien, patience et leurs Encouragements qu'ils m'ont prodigués tout au long de ma Scolarité.

A mes adorables sœurs : Fatima Zahra et ses enfants, Rofayda

A mes très chers frères : Abdenour, Abdelhadi, Abdelkrim.

A mes très chères amies : Loubna, Fatima Zahra, Fatiha, Wissam, Fatima et Nesrine

A tous mes camarades de la promotion de 2 ème année Master Biotechnologie Microbienne.

A tous mes amis qui de près ou de loin ont rendu plus facile la réalisation de ce travail.

Amel



Dédicace

Je remercie Dieu de m'avoir donné la force et la capacité d'écrire et de penser , de croire en lui et la patience de continuer à rêver et de surmonter tout ce qui m'est passé, de lever les mains au ciel et de dire : « Al hamdou lillah qui m'a permis de le faire»

Je dédie cet humble travail A

L'homme de ma vie, mon exemple éternel, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, à toi mon père « Larbi ».

A maman « BENAZIZA Nassima » pour son amour, et qu'elle m'a toujours accordé en témoignage de ma reconnaissance envers sa confiance, ses sacrifices et sa tendresse, la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur , mon soutien moral et source de joie et de bonheur.

A ma sœur, « Hanane » pour l'amour qu'elle me réserve

Mes frères : Abdellatif et Mohamed Djaber

Mon petit Mouayed Abderrahmane

Je leurs souhaite une vie pleine de bonheur et de succès.

A mes chères amies,

Au nom de l'amitié qui nous réunit,

Et au nom de nos souvenirs inoubliables

A tous ceux qui me sont chères

Lobna



Résumé

Cet essai a été réalisé durant la campagne 2022 dans une expérimentation factorielle réalisée à l'institut technique de culture à grande échelle (ITGC) de l'université de DJILALI BOUNAAMA.

dont l'objectif de port sur le système de culture en association céréales -légumineuses (blé - lentille) et la détermination de la variété qui valorisé meilleur rendement dans l'association ou la monoculture parmi les trois variétés de lentille utilisé avec le blé dans cette étude, les variétés de blé sont: large blonde , ibla1 ,sery229 ,et blé dure semito , dans lequel la culture associée céréales -légumineuses (blé lentille) pourrait être une pratique agronomique alternative pour améliorer la productivité de nos système de culture et la biodisponibilité du phosphore et la fixation symbiotique de l'azote par légumineuse (lentille) qui joue un rôle important dans l'augmentation des ressources en azotes des céréales (blé) qu'elles cultivent et constitue la meilleure solution pour réduire l'utilisation excessive d'engrais chimique.

Les résultat montrent que la réponse aux système de culture en association ou la monoculture se diffère d'une part a d'autre part avec les variétés et selon les paramètre testé.

D'après nos résultats, nous pouvons voir que la variété qui valorise meilleur rendement de blé en grains est dans le système de culture en association(Le blé associé avec ibla1 , Le blé associé avec syrie 229).

Alors que le meilleur rendement de lentilles était dans la variété de : Large Blonde en monoculture.

Mots clé : association, monoculture, blé, lentille.

المخلص

تم إجراء هذا الاختبار خلال 2022 في تجربة أجريت في المعهد الفني للزراعة واسعة النطاق (ITGC) ، جامعة جلاي بونعامة.

الهدف منه هو التركيز على نظام الزراعة في الحبوب المشتركة - البقوليات (القمح - العدس) وتحديد الصنف الذي قيم أفضل محصول في الزراعة الأحادية او المرتبطة بين أصناف العدس الثلاثة المستخدمة مع القمح في هذه الدراسة ، أصناف العدس هي: Large Blonde، و ibla1 ، و syrie229 ، والقمح القاسي ، حيث يمكن أن تكون الزراعة البينية للحبوب والبقوليات (قمح العدس) ممارسة زراعية بديلة لتحسين إنتاجية أنظمة المحاصيل لدينا والتوافر البيولوجي. الفسفور والتكافل تثبيت النيتروجين بالبقوليات (العدس) والذي يلعب دورًا مهمًا في زيادة موارد النيتروجين من الحبوب (القمح) التي ينموها وهو أفضل حل لتقليل الاستخدام المفرط للأسمدة الكيماوية. أظهرت النتائج أن الاستجابة لنظام الزراعة البينية أو الزراعة الأحادية تختلف من ناحية ومن ناحية أخرى مع الأصناف ووفقًا للمعايير التي تم اختبارها. من نتائجنا ، يمكننا أن نرى أن الصنف الذي يقدر محصول قمح الحبوب الأفضل هو في نظام الزراعة البينية (القمح

المرتبط بـ ibla1 والقمح المرتبط syrie229

في حين أن أفضل محصول للعدس كان في تنوع: Large Blonde في الزراعة الأحادية الكلمات المفتاحية: الجمعية ، الزراعة الأحادية ، القمح ، العدس.

Abstract

This test was carried out during 2022 in an experiment conducted at the Technical Institute of Large-Scale Agriculture (ITGC), Jalali Bounaama University.

Its aim is to focus on the cultivation system of common cereals - legumes (wheat - lentils) and to determine the cultivar that evaluated the best yield in monoculture or linked cultivation among the three lentil cultivars used with wheat in this study. The lentil cultivars are: Large Blonde, ibla1, and syrie 229, and durum wheat, as the intercropping of grains and legumes (lentil wheat) could be an alternative agricultural practice to improve our crop systems productivity and bioavailability.

Phosphorous and symbiosis Nitrogen fixation in legumes (lentils), which plays an important role in increasing nitrogen resources from the grains (wheat) they grow and is the best solution to reduce the excessive use of chemical fertilizers. The results showed that the response to the system of intercropping or monoculture varies on the one hand and on the other hand with the cultivars and according to the tested criteria.

From our results, we can see that the cultivar that estimates the best grain wheat yield is in the intercropping system (ibla1-related wheat and syrie229-related wheat)

While the best lentil crop was in variety: Large Blonde in monoculture

Keywords: assembly, monoculture, wheat, lentils.

Liste des Figures

Figure 1: Le cycle biologique de la lentille	7
Figure 2: Zones d'aptitude de la culture de la lentille en Algérie (ITGC, 2013).....	15
Figure 3 : principal maladies et ravageurs file:///C:/Users/TM161/Downloads/leguminkafacifr15.pdf.	17
Figure 4 : Botrytis sur gousses (à gauche) et sur tiges (à droite) (Gwénola R. 2021).....	18
Figure 5 : maladie de la rouille (Gwénola R. 2021).....	18
Figure 6: Zones Partie souterraine du blé dur.....	21
Figure 7 : Les régions montrent une partie des feuilles (Soltner, 1990).	23
Figure 8 : Stades repères du cycle de développement du blé Source (https://qualista.fr/actualites/juillet-la-recolte-du-ble/)	24
Figure 9: Expliquer les différentes étapes de la nodulation.....	34
Figure 10: Cycle du phosphore préservé dans les milieux naturels (https://obvaj.org/citoyens/les-bonnes-pratiques/le-phosphore/).....	38
Figure 11: origine du phosphore absorbé par une culture de blé (http://www.vertcarbone.fr/phosphore-le-fond-et-la-forme-un-article-agroreporter/)	40
Figure 12 : schéma des transferts d'N entre légumineuse et céréale (https://osezagroecologie.org/images/imagesCK/files/bibliographie/f8_perfcomplaquetteculturesassociees).	47
Figure 13: Situation géographique de l'FDPS de l'ITGC de Khemis Miliana. (Google Earth).53	
Figure 14 : Protocole expérimental.....	55
Figure 15 : Blé Dur	Figure 16 : SERRY.....57
Figure 17 : IBLA TIARTE	Figure 18 : LARGE BLANDE57
Figure 19 : Semi à l'aide d'un semoir expérimental.....	58
Figure 20 : Désherbage manuelle	59
Figure 21 mesure de nombre des plants a la levée.....	59
Figure 22 : Procédure de mesure de la hauteur.....	60
Figure 23 : Prélèvement des échantillons végétatifs	60

Figure 24 : Séchage des plants à l'étuve et détermination de la biomasse Aérienne et racinaire	61
Figure 25: Détermination du nombre des nodules et du poids sec après séchage	61
Figure 26 : Variation de la biomasse nodulaire sèche (en gr) de la lentille en association et en culture pure	71
Figure 27 : Représentation de la corrélation entre la biomasse sèche nodulaire et la biomasse sèche de la partie aérienne.....	73
Figure 28 : Nombre de plant/m ² pour le blé et la lentille.	75
Figure 29 : Variation du nombre des ramifications I et II par plant pour la lentille	76
Figure 30 : Nombre de fleurs par plant pour la lentille.....	76
Figure 31 : Variation de nombre de grains par gousse et par épi.	77
Figure 32 : Poids de mille grains de blé et des cent grains de lentille.	78
Figure 33 : Rendement de blé et de lentille en grain (q/ha).	79

Liste des Tableaux

Tableau 1: La production de lentille dans le monde	14
Tableau 2: Classification botanique du blé dur.....	20
Tableau 3 : Production moyenne des principaux pays producteurs de blé dur sur 2013-2015. Un quart de la production mondiale est le fait de deux pays Source: IGC, Stratégie Grains et France grimer....	28
Tableau 4 : rapport de stockage mondiaux et principaux exportateurs utilisant du blé	29
Tableau 5 : Production de blé dur en Algérie (Chehat et Boulal H et al, 2005-2007).....	30
Tableau 6 : Variation de la température normale mensuelle de la région d'étude	54
Tableau 7 : Variation de pluviométrie normale mensuelle de la région d'étude	54
Tableau 8 : Analyses physico-chimique du sol expérimental	56
Tableau 9 : Matériel végétale utilisé	57
Tableau 10: Caractéristiques physico-chimiques du sol.....	66

Liste des abréviations

°C : Degré Celsius.

ANOVA : Analyse of variance

AOC : Appellation d'origine contrôlé

AOP : Appellation d'origine protégé

C : carbone

CO₂ : dioxyde de carbone

EURS : Efficacité de l'utilisation de la symbiose rhizobienne

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

ha : Hectare.

IGP : Indication géographique protégé

ITGC : Institut Technique des Grandes Cultures..

Kcl : Chlorure de potassium.

m : Mètre

N : Azote

N₂O : D'oxyde d'azote

NH₃: Ammoniac

NH₄⁺: Ammonium

NO₃⁻: Nitrates

P : Phosphore

PH : potentiel d'hydrogène.

PMG : Poids de Mille Grain.

qx : Quintaux.

Sommaire

Introduction	1
. Généralité sur la lentille et le blé dur	4
1. Lentille (Lens Culinaris).....	4
1.1. Origine et historique	4
1.2.1 Classification hiérarchique	5
1.2.2 Classification Lentille cultivée.....	6
1.2.3 Classification phylogénétique	6
1.3. Cycle biologique de la lentille	6
1.3.1 Phase végétative	7
1.3.2 Phase reproductive	7
1.4. Description de la plante	7
1.5. Caractéristiques agronomiques	8
1.5.1. Exigences climatiques	8
1.5.2. Exigences édaphique	8
1.6. Importance de la lentille	9
1.6.1. Importance alimentaire (Avantages pour la santé des lentilles)	9
1.6.2. Importance agronomique (Les avantages agronomiques des lentilles)	13
1.7. Production mondiale de lentilles.....	13
1.7.2. Production de la lentille en Algérie	15
1.8. Contraintes liées à la production de la lentille	16
1.8.1. Contraintes techniques.....	16
1.8.2. Contraintes socio-économiques.....	16
1.8.3. Contraintes climatiques	17
1.9. Maladies de la lentille	17
1.9.2. Botrytis	18
1.9.3. Rouille	18
1.9.4. Maladies racinaires.....	19

2. Blé dur	2.1.
Blé dur Historique et origine.....	19
2.2. Classification botanique du blé dur	19
2.3. Description morphologique	20
2.3.1. Partie souterraine.....	21
2.3.2 Partie aérienne.....	22
2.4. Stade de développement de blé.....	24
2.4.2 Culture Une fois la troisième feuille	24
2.4.3 Gonflage des boulons	24
2.5.1 Exigences édaphique	25
2.5.2 Exigences climatiques	25
2.6.1 Importance du régime alimentaire.....	26
2.6.2 Lieux économiques.....	27
2.7. Production mondiale de blé	27
2.8. Production de blé dur en Algérie	29
2.9. Maladies de la culture	30
2.9.1. Les accidents de la culture :.....	30
B. Accident physiologique	31
II. fixation symbiotique de l'azote	31
II.1.Importance de l'azote dans la nutrition des plantes	31
II.2. fixation symbiotique de l'azote	32
II.3. Etablissement de la symbiose fixatrice.....	32
II.3. 1. Rhizobiums.....	33
II.3. 2. Étapes de la nodulation	33
II.4. Les facteurs influençant la fixation de l'azote.....	34
II.5. Intérêt de la fixation symbiotique.....	35
III. La disponibilité et la biodisponibilité du phosphore dans la rhizosphère.....	36
III.1 Disponibilité et la biodisponibilité des éléments nutritifs.....	36

III.1.1 Disponibilité.....	36
III.1.2 Biodisponibilité.....	37
III.2 Phosphore	38
III.2.1 Phosphore dans le sol	38
III.2.2 Phosphore dans les plantes.....	39
III.2.3. Conséquence de la déficience en phosphore sur la plante	40
III.2.4. Fixation symbiotique sous déficience en phosphore	41
III.2.5. Effet de l'association légumineuses-céréales sur la biodisponibilité du phosphore.....	42
IV. Association des cultures	42
IV.1. Définition de l'association des cultures	42
IV.2 Types d'association des cultures.....	42
IV.3 Associations céréales-légumineuses	43
IV.4. Effet de l'association céréales-légumineuses	46
IV 4.1 Effets sur la fixation symbiotique de l'azote	46
IV 4.2 Effets sur la solubilisation du phosphore.....	48
IV.4.3 Effets sur le rendement en biomasse	48
IV.4.4 Effets sur le rendement en grain.....	48
IV 4.5 Effets sur les maladies et ravageurs	49
IV.4.6 Effets sur les mauvaises herbes.....	50
IV.5. Avantage de l'association des cultures	50
IV.6. Inconvénients de l'association des cultures	51
Partie II.....	52
Matériels et méthodes	52
I. Présentation de la région d'étude	
II. Localisation de l'essai.....	53
III. Caractéristiques climatiques	53
III.1 Température.....	53
III.1.2. Pluviométrie.....	54

IV. Protocole expérimental.....	54
IV.1. Objectif de l'essai.....	54
IV. Protocole expérimental	55
IV.2.2.Prélèvement du sol	56
IV.2.3.Matériel végétale utilisé.....	56
IV.2.5.Semis	58
IV.2.6.Suivi de la culture	58
V. Mesures et comptage.....	59
V.1. Nombre de plants par mètre carrée.....	59
V.2. Hauteur des plantes	59
VI. Prélèvement des échantillons végétatifs.....	60
VI.1. Détermination de la biomasse aérienne et racinaire	61
VI.2. Détermination du nombre et du poids sec de nodosités	61
VI.3. Efficience d'utilisation de la symbiose rhizobienne.....	62
VI.4. Rapport équivalent terre (LER)	62
VII. Rendement et ses composantes	62
VII.1. Nombre de gousse/plant	62
VII.2. Nombre de graines par gousse.....	63
VII.3. Le poids de 100 grains lentille et 1000 graine pour le blé.....	63
VIII. La récolte	63
IX. Battage	63
Rendement (Q/ha) = Plantes/m ² x Grains/ Plante x Poids 100 Grains.....	64
XI. Analyse statistique	64
Résultats et discussion	65
. Caractéristiques physico-chimiques du sol	66
II. Effet de l'association sur les paramètres de croissance et de la nodulation.....	67
II.1. Hauteur de la plante (Lentille et Blé).....	67

II. 2. Longueur de la partie racinaire de la plante (Lentille et Blé).....	68
II. 3. Nombre des nodules de la culture associée et pure.....	68
II. 4. Effet de l'association sur la biomasse aérienne sèche (SDW).....	69
II. 5. Effet de l'association sur la biomasse racinaire.....	70
II. 6. Effet de l'association sur la biomasse nodulaire.....	71
II. 7. Effet de l'association sur l'efficacité de l'utilisation de la symbiose rhizobienne	72
II. 8. Effet de l'association sur la biomasse total et le rendement en grain LER (Land Equivalent Ratio).....	74
III. Effet de l'association sur le rendement et ses composantes	74
III.1. Nombre de plant/m ²	74
III.2. Nombre des ramifications I et II pour la lentille	75
III.3. Nombre de fleurs par plant pour la lentille	76
III.4. Effet de l'association sur le nombre de grains par gousse et par épi	77
III.5. Effet de l'association sur le poids de mille grains du blé et de cent grains de lentille.....	77
III.6. Effet de l'association sur le rendement en grain de Blé et la Lentille	78
Conclusion.....	80

Introduction

L'agriculture a été le tournant du début de la société civilisée moderne. Le mode de vie des groupes humains est passé de méthodes de chasse primitives et aveugles à des méthodes agricoles. En raison de la croissance démographique et du besoin de ressources fiables pour répondre aux besoins de ce nombre de personnes, on pense également que le changement climatique survenu à la fin de l'ère glaciaire a joué un rôle majeur dans la transition vers la glace il y a environ 11 300 ans. , avec l'agriculture, les céréales et les haricots sont l'une des plus anciennes espèces végétales cultivées (**Abu Hassan, 2018**).

Étant donné que les céréales sont une composante majeure de l'alimentation humaine et animale dans le monde entier. Si l'on considère la superficie couverte, le blé est la plante la plus cultivée sur la planète. Les légumineuses sont l'une des plus grandes familles de plantes à fleurs de la famille des légumineuses. Ils jouent un triple rôle en protégeant le sol de la dégradation, en contrôlant les mauvaises herbes et en améliorant et maintenant la fertilité du sol en fixant l'azote atmosphérique. En produisant des céréales et des fourrages de haute qualité, la culture des légumineuses peut augmenter le revenu global des agriculteurs en

réduisant les charges d'engrais, en particulier grâce à la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique. Ces légumineuses affectent positivement la fertilité du sol grâce à une symbiose fixatrice d'azote avec des souches de rhizobium. Par conséquent, ils jouent un rôle important dans la rotation des cultures. En outre, les agriculteurs subissent une pression intense pour s'assurer que la propriété foncière réponde aux besoins d'une population croissante. Il en résulte une baisse des niveaux d'azote dans le sol. Une autre approche pour restaurer la fertilité consiste à fixer biologiquement l'azote par symbiose avec les racines des légumineuses) Il est également considéré comme une espèce intéressante en agriculture biologique car il peut fixer l'azote dans l'air, introduisant ainsi de grandes quantités d'azote dans le système agricole à moindre coût, ce procédé fournit donc l'équivalent des engrais chimiques utilisés un quart dans tous les types de fabrication. Cette capacité de fixation de l'azote est conférée par leur nodulation avec les bactéries Rhizobium (**Schneider et Huyghe, 2015**). Pour des rendements optimaux, les besoins de la culture en éléments fertilisants (biologiques ou minéraux) doivent être satisfaits par des apports d'engrais adéquats au bon moment. Depuis plusieurs années, divers organismes de recherche et développement étudient les associations de cultures, notamment celles qui associent céréales et légumineuses.

Partie I

Synthèse bibliographie

Chapitre 1

Généralité sur le blé et la lentille

. Généralité sur la lentille et le blé dur

1. Lentille (*Lens Culinaris*)

1.1. Origine et historique

A. Histoire

Les lentilles ont l'honneur d'être le premier aliment cuit connu et enregistré dans la Bible (droit d'aïnesse). Il existe dans de nombreux sites préhistoriques : en Syrie, par exemple, les lentilles datent du siècle av. On cultive donc des lentilles depuis la fin du Paléolithique, il y a près de 10 000 ans ! Peu à peu, un homme du Paléolithique est devenu un homme du Néolithique, qui ne subvenait plus uniquement à la chasse et à la cueillette, et a commencé à cultiver la terre et s'adonne à l'élevage. La pratique des lentilles accompagne ce changement radical pour lui, Au fil du temps, cet aliment riche, souvent appelé "steak de légumes", s'est répandu dans toute la Méditerranée, Les écrits de Pline l'Ancien indiquent que les Phéniciens et les Carthaginois utilisaient des lentilles. Il décrit une recette de lentilles émietées datant du IV^e siècle av. La cuisine arabe traditionnelle est fière des lentilles.

L'alimentation juive médiévale connaissait la lentille à Rome, la lentille était, avec la fève, le chou et la rave, une plate typique de pauvre, de paysan... ou d'avare ! En tout cas, c'était un des rares plats chauds que beaucoup pouvaient s'offrir, Les Romains, grâce à leur réseau de voies de communications, ont accentué la propagation des céréales et des légumineuses partout en Occident. Mais la lentille était déjà connue en Auvergne et en Velay par les Gaulois.

B. Origine

Les lentilles (*Lens culinaris Medik*) sont des légumineuses cultivées principalement pour leurs graines comestibles (**Ford et al. 2007; Bejiga 2006**). Herbe annuelle, jusqu'à 60-75 cm de haut. Tiges poilues, grêles, très ramifiées. Les feuilles sont composées pennées avec des vrilles ou des poils aux extrémités. 5-16 folioles opposées, oblongues à ovales, de 3-20 mm de long × 2-8 mm de large.¹ Les fleurs du papillon varient en couleur du blanc au violet et poussent sur des grappes axillaires de 2 à 5 cm de long. Les fruits sont de petites gousses comprimées latéralement contenant deux à trois graines lenticulaires, grises, vertes, brunes, rougeâtres ou noires, dont la taille varie de 2 à 9 mm x 2-3 selon le type de cultivar mm (**Ecocrop 2012 ; Béjiga 2006**). L'espèce de lentille *Lens culinaris* a 1 sous-espèce cultivée la

rotation des cultures (**Lardy et al. 2009 ; Bejiga 2006**). Les produits et sous-produits de lentilles suivants sont parfois utilisés en alimentation animale (**Lardy et al 2009 ; Bejiga 2006**) : Lentilles excédentaires et les lentilles abattus impropres à la consommation humaine sont (*Lens culinaris* Medik. Subsp. *Culinaris*) et 3 sous-espèces sauvages (**Ford et al 2007**). Les lentilles sont la cinquième céréale de légumineuse la plus importante au monde et sont extrêmement importantes dans le régime alimentaire de nombreuses personnes en Inde et au Moyen-Orient (**Faq 2012 ; Göhl 1982**). Les lentilles sont un aliment très précieux en raison de leur bon goût et de leurs qualités nutritionnelles, qui les rendent trop chères à élever pour le bétail (**Blair 2008**). Ils peuvent être cuits, frits, retournés et râpés dans une variété de plats (soupes, salades, ragoûts, etc.). La farine de lentille est utilisée dans la boulangerie, les pains et les féculents. Les jeunes gousses et les feuilles sont consommées comme légume (**Bejiga 2006**). Les lentilles, une légumineuse fixatrice d'azote, sont une culture céréalière précieuse dans parfois nourrir le bétail en raison de leur faible prix. Des projections de lentilles sont les sous-produits de nettoyage des graines de lentilles. Elles peuvent consister en entiers et brisés lentilles, céréales, graines de mauvaises herbes, la paille et la poussière (**Stanford et al, 1999**).

Lentille (*Lens culinaris*) | Feedipedia Citation Fiche technique Heuzé V, Tarn G, Sauvant D, Bastianelli D, Lebas F, 2015. Lentille (*Lens culinaris*). Feedipedia, un programme par l'INRA, le CIRAD, AFZ et de la FAO. Lentil bran (appelé chuni en Inde) ou lentilles coques sont les enveloppes extérieures de lentilles résultant des opérations de décorticage. Lentil paille est le résidu de récolte de lentilles récolte du processus de battage. Il comprend des branches cassées, les murs des gousses et des brochures (**Erskine et al. 1990**). Usines de lentilles qui ne peuvent être récoltées peuvent également être utilisés comme fourrage.

Classification et taxonomique

1.2.1 Classification hiérarchique

Domaine : Biota Endl.(D.Don)

Règne : Plantae Haeckel, 1866

Sous-Règne : Viridaeplantae

Infra-Règne : Streptophyta John, Williamson & Guiry, 2011

Classe : Equisetopsida C.Agardh, 1825

Clade : Tracheophyta Sinnott ex Cavalier-Smith, 1998

Clade : Spermatophyta

Sous-Classe : Magnoliidae Novák ex Takht., 1967

Super-Ordre : Rosanae Takht., 1967

Ordre : Fabales Bromhead, 1838

Famille : Fabaceae Lindl., 1836

Sous-Famille : Papilionoideae DC., 1825

Super-Tribu : Robinioideae

1.2.2 Classification Lentille cultivée

Règne	Plantae
Sous-règne	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous-classe	Rosidae
Ordre	Fabales
Famille	Fabaceae
Genre	Lens
Espèce	Lens culinaris Medik., 1787

1.2.3 Classification phylogénétique

Clade	Angiospermes
Clade	Dicotylédones vraies
Clade	Rosidées
Clade	Fabidées
Ordre	Fabales
Famille	Fabaceae

Tableau (01) : déférente classification de lentille (Lens culinaris Medik 1787)

1.3. Cycle biologique de la lentille

Lorsque les températures sont optimales, les graines de lentilles germent en 5 à 6 jours et la floraison débute entre la 6^{ème} et la 7^{ème} semaine après le semis.

Le cycle de croissance est de 80 à 110 jours pour les cultivars à cycle court et de 125 à 130 jours pour les cultivars à cycle long (Begiga, 2006). Celui-ci comprend deux phases (Schwartz et Langham, 2012).

1.3.1 Phase végétative

Cette phase comprend deux stades : la croissance et la production des feuilles.

1.3.2 Phase reproductive

Elle est représentée par la floraison, la fructification et la production des graines (Figure 2).

Figure(1): Cycle biologique de lentilles : (1) Graine, (2) Germination, (3) Croissance, (4) Floraison, (5) Fructification.

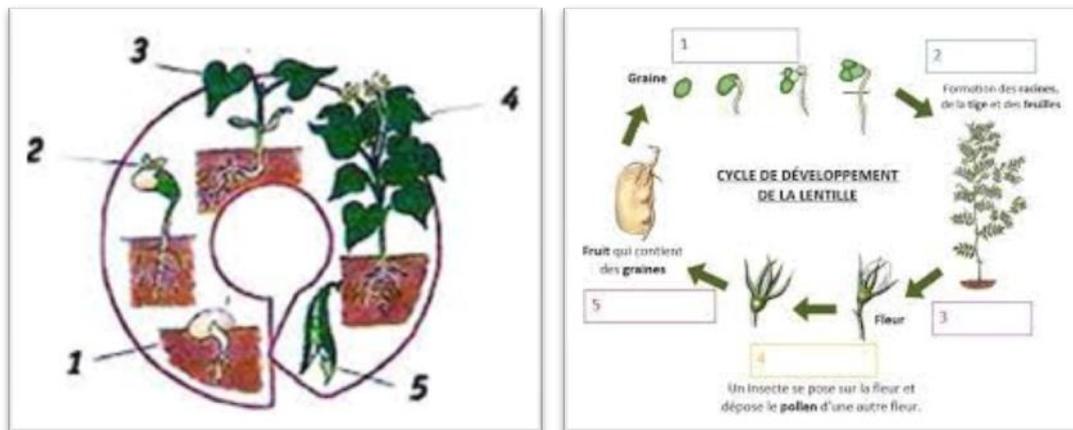


Figure 1: Le cycle biologique de la lentille

(<https://agronomie.info/fr/cycle-biologique-de-lens-culinaris>)

1.4. Description de la plante

Les lentilles sont originaires du Croissant fertile (de la Méditerranée orientale au golfe Persique) puis se sont propagées en Europe, au Moyen-Orient, en Afrique du Nord et dans la plaine Indo-Gangétique. C'est l'une des premières légumineuses céréalières domestiquées, cultivée en Syrie avec le blé et l'orge entre 8500 et 7500 av. Ils poussent maintenant dans la plupart des régions subtropicales et tempérées, en particulier dans les zones à faible pluviométrie. Afrique du Nord et les Amériques, tandis que les lentilles microspermes (petites graines) sont cultivées en Asie, en Égypte et en Éthiopie, les deux types sont cultivés en Asie de l'Ouest et en Europe du Sud-Est (Ford et al 2007). Les lentilles sont cultivées comme cultures d'été dans les pays tempérés à froid hivernaux, plantées comme culture d'hiver dans les régions subtropicales. Dans les régions tropicales, ils peuvent pousser à des altitudes plus élevées (au-dessus de 1800 m) pendant la saison froide (Bejiga 2006). Ne pousse pas bien

dans des conditions tropicales humides et chaudes. Les gelées sévères ou prolongées et les températures supérieures à 27°C sont préjudiciables à sa croissance. Les lentilles poussent bien lorsque les précipitations annuelles sont inférieures à 750 mm et qu'il y a une période sèche importante avant la récolte. Certaines variétés peuvent supporter des périodes de sécheresse. Intolérant à l'engorgement et doit être semé dans les régions plus chaudes à la fin de la saison des pluies, où il prospère grâce à l'humidité résiduelle (**Ford et al. 2007; Bejiga 2006**) Les lentilles poussent sur une variété de sols, du sable à l'argile lourde, et une large plage de pH de (4,5 à 9) à condition que les sols ne sont pas une solution saline, gorgé d'eau ou soumis à des inondations (**Bejiga 2006**).

1.5. Caractéristiques agronomiques

1.5.1. Exigences climatiques

Quelles que soient la variété et l'espèce choisies, dès que l'on veut semer un champ, dans une région donnée, il faut tenir compte des éléments suivants : températures maximales et minimales, intensité de la lumière, quantité et distribution des pluies, époque et fréquence des gelées, densité du brouillard, fréquence des grêles, force du vent

1.5.2. Exigences édaphique

A. Type de sol

Les lentilles s'adaptent à une variété de types de sols, mais préfèrent généralement les sols avec un meilleur drainage pour faire face à tout excès d'eau et un pH légèrement acide (5,5 à 6,5) ou modérément alcalin (7,5 à 9). Les sols à haute salinité ne sont pas recommandés. Dans les zones où les précipitations sont comprises entre 250 et 400 mm, il est recommandé de cultiver les lentilles dans un sol riche pour atténuer les effets d'éventuelles pénuries d'eau. (**Bamouh, 1999**).

B. Climat

Compte tenu de sa faible demande en eau, la culture de la lentille convient à de multiples bassins de production. Cependant, il existe un risque de chute des fleurs en raison du manque d'eau pendant la période de floraison, donc un semis précoce et des variétés à cycle court sont nécessaires pour permettre aux plantes de s'échapper. Cycle à la fin de la haute température (**Bamouh, 1999**).

C. Besoins en engrais

Le taux d'azote recommandé au semis est d'environ 10 à 20 kg N/ha. Particulièrement adapté aux sols sableux à faible teneur en matière organique. Cette fécondation peut être absente ou réduit dans les sols avec de bonnes conditions de fixation Symbiose de l'azote. En effet, 85 % des besoins en azote sont assurés par les nodules. Les engrais phosphorés et potassiques doivent être appliqués lors de la préparation du sol une fonction de la rotation et de la richesse du sol (**Bamouh, 1999**). Il est recommandé d'appliquer 40-60 kg/ha de phosphore et 20-40 kg/ha de potassium. Dans tous les cas, une analyse de sol est fortement recommandée pour une meilleure Fertilisation raisonnée.

1.6. Importance de la lentille

1.6.1. Importance alimentaire (Avantages pour la santé des lentilles)

Les lentilles ont des propriétés uniques qui les différencient des autres céréales et légumineuses, ce qui leur confère une importance et une valeur supplémentaires en agriculture. Une bonne nutrition maintient le corps en bonne santé et protège le corps contre les maladies. Comme de nombreuses études l'ont montré, L'analyse a montré que les lentilles contiennent de nombreux nutriments essentiels, y compris des protéines majeures. Des glucides ou de petites quantités de glucides, tels que des minéraux et des vitamines, et en quantités assez élevées. Les résultats de plusieurs études montrent également que Les lentilles contiennent une variété de composés végétaux naturels, des composés phytochimiques, qui sont biologiquement actifs et ont des effets positifs sur la santé (**2008, USDA**).

- a) **Protéine** : Les graines de lentilles contiennent beaucoup de protéines, environ 25 % de leur poids. Bien que faible Par rapport aux autres protéines animales, la protéine de lentille a la même qualité biologique que les autres protéines végétales. En raison de sa faible teneur en acides aminés soufrés et en tryptophane, la protéine de soja, en particulier De plus, les lentilles ne sont importantes car elles contiennent des composés protéiques aux propriétés fonctionnelles importantes. Ce sont des composés appelés anti nutriments, tels que les inhibiteurs de la trypsine Inhibiteurs de la trypsine, des lectines et des saponines, bien qu'ils agissent pour réduire l'utilisation de protéines et de certains autres nutriments par l'organisme, ils présentent en même temps des avantages pour l'organisme, dont les plus importants sont la capacité à combattre le

cancer et à protéger le corps de cancers dangereux, Comme l'ont démontré de nombreuses études en laboratoire et sur des animaux. Parmi les ingrédients fonctionnels importants, les lentilles se spécialisent dans la soi-disant protéine de défense Défensin, un composé protéique isolé des lentilles protéiques qui Combattent la division et la prolifération des virus dans le corps, y compris le VIH, nécessitent des enzymes spécifiques lors de la division, dans lesquelles les protéines de défense fonctionnent comme des protéines qui détruisent ces cellules.

b) Glucides : Les lentilles sont une excellente source de 60 % de grains glucidiques en poids, et leur contenu total peut être sec. Les glucides totaux des lentilles sont divisés en trois composants principaux : (30 %), l'amidon (28 %) et divers sucres (2 % du poids des grains séchés). Quant aux fibres, comme aux aliments, les lentilles peuvent être considérées comme l'un des aliments qui contiennent ces composés essentiels à la santé de l'organisme. Pour maintenir la santé digestive et prévenir de nombreux problèmes de santé. Surtout la constipation et le cancer du côlon, ainsi que le soulagement de l'hyperglycémie et de la graisse, (USDA.2008)

c) Fibre insoluble dans l'eau

Les fibres insolubles dans l'eau représentent environ 90 % du poids total des fibres des grains de lentilles et environ 90 % du poids total des fibres des grains de lentilles. L'espace des fibres dissoutes est le reste. Glucides, sucres complexes (amidon) Les fibres insolubles dans l'eau représentent environ 90 % du poids total des fibres des grains de lentilles et environ 90 % du poids total des fibres des grains de lentilles. La place pour dissoudre les fibres est le reste. Parmi les glucides, les sucres complexes (amidon) occupent Il joue un rôle important dans l'énergie humaine car il est contenu dans les grains de lentilles, ce qui ajoute à son importance en tant qu'absorbant. Un composé fonctionnel important appelé amidon résistant. C'est un amidon Il se forme au cours du processus de fabrication et se caractérise par sa capacité à résister aux processus digestifs auxquels il est exposé. Amidon De cette manière, il se comporte comme une fibre alimentaire insoluble et a donc un rôle fonctionnel important. Un rôle important qui imite l'action des fibres alimentaires décrites ci-dessus et augmente sa capacité à agir comme prébiotique. Croissance et reproduction de bactéries bénéfiques dans le côlon. Des probiotiques bien établis sont essentiels. Ainsi que la physiologie des bactéries bénéfiques dans le côlon, qui a été démontrée dans de nombreuses études pour

augmenter la résistance au côlon. Le corps combat diverses maladies comme la constipation et le cancer du côlon, réduit l'hyperglycémie et la graisse, augmente Renforce le système digestif contre la diarrhée et les maladies inflammatoires. Parmi le reste des sucres, ils sont présents Petites quantités de monosaccharides, disaccharides et polysaccharides, oligosaccharides lorsque ces derniers ont la capacité d'agir comme catalyseurs Le rôle de catalyseur pour les bactéries Les avantages ci-dessus, car ils ne peuvent pas être digérés dans l'estomac humain, ce qui en fait un terrain fertile pour la fermentation de ces sucres, puis le gaz pénètre dans cette bactérie, ce qui en résulte. La zone est creuse, provoquant des soi-disant ballonnements. (2006. al et Issa).

- d) **Métaux :** ils couvrent une grande partie des besoins quotidiens À partir d'Éléments minéraux importants, ce qui en fait un aliment important pour maintenir l'équilibre calorique dans le corps. Remplir des fonctions biologiques et physiologiques. Les lentilles contiennent également une bonne quantité de fer (5,7 mg), ce qui est bon pour Malgré sa faible biodisponibilité, en plus de la présence de ses inhibiteurs d'absorption comme le phytate. Les lentilles sont une bonne source de cuivre (6,0), de zinc (5) et de magnésium (112) et se caractérisent par une faible teneur en sodium (6). Rapport potassium/sodium élevé (1 :160). En fait un aliment idéal pour les personnes souffrant d'hypertension artérielle. (Isa et al. 2006).
- e) **Vitamines :** Les graines de lentilles sont l'une des sources alimentaires les plus importantes de plusieurs vitamines hydrosolubles, dont la plus importante est l'acide folique (479 mg/100 g, qui couvre 119 % des besoins quotidiens de l'organisme en vitamines), grâce auquel Dans ce Ainsi, il est considéré comme une source exceptionnelle et remarquable, et il ne fait aucun doute que nous connaissons cette vitamine sans tous les autres types de vitamines. Cette vitamine joue un rôle important dans la formation du sang et prévient le risque d'anémie caractérisée par une hyperplasie sévère du sang. En plus d'avoir un rôle important dans le métabolisme et le métabolisme de l'acide aminé méthionine et la division cellulaire somatique ; plusieurs études ont démontré sa déficience in vivo sur le cancer du côlon (2004 ., Al et Amar owicz). En fait un aliment idéal pour les personnes souffrant d'hypertension artérielle (Isa et al. 2006). Les graines de lentilles sont l'une des sources alimentaires les plus importantes de plusieurs vitamines hydrosolubles, dont la plus importante est l'acide folique (479 mg/100 g, qui couvre 119 % des besoins quotidiens de l'organisme en vitamines), grâce auquel Dans ce Ainsi, il est considéré comme une source exceptionnelle et remarquable,

et il ne fait aucun doute que nous connaissons cette vitamine sans tous les autres types de vitamines. Cette vitamine joue un rôle important dans la formation du sang et prévient le risque d'anémie caractérisée par une hyperplasie sévère du sang. En plus d'avoir un rôle important dans le métabolisme et le métabolisme de l'acide aminé méthionine et la division cellulaire somatique ; plusieurs études ont démontré sa déficience in vivo sur le cancer du côlon... (2004 ., Al et Amarowicz). Les plus importants de ces composés sont les soi-disant polyphénols, en particulier les tanins et les tanins condensés. Tanins condensés et certains types de flavonoïdes et de catéchines, ce sont des composés fonctionnels importants qui agissent comme antioxydants et protègent l'organisme contre les dangers des radicaux libres. Causer le cancer et l'oxydation des lipides. En plus des polyphénols, les lentilles sont également riches en vitamines, en particulier en acide phytique (IP6), un composé biologique important dont les études en laboratoire a souvent démontré qu'il possède de puissants processus anti-cancérigènes et une protection contre l'oxydation.

f) Lentilles Dora préviennent le cancer

Des études ont montré la capacité impressionnante des lentilles à prévenir le cancer du côlon, en utilisant...Un certain nombre d'indicateurs importants, tels que les indicateurs le résultat séduit La recherche a attiré l'attention sur des composés fonctionnels autres que les antioxydants, qui peuvent aider à réduire l'incidence de la carcinogénèse. (Amarowicz et al. 2003). Des échantillons de lentilles pelées ont montré la capacité d'inhiber ce processus, en particulier lorsque les antioxydants sont connus Il

Avantages	Inconvénients
Fixe l'azote de l'air	Prix de la semence
Bon précédent à céréales	Moisson assez difficile
Peu de traitements phytos	Peu couvrant (Sensible aux adventices)
Demande peu d'investissement	Délai de retour min de 5ans
Marché demandeur	Rendements incertains
Fertilisations peu nécessaire	Très sensible à la verse
Allonge et diversifie la rotation	Peu de contrats

est concentré dans la coquille des lentilles et seules de petites quantités se trouvent dans les cotylédons internes des lentilles, suggérant la présence du composé Ce n'est pas un antioxydant qui aide à réduire l'incidence du cancer du cotylédon (2003, al et Amarowicz).

1.6.2. Importance agronomique (Les avantages agronomiques des lentilles)

Sont cohérents avec ceux des légumineuses moins exigeantes. Les résidus d'azote dans les cultures suivantes peuvent atteindre 30 U/ha. Cependant, la période de retour des images à l'intrigue est d'au moins 5 ans. (Alexandre de Spotifarm ,2020)

1.7. Production mondiale de lentilles

Est d'environ 89 kilogrammes par seconde ou 2,8 millions de tonnes par an. Les lentilles sont disponibles dans de nombreuses variétés et couleurs. Les graines de haricot et les lentilles sont consommées dans le monde entier depuis la préhistoire et poussent particulièrement bien dans les sols pauvres. La lentille est une légumineuse toute l'année, facile à cuisiner et riche en protéines (8%). Les végétariens sont fiers du fait que les haricots ont une place dans leur alimentation car ils sont un bon substitut à la viande. Ainsi, une portion de 60 grammes de lentilles vertes (poids sec) apporte près de 15 grammes de protéines, soit l'équivalent de 60 grammes de viande. Cependant, il faut faire attention en les combinant avec des céréales pour s'assurer que les huit acides aminés dits essentiels sont fournis à notre corps, c'est-à-dire uniquement à partir de la nourriture. Cette couverture des besoins ne peut en effet être assurée par la consommation de légumineuses seules, ou de céréales seules, qui ne contiennent pas tous les acides aminés essentiels. Les premiers manquent de méthionine et les seconds de lysine. Mais la nature est bien faite, et les acides manquants dans les légumineuses se retrouvent dans certaines céréales, et inversement. En revanche, consommer céréales et légumineuses ensemble au cours d'un même repas augmente le taux d'assimilation des protéines de 30 à 50 %.

A. Liste des pays par production de lentilles

- Dans le monde, 6'315'536 tonnes de lentilles sont produites par an.
- Le Canada est le plus grand producteur de lentilles au monde avec un volume de production de 3'233'800 tonnes par an.
- L'Inde arrive en deuxième position avec une production annuelle de 1'055'536 tonnes.
- La Suisse ne produit pas de lentilles.

Zone de production	Superficie (ha)	Production (qx)	Rendement (qx/ha)
Canada	2467763	373290	15.127
Afrique	188876	22129.6	11.716
Asie	3016900	277744.8	9.206
Europe	241929	27556.5	11.390
Inde	1657500	122000	7.360
Turquie	292455	43000	14.703
Australie	229619	22143.6	9.644

Tableau 1: La production de lentille dans le monde

B. Différents types de lentille sont cultivés et consommés à travers le monde

- **lentille verte** : plusieurs types de lentilles vertes existent à travers le monde, avec une large gamme de couleurs (du vert clair uniforme à un vert soutenu avec ou sans marbrures). En France, les lentilles vertes connues au travers de la lentille verte du Puy notamment ont de petites graines bombées de couleur verte avec des marbrures brunes et bleutées, et à peau fine. C'est la principale lentille cultivée en France.
- **lentilles corail** : (ou lentilles rouges) : la plus consommée au monde, notamment en Inde, au Bangladesh, au Moyen-Orient ou encore dans les pays du pourtour méditerranéen. Les graines sont petites, bombées, de couleur foncée. Une étape de décorticage est nécessaire pour dévoiler la couleur « orangée » corail des cotylédons.
- **lentilles blondes** : des graines larges, de couleur claire et plus plates que les précédentes avec une peau généralement épaisse et de couleur de cotylédons pâle.
- **lentille noire** : Petites graines très bombées de couleur noir brillant.
- En France, la production de lentille est en forte croissance : les surfaces sont ainsi passées de 4 400 ha en 1997 à 37 500 ha en 2019. Les principales zones de production sont l'Auvergne, avec la lentille verte du Puy (AOC, AOP) et la lentille blonde de Saint-Flour (IGP, Label Rouge), le Berry, avec la lentille verte du Berry (Label Rouge, IGP), la Champagne avec la lentille rosée de Champagne, qui présente la particularité d'être semée en hiver. Hors zones historiques, la lentille est également largement cultivée dans l'Yonne et l'Aube, ainsi que dans l'Ouest et le Sud-ouest.

- La graine de lentille est **riche en protéines** : sa teneur est intermédiaire entre celle du pois et de la féverole ; sa **teneur en fibre** est également plus faible du fait de son tégument fin, ce qui la rend **plus digeste** en graine entière.
- **Sans gluten**, la lentille répond à de nombreuses tendances actuelles du marché alimentaire : végétarisme, flexitarisme, sans gluten, enrichissement en protéines végétales

1.7.2. Production de la lentille en Algérie

En Algérie, la culture des lentilles n'occupe que 1.5% de la totalité des terres réservées aux légumineuses alimentaires (Ait Abdallah et al. 2011) ; elle s'étale sur de grandes surfaces dans les hautes plaines (Tiaret, Saïda, Sétif) et les plaines intérieures (Bouira, Médéa, Mila). Par ailleurs, compte tenu de leurs capacités fixatrices de l'azote atmosphérique (46 à 192 kg d'azote par hectare), les lentilles sont souvent cultivées en rotation avec les céréales comme le blé (Rennie et Dubetz, 1986 ; Smith et al., 1987 ; Mcneil et al., 1996 ; Rochester et al. 1998 ; Shah et al. 2003), ce qui les soustrait d'ailleurs à une forte demande d'azote, mais elles ont besoin par contre d'apport de phosphore (engrais phosphorique) pour le développement de leur système racinaire (Sashatchewan, 2002).

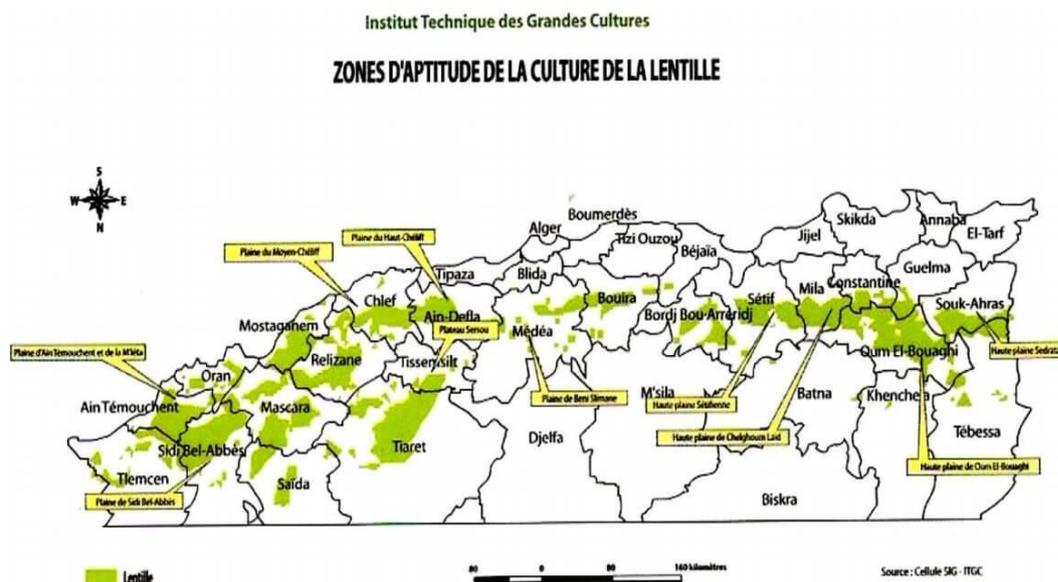


Figure 2: Zones d'aptitude de la culture de la lentille en Algérie (ITGC, 2013).

Ainsi dans la région de Constantine, les productions de lentilles ont progressivement évoluées entre 2006 et 2011 ou l'on a pu noter des collectes brutes maximales (15523,04 Qx) (Tableau

3). Cette évolution est liée à l'élargissement des superficies destinées à cette culture ainsi qu'au nombre d'agriculteurs s'y intéressant.

Wilaya	Campagne	Superficie réalisée (Ha)	Collecte brut (Qx)	Nombre agriculteurs
CONSTANTINE	2006-2007	42	371,7	3
	2007/-2008	460	4533,12	24
	2008/2009	1183	8733,68	69
	2009/2010	2074,5	15523,04	152
	2010/2011	4664,5	20879	231
	2011/2012	1602,5	8720,5	93
	2012/2013	1066,5	7100,74	59
Total général		12194	65861,78	631

Tableau (03) : Evolution des productions de lentilles dans la région de Constantine (2006-2013)

1.8. Contraintes liées à la production de la lentille

Bien que les légumineuses alimentaires cultivées aient bénéficié de quelques programmes de développement, la production en légumes secs n'a pas connu l'amélioration escomptée, tant sur le plan de la superficie que production de graines. Au contraire, toutes les espèces notamment la lentille ont connu une régression (M.A, 1993-2002). Les raisons de cette situation sont d'ordre technique mais aussi socio-économique (ITGC, 1999) évoque par exemple

1.8.1. Contraintes techniques

- Faible productivité du matériel végétal utilisé
- Régression des superficies
- Manque de semences certifiées
- Conduite traditionnelle des cultures
- Contrôle insuffisant des adventices
- Absence de mécanisation
- Acquis de recherche existants mal transférés.

1.8.2. Contraintes socio-économiques

- Faible marge bénéficiaire (faible productivité et forte charge)
- Difficultés dans le financement

- Cultures considérées comme familiales (auto – consommation)
- Concurrence des produits importés souvent de meilleure qualité et bien emballé
- Industrie de transformation de faible capacité

(MELAKHESSOU Zohra 2007)

1.8.3. Contraintes climatiques

La culture non irriguée, ce qui rend les rendements étroitement liés aux aléas climatiques souvent défavorables et caractérisés par une pluviométrie mal répartie et des sécheresses de plus en plus fréquentes. La tardiveté de ces populations les expose souvent aux effets de stress hydriques de fin de saison comme la partie nord de l'Algérie est exposée au grave phénomène de perte de terre, avec une érosion spécifique annuelle moyenne variant entre 2 000 à 4 000 tonnes/km, car le climat est caractérisé, en plus de l'irrégularité des précipitations, par des pluies torrentielles ou des averses de forte intensité, très fréquentes en automne, moment où le couvert végétal est faible ». Alors, selon lui, « les activités de préparation du sol traditionnelles ont conduit à une altération des conditions du sol (création de semelles de labours), favorisant en plus des pertes d'eau par ruissellement, des pertes de sol, aggravant le phénomène de baisse de fertilité et accentuant l'érosion». (Karaali Abdelouahab 2009).

1.9. Maladies de la lentille



Figure 3 : principal maladies et ravageurs
 file:///C:/Users/TM161/Downloads/leguminkafacifr15.pdf.

1.9.1 Sclerotiniasclerotiorum

Peut être observé sur lentille, se présentant sous forme d'un mycélium blanc à l'intérieur des tiges avec présence de sclérotés. La maladie entraîne un dessèchement des plantes. (Gwénola Riquet et Franck Duroueix. 2022)

1.9.2. Botrytis

Le botrytis de la lentille (*Botrytis cinerea*), appelé également « pourriture grise », se développe dans des conditions humides et douces. Il se développe principalement sur les jeunes gousses, provoquant leur avortement. (Gwénola R et Franck D 2022).



Figure 4 : Botrytis sur gousses (à gauche) et sur tiges (à droite) (Gwénola R. 2021).

1.9.3. Rouille

La rouille brune (*Uromycesviciae-fabae*) apparaît plutôt en fin de cycle lorsque les températures sont élevées, sous forme de pustules sur les faces inférieures des feuilles et sur les tiges. (Gwénola Riquet et Franck Duroueix 2022).



Figure 5 : maladie de la rouille (Gwénola R. 2021).

1.9.4. Maladies racinaires

La lentille est très sensible aux maladies racinaires. **Pythium** et **fusarium** sont responsables de nécroses racinaires et de jaunissement des parties aériennes La gestion se fait à l'échelle de la rotation : respecter un délai de retour d'au moins 5 ans entre deux cultures de lentille, et semer dans de bonnes conditions (**Gwénola R. 2021**)

2. Blé dur

2.1. Blé dur Historique et origine

2.1 Historique

Le blé est une plante monocotylédone appartenant au genre *Triticum* de la famille des Poacées. Ce sont des grains dont les grains sont secs et non craquelés. Il s'appelle caryopse et se compose d'une gaine et d'une écorce (**Godon, 1995**). Les deux types les plus courants sont le blé tendre (*Triticum aestivum*) et le blé dur (*Triticum durum*). Mais il existe de nombreux autres types de blé avec différents degrés de bleuissement. Selon **D'Amato (1989)** et **Bonjean (2000)** cités dans (**Bousalhih 2014,**) le blé dur est le résultat d'une symbiose de deux génomes : *Triticum monococcum* avec le génome AA et *Agilops speltoides* avec son génome BB ou d'autres parties de ce génome symbiose donnant $2n = 4x = 28$ chromosomes représentés par AABB. Selon **Lelley (1976)** rapporté par **Messiam (1981)**, le génome de B provient d'*Aegilops spltoides*, dont le génome est généralement représenté par la lettre S.

2.2 Origine

Les premiers agriculteurs du Proche-Orient ont cultivé le premier blé il y a plus de 10 000 ans. Au fil du temps, différentes espèces ont émergé. Le blé cultivé 8000 ans avant notre ère s'est ensuite répandu dans toute l'Europe et l'Inde (**Bonjean et al, 1990**). Les principaux producteurs sont la Communauté économique européenne et la Chine, qui produisent chacun 16 % de la production mondiale, suivis de l'Inde (12 %) et des États-Unis (9 %) (**anonyme, 2010**). Les exportations représentent environ 18 % de la production mondiale, les principaux pays exportateurs étant les États-Unis (28 %), le Canada (17 %) et l'Australie (16 %) (**Bousalhih et al, 2015**)

2.2. Classification botanique du blé dur

Règne	Plantae
Sous-règne	Cormophyte
embranchement	Spermaphytes

sous-embranchement	Angiospermes
super-ordre	Commeliniflorales
Ordre	Poales
classe	Monocotyledones
famille	Graminées
Genre	Triticum
Espèces	Triticum durum Desf

Tableau 2: Classification botanique du blé dur

2.3. Description morphologique

A. Morphologie, la biologie, et la physiologie du blé dur

Principal représentant des blés tétraploïdes à grains nus : le blé dur, est une plante de climats chauds et secs. L'épi a généralement de longues barbes, et une section carrée ou comprimée. L'épillet a 2-5 fleurs. Les glumes n'ont pas d'arêtes. Le grain nu est translucide et très dur.

B. Caractéristiques morphologiques

Les blés sont des plantes herbacées annuelles, monocotylédones, à feuilles alternes, formées d'un chaume portant un épi constitué de deux rangées d'épillets sessiles et aplatis. Les fleurs sont nombreuses, petites et peu visibles car a chlamydes. Elles sont groupées en épis situés à l'extrémité des chaumes.

2.3.1. Partie souterraine

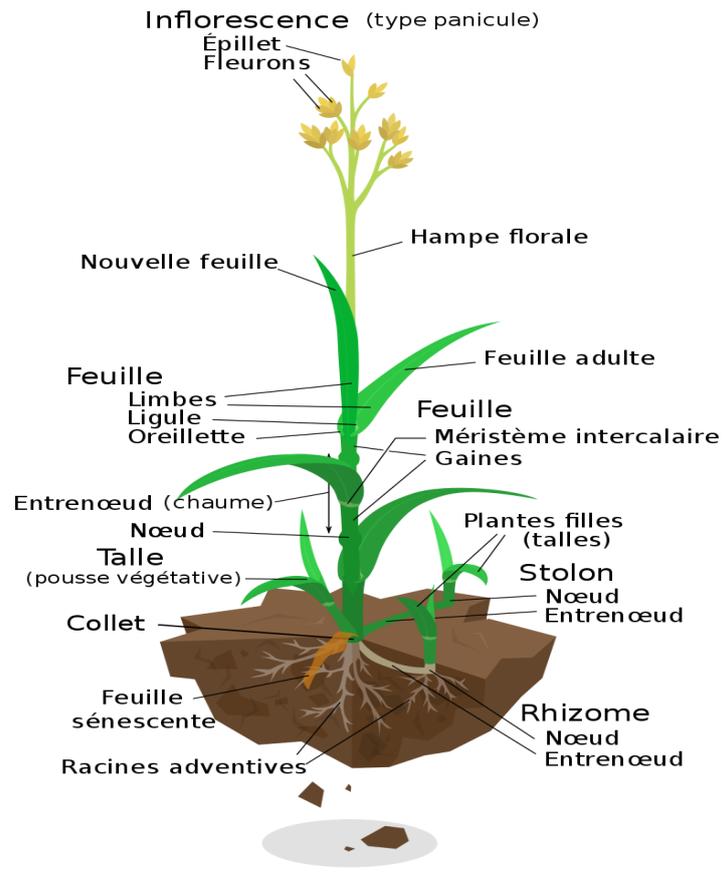


Figure 6: Zones Partie souterraine du blé dur

C. L'appareil végétatif

C.a. Racines

Deux sortes de racines

Les racines primaires ou séminales issues de la semence qui se développent au moment de la germination : la radicule qui débouche la 1^e ; puis la 1^e paire de racines qui va sortir en même temps ; et la 2^e paire racinaires. Ces racines qui sont constitués que de tissus primaire vont nourrir la plantule jusqu'au stade tallage.

Un système racinaire fasciculé assez développé, (racines adventifs ou coronaires) ; qui sont produites par le développement de nouvelles talles (**Soltner, 1990**). Elles peuvent atteindre jusqu'à 1m50.

C.b. Tige

Sont des chaumes, cylindriques, souvent creux par résorption de la moelle centrale mais chez le blé dur est pleine. Ils se présentent comme des tubes cannelés, avec de longs et nombreux faisceaux conducteurs de sève. Ces faisceaux sont régulièrement entrecroisés et renferment des fibres à parois épaisses, assurant la solidité de la structure. Les chaumes sont interrompus par des nœuds qui sont une succession de zones d'où émerge une longue feuille.

Le système racinaire des céréales à paille Une organisation souterraine structurée

Organes d'ancrage de la plante au sol, les racines assurent également l'absorption de l'eau et des éléments minéraux. Leur croissance dépend directement de celle de la partie aérienne puisque les feuilles synthétisent les substances carbonées composant les racines. Comment sont-elles organisées

2.3.2 Partie aérienne

L'appareil reproducteur

a- L'épi de blé

L'inflorescence du blé dur est un épi muni d'un rachis portant des épillets séparés par de courts entrenœuds. Chaque épillet comporte deux glumes (bractées) renfermant de deux à cinq fleurs distiques sur une rachéole. Un épillet regroupe de deux à cinq fleurs, et souvent trois fleurs à l'intérieur de deux glumes. Chaque fleur est dépourvue de pétales, et est entourée de deux glumelles (pièces écailleuses non colorées). Elle contient trois étamines qui ont la forme en x (pièces mâles), un ovaire surmonté de deux styles plumeux dichotomique (les pièces femelles). La fleur du blé est dite cléistogame (**PRATS, 1966**). C'est-à-dire que, le plus souvent, le pollen est relâché avant que les étamines ne sortent de la fleur. Il s'attache alors au stigma, où peut se produire la fécondation. À cause du caractère cléistogame de la fleur, l'autofécondation est le mode de reproduction le plus fréquent chez les blés : ce sont les anthérozoïdes (ou spermatozoïdes) issus du pollen d'une fleur qui fécondent l'oosphère et la cellule centrale du sac embryonnaire de l'ovaire de cette même fleur (les cellules sexuelles femelles sont protégées dans un sac embryonnaire fermé au sein d'un ovule).

b- le grain de blé

b-1- La graine

Le grain de blé est un caryopse nu (**Soltner, 2005**) constitué d'un albumen représentant 80 à 85% du grain, d'enveloppes de la graine et du fruit (13 à 17% du grain) tandis que le germe n'est composé que de 3%.

Après fécondation, l'ovaire donnera le grain de blé. Dans le cas du blé, le grain est à la fois le fruit et la graine. En effet, Les enveloppes du fruit sont soudées à celles de la graine. Le grain de blé est un fruit particulier, le caryopse. L'enveloppe externe est adhérente à la matière végétale de la graine et la protège des influences extérieures. Au cours de la mouture, les enveloppes (téguments) sont parfois séparées du grain (embryon + albumen) et commercialisées en tant que son. Le grain contient 65 à 70 pour cent d'amidon ainsi qu'une substance protéique (le gluten) dispersée parmi les grains d'amidon. Le gluten est responsable de l'élasticité de la pâte malaxée ainsi que de la masticabilité des produits à base de céréales cuits au four. Cette viscoélasticité permet de faire du pain de qualité : les bulles de CO₂ dégagées lors de la dégradation anaérobie de l'amidon par les levures sont piégées dans le réseau de gluten à la fois tenace et élastique (la pâte "lève").

a- les feuilles

Engaine la tige puis s'allonge en un limbe étroit à nervures parallèles lancéolé, issues chaque une d'un nœud ; compte à la gaine est un cylindre qui permet d'attacher le limbe au noeud le plus bas son rôle est chlorophyllien et conservation d'eau et d'air et avant l'allongement des talles les gaines protégeant l'apex qui se trouve en cercle concentrique au plateau de tallage ; L'oreillette ou stipules sont des organes membranaire dépourvus de chlorophylle dot le rôle n'est pas encore bien déterminer (elles forment des joins empêchant particulièrement l'eau de pluie ou de rosé de s'infiltrer à l'intérieur de la gaine) ; la ligule est un organe membranaire qui se forme à l'adjonction entre le limbe et la gaine. (Prats et al, .1971). Chez toutes les graminées la présence et la forme des oreillettes ou stipules et de la ligule, permet de déterminer l'espèce avant l'apparition de l'épi. (Soltner, 1990).

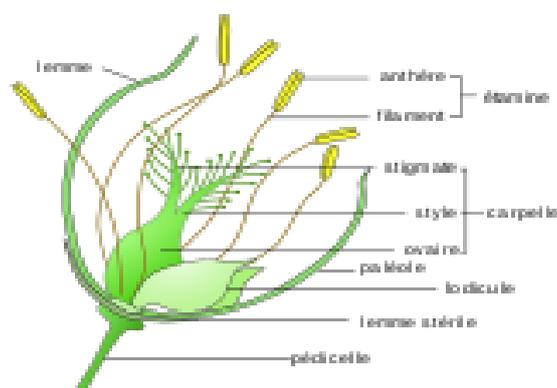


Figure 7 : Les régions montrent une partie des fleurs (Soltner, 1990).

2.4. Stade de développement de blé

La germination et la levée

Pousse et pousse Pendant la germination, la coleorhiza s'épaissit en touffes blanches et éclate Le tégument au niveau du germe, là où la racine commence Couleur primaire, avec poils absorbants **Figure (07)** Dans le même temps, le coléoptile, gaine La première vraie feuille, Allongée vers la surface, elle permet à la première feuille de percer, elle est levage. Les deuxième et troisième feuilles suivent.

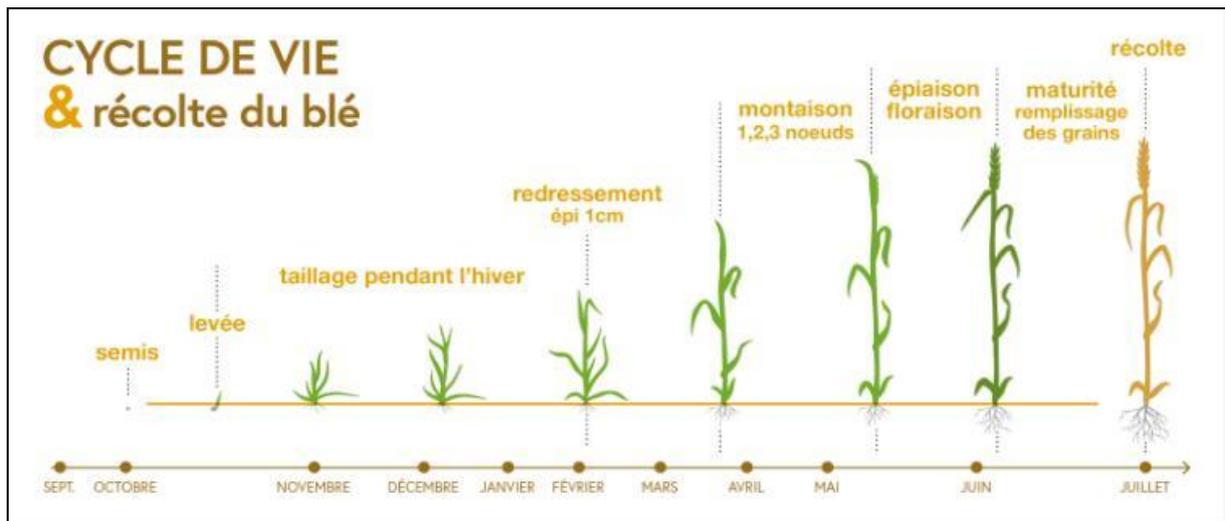


Figure 8 : Stades repères du cycle de développement du blé Source (<https://qualista.fr/actualites/juillet-la-recolte-du-ble/>)

2.4.2 Culture Une fois la troisième feuille

Le deuxième entre-nœud porte Le bourgeon terminal s'allonge en coléoptile et cesse de monter à 2 Des centimètres sous la surface du sol, des plates-formes de tallage se forment. Feuilles (à partir de la quatrième feuille), puis les bourgeons axillaires deviennent actifs Donnez de nouvelles motobineuses. La première barre se forme à la base de la première barre Les feuilles et les deuxièmes talles sont à la base de la deuxième feuille Bourgeons axillaires dans L'aisselle des feuilles des talles produit des talles secondaires.

2.4.3 Gonflage des boullons

Elle se caractérise par le bombement des oreilles sous l'effet de l'allongement de la base de l'oreille. Nœuds qui composent le chaume. Brouillage de la barre montante possède le facteur environnemental des talles herbacées et ne peut donc pas paniquer ce dernier, à son tour, recula et mourut (**Masle, 1982**). Ce phénomène est Apparaît comme une réduction de la croissance des semis, suivie d'un arrêt (**Masell, 1981**).

Fleur de titre une fois que l'épi émerge de la gaine de la feuille étendard, il est au stade épiaison. Pendant cette période, la formation des organes floraux se termine 4 à 5 jours après la floraison. Plus tard. Pendant la floraison, la fleur reste généralement fermée (fleur ocrétique), et les trois anthères éclatent et libèrent du pollen. Les fleurs sont rarement ouvertes jusqu'à la libération du pollen. La floraison dure trois à six jours, selon les conditions météorologiques. Elle commence au centre de l'oreille et continue vers les deux extrémités du bâton. La durée d'acceptation de la stigmatisation du blé dépend de la variété et des conditions environnementales. Une fois fécondé, les ovaires se développent rapidement. Deux semaines après la fécondation, l'embryon physiologiquement fonctionnel et peut produire de nouveaux semis (**Bozzini, 1988**).

2.5.1 Exigences édaphique

Céréale la plus cultivée au monde, le blé est adapté à des terroirs très différents, si on utilise des engrais et des variétés appropriés, et éventuellement irriguer, en notant trois caractéristiques d'un bon sol à blé : texture fine : limon argileux, fournit aux racines fibreuses une structure stable qui résiste à la dégradation par l'eau de pluie. Structure hivernale et stable qui résiste aux dommages causés par les pluies hivernales. Le blé ne fait pas d'étouffement et la nitrification sera bonne jusqu'au bout au printemps. Profondeur et richesse suffisante (**Soltner, 2005**).

2.5.2 Exigences climatiques

A. Température

La température affecte la physiologie du blé à tout moment, la température. La germination des grains nécessite une température supérieure à 0°C (aucune végétation de blé) car elle régule la nitrification et l'activité des nutriments dans le blé pendant le tallage et la croissance. L'augmentation, en plus de l'intensité d'évaporation, peut provoquer des brûlures (**Soltner, 2005**). Une baisse brutale de T°, associée à un assèchement intense de la surface, entraîne des dommages nécrotiques (**Soltner, 2005**). La quantité de température requise pendant le cycle de blé est de 2350°C (**Baldy, 1986**).

B. Humidité

Le besoin en eau pour la culture du blé est compris entre 450 et 650 mm, selon le climat et la longueur du cycle de croissance (**Baldy, 1974**).

C. Lumière

La lumière est le facteur qui agit directement sur le bon fonctionnement de la photosynthèse Et Le comportement du blé. En effet, un bon tallage est garanti, si le blé est placé dans les Conditions optimales d'éclairement (**Soltner, 1990**).

Une certaine durée du jour (photopériodisme) est nécessaire pour la floraison et le Développement des plantes.

Pour Il est nécessaire de comprendre les mécanismes par lesquels les espèces acquièrent des nutriments Introduire les concepts et mécanismes de base. Notre exemple portera sur Principalement de l'**azote (N)** et du **phosphore (P)**, les deux nutriments les plus étudiés Parce qu'ils ont un grand impact sur la croissance des plantes. (**Philippe HINSING, 2012**)6. Importance du blé dur

2.6.1 Importance du régime alimentaire

Selon Le **Meilleur et al (2009)**, les céréales constituent la base de l'alimentation humaine. La plupart des pays du sud de la Méditerranée. Par conséquent, ils sont considérés comme stratégiques en termes de sécurité Nourriture des populations. Parmi les céréales, le blé (blé tendre et blé dur panifiable La semoule) a une place importante dans l'alimentation des pays d'Afrique du Nord, Généralement plus de 50% de l'apport énergétique de la ration Chaque Algérien consomme 180 à 200 kg de céréales (blé dur et tendre) par an Cependant, selon **Smadhi et Zella (2009)**, il est estimé à 250 kg Par rapport aux autres Pays où la consommation de céréales par habitant ne dépasse pas 50 à 60 kg. La croissance de la production céréalière est faible par rapport à la même période l'an dernier La consommation a fortement augmenté sous l'effet de la croissance démographique et de la croissance économique Soutien de l'État aux prix à la consommation. Ajustement structurel et action Le PNDA est encore insuffisant pour développer la production céréalière qui dépend encore de Précipitations annuelles (**Djermoun, 2009**). L'Algérie est un pays du Maghreb et la semoule de blé est généralement utilisée dans Fait du couscous et une variété de biscuits. La semoule de blé doit satisfaire Un ensemble de normes de qualité exigées par les fabricants de pâtes. Critères principaux Les qualités sont : la couleur ; la résistance à la cuisson, leur densité et leur spécialité

2.6.2 Lieux économiques

Les céréales ont représenté environ les deux tiers de la demande du marché ces dernières années au niveau national, sans tendance à la baisse (6,6 millions de tonnes de blé importées en 2007 : 5,1 100 000 blé tendre et 1,5 million de blé dur). Même à son apogée en 2009 lorsque la production locale Avec 6,1 tonnes recensées, le secteur céréalier algérien est loin d'être couvert La demande du marché intérieur basée sur la consommation moyenne est de 8 tonnes métriques 200 kg/habitant/an. Selon les informations du Centre National de l'Information et de la Statistique d'Algérie En 2012, 9,79 tonnes de céréales ont été importées et 10,03 tonnes de céréales seront importées en 2013, soit Une augmentation de 2,55% confirme la tendance à la hausse de ces dernières années. De 1995 à 2005, le marché algérien a absorbé en moyenne 4 244 903 tonnes par an Blé, dont le blé dur représentait 70,44%, soit 2 990 265 tonnes, d'une valeur de 858 millions USD, dont 60,36 % de blé dur, soit 578 millions USD (**Chehat. 2007**).

2.7. Production mondiale de blé

La production mondiale de blé dure oscille entre 35 et 41 millions de tonnes (Mt) depuis une dizaine d'années. La grande majorité des pays producteurs font partie de l'hémisphère nord (hormis l'Australie) Cela en fait la sixième céréale produite dans le monde, très loin derrière le maïs grain et le blé tendre. Le Canada, le Mexique, l'Algérie et l'Union européenne totalisent plus de 55 % des besoins mondiaux d'exportations du marché. La France, avec 1,65 Mt représente désormais un peu moins de 5% de la production mondiale (contre 6,5% entre 2010 et 2012), mais 22% de la production européenne après l'Italie. De nouveaux pays apparaissent régulièrement à l'export (Kazakhstan, Russie, Slovaquie, pays d'Europe Centrale... avec des quantités modestes mais qui assurent une certaine liquidité au marché dans des périodes où les exportateurs historiques sont moins présents /encadré

Principaux pays producteurs	Production moyenne (en millions de tonnes)	Part de la production mondiale
Canada	5,7	15 %
Italie	4	11 %
Turquie	3,8	10 %
Mexique	2,3	6 %
Kazakhstan	2	5 %
Algérie	2	5 %
Maroc	1,9	5 %
USA	1,8	5 %
France	1,7	4,5 %
Australie	0,5	1 %

Tableau 3 : Production moyenne des principaux pays producteurs de blé dur sur 2013-2015. Un quart de la production mondiale est le fait de deux pays Source: IGC, Stratégie Grains et France grimer.

L'utilisation mondiale de céréales en 2021 devrait progresser de 1,5 pour cent en glissement annuel et atteindre 772,8 millions de tonnes, principalement sous l'effet de la hausse de la consommation alimentaire prévu. Le relèvement des estimations concernant les stocks de blé dans l'Union européenne est le principal facteur de l'ajustement après l'augmentation de 3,6 millions de tonnes distribuées en mars. La production mondiale de blé devrait connaître une quatrième hausse annuelle consécutive en 2022. La plus grande partie de cette croissance devrait être imputable à l'Amérique du Nord. La diminution des superficies plantées en blé en Ukraine devrait entraîner une baisse de la production cette année. Il est néanmoins toujours prévu que le résultat en 2022 soit légèrement au-dessus de la moyenne de ces cinq dernières années. (Food Outlook. Dates de sortie mensuelles pour 2022 : 3 février, 4 mars, 7 avril, 5 mai, 2 juin, 7 juillet, 8 septembre, 6 octobre, 3 novembre, 8 décembre.)

Marché mondial du blé						
	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21 estimation	2021/22 prévision	
					précédente (03 févr. 2022)	dernière (04 mars 2022)
(..... millions de tonnes))						
Production1/	761.5	731.4	759.9	776.6	775.6	775.4
Disponibilités2/	1 027.1	1 020.2	1 033.5	1 055.8	1 063.5	1 063.7
Utilisation	738.8	750.3	751.9	761.5	775.8	772.8
Commerce3/	177.8	168.6	183.9	189.2	192.9	194.0
Stocks de clôture4/	288.8	273.5	279.2	288.3	287.5	291.1
(..... pour cent))						
Rapport stocks mondiaux- utilisation	38.5	36.4	36.7	37.3	36.6	37.1
Rapport stocks des principaux exportateurs- utilisation totale5/	21.0	18.1	15.5	15.5	13.8	15.2

Tableau 4 : rapport de stockage mondiaux et principaux exportateurs utilisant du blé

2.8. Production de blé dur en Algérie

Le blé dur (*Triticum*) est l'espèce la plus cultivée dans le bassin méditerranéen de l'Afrique du Nord. En Algérie, il occupe 45% de la sole réservée aux céréales, soit 1,6 Mah (ONFA, 2017), et offre une production de 2,5 millions de tonnes. La productivité agricole est limitée principalement par la sécheresse dans les régions arides et semi-arides. Différents ensembles de données sont utilisés pour estimer la diversité génétique des plantes cultivées sur blé. La caractérisation phénotypique des différentes ressources génétiques constituant une étape préliminaire et indispensable pour l'évaluation de l'état de la diversité génétique. Elle est importante pour introduire les gènes recherchés à partir de matériel dispersé dans le pool génétique du blé (Thompson. Nelson. 1998). Les marqueurs agro-morphologiques représentent des outils efficaces à utiliser dans le développement variétal. En effet, on distingue trois zones céréalières en fonction des quantités de pluie reçues au cours de l'année et des quantités de céréales produites (Chehat. 2005).

Les zones	Localisation (Les wilayas comprises)	La pluviométrie (mm)	Caractéristiques	Rendement	SAU
Zone à hautes potentialités (Humide et sub-Humide) (littoral et sub-littoral)	Plaines de l'algérois et Mitidja, bassin des Issers, vallée de la Soummam et de l'oued el Kebir, vallée de la Seybouse ,	Supérieure à 600 mm/an	Pluviométrie relativement bien distribuée	20qx/ha	400000 ha Dont moins de 20% sont consacrés aux céréales

	Tipaza, guelma. skikda, el Taref. Béjaia Tizi Ouzou, Annaba				
Zone à moyennes potentialités (Semi-aride / plaines Telliennes)	Coteaux de Tlemcen, vallée du Chélif, massif de Médéa, Constantine, Bouira, Mila, souk ahras, aindefla. Témouchent et autres...	Comprise entre 400 et 500	Pluviométrie distribution irrégulière	Variée entre 5 à 15qx/ha	1600000 ha dont la du moitié est réservés aux céréales
Zone à basses Potentialités (Sub-aride hauts plateaux)	Les hauts plateaux de l'Est et de l'Ouest Tissemsilt, Tiaret, Sétif, Saida, oum el bouaghi, bordj Bou Arréridj	Inférieur à 350 mm/an	Système prédominance Agropastorale et des altitudes supérieures à 1000m	Inférieur à 8qx/ha	4,5 millions d'ha dont près de la moitié est emblavée chaque année en céréales
Le sud	Wilayas du sud	Très faible	Périmètre irrigué: 10 000 ha Cultures oasiennes : 35 000 ha	Inférieur à 7qx/ha	

Tableau 5 : Production de blé dur en Algérie_(Chehat et Boulal H et al, 2005-2007).

2.9. Maladies de la culture

Les maladies céréalières affectent la stabilité des rendements et la qualité des grains récoltés dans différentes variétés (**Belaid, 1996**). Les dégâts causés par les ravageurs et les maladies sont multiformes, affectant la qualité et la quantité de la récolte. Des enquêtes menées dans certains pays méditerranéens entre 1964 et 1970 ont montré que 15% à 35% de la superficie utilisée pour la culture des semences de blé était endommagée par 30% de charbon épi court et nu (**Dubois et Flodrops. 1987**)

En plus des contraintes culturelles, qui sont

2.9.1. Les accidents de la culture : qui divisé en

A. Accident climatique

- Sécheresse : La sécheresse peut affecter le rendement en affectant négativement le travail du sol et le semis comme suit. La sécheresse, manque chronique d'eau, affecte

directement la croissance des plantes, mais affecte aussi indirectement le rendement en limitant l'absorption d'azote et de tous les minéraux et en réduisant leur décence vis-à-vis des parasites des racines.

- Trop d'humidité : Il provoque l'étouffement des racines, étouffant les micro-organismes aérobies impliqués dans la nitrification, de sorte que le jaunissement indique une privation d'azote. (**Braun, 2006**).
- Accidents dus au froid : La gelée provoque la migration de l'eau des cellules vers les canaux intercellulaires, où elle gèle en cristaux. Par conséquent, les cellules se déshydratent, ce qui entraîne une coagulation irréversible du protoplasme, conduisant à une coagulation mortelle. (**Clément et al., 1971**).
- Les accidents dus à la chaleur: Les coups de chaleur rendent impossible la migration des réserves (échaudage des grains) cm phénomène s'aggrave d'avantages si les vents desséchants surviennent tôt tel le sirocco .à la fin du palier le grain est au stade pâteux. C'est au cours de cette phase dite du palier hydrique, que peut intervenir l'échaudage (**Clément et al, 1971**).

B. Accident physiologique

- Le mitadinage: Le mitadinage est un état farineux partiel ou total du grain normalement translucide, à cassure vitreuse et cornée. Cet accident se détermine approximativement 20 jours après la floraison (**Clément et al, 1971**).
- La verse physiologique : Cet accident provoque souvent une chute importante du rendement il résulte de la pliure plus ou moins accentuée des entre-nœuds basales qui ne peuvent supporter le poids de l'appareil aérien (**Anonyme, 1974**).
- La coulure: Pendant la floraison une température inférieur à 16°C peut entraîner une diminution de la fécondation, en effet, en dessous de cette température, les anthères ne s'ouvrent pas et les stigmates ne sont pas réceptifs (**Clément et al. 1971**).

II. fixation symbiotique de l'azote

II.1.Importance de l'azote dans la nutrition des plantes

L'azote (N) est un élément nutritif essentiel à la croissance des cultures. Il entre dans la composition des protéines, dont les enzymes, et dans celle des acides nucléiques, dont l'ADN. En tant que composant de la chlorophylle, il joue un rôle vital dans la photosynthèse

II.2. fixation symbiotique de l'azote

Les fixateurs d'azote sont apparus dans ces conditions il y a 65 millions d'années en tant que réponse adaptative d'une plante à une carence en azote, et les plantes auraient "tendance" à investir une partie du carbone qu'elles acquièrent par la photosynthèse en échange des nutriments nécessaires à leur développement. Ainsi ce qui est payé par la plante (son carbone) dépend de la possibilité d'obtenir « de l'azote moins cher » en prélevant de l'azote minéral (nitrate et ammonium) du sol par exemple. Ainsi, la proportion d'azote de fixation est maximale (80 %) lorsque la quantité de N minéral dans le sol est inférieure à 50 kg N/ha et tend vers 0 % lorsque l'équivalent est supérieur à 350 kg N/ha. limites, la valeur fixe de N et racinaire Le nombre de nodules dans le sol a diminué proportionnellement à l'augmentation de la disponibilité de N minéral dans les feuilles du sol Ce contrôle a varié selon les stades en fonction du stade de développement de la plante hôte Par exemple, la quantité de carbone investi par la plante dans son système racinaire (nodosités y compris)diminue après floraison car l'apparition et le remplissage des graines deviennent prioritaires C'est à cause de ce phénomène que les légumineuses utilisées comme "engrais vert"² doivent être fauchées à floraison afin de maximiser la quantité d'N apporté au sol.

II.3. Etablissement de la symbiose fixatrice

Les légumineuses à grains (telles que pois, féveroles, soja et chiches pois) et les légumineuses fourragères (luzerne, trèfle et lupin) sont des sources essentielles de protéines à usage animal et humain. Les légumineuses sont également riches en métabolites secondaires et autres composés à haute valeur ajoutée, ce qui ouvre de nouveaux champs d'application pour les légumineuses à des fins non alimentaires (molécules bioactives, bioénergie, biopolymères, etc.). Les légumineuses sont cultivées en rotation avec d'autres cultures pour leur capacité à restaurer la fertilité des sols dans les pratiques d'agriculture biologique. Parce qu'ils peuvent pousser dans des sols pauvres en azote, leur utilisation dans l'agriculture peut réduire l'utilisation d'engrais à base d'azote. L'établissement d'une relation symbiotique entre les légumineuses et les bactéries bénéfiques pour le sol, connues collectivement sous le nom de rhizobia.

Les étapes initiales de cette relation symbiotique et le développement des nodosités ont été décrits en détail, mais les mécanismes contrôlant l'identité des nodosités et les étapes ultérieures de l'interaction liées à l'infection bactérienne chronique des cellules nodosités sont moins bien comprises. Les rhizobiums infectent le plus souvent la racine de la plante par le biais de structures symbiotiques spécialisées appelées cordons d'infection. Les rhizobiums

sont logés dans des cellules symbiotiques, au sein de structures appelées symbiosomes, dans la nodosité adulte, une nodosité fixatrice d'azote. Contrairement à ce qui est couramment observé lors d'invasions microbiologiques, aucune réponse de défense visible n'est montrée dans les nodosités, malgré le fait que les cellules symbiotiques sont fortement colonisées par les bactéries. De plus, dans la nature, les nodosités peuvent abriter d'autres bactéries appelées bactéries endophytes.

Notre équipe étudie les mécanismes qui régissent les interactions micro-organismes bénéfiques des plantes, la formation d'interfaces symbiotiques (nodosités), et le rôle de l'immunité végétale dans ces interactions, principalement dans les symbioses légumineuses - rhizobiums. Nous travaillons également sur un projet utilisant des endophytes céréaliers. Nous examinons les conséquences de ces interactions dans une variété d'interactions microbes à microbes impliquant des endophytes et des agents pathogènes, et voyons comment elles pourraient être utilisées pour améliorer le bénéfice des interactions végétales bénéfiques. La compréhension de ces interactions multipartites peut aider à mieux comprendre les interactions compliquées auxquelles les plantes sont confrontées au champ ou dans la nature. (D'Erfurth et al, 2003 Tadege et al, 2005 ; Tadege et al, 2008 ; Pislariu et al, 2012) ainsi que l'isolement des mutants de Medicago et la transformation de Medicago (Cosson et al, 2015). L'équipe utilise des stratégies de génétique directe et inverse pour l'étude des interactions plantes-microorganismes, incluant les interactions légumineuses-rhizobia

II.3. 1. Rhizobiums

Le phénomène de la symbiose repose sur un mutuel échange entre la plante et la bactérie. La bactérie fournit une source d'énergie illimitée à la plante, en contre partie, la plante fournit les glucides à la bactérie dont elle a besoin.

II.3. 2. Étapes de la nodulation

La relation entre la plante et les bactéries commence dans la rhizosphère, où les bactéries se développent de manière sélective (Moulin et al, 2001). Les rhizobiums sont attirés par les poils absorbants de la racine par une variété de produits chimiques, y compris les flavonodes et les iso-flavonodes, mais surtout par les phénylpropanodes libérés par la racine (Patriarca et al, 2004).

Les différentes étapes de l'initiation et du développement d'un nodule racinaire de légumineuse. (A) Les différentes phases impliquées dans l'initiation du nodule (attraction, reconnaissance, contact) sont: (1) l'excrétion de substances racinaires spécifiques, les

flavonoïdes; (2) ces substances vont attirer les rhizobia; (3) la synthèse de facteurs Nod par les rhizobia va alors être stimulée; (4) les facteurs Nod induisent la division des cellules corticales; (5) les cellules du cortex se divisent pour former le méristème nodulaire primaire. (B) Les différentes phases impliquées dans l'infection et la formation du nodule (entrée, développement, différenciation) sont: (6) la fixation des bactéries sur la racine; (7) la division des cellules du péricycle à proximité du pôle du xylème; (8) la formation d'un cordon d'infection abritant les bactéries et la progression de la division au niveau des méristèmes nodulaires; (9) les deux types de méristèmes fusionnent pour former le nodule au sein duquel se situent les rhizobia; (10) le nodule se développe et certaines cellules se différencient pour former des connections vasculaires permettant les échanges plante-rhizobia : la plante fournit du carbone à la bactérie et la bactérie permet un apport en azote à la plante. (D'après Taiz & Zeiger 2010).

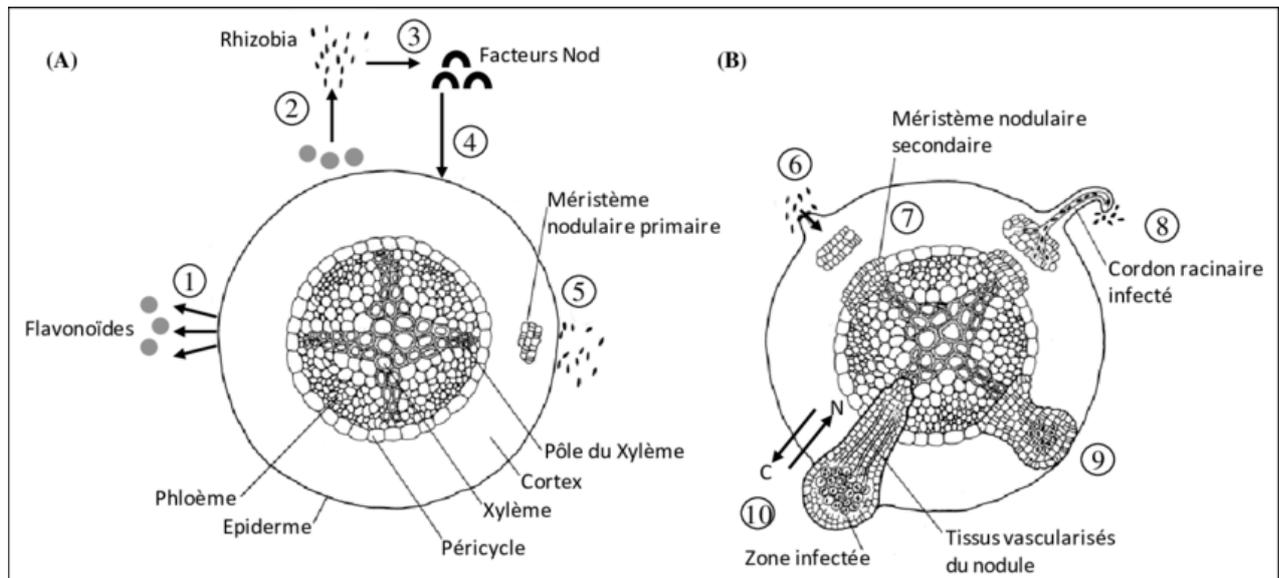


Figure 9: Expliquer les différentes étapes de la nodulation

II.4. Les facteurs influençant la fixation de l'azote

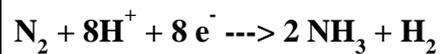
Parmi les facteurs naturels qui peuvent modifier le cycle de l'azote, on retrouve, entre autres, la température, le taux d'humidité et le pH. Cependant, avec les explications données ci-dessus, on comprendra que l'activité humaine est malheureusement le facteur qui a le plus d'impact sur la modification du cycle de l'azote. Les engrais que l'on étend sont riches en ammoniac (NH_3), en ammonium (NH_4^+) et en nitrates (NO_3^-). Par le lessivage, ce surplus de composés azotés se retrouve dans les cours d'eau. L'utilisation des combustibles fossiles dans les moteurs et les centrales thermiques transforment l'azote en oxyde d'azote. La dénitrification est alors augmentée. Or, la dénitrification émet aussi dans l'atmosphère une

faible quantité d'oxyde d'azote (**N₂O**). L'oxyde d'azote est un gaz à effet de serre qui contribue à détruire la couche d'ozone dans la stratosphère. Il faut savoir qu'une molécule de (N₂O) est 200 fois plus efficace qu'une molécule de (CO₂) pour créer un effet de serre.

II.5. Intérêt de la fixation symbiotique

Certaines réactions biochimiques ont sous-estimé leur importance en écologie : la fixation biologique de l'azote en fait partie, avec les réactions photosynthétiques. Cette réaction est responsable de la transformation d'un gaz inerte, le N₂ atmosphérique, en formes réactives d'azote indispensables au fonctionnement des écosystèmes. La majorité de l'azote qui s'accumule dans les sols des écosystèmes terrestres provient de la fixation biologique.

La réaction implique la réduction du N₂ en ammoniac, et est catalysée par l'enzyme nitrogénase :



Depuis l'introduction du procédé industriel Haber-Bosch au tournant du XXe siècle, les humains ont converti l'azote atmosphérique en ammoniac utilisable par les plantes à un rythme presque égal à celui de la biosphère. (De l'ordre de 100 millions de tonnes d'N par an), mais au prix d'une utilisation très importante d'énergie fossile. Ce coût important s'explique par le fait que la molécule de N₂ (N≡N) contienne une triple liaison très énergétique et donc qui demande beaucoup d'énergie pour être rompue. Dans le cas de la fixation biologique, cette énergie est apportée par la photosynthèse...

De nombreux organismes archéens, bactériens et cyanobactériens synthétisent la nitrogénase et peuvent fixer l'azote, qu'ils soient associés ou non aux végétaux. Lorsque les micro-organismes ne sont pas associés aux végétaux et vivent et fonctionnent de manière "libre", ils extraient l'énergie nécessaire à leur propre hétérotrophie (par exemple, les bactéries des genres *Azotobacter*, *Azospirillum*, et *Clostridium*) ou autotrophe (par exemple, les cyanobactéries) réactions métaboliques. Lorsque des micro-organismes collaborent avec des plantes pour produire une réaction, on parle de fixation symbiotique : dans ce cas, l'énergie est fournie par la plante hôte. Cette dernière méthode permet un apport énergétique important et, par conséquent, une fixation beaucoup plus rapide de l'azote par rapport aux organismes non symbiotiques.

L'association symbiotique la mieux connue est la symbiose rhizobienne chez les légumineuses. D'autres plantes, en plus des légumineuses, créent des relations symbiotiques avec des

microorganismes fixateurs d'azote : par exemple, de nombreuses plantes à fleurs, comme les aulnes, forment des structures nodulaires contenant des bactéries actinomycètes du genre Frankia. D'autres symbioses agronomiquement importantes incluent celle de l'*Azolla* flottante avec les cyanobactéries, qui est responsable d'une quantité importante de fixation d'azote dans certaines rizières, et celle de plusieurs graminées avec les bactéries *Spirillum* et *Azotobacter*, qui utilisent les exsudats racinaires comme source d'énergie. Cette dernière relation permet par exemple de fixer 5 à 30 kg d'azote par hectare et par an dans diverses savanes tropicales.

L'objectif principal est d'optimiser la symbiose légumineuse rhizobium dans le but de réduire l'utilisation d'engrais azotés et ou d'introduire de nouvelles cultures

III. La disponibilité et la biodisponibilité du phosphore dans la rhizosphère

III.1 Disponibilité et la biodisponibilité des éléments nutritifs

Accès aux nutriments : concepts et mécanismes clés l'acquisition des nutriments par les plantes correspond à l'ensemble des processus mis en jeu faire en sorte qu'il soit supprimé de la racine, y compris ceux qui se produisent en amont du processus final d'absorption (Clarkson, 1985 Hinsinger, 1998).

III.1.1 Disponibilité

La disponibilité d'un nutriment dans le sol correspond à la quantité présente dans la solution du sol immédiatement accessible à l'absorption par la plante, ainsi qu'à la fraction susceptible de passer facilement en solution. Cette dernière ne représente qu'une fraction de la quantité totale présente dans le sol (Harmsen, 2007), dont la proportion varie Considérablement d'un nutriment à l'autre. Les nutriments sont essentiellement prélevés Par la plante sous forme d'ions minéraux bien que dans le cas de N, il est connu que Certaines molécules organiques de faible poids moléculaire telles que les acides aminés et Certains peptides peuvent jouer un rôle dans le prélèvement (Miller et Cramer, 2005 ; Rentsch et al, 2007 ; Nashlom et al, 2009 ; Richardson et al, 2009). Nutriments dans Le sol est associé à des phases minérales ou à la matière organique du sol, Sous des formes inorganiques et organiques, respectivement. Forme aqueuse d'ions L'inorganique est plus ou moins complexe, dépend des nutriments et dépend de Caractéristiques biogéochimiques des sols. Dans le cas du P inorganique, à Les solutions sont essentiellement contrôlées par le pH ; dans la plupart des plages de pH . Sol (pH = 3 à pH = 8,5) Ion phosphate dihydrogène H_2PO_4 -Et hydrogénophosphate HPO_4^{2-}

sont les 2 principaux produits chimiques. Morphologie de la forme inorganique de N Principalement des espèces chimiques ammonium NH_4^+ Et nitrate NO_3^- -Dans Le passage d'une forme à une autre est régulé par le potentiel redox, par Principalement l'activité des micro-organismes du sol. Propriétés des ions N En fait, les solutions sont affectées par le pH,

La température, le pO_2 et l'humidité du sol.

En général, la distribution des substances dans une solution et leurs concentrations sont Déterminé par les processus biogéochimiques se produisant à l'interface sol/solution adsorption/désorption, précipitation/dissolution et minéralisation/fixation. Ceux-là

Le processus est déterminé par les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol.

III.1.2 Biodisponibilité

La biodisponibilité des nutriments correspond à la quantité réelle conséquente, leur activité affecte la disponibilité des nutriments dans leur environnement **Selon Harmsen (2007)** Correspond directement à la zone d'impact biologique. Si plante elle correspond au zone ment ingérée organiser. Cette quantité variera par définition, selon le sol considéré, l'exposition à Ce sol dépend bien de l'organisme considéré (IE génotype) **(Harmsen, 2007)**. Organisme Par c autour de la racine affectée par l'activité racinaire ou Rhizosphère. Les sols qui ne sont pas affectés par le système racinaire seront ci-après dénommés « sols en vrac ». Pendant longtemps, la biodisponibilité n'a été attribuée qu'à la capacité des racines à absorber et du sol à absorber.

Les solutions du sol sont reconstituées par différents processus biogéochimiques. Il est actuellement admis qu'en plus de l'absorption, les plantes ont la capacité d'influencer la disponibilité des éléments nutritifs en modifiant les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol environnant. Racines **(Hinsinger et al. 2005)** La biodisponibilité des nutriments dépend des propriétés du sol qui déterminent la teneur en nutriments dans les solutions du sol et la capacité des plantes à acquérir ce nutriment. L'accès aux éléments nutritifs est influencé pdarrah, 1993 ; Hinsinger, 1998ar les changements dans les caractéristiques et la disponibilité des racines (c.-à-d. l'exploration et le développement de cette ressource, respectivement) qui déterminent l'accès à une ressource. **(Darrah, 1993 ; Hinsinger, 2005 ; Rengel et Marschner, 2005)**.

III.2 Phosphore

Le phosphore est un élément nutritif essentiel dans le monde biologique. Comparé à l'azote et au potassium, c'est un élément moins absorbé par les plantes. Par contre, il est extrêmement important pour la nutrition des plantes et la production de biomasse. Ses principaux rôles dans les plantes sont le stockage et le transfert d'énergie (ATP), la formation de composés structuraux (nucléotides, acides nucléiques, coenzymes, phospholipides, etc.) impliqués dans la croissance des racines, la formation des grains, des fruits et des fibres, la maturation des fruits et la germination des graines.

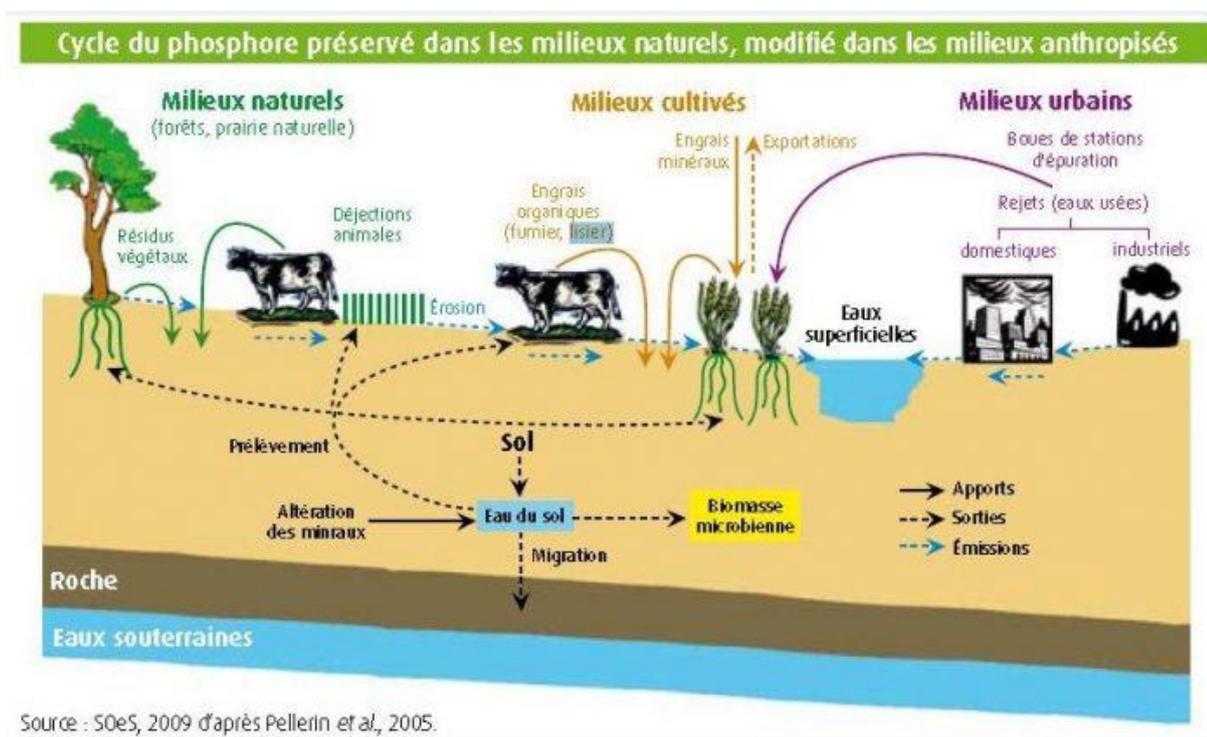


Figure 10: Cycle du phosphore préservé dans les milieux naturels

(<https://obvaj.org/citovens/les-bonnes-pratiques/le-phosphore/>)

III.2.1 Phosphore dans le sol

La teneur en phosphore dans la solution du sol est comprise entre 0,1 et 3,7 kg P₂O₅/ha. Les plantes absorbent les ions phosphate principalement sous forme de **H₂PO₄⁻** et **HPO₄²⁻**. Le phosphore dans le sol a une forte interaction avec la phase solide et forme divers composés minéraux secondaires avec **Ca, Fe, Mn** et **Al**.

Le phosphore est facilement adsorbé, sa mobilité est donc très faible. De plus, le phosphore peut être fixé par l'activité biologique du sol.

III.2.2 Phosphore dans les plantes

Les études de la dynamique du phosphore dans les systèmes sol-plante ont mis en évidence les éléments suivants :

- ✓ L'absorption de phosphore par les racines des plantes se produit uniquement sous la forme de l'ion **orthophosphate PO₄³⁻**.
- ✓ quantité dissoute dans la solution du sol est très faible. Absorbés par les racines, ils sont remplacés par du phosphore dans les réserves du sol, mais ces échanges sont très lents.
- ✓ L'objectif fondamental des engrais phosphatés est de compenser les exportations du sol après chaque récolte et de maintenir une capacité nutritive suffisante pour répondre aux besoins des cultures.
- ✓ La même année, la part d'engrais phosphaté directement utilisée par l'usine est au maximum de 20 %. Une autre partie est stockée sous terre sous diverses formes pour une utilisation dans l'année à venir.

Exemple pour le blé

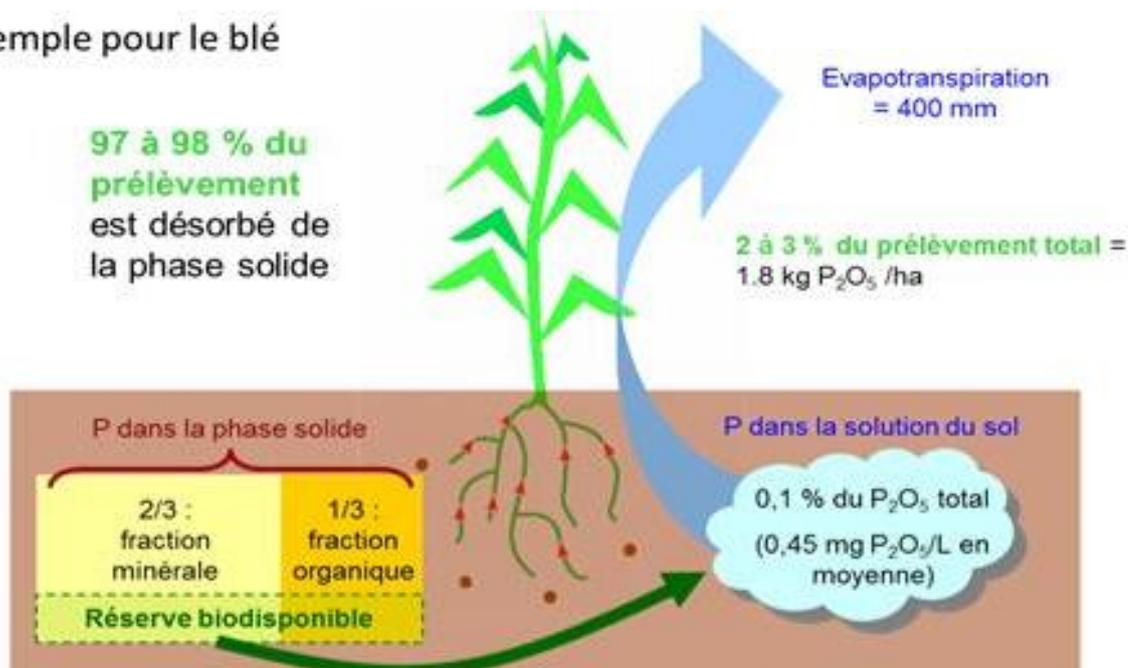


Figure 11: origine du phosphore absorbé par une culture de blé
(<http://www.vertcarbone.fr/phosphore-le-fond-et-la-forme-un-article-agroreporter/>)

III.2.3. Conséquence de la déficience en phosphore sur la plante

Les plantes carencées en phosphore poussent lentement. Aux premiers stades du besoin (manque), ils sont vert foncé, généralement gris-vert ou bleu-vert. Ces verts ou verts foncés sont le résultat d'un retard de croissance car les pigments verts sont concentrés dans les feuilles qui restent jeunes. À moins qu'il n'y ait des plantes bien nourries disponibles comme référence, il peut être difficile de diagnostiquer une carence en phosphore en identifiant le rabougrissement, car les plantes qui sont rabougries en raison d'une carence semblent souvent normales en plus de leur taille. Une caractéristique plus frappante est la décoloration des feuilles en violet à mesure que la carence progresse. Les feuilles plus âgées, même les semis émergents, peuvent apparaître violettes, en particulier sur le dessous des feuilles, qui jaunissent, puis brunissent et tombent à mesure que la carence s'aggrave.

Toutes les plantes ne présentent pas ces symptômes. Par exemple, les plantes de concombre sont courtes, mais la couleur des feuilles inférieures ne s'approchera pas du vert ou du rouge, mais les feuilles mortes s'organisent à la base des feuilles près des pétioles ou sur les bords. Au fur et à mesure que le défaut progresse, ces tissus se dessèchent et s'effondrent.

Le phosphore est un élément mobile dans les plantes, et si l'apport de phosphore dans le sol est épuisé, les plantes transfèrent le phosphore des feuilles inférieures vers les zones de croissance ou les fleurs, les fruits et les graines. Par conséquent, ces symptômes sont plus répandus dans les feuilles des plantes inférieures plus âgées.

Le temps froid augmente la probabilité d'une carence en phosphore. Le phosphore a une solubilité limitée dans les sols froids et son absorption par les plantes est plus lente. Les jeunes plants sont généralement froids. Ces semis semblent rabougris et violets. Chauffer l'appartement, appliquer un engrais phosphaté ou les deux permettent souvent de pallier ces carences. Les plantes cultivées à l'extérieur présentent souvent des symptômes de carence en phosphore par temps froid. Les plantes sont rares et le phosphore se déplace lentement dans le sol. Ces phénomènes limitent l'utilisation du phosphore par les plantes. De grandes quantités de phosphore sont nécessaires pour s'assurer que cette culture en herbe reçoit les nutriments appropriés. Par conséquent, il est important que toutes les cultures soient fertilisées avec du phosphore [tôt] à la plantation. Cette pratique assure une disponibilité adéquate et concentrée du phosphore pour les semis à racines clairsemées dans les sols frais. Le phosphore est si facilement attaché au sol qu'il devient de moins en moins disponible pour les plantes dans le sol au fil du temps, si le phosphore est placé loin des racines, il peut se stabiliser avant que les racines n'émergent et n'atteignent la zone de fertilisation. Contrairement à certaines croyances, plus longtemps l'engrais phosphoré est présent dans le sol, moins il y aura de phosphore disponible pour les plantes. Il est difficile de corriger une carence en phosphore chez les plantes. Il est difficile d'introduire du phosphore dans des plantes carencées en phosphore. La mobilité du phosphore du sol est limitée par la chimie du phosphore du sol. Le phosphore ne peut se déplacer que de quelques centimètres du point d'application. Les applications de surface de phosphore peuvent ne pas atteindre les racines des plantes précédemment cultivées dans le sol. Cependant, si le phosphore est facilement disponible au début de la saison de croissance, les plantes absorberont plus de phosphore qu'elles n'en ont besoin à ce moment-là. Plus tard, à mesure que les plantes poussent, ce phosphore disponible peut se déplacer vers les zones où les plantes en ont besoin.

III.2.4. Fixation symbiotique sous déficience en phosphore

La disponibilité du P dans le sol, en particulier la plante a un effet direct sur la mobilisation du P. Concernant la capacité à fixer l'azote atmosphérique (**Raghothama, 1999**). PEREIRA et BLISS (1993), suggérant que des améliorations simultanées peuvent être apportées. Fixation de N₂ et efficacité d'utilisation de P. En effet, certaines études montrent que l'application de

phosphore augmente la teneur en azote des graines de légumineuses telles que Luzerne et soja. Il est reconnu que la faible disponibilité de P affecte la liaison symbiose de l'azote **(Betencourt, 2012)**.

III.2.5. Effet de l'association légumineuses-céréales sur la biodisponibilité du phosphore

La manipulation des interactions se démontre Peut optimiser la rhizosphère entre les combinaisons de céréales et de légumineuses augmente la disponibilité du phosphore dans la rhizosphère des espèces corrélée, en particulier dans les sols avec des valeurs initiales plus faibles disponibilité. **(Philippe Hinsinger, 2012)**.

IV. Association des cultures

Associations céréales et protéagineux Jusqu'au milieu des années 1950, les associations céréales/protéagineux étaient largement pratiquées en France et en Europe. Depuis, ils ont pratiquement disparu de l'agriculture conventionnelle, mais restent omniprésents en agriculture biologique, et leur intérêt en a fait une culture souvent incontournable dans la conduite des rotations culturales et la production d'aliments pour animaux de ferme. Les associations de cultures à base de céréales et de légumineuses constituent un champ d'innovation porteur d'enjeux pour l'avenir, exploré par de nombreux chercheurs ainsi que par des agriculteurs curieux et créatifs. **Aude Coulombel (ITAB), 2008**.

IV.1. Définition de l'association des cultures

L'association de cultures se définit comme le mélange d'au moins deux espèces différentes sur une même surface pendant des périodes importantes de leur développement **(WILLEY, 1979)**.

De nombreuses études ont montré que ces cultures présentent des avantages agronomiques et économiques importants : niveaux de productivité élevés et stables (à la fois quantitatifs et qualitatifs), utilisation réduite de pesticides, conservation de la biodiversité et réduction de l'érosion des sols **(Malezieux et al, 2009)**.

Ainsi, les associations de cultures se présentent sous plusieurs formes : associations ligneuses et herbacées (agroforesterie), associations de cultures annuelles et/ou pérennes, etc., chacune pouvant être bispécifique ou multi spécifique, mono ou multi spécifique. Variété.

IV.2 Types d'association des cultures

L'association des cultures inclut : des plantes annuelles avec des plantes annuelles, des plantes annuelles avec des plantes pérennes et des plantes pérennes avec des plantes

pérennes (Eskandari et al, 2009). Elle comprend quatre groupes (Eskandari et al, 2012) dont l'utilisation dépendra de la séparation temporelle et des méthodes de semis envisagée (Lithourgidis et al, 2011)

- **Les associations en mélange** : Dans ce cas, les espèces sont totalement mélangées dans l'espace disponible. Il n'y a pas d'arrangement en rangs. C'est le cas des prairies temporaires (Vrignon-brenas., 2016).
- **Les associations en rangs** : Cette association consiste à cultiver en rangs alternés les différentes espèces de l'association sur des rangs séparés qui s'alternent dans l'espace. L'association peut aussi se faire sur le rang et consiste à semer les différentes espèces associées en mélange sur chaque rang (Vrignon-brenas., 2016)
- **Les associations en bandes** : Dans ce mode d'association, plusieurs rangs de chaque espèce de l'association s'alternent dans l'espace pour potentiellement permettre la mécanisation (à l'inverse de l'association en rangs) des différentes cultures tout en leur permettant d'interagir (Vrignon-brenas, 2016).
- **La combinaison du semis en rang de la culture de vente avec un semis en plein de la plante de service** : Cette technique, permet de semer en cours de culture la plante de service dans la culture de vente avec du matériel de semis léger (semoir centrifuge, par exemple) contrairement au semoir en ligne qui nécessite un matériel de traction plus important et dont le passage peut entraîner un tassement du sol ou une dégradation de la culture en place (Edwards., 1998).

IV.3 Associations céréales-légumineuses

Deux processus écologiques caractérisent les relations qui ont lieu entre les plantes pendant la phase d'association (Vandermeer, 1989; Willey, 1990 ; Hinsinger, 2011) Dans les associations de cultures céréales-légumineuses, les espèces associées établissent des interactions négatives (compétition) ou positives (facilitation et complémentarité de niche) pour exploiter les ressources du milieu.

Les légumineuses établissent des relations symbiotiques avec des microorganismes du sol de la famille des rhizobiums qui sont capables de fixer l'azote atmosphérique grâce aux nodosités des racines et permettent ainsi d'apporter à la plante une grande partie de ses besoins en azote. Cette faculté, qui est propre aux légumineuses, leur confère lorsqu'elles sont associées à des espèces non fixatrices d'azote comme les céréales la

possibilité de mettre en jeu un processus de complémentarité de niche pour l'azote du milieu. Une espèce peut affecter l'environnement de façon positive pour la seconde espèce. Cet effet est appelé facilitation, il est généralement mesuré par un gain de rendement et/ou croissance par rapport à la même espèce cultivée en culture seule. Une espèce peut affecter l'environnement de façon négative pour la seconde espèce (extraction d'une ressource qui devient limitant pour la deuxième espèce, ombrage...). Cet effet est appelé compétition.

- **La complémentarité** est un phénomène qui se produit lorsque la production de deux espèces mises en association est augmentée sans que des interactions ne se produisent. Ce phénomène se produit lorsque les espèces associées exploitent des niches écologiques séparées. Cela peut provenir d'une différence dans les profondeurs et les densités d'enracinement des deux espèces liées à un écart de demande qui conditionne leurs accès à cette ressource (**Corre-Hellou et Crozat, 2004 ; Corre-Hellou, 2005**) ; la céréale est plus compétitive que la légumineuse pour l'utilisation de l'azote minéral du sol, « forçant » la légumineuse à dépendre davantage de l'azote atmosphérique pour sa nutrition azotée au moyen de la fixation symbiotique. Cette complémentarité de niche entre les deux espèces associées pour l'utilisation de ces deux sources d'azote explique en grande partie les performances généralement supérieures pour les associations par rapport aux cultures mono spécifiques.
- **Interaction facilitation** : Le terme de facilitation regroupe les processus directs ou indirects (**Bruno et al., 2003**) liés à la présence d'une espèce qui modifie de manière positive les conditions du milieu pour l'autre espèce associée. C'est le cas par exemple de la réduction des maladies (**Trenbath., 1993**) et des adventices (**Hauggaard-Nielsen et al., 2001**) ou encore de l'augmentation de la disponibilité en nutriments comme le phosphore pour la céréale permise par le réglage de protons via la fixation symbiotique de la légumineuse (**Hinsinger et al., 2011**). Le principal enjeu lors d'une association de culture sera d'assurer la recherche de processus de facilitation tout en limitant les risques de compétition. Lors d'une association entre deux cultures de vente, les objectifs principaux sont d'améliorer la production pendant l'année en cours : en maximisant les phénomènes de facilitation et en réduisant le risque d'échec total de récolte. L'association de culture peut être utilisée afin d'assurer la stabilité des rendements d'une année sur l'autre (**Lithourgidis et al., 2011**). La présence de

deux cultures sur une même parcelle permet de réduire le risque d'échec total de la récolte (**Clawson, 1985**). Par exemple, un ravageur peut causer des dégâts importants sur une culture sans que cela n'affecte pour autant l'autre, ou encore, une culture à un stade physiologique donné pourrait être sensible à certaines conditions météorologiques sans que celles-ci aient un impact sur une autre culture à un stade physiologique différent.

- **compétition** La compétition est définie comme l'ensemble des effets que peut induire la présence d'une plante sur une autre en consommant ou en limitant l'accès à une ressource dont la disponibilité est limitée (**Keddy, 2001**). Ces effets peuvent modifier la croissance, la reproduction ou la survie des plantes et ont donc le plus souvent un effet négatif sur l'une ou les deux espèces. On distingue deux grands types de mécanismes de compétition
- **la compétition par exploitation** résulte du fait que les plantes entrent en concurrence pour les ressources abiotiques du milieu (eau, nutriments ou lumière...).
- **La compétition par interférence** quant à elle n'est pas liée aux ressources. C'est le cas par exemple de l'allélopathie qui correspond à la capacité de certaines espèces de libérer dans le milieu des composés chimiques qui affectent directement la performance des autres espèces associées (**Rice, 1984**). Par ailleurs, les interactions interspécifiques dépendent des ressources pour lesquelles les espèces sont en concurrence, des caractéristiques des espèces en interaction et enfin des mécanismes d'interaction (**Keddy, 2001**). Chaque espèce possède des capacités compétitrices particulières dépendantes de ses propres tolérances et de son effet sur les autres plantes. On distingue ainsi ,i) l'effet compétiteur qui correspond à la capacité d'une espèce à réduire les performances de l'espèce associée ,ii) la réponse compétitrice qui représente l'aptitude d'une espèce à tolérer l'effet compétiteur de l'espèce qui lui est associée (**Goldberg et Landa, 1991**). De ce fait, les effets sur le rendement de la culture de vente seront différents en fonction des choix effectués.
- Partage des ressources entre espèces associées On distingue généralement deux niveaux d'interaction , i) le niveau aérien pour l'interception du rayonnement (la lumière) et ii) le niveau souterrain, ou racinaire, pour le prélèvement de l'eau et des minéraux.(Phosphore et l'azote) .

- Les associations céréales – légumineuses constituent donc une solution pertinente à la réintroduction des légumineuses dans les assolements agricoles alliant ainsi productivité et autonomie vis-à-vis des intrants d'azotés. Ces associations se destinent ainsi à des finalités multiples (**Projetperfcom 2012**).M2

IV.4. Effet de l'association céréales-légumineuses

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

IV 4.1 Effets sur la fixation symbiotique de l'azote

Acquisition de l'azote La mise en place des nodosités et de leur activité se fait progressivement chez les légumineuses (**Voisin et al., 2002**). En début de cycle, les céréales et les légumineuses sont ainsi en compétition directe pour l'azote minéral du sol (via leurs systèmes racinaires) puisqu'il s'agit de la seule source d'azote alors disponible. Cela signifie qu'en début de croissance, le partage de l'azote minéral du sol serait déterminé par des écarts d'enracinements et de demandes entre espèces (**Corre-Hellou., 2005**). Or, les céréales et les légumineuses présenteraient des différences dans la vitesse de progression du front racinaire (**Hamblin et Tennant., 1987**) et des écarts de demandes dès le début du cycle en raison notamment d'une vitesse de croissance plus rapide de la céréale (**Anderson et al., 2004**). La céréale devrait ainsi être avantagée dans la compétition précoce pour l'azote du sol du fait de son accès à une plus grande part de cette ressource traduisant une compétitivité interspécifique de la céréale supérieure à celle de la légumineuse (**Jensen., 1996**). Cette compétitivité plus forte de la céréale pour l'azote du sol se traduirait par une diminution rapide de la quantité d'azote minéral disponible dans l'horizon superficiel (zone de la fixation symbiotique), qui aurait pour conséquence une augmentation de

l'activité fixatrice de la légumineuse comparativement aux cultures « pures » et ceci afin de répondre à ses besoins en azote (Voisin et al., 2002). Par conséquent, plus le pourcentage de l'azote absorbé par la légumineuse issu de la fixation symbiotique est important plus la quantité d'azote prélevée dans le sol par la légumineuse sera faible. Une augmentation de la fixation symbiotique se traduira ainsi par une disponibilité en azote pour le blé dur en association plus ou moins identique à celle du blé dur en culture « pure ». Or, si le rendement de la céréale en association est inférieur à celui de la culture « pure » (ce qui est quasi systématiquement le cas) alors la disponibilité en azote par plante, épis et grains de blé dur sera supérieure en association. Cette plus grande quantité d'azote remobilisée dans les grains (Ofori et Stern., 1987 ; Jensen., 1996) aura pour conséquence une amélioration de la teneur en protéines de la céréale. Par ailleurs, la demande en azote d'une céréale n'est pas linéaire mais dépend du stade de développement et du niveau de production. Ainsi, seul un écart de disponibilité en azote à un stade où les besoins de la culture sont forts permettra de réduire la carence azotée de la céréale comparativement à la culture « pure » et donc d'accroître sa qualité et sa production relative. Pour autant, dans le cas de disponibilités en azote non limitantes, cet effet sera faible voire nul justifiant l'intérêt des associations dans les systèmes à faible disponibilité en azote.

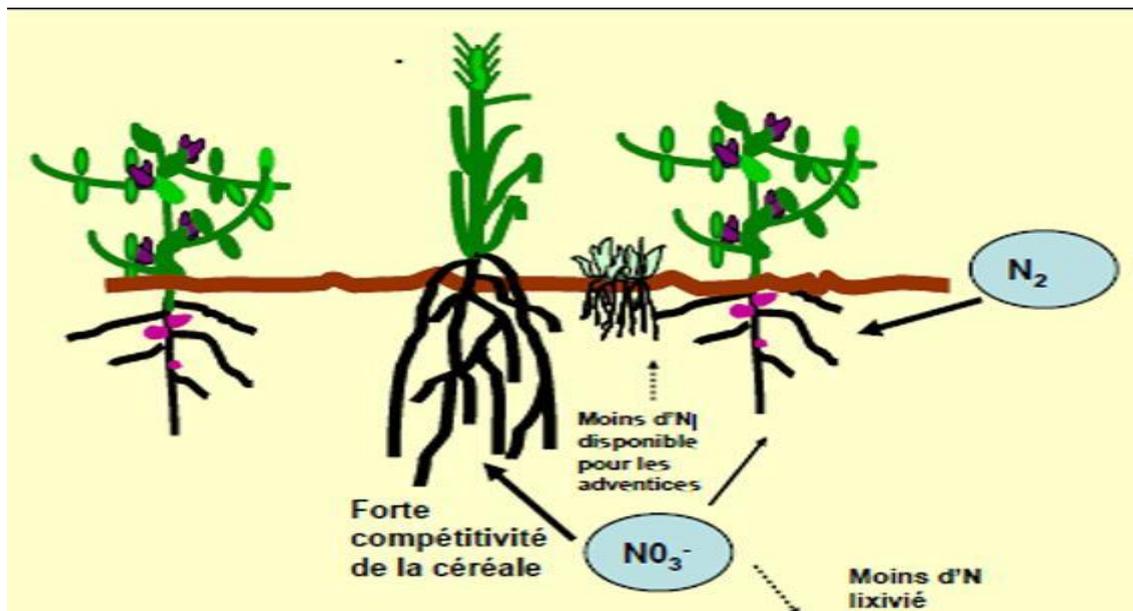


Figure 12 : schéma des transferts d'N entre légumineuse et céréale (https://osezagroecologie.org/images/imagesCK/files/bibliographie/f8_perfcomplaquetteculturesassociees).

IV 4.2 Effets sur la solubilisation du phosphore

Le phosphore Elément essentiel pour la construction du végétal, les carences en phosphore induisent un mauvais développement et des pertes significatives de rendement. Malgré son importance dans la construction du végétal, cet élément reste moins étudié que l'azote ou l'eau en condition d'association. Il a été montré que l'association permettait d'avoir une meilleure disponibilité de cet élément au niveau de la rhizosphère (**Betencourt et al., 2012; Latati et al., 2014**). Dissanayaka et al., (2015) montrent qu'une meilleure efficacité d'utilisation du phosphore est observée en association, mais que ces résultats peuvent différer en fonction du type de sol (vrai en rego sol mais pas en andosol, sol généralement riche en matière organique). Plusieurs études ont mis en évidence l'importance du phosphore, non seulement dans la croissance des plantes (et des légumineuses) mais également dans la mise en place et le fonctionnement des nodules permettant la fixation symbiotique. En effet, plus le phosphore est un élément limitant, plus la nodulation sera diminuée que ce soit dans le cas des légumineuses à graines (**Chaudhary et al., 2008**) ou fourragères (**Suliman et al., 2013**).

IV.4.3 Effets sur le rendement en biomasse

Effets sur le rendement en biomasse La culture d'associations permet d'accroître la production en biomasse par rapport aux cultures mono spécifiques correspondantes (**Bedoussac et al., 2011**). En effet, plusieurs études ont montré que les associations permettent une augmentation significative (au seuil de 10%) de la biomasse aérienne des céréales par rapport à la culture pure et que cette dernière peut être augmentée de plus de 22% (**Dahmardeh et al., 2010 ; Latati et al., 2013**). D'après une étude réalisée par **THOBATSI (2009)**, l'association des cultures augmente aussi le nombre de nodules par plant comparé à la monoculture. De plus, il a été montré qu'il existe une corrélation, positive entre les nodules et le poids sec des pousses, cette corrélation est plus importante dans la culture associée que dans la monoculture (**Latati et al., 2013**).

IV.4.4 Effets sur le rendement en grain

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

cultures pures (**Eskandari et al., 2009**). Chez les céréales, la teneur en protéines est significativement plus élevée et le taux de mitadin (céréale) est nettement plus faible en cultures associées par rapport aux cultures pures, permettant ainsi une nette amélioration de la qualité technologique des grain (**Hauggard_Nellsen et al., 2001 ; Jensen et al., 2006; Bedoussac et al, 2011**). De même une telle amélioration des rendements en grain a été confirmée dans les systèmes d'association niébé-mais, fève-blé et blé-soja, par rapport aux monocultures (**Zhang et li , 2003 ; Dahmardeh et al., 2010**).

IV 4.5 Effets sur les maladies et ravageurs

Contrôle des bio agresseurs Les cultures associées permettent un meilleur contrôle des ravageurs et maladies, qui s'explique par plusieurs phénomènes (**Trenbath., 1993 ; Malézieux et al., 2009**).

- ✓ L'effet « dilution » : lorsqu'un parasite attaque spécifiquement une des espèces de l'association, la « dilution » de cette espèce dans le couvert végétal (par rapport à une culture pure) rend le parasite moins efficace pour trouver et coloniser les individus de cette espèce-hôte.
- ✓ L'effet « barrière physique ». Ce phénomène se produit lorsque les individus de l'espèce non-hôtes empêchent ou limitent l'accès du parasite aux individus de l'espèce-hôte.
- ✓ L'effet « habitat » : l'association d'espèces végétales à architectures aériennes différentes peut mettre en place un milieu favorable à des espèces auxiliaires.
- ✓ L'effet chimique : ce phénomène intervient lorsque lune des espèces produit des substances qui ont un effet négatifs sur les maladies ou ravageurs susceptibles d'attaquer l'autre espèce. Certains de ces mécanismes sont par ailleurs impliqués dans les mélanges de variétés (**Litrigo et al., 2015**). On observe d'autre part une réduction de l'enherbement en cultures associées par rapport aux cultures pures (**Corre-Hellou et al., 2006**).
- ✓ Deux phénomènes peuvent expliquer ces observations la complémentarité des espèces cultivées en association, qui leur permet d'utiliser plus efficacement les ressources disponibles et limite donc l'accès des adventices à ces mêmes ressources, ainsi la céréale exerce une compétition forte pour la lumière vis-à-vis des adventices (**Corre-**

Hellou et al., 2011) réduisant d'autant plus leur développement. Par exemple, une réduction de l'antracnose du pois a été observée en association pois orge de printemps et pois-blé driver (**Schoeny et al., 2010**), alors qu'une réduction des pucerons verts du pois a été observée pour les associations pois-blé dur driver (**Ndzana et al., 2014**).

IV.4.6 Effets sur les mauvaises herbes

Les associations d'espèces cultivées peuvent aussi modifier la composition de la communauté d'adventices (**G. Corre-Hellou et al, 2014**). Dans des associations en relais composé de trèfle blanc semé au printemps dans du blé, le couvert perturbe la germination des adventices printanières dans l'association blé-trèfle blanc (**Amosse et al., 2013**). L'étude de Lawane G et al, 2010 a permis de montrer l'avantage des cultures associées (sorgho ou mil et niébé) par rapport aux cultures pures. Les systèmes de cultures associées sont traditionnellement pratiqués au Tchad et leur amélioration en vue de lutter contre le striga devrait être bien acceptée par les paysans de ce pays. Les variétés améliorées de sorgho et de mil peuvent donner un rendement plus élevé que les variétés locales si elles bénéficient de bonnes conditions de production (fertilité, faible concurrence avec les adventices, pluviométrie, etc.). Les variétés locales sont plus rustiques et ne nécessitent pas autant de soins que les variétés améliorées ou importées. Les variétés locales méritent d'être prises en considération dans les programmes nationaux de sélection visant à améliorer leur productivité. L'effort doit être fourni pour maîtriser les systèmes de cultures associées en combinant la densité, la date de semis, le cycle de culture et la fertilité du sol et l'utilisation des faux-hôtes pour lutter contre le striga. D'autres essais sont aussi nécessaires pour étudier l'arrangement spatial des cultures associées et le choix des légumineuses à couverture rapide du sol.

IV.5. Avantage de l'association des cultures

L'association graminée-légumineuse présente des avantages agronomiques, zootechniques et écologiques (**Benjeddi et al., 1998**), et permet d'économiser des engrais azotés (**Lecomte et Parache.,1993**). La présence de vesce dans l'association améliore la production totale de matière sèche ainsi que la teneur en azote de l'avoine, de l'orge ou du triticale et la production de la graminée associée (**Oukinder et Jaquard., 1988**).

- Bonne utilisation des ressources de l'environnement (eau, éléments minéraux, lumière) et amélioration du rendement en grains
- Augmentation ou stabilité et l'uniformité des rendements
- Propagation des parasites et des maladies.
- Enrichissement et restauration de la fertilité du sol.
- Préservation de la biodiversité.
- Contrôle des mauvaises herbes.
- Valoriser l'azote pour réduire l'utilisation des engrais et leurs impacts

IV.6. Inconvénients de l'association des cultures

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

Partie II

Matériels et méthodes

I. Présentation de la région d'étude

II. Localisation de l'essai

L'essai a été réalisé en plein champs au niveau de la ferme de démonstration et de la production de semences (FDPS) appartenant à la station de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC), à 500 m de l'est de l'université Djilali Bounaama de Khemis Miliana.

Cordonnées géographiques du site expérimental sont

Latitude : 36,1503

Longitude : 2,1425

Altitude : 240m²



Figure 13: Situation géographique de l'FDPS de l'ITGC de Khemis Miliana. (Google Earth).

III. Caractéristiques climatiques

III.1 Température

La station se caractérise par un climat méditerranéen avec des hivers pluvieux et froids, des étés secs et chauds, des printemps courts (d'avril à mai) et des amplitudes thermiques variables entre l'hiver et l'été et entre le jour et la nuit.

Mois	Dec	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Jui
T (c°) Maxi	23	24	26	27	32	40	42
T (c°) Min	6	2	4	4	5	9	18
T (c°) Moy	14.5	13	15	15.5	18.5	24.5	30.5

**Tableau 6 : Variation de la température normale mensuelle de la région d'étude
(Station météorologique d'UDBKM, 2022)**

III.1.2. Pluviométrie

Mois	Déc	Jan	Fév	Mar	Av	Mai	Jui
Pluviométrie (mm)	49	55	51	59	47	15	10

**Tableau 7 : Variation de pluviométrie normale mensuelle de la région d'étude
(Station météorologique d'UDBKM, 2022)**

IV. Protocole expérimental

IV.1. Objectif de l'essai

L'objectif visé par la présente étude est d'évaluer le système d'association blé dur-lentille. Notre approche méthodologique vise à tester sous conditions climatiques et édaphiques de la région de Khemis Miliana (essai en bloc aléatoire complet), et en conditions d'une agriculture biologique; les performances de cette association à travers l'étude de la croissance, la nodulation et le rendement des espèces en association. Et d'étudier le comportement de ces trois (03) génotypes de la lentille dans le périmètre de haut Chélif afin de sélectionner le plus performant.

IV. Protocole expérimental

Le dispositif expérimental approuvé est un bloc aléatoire complet. Chaque bloc structure en sept (07) micro-Parcelles élémentaires, représentent la lentille et le blé en culture pure et en associée chaque micro-parcelle est répété trois fois. Les dimensions de la micro-parcelle sont 5 m de long sur 1.2 m de large, ce qui fait une superficie de 6 m²

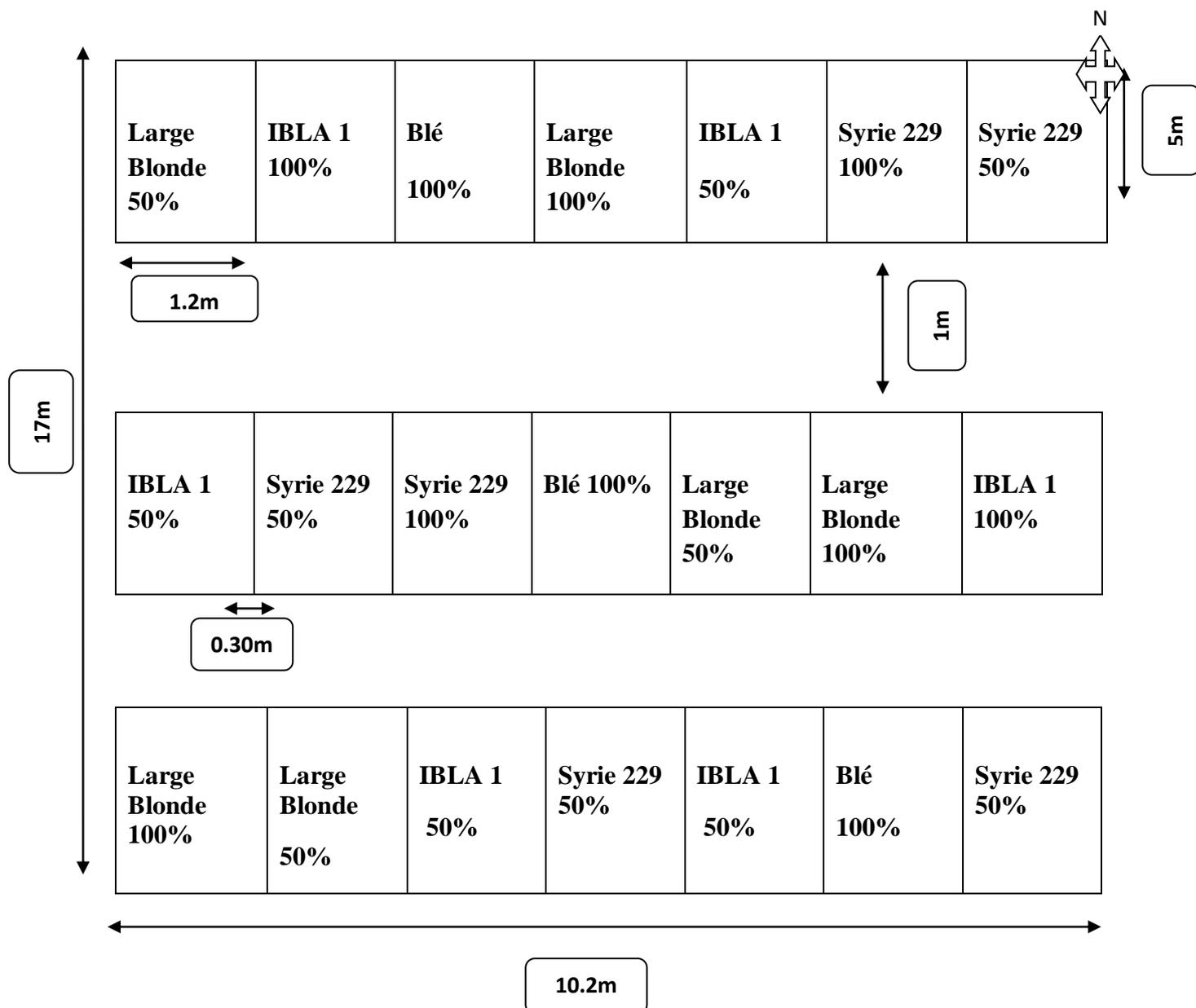


Figure 14 : Protocole expérimental

IV.2.1.Préparation du terra

Les opérations culturales effectuées sont les suivantes.

- Labour avec une charrue à socs.
- Façons superficielles croissage et Recroissage avec passage d'un cover crop.

IV.2.2.Prélèvement du sol

Des échantillons du sol ont été prélevés sur le site à une profondeur de 0-35 cm. Puis ont été

Ramenés au laboratoire pour leurs analyses physico-chimiques. Elles ont porté sur les

Propriétés suivantes

Analyses	Eléments	Matériel et méthodes
Granulométrie	Argile %	Pipette de Robinson
	Limons %	
	Sable %	
Chimiques	pH eau	pH mètre
	pH <u>kcl</u>	
	Conductivité électrique	Conductimètre
	Matière organique	La <u>méthode</u>d'Anne
	Carbone	
	Calcaire total	<u>Calcimètre de Bernard</u>
	Calcaire actif	<u>Méthode de Drovinean</u>
	Azote total	<u>Méthode de Kjeldahl</u>
	Phosphore assimilable	<u>Méthode d'Olsen</u>

Tableau 8 : Analyses physico-chimique du sol expérimental

IV.2.3.Matériel végétale utilisé

L'étude a été réalisée en pratiquant un système d'association légumineuse céréale. Nous Avons utilisés dans ce travail, une variété du blé dur (Semito) et trois variétés de lentille nommée **Syrie 229**, **IBLA 1** et **Large blonde**, qui nous a été fournie par l'ITGC de Khemis Miliana.



Figure 15 : Blé Dur

Figure 16 : SERRY

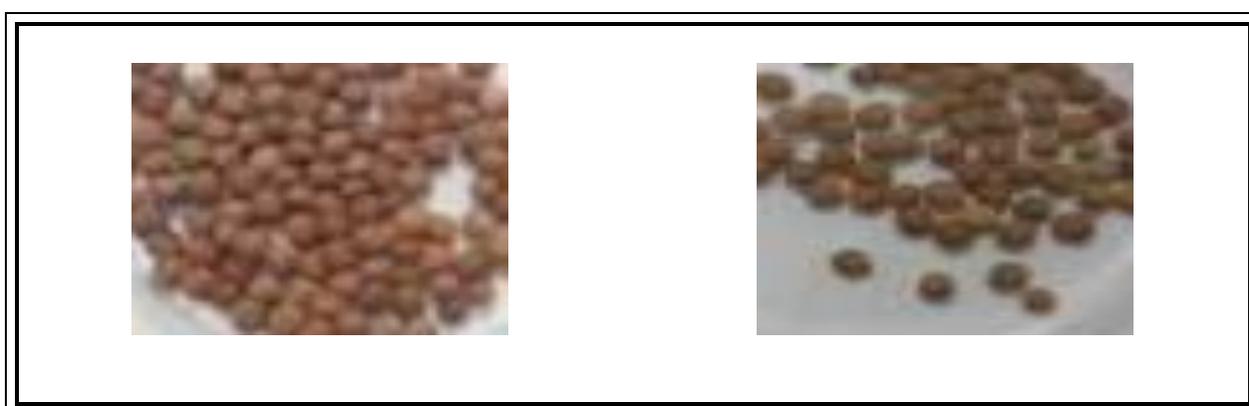


Figure 17 : IBLA TIARTE

Figure 18 : LARGE BLANDE

Variétés	Stations	Caractéristiques agronomiques
Syrie 229	SidiBel-Abbés (1983), Saida (1986)	Port dressé, précoce, grain rond, jaune-vert, tolérante à la gelée hivernale et moyennement tolérante aux maladies, vigoureuse, rendement moyen.
Large Blonde	Sélectionnée en 1952 à Partird'une introduction faite du Chili	Variété demi-précoce, à port dressé, à large graine. Elle est de qualité culinaire assez bonne.
IBLA Tiaret	Variété d'origine d'Espagne	Variété semi-précoce, graine par gousse (1 à 2), Peu tolérante aux maladies, poids de 100 graines (4,21 gr)

Tableau 9 : Matériel végétale utilisé

IV.2.5.Semis

Le semis a été effectué le 20/12 /2021, à l'aide d'un semoir expérimental avec une densité de 200 plants/m². Pour la culture pure et est 100% légumineuse ou 100% céréale pour la culture associée elle est de 50% légumineuse et 50% céréale.



Figure 19 : Semis à l'aide d'un semoir expérimental

IV.2.6.Suivi de la culture

- **Traitements appliqués**
 - **Désherbage**

Le désherbage a été réalisé manuellement sur la totalité de l'essai expérimental (les Micro-parcelles et entre les lignes), pour détruire les mauvaises herbes et éviter la probabilité D'évolution des parasites et la concurrence d'utilisation des éléments nutritifs.



Figure 20 : Désherbage manuelle

V. Mesures et comptage

Dans le cadre de la caractérisation et de l'identification de toutes les variétés semées Morphologiquement et physiologiquement, plusieurs paramètres entrent en jeu, ils sont des symboles et des personnages observables qui nous aideront à atteindre notre objectif.

V.1. Nombre de plants par mètre carré

Pour mesurer ce paramètre, nous avons utilisé un mètre carré de fer et calculé le nombre de plantes apparaissant sur chaque petite parcelle de toutes les variétés.

Le comptage a été fait **le 31/03/2022**



Figure 21 mesure de nombre des plants a la levée

V.2. Hauteur des plantes

Les différentes hauteurs (du collet jusqu'au bourgeon terminal de blé et défient variété de lentilles) et longueurs sont mesurées à l'aide d'un mètre. Les mesure sont été effectuées le **16/05/2022**



Figure 22 : Procédure de mesure de la hauteur

VI. Prélèvement des échantillons végétatifs

On a prélevé 9 plants pour chaque variété. L'échantillonnage se fait manuellement par une pioche, les plants sont rincés avec de l'eau de robinet puis on a effectué les différentes mesures au laboratoire.



Figure 23 : Prélèvement des échantillons végétatifs

VI.1. Détermination de la biomasse aérienne et racinaire

Elle est réalisée au stade de la floraison. Les plantes ont été séparées. (pièces pneumatique) aérienne) Les parties souterraines racinaire racinaire (racinaire), ont été coupées aux ciseaux et séchées dans une étuve à 65°C pendant 48 heures puis pesée



Figure 24 : Séchage des plants à l'étuve et détermination de la biomasse Aérienne et racinaire

VI.2. Détermination du nombre et du poids sec de nodosités

Les nodosités sont délicatement séparées de la racine à l'aide d'une pince et comptées, puis elles sont séchées à l'étuve à 65°C pendant 48 heures. Ensuite, leur poids sec est mesuré à l'aide d'une balance de précision.



Figure 25: Détermination du nombre des nodules et du poids sec après séchage

VI.3. Efficience d'utilisation de la symbiose rhizobienne

L'efficience d'utilisation de la symbiose rhizobienne (EUSR) a été estimée par la pente du modèle de régression de la biomasse aérienne des plantes sur la biomasse nodulaire. Dans l'équation de la droite de régression $y = a x + b$:

- b : Correspond à la production de biomasse sans nodules
- a : Représenté cette efficience.

VI.4. Rapport équivalent terre (LER)

Cet indice est utilisé comme critère de détermination de l'avantage des cultures mixtes et qui indique la performance des cultures intercalaires et l'efficacité de l'utilisation des ressources environnementales par rapport à la monoculture, selon lithourgidis et al., 2011 : Mead et Willey, 1980 , lorsque LER est supérieure à un, la culture associée favorise la croissance et le rendement des espèces associées, alors que lorsque le LER est inférieur à un, la culture intercalaire affecte négativement la croissance et le rendement de l'espèce.

Le LER a été calculé pour le rendement en grains, la biomasse totale et l'absorption des nutriments en fonction du paramètre expérimental sur le terrain utilisé par Hauggaard-Nielsen et al. (2001) et Bedoussac et Justes (2011). Selon Jensen et al. (2015), la valeur LER pour une culture intercalaire est calculée comme la somme des ratios (LER partiel de chaque espèce). Elle calculée comme suit :

$$\text{LER} = \text{LER}_p + \text{LER}_c$$

$$\text{LER}_p = Y_{pi}/Y_p$$

$$\text{LER}_c = Y_{ci}/Y_c$$

D'où en termes de rendement, Y_{pi} et Y_{ci} sont les rendements des deux cultures pois chiche-blé dur en association et Y_p et Y_c sont les rendements des deux cultures pois chiche et blé dur en monoculture

VII. Rendement et ses composantes

VII.1. Nombre de gousse/plant

Le nombre de graines par plante est étroitement lié au nombre de gousses par plant cette dernière est estimé sur chacun des 09 plants pris au hasard pour les différents génotypes de chaque micro-parcelle.



Figure26: Détermination du nombre de gousses par plant

VII.2. Nombre de graines par gousse

Pour chacune micro parcelle, nous avons compte le nombre de grains de 10 gousses au hasard. Mesuré le même jour que le comptage de nombre de gousses par plant.

VII.3. Le poids de 100 grains lentille et 1000 graine pour le blé

Après la récolte de chaque micro-parcelle nous avons prélevé un échantillon de grains, puis nous avons procédé au comptage. Ces grains ont été ensuite pesés avec une balance de précision.

Pour la lentille on compte 100 graines PCG pour le blé le nombre est 1000 graines PMG

VIII. La récolte

La récolte se fait à l'aide d'une pioche lorsque les plantes jaunissent, tout en évitant leur couleur brune, pour évite de casser les gousses et de perdre les graines.

IX. Battage

A été effectué manuellement le 16/05/2022

X. Rendement théorique en Q/ha

Il est calculé par la formule suivante

$$\text{Rendement (Q/ha)} = \frac{\text{Nombre de plants/m}^2 \times \text{nombre de grains/plant} \times \text{poids de 100 grains}}{100}$$

100

Rendement (Q/ha) = Plantes/m² x Grains/ Plante x Poids 100 Grains

XI. Analyse statistique

Les données recueillies pour les caractères étudiés dans différentes variétés ont été soumises à une ANOVA à l'aide du logiciel STATBOX. L'ANOVA est utilisée pour tester la similarité des variables en termes statistiques, lorsque la probabilité réelle d'erreur est :

P = 0,001 très significatif.

P = 0,01 hautement significatif.

P = 0,05 significatif.

Résultats et discussion

. Caractéristiques physico-chimiques du sol

Les résultats des analyses physico-chimiques du sol qui ont été effectuées au niveau du laboratoire de l'Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana, l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie (ENSA) et Institut Technique des grandes cultures (ITGC) sont rapportés dans le tableau suivant

Résultats		
Granulométrie		
Argile %	47%	Annexe 1
Limons %	45%	
Sable %	8%	
Analyses Chimiques		
pH eau	6.95	Annexe 2
pH kcl	7	
Conductivité électrique us/cm	253.06	Annexe 3
Matière organique %	1.69%	Annexe 4
Carbone %	0.98%	
Calcaire total %	15%	Annexe 5
Calcaire actif %	5.1%	
Azote total %	0.78	Annexe 6
Phosphore assimilable (ppm)	5.8	Annexe 7

Tableau 10: Caractéristiques physico-chimiques du sol

D'après le tableau (07), on remarque que le sol de la zone de la parcelle est caractérisé par les éléments de texture suivants :

L'argile représente la plus grande proportion avec un pourcentage de **48%**

La teneur en limon et en sable est de **45%, 8%** respectivement.

Ce qui nous donne un sol caractérisé par une texture argileux-limoneux selon le triangle de texture Duchaufour (**Duchaufour, 1970**).

Le sol avec une teneur en carbone de **0.98 %** et avec un taux de matière organique de **1.69 %** ce qui correspond à un sol pauvre en humus (**Afnor, 1984 ; Gangnard et al, 1988**). La parcelle d'étude est caractérisée par un sol moyennement calcaire avec un taux de calcaire actif de **5,1%**, légèrement salé (**253,06 µs /cm**) et représente un pH neutre de 6,95 (**Feller, 1995**). Le sol est pauvre en azote total avec une teneur de **0,78%** et pauvre en phosphore assimilable avec une teneur de **5.8 ppm** (**Lambert, 1975**).

Conclusion

Les paramètres de milieu de la région de Khemis Miliana présentent des propriétés Favorables pour la culture de la lentille ; la texture argileux-limoneux du sol permet une Bonne capacité de rétention de l'eau, le **pH de 6,95** est neutre et la salinité faible **253,06 $\mu\text{s/cm}$** . Donc le sol ne pose pas des problèmes et ne présente pas des propriétés nuisibles au Processus de symbiose Rhizobium légumineuses.

II. Effet de l'association sur les paramètres de croissance et de la nodulation

II.1. Hauteur de la plante (Lentille et Blé)

La variation de la hauteur de plante de blé dur et de la lentille sous les différentes modalités de culture est consignée dans la figure 26.

L'analyse statistique des données ANOVA révèle une différence non significative ($p > 0.05$) entre les deux modalités de culture associée et pure pour le blé contrairement pour la culture de lentille l'analyse a révélé une différence significative ($p=0.01$), le Test de Newman-Keuls au seuil de signification de 5%, classe les génotypes pour ce paramètre en deux groupes homogènes a et b avec un groupe chevauché ab (**Annexe 8**).

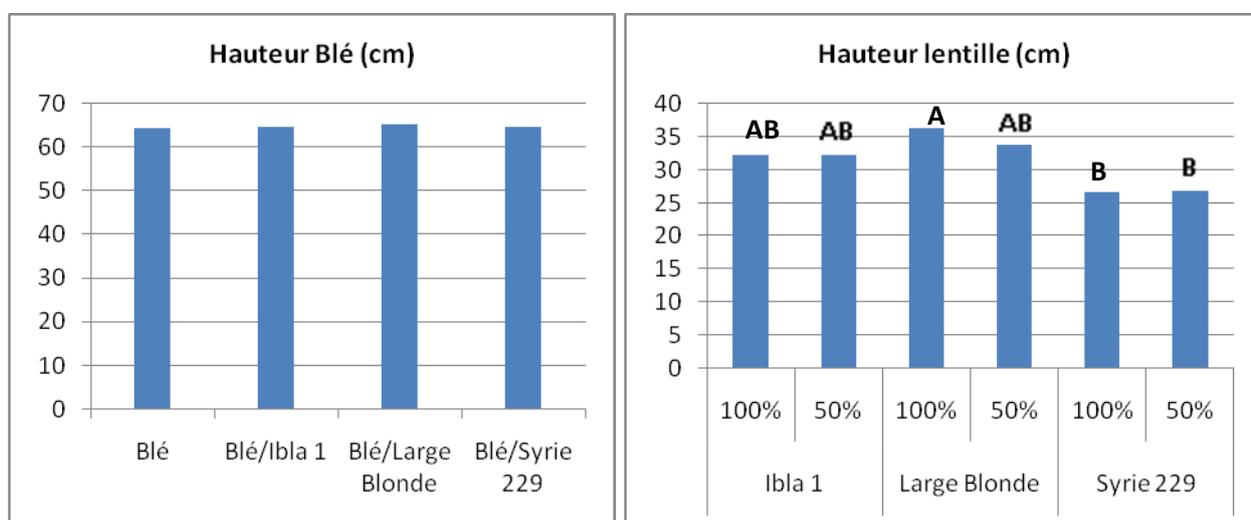


Figure 27: Hauteur de la plante (blé dur et lentille).

En effet, la valeur la plus élevée de la hauteur de plante de blé est enregistrée sous l'effet de l'association à 50% avec une hauteur de 65.44 cm, ce qui se traduit par une diminution par rapport à la monoculture de 65.11 cm, puis les autres valeurs d'association, 65.11 cm à 50%, 65.44 cm à 100%. Pour la lentille la valeur la plus élevée est enregistrée sous l'effet de la monoculture avec une valeur de 36.89 cm, 36 cm dans la densité 100 %, 34.23 cm à 50%

II. 2. Longueur de la partie racinaire de la plante (Lentille et Blé)

La variation de la longueur de la partie racinaire de la plante de blé dur et de la lentille sous les différentes modalités de culture est consignée dans la figure (25)

L'analyse statistique des données ANOVA révèle une différence non significative ($p > 0.05$) entre les deux modalités de culture pour la longueur racinaire de la plante de blé dur et de la lentille (Annexe 9).

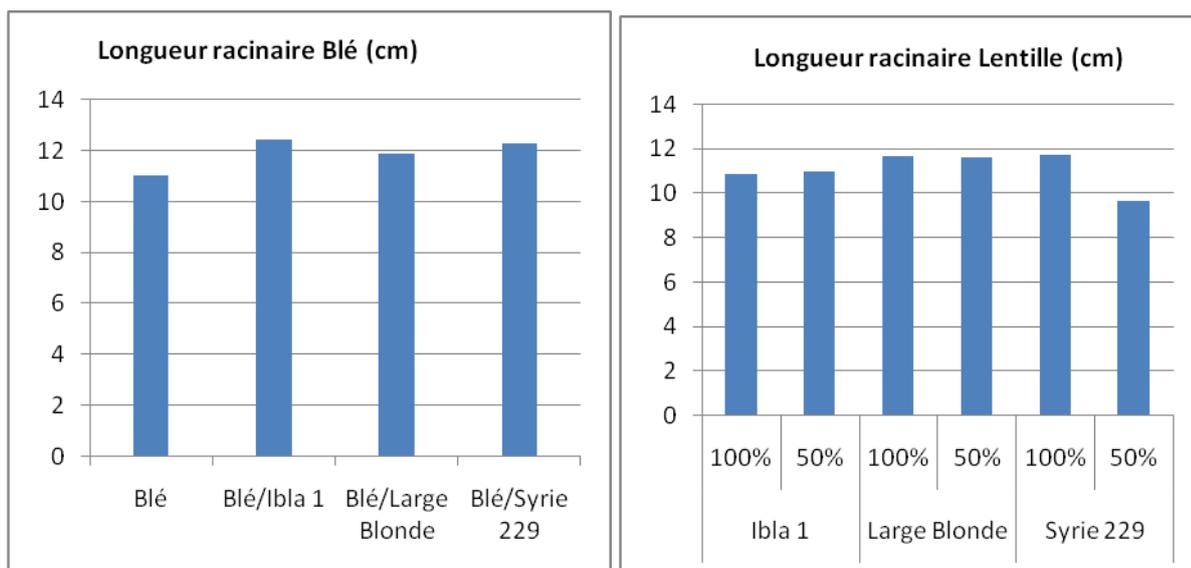


Figure 28: Longueur de la plante (blé dur et lentille).

D'après la **figure 27**, nous avons remarqué une longueur des racines presque similaire entre les variétés de lentille et de blé pour les différents modèles de semis en culture pure ou en association, la valeur la plus élevée pour le blé est enregistrée sous l'effet de l'association à 50% avec une hauteur de 12.25 cm, ce qui se traduit par une diminution par rapport à la monoculture de 11.10 cm, puis les autres valeurs d'association, 12.1 cm à 50% et 11.9 cm à 50%. Pour la lentille la valeur la plus élevée est enregistrée sous l'effet d'association avec une valeur de 11.9 cm à 100%.

II. 3. Nombre des nodules de la culture associée et pure

La variation de la biomasse sèche nodulaire et le nombre de nodules de la lentille sous les différentes modalités de culture est enregistrée dans les figures 28 et 31. L'analyse statistique des données révèle une différence non significative entre les deux modalités de culture pour le nombre de nodules et la biomasse nodulaire (**Annexe 13**).

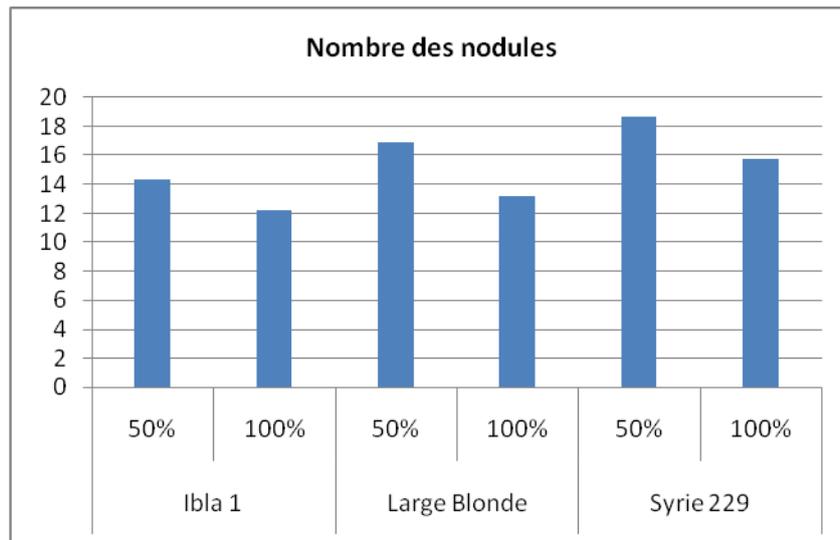


Figure 29: Nombre des nodules

La valeur de nombre des nodules la plus élevée est enregistrée sous l'effet de l'association par rapport à la culture pure avec un nombre de 18.66 enregistré par la variété Syrie 229 suivi par large blonde et Ibla avec 16.88 et 14.33 respectivement.

Pour la culture pure c'est à dire lentille à 100% les valeurs enregistrés sont 15.77 pour la Syrie 229 13.22 pour large blonde en final 12.22 Ibla 1. Pour les deux modes de culture la variété Syrie 229 à donner les meilleurs résultats. Une augmentation du nombre de nodules est observée sous l'influence de l'association.

II. 4. Effet de l'association sur la biomasse aérienne sèche (SDW)

D'après l'analyse des résultats illustré sur la figure 29 on a enregistré que la biomasse aérienne sèche dans la partie aérienne du blé dur en association à donner les meilleurs résultats par rapport à la culture pur contrairement à la lentille le poids sec de ma partie aérienne en culture pure est plus levé que celle en association avec une céréale. L'analyse statistique des données de la biomasse de la partie aérienne a révélé une différence hautement significative pour le blé avec deux groupes homogènes blé associer avec les trois génotypes présente un groupe (A) et blé pure présente l'autre groupe selon le test de Newman-Keuls au Seuil de signification de 5% (Annexe 11).

Pour la lentille l'analyse de la variance a aussi révélé une différence hautement significative avec trois groupes homogènes (A, B et C) et trois groupes qui chevauchent c'est résultats obtenue après le test de Newman-Keuls au seuil de signification de 5%.

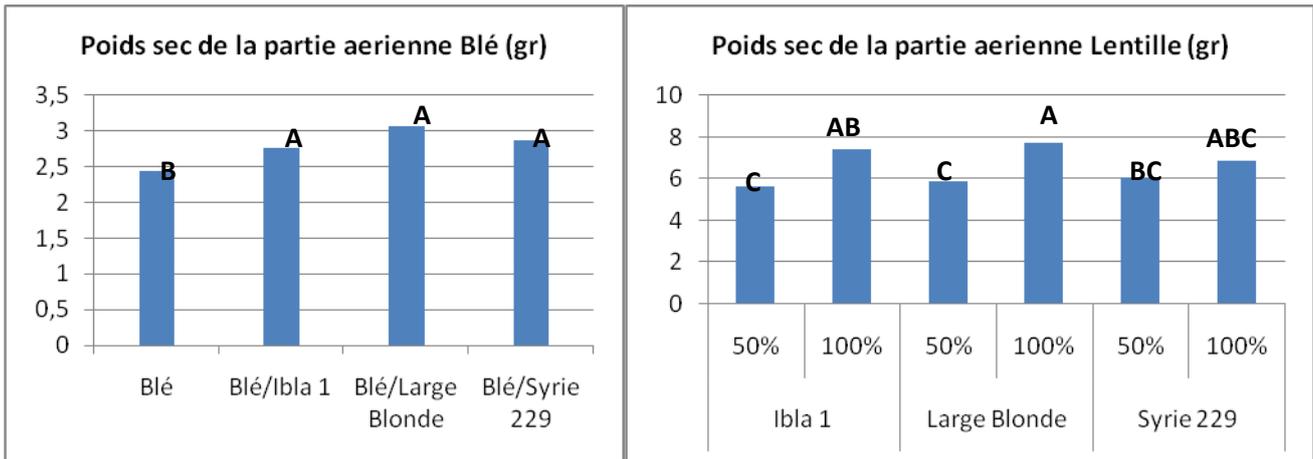


Figure 30 : Variation de la biomasse aérienne sèche (en gr) de blé dur et de la lentille en association et en culture pure

D'après ces données représentées par les histogrammes on a remarqué que le blé associé avec large blonde à donner le SDW le plus élevé (3.06g) suivi par celui associée avec Syrie 229 (2.86g) et en final le blé associé avec Ibla 1 avec une valeur de 2.76g pour Simeto en culture pure 100% le SDW est de 2.43g seulement.

Pour la lentille en pure le SDW le plus élevé est enregistré par le génotype large blonde suivi par Ibla 1 et Syrie 229 il varie entre 6.88 à 7.71g. Par contre en culture associée le SDW est varié entre 5.66 à 6.09g.

II. 5. Effet de l'association sur la biomasse racinaire

La figure (30) montre que le RDW de la culture de blé le plus élevé est celui qui est associée à la variété Large Blonde (1,18 g) Comparé au Blé pur 100% (0,75g) et autres cultivars, Ibla 1 et Syrie 229 (0,94 g et 0,85 g), En ce qui concerne les lentilles, la biomasse racinaire de lentilles la plus élevée est enregistré pour le mode de culture en association avec la céréale et large blonde a donné la valeur la plus grande 1.13g suivi par Syrie 229 (0.71g). La plus faible biomasse de lentilles a été enregistrée pour le cultivar Ibla 1 quel que soit le mode de culture associée ou pure avec une valeur de 0,30-0,32g. L'analyse de la variance a révélé une différence significative pour les deux cultures blé et lentille. Le test de Newman et Keuls au seuil de signification de 5%, classe les variétés en deux groupes homogènes (A et B) et un seul groupe chevauche (AV) (Annexe 12).

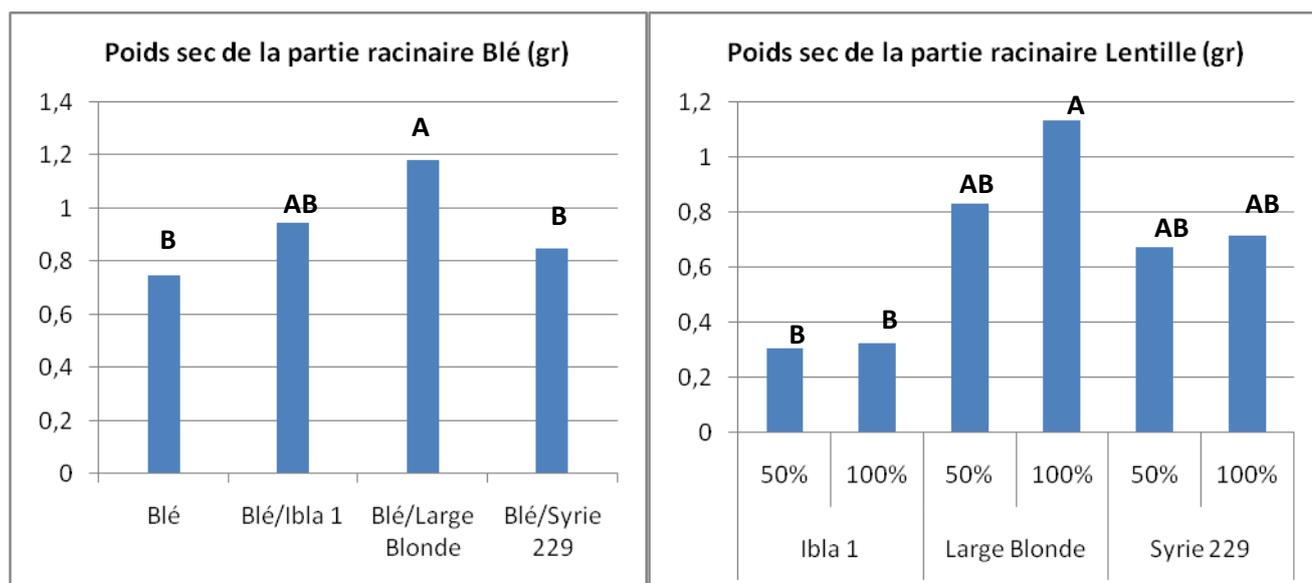


Figure 31 : Variation de la biomasse racinaire sèche (en gr) de blé dur et de la lentille en association et en culture pure

II. 6. Effet de l'association sur la biomasse nodulaire

Les résultats de la biomasse nodulaire présentés dans la figure 31 montrent que la biomasse sèche des nodules varie entre 0.01 et 0.02 gr/plant selon la variété. La valeur la plus élevée est enregistrée chez la variété Syrie 229 (0.0274g/plante en culture associée ainsi qu'elle présente aussi la valeur la plus faible (0.0111 g/plant) en culture pure.

En culture pure large blonde a donné le poids moyenne NDW le plus élevé il est de 0.0237gr/plant suivi par Ibla 1. L'analyse de la variance ne montre aucune différence significative entre les variétés. (**Annexe 13**).

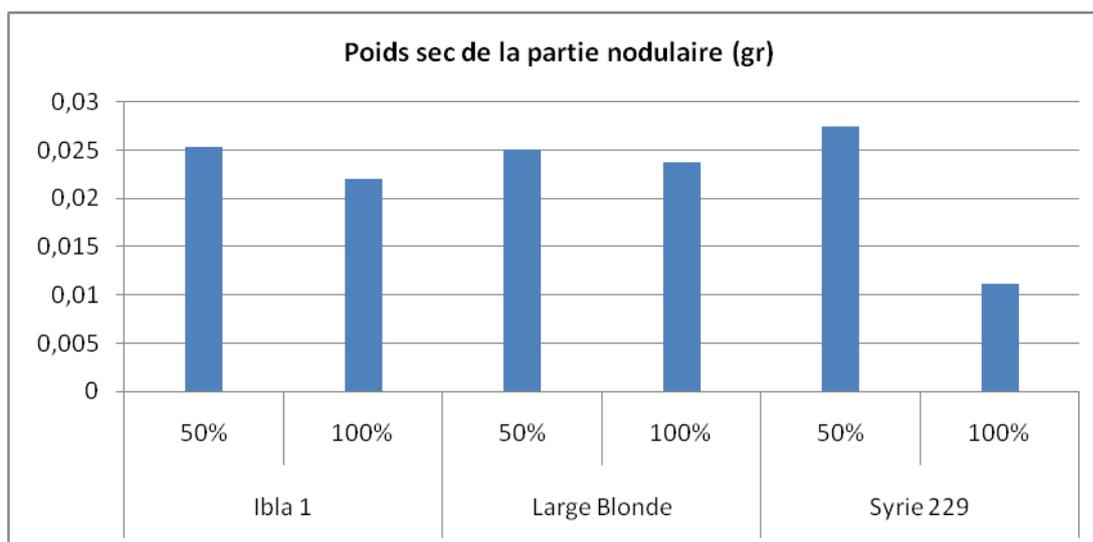


Figure 26 : Variation de la biomasse nodulaire sèche (en gr) de la lentille en association et en culture pure

II. 7. Effet de l'association sur l'efficacité de l'utilisation de la symbiose rhizobienne

L'efficacité d'utilisation de la symbiose rhizobienne (**EUSR**) a été estimée par la pente du modèle de régression de la biomasse aérienne des plantes sur la biomasse nodulaire. Selon l'équation de la droite de régression $y = ax + b$, a représente l'impact de la nodulation sur la biomasse des plantes et b est une constante de la biomasse des plantes non liée aux nodosités. Les courbes de régression illustrées sur (la figure 32.) montrent des corrélations positives entre la nodulation et la croissance aérienne de différentes variétés. La biomasse des nodosités d'un plant rend compte de l'ineffectivité des souches (**Benth, 1988**). Dans notre étude l'ineffectivité et l'effectivité sont évaluées respectivement en fonction des biomasses nodulaires et des biomasses des parties aériennes. Des travaux précédents ont montré que la déficience en phosphore affecte les paramètres de croissance chez les plantes de pois chiche (Alkama, 2010). En effet, en cas de carence en phosphore la croissance racinaire est beaucoup moins inhibée entraînant ainsi, en terme de matière sèche, une diminution du rapport parties aériennes / racinaires (Bernal et al. 2005). Le phosphore améliore, en particulier, la fixation symbiotique de l'azote et beaucoup de travaux indiquent que l'efficacité du P sur la fixation de l'azote réside dans la capacité à augmenter la nodulation et l'activité de la symbiose (Lazali et al, 2016). Dans notre expérimentation, les différences de biomasses entre les variétés peuvent s'expliquer par une variabilité pour l'efficacité d'utilisation du phosphore. Ce résultat est similaire à celui trouvé par Lazali et al, 2017 chez le haricot. D'après les résultats illustrés par les figures précédentes on note que les trois variétés quel que soit le mode de culture (associé ou pure) présentent une efficacité d'utilisation de la symbiose rhizobienne, la variété **Ibla 1** en culture associée et **large blonde** en culture pure a donné le plus d'efficacité d'utilisation de la symbiose rhizobienne avec (143,6g PAS-PNS) et (291,9g PAS-PNS. c'est à dire que la biomasse aérienne est corrélée avec la biomasse nodulaire ce qui signifie que les variétés ont en recours à la fixation symbiotique pour satisfaire ses besoins en azote. Ceci suggère que les nodules formés chez ces variétés sont fonctionnels, donc fixatrice d'azote.

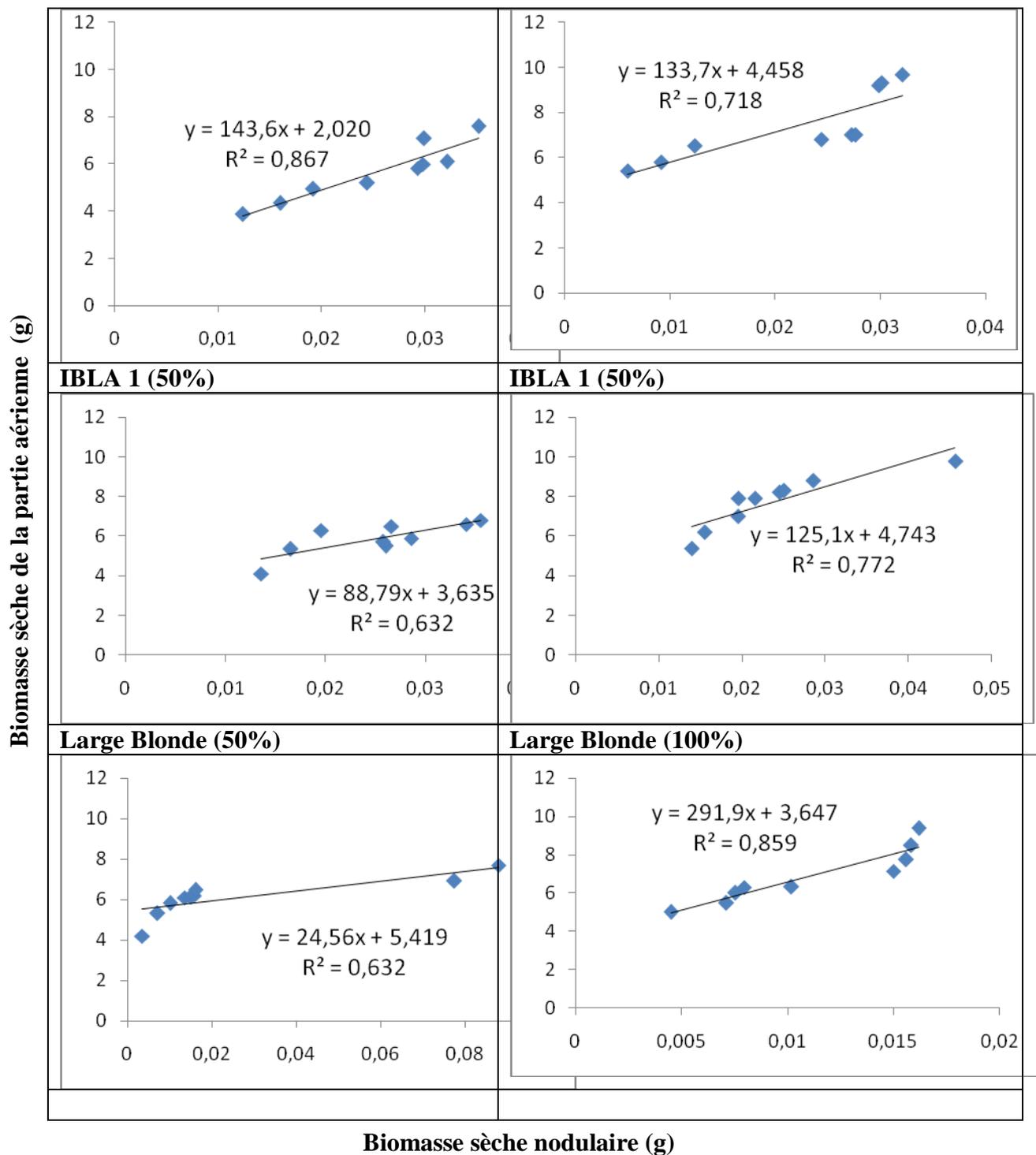


Figure 27 : Représentation de la corrélation entre la biomasse sèche nodulaire et la biomasse sèche de la partie aérienne

II. 8. Effet de l'association sur la biomasse total et le rendement en grain LER (Land Equivalent Ratio)

La ration équivalente LER pour les paramètres testés a été supérieure à 1 quel que soit le génotype étudié, ce qui indique un avantage (biomasse totale et rendement) de la culture intercalaire par rapport à la monoculture (Tableau 2).

Un LER significativement ($p < 0,05$) plus élevé pour le rendement en grain a été atteint dans le sol déficient en P au cours de la saison de croissance (tableau ***).

Tableau *** : ration équivalente (LER) pour le rendement, la biomasse sèche totale pour le trois génotypes:

ASSOCIATION	LER (TDW)	LER (Yield)
Blé/Ibla 1	1,914±0,010	2,128±0,01
Blé/Large Blonde	2,033±0,012	2,085±0,05
Blé/Syrie 229	2,076±0,012	1,976±0,09

III. Effet de l'association sur le rendement et ses composantes

III.1. Nombre de plant/m²

La variation de nombre de plants par m² sous les différentes modalités de cultures est consignée dans la figure 33. L'analyse statistique a révélé une différence très hautement significative entre les deux modalités de culture pour le blé et pour la lentille. Le Test de Newman-Keuls au seuil de signification de 5%, classe les variétés de lentille pour ce paramètre en trois groupes distincts (A, B et C) et un seul groupe chevauché (AB)

Pour le blé le teste de Newman-Keuls au seuil de signification de 5%, classe en deux groupes homogènes blé pure (A) et le blé associé (B) (**Annexe 14**).

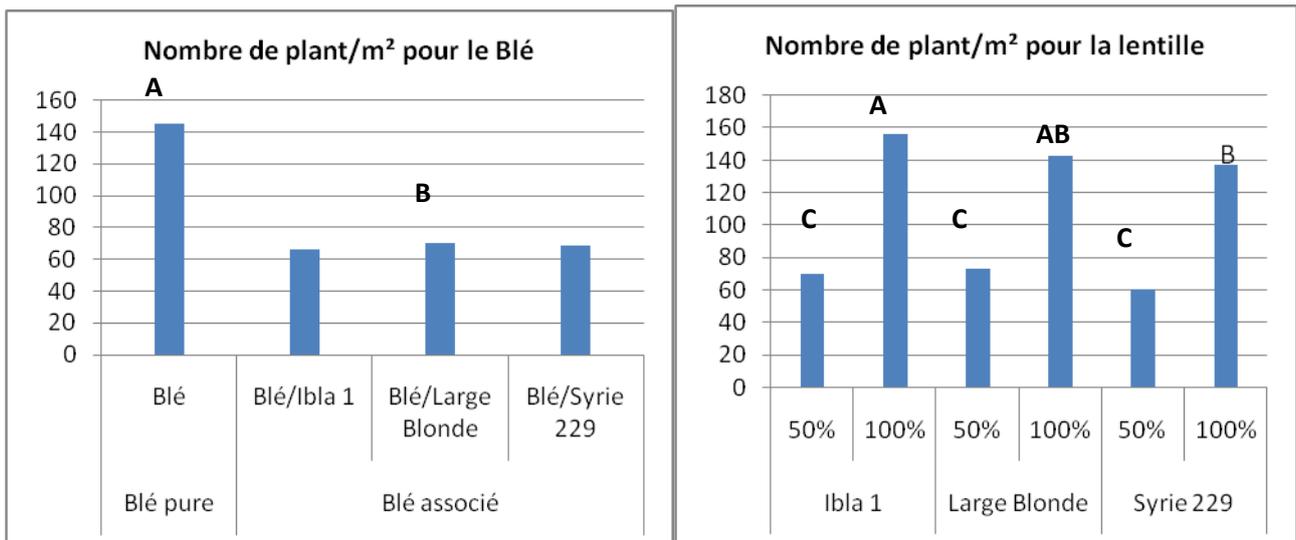


Figure 28 : Nombre de plant/m² pour le blé et la lentille.

La valeur la plus élevée de nombre de plant par mètre carré pour le blé est enregistrée sous l'effet de la monoculture avec un nombre de 145.66 plantes par mètre carré ce qui montre une diminution par rapport à l'association avec des valeurs varie entre 66 et 70 plant/m².

Pour la lentille le nombre de plants par mètre carré est élevé dans la monoculture avec des valeurs varie entre 137 et 156 plant/m² par rapport à l'association avec des valeurs entre le 60 et 73 plants par mètre carré.

III.2. Nombre des ramifications I et II pour la lentille

La variation de nombre des ramifications I et II pour la lentille sous les différentes modalités est illustré dans la figure 34. L'analyse statistique révèle une différence non significative entre les deux modalités de culture pour le nombre de ramifications I et II (**annexe15**).

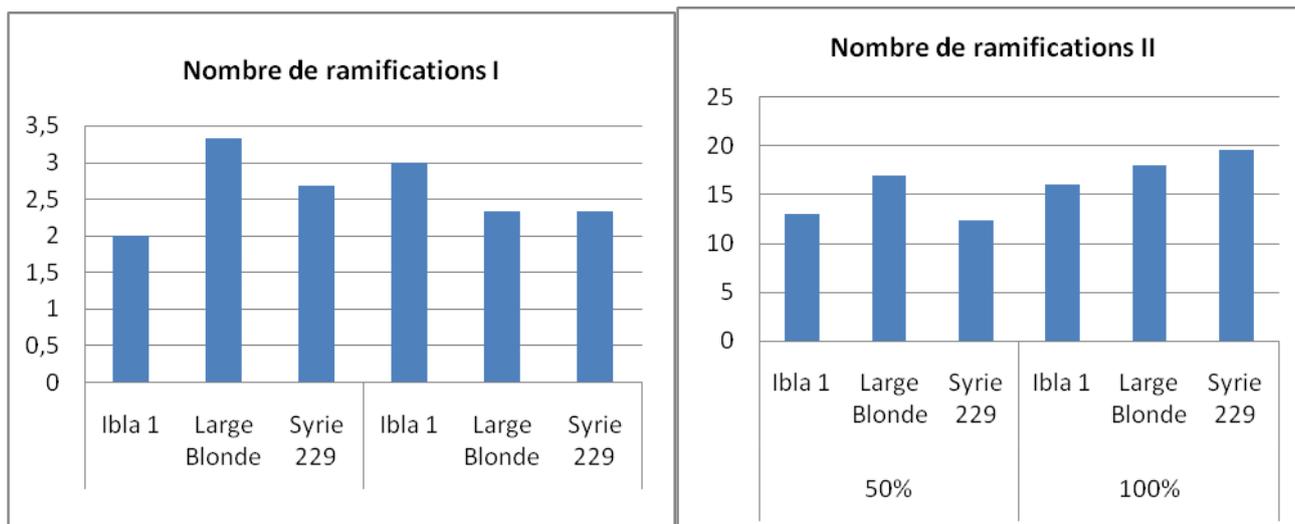


Figure 29 : Variation du nombre des ramifications I et II par plant pour la lentille

Le nombre de ramifications I le plus élevé a été enregistré sous l'effet de l'association est de 3,33 ce qui montre une diminution par rapport à la monoculture avec une valeur de 3 qui a présenté par la variété Ibla 1. Pour le nombre de ramifications II, la valeur la plus élevée a été enregistré sous l'effet de la monoculture est de 19,67 présenté par Syrie 229 suivi par large blonde et Ibla 1 avec (18 et 16) respectivement, et pour l'association large blonde a donné une valeur de 17.

III.3. Nombre de fleurs par plant pour la lentille

La variation de nombre de fleurs par plant pour la lentille sous les différentes modalités de culture a été montrée dans la **figure 35**. L'analyse statistique pour le nombre de fleurs par plant ne révèle aucune différence significative entre les deux modalités de culture pour la lentille (**Annexe 16**).

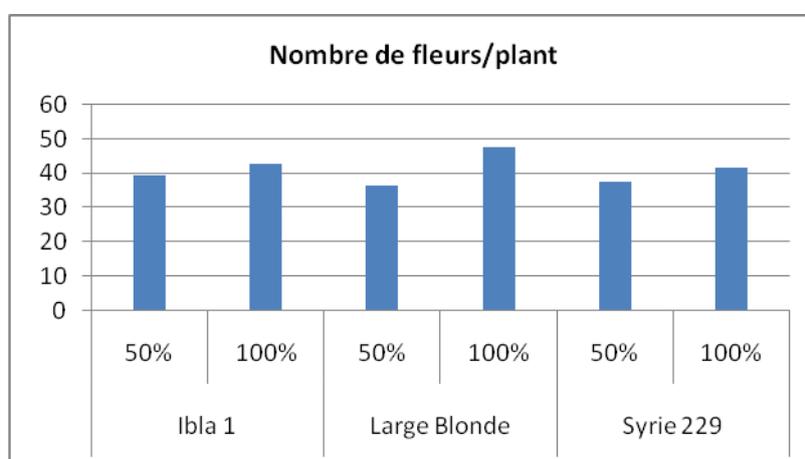


Figure 30 : Nombre de fleurs par plant pour la lentille

La valeur la plus élevée de nombre de fleurs par plant est enregistrée sous l'effet de la monoculture avec une moyenne de 47,67 fleurs par plant, ce qui montre une augmentation par rapport à l'association avec une valeur de 39 fleurs par plant.

III.4. Effet de l'association sur le nombre de grains par gousse et par épi

La variation de nombre de grains par gousse et par épi sous les différentes modalités est consignée dans la figure 36. L'analyse statistique des données ANOVA révèle une différence très hautement significative ($p \leq 0.05$) entre les deux modalités de culture pour le nombre de grains par gousse de lentille et une différence non significative pour le paramètre nombre de graines/épi pour le blé

Le Test de Newman-Keuls au seuil de signification de 5% a classé la lentille en quatre groupes homogènes (**Annexe 17**).

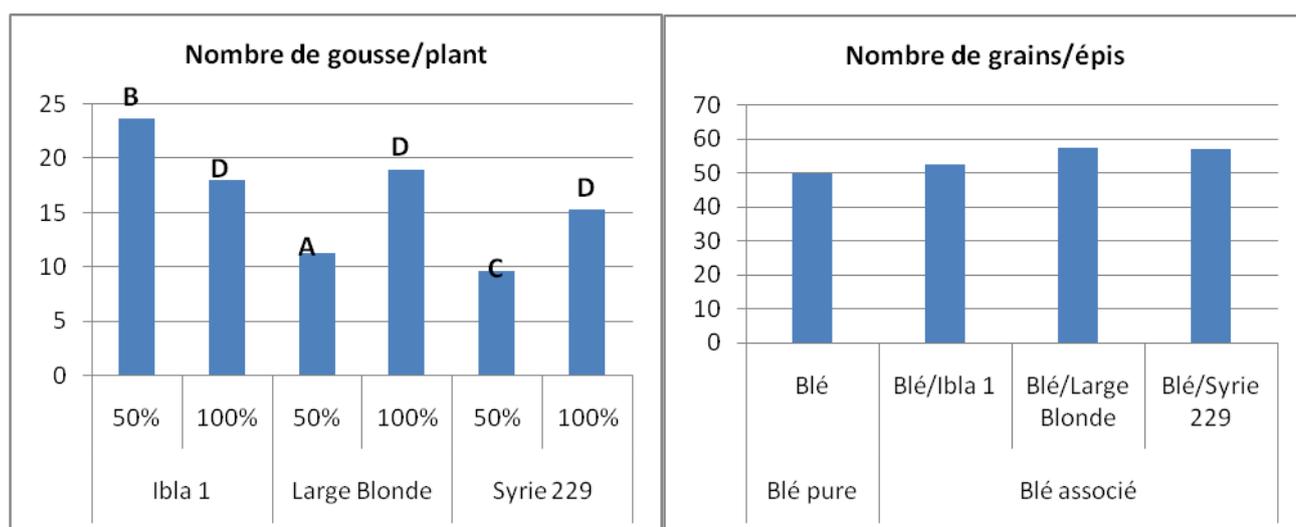


Figure 31 : Variation de nombre de grains par gousse et par épi.

Les valeurs de nombre de grains/épi pour le blé est presque similaire les deux type de culture associé et en monoculture il varie entre 50 et 57 graines/épi. Pour la lentille le nombre de gousses par plant le plus élevé a été enregistré par le génotype Ibla 1 en association suivi par marge blonde et Syrie 229 avec des valeurs de 11 et 09 pour la monoculture large blonde a le nombre le plus important 19 gousses/plant.

III.5. Effet de l'association sur le poids de mille grains du blé et de cent grains de lentille

L'analyse des moyennes **figure 37** montre que le PMG pour le blé est presque similaire varie entre 61 et 63 g. pour la lentille quel que soit le génotype le PMG en association et légèrement

élevé par rapport à son poids en monoculture. Large blonde a présenté un PCG de 6.66g en culture pure et 6.16 g en association, par contre Syrie 229 à donner les valeurs les plus faibles 4.96 en culture pure et 4.58 g

L'analyse statistique ne révèle aucune différence significative entre les deux modalités de culture pour le poids de mille grains de blé et une différence très hautement significative pour le (PCG) le poids de cent grains de la lentille (annexe 18).

Le Test de Newman-Keuls au seuil de signification de 5% a révélé trois groupes homogènes (A,B et C)distincte et un seul groupe chevauché (BC).

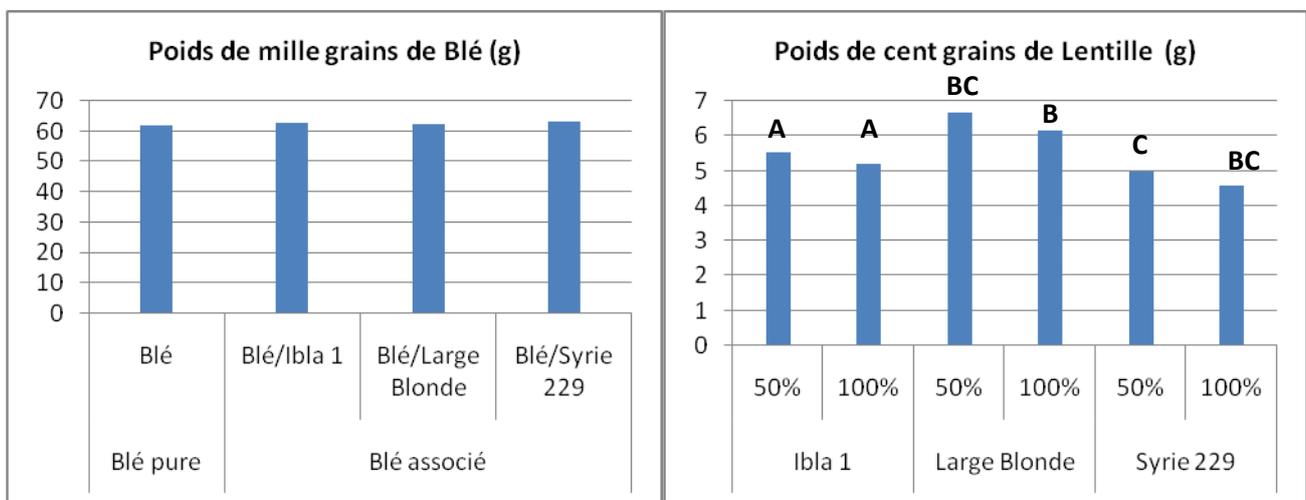


Figure 32 : Poids de mille grains de blé et des cent grains de lentille.

III.6. Effet de l'association sur le rendement en grain de Blé et la Lentille

Les résultats illustrés dans la figure 38 montrent la variation du rendement en grain de la lentille et du blé dur sous les différentes modalités de semis en association et en monoculture. L'analyse statistique, a montré une différence non significative entre les deux modalités de cultures pour le rendement en grain chez le blé dur et pour le rendement en grains chez la lentille (**Annexe 19**).

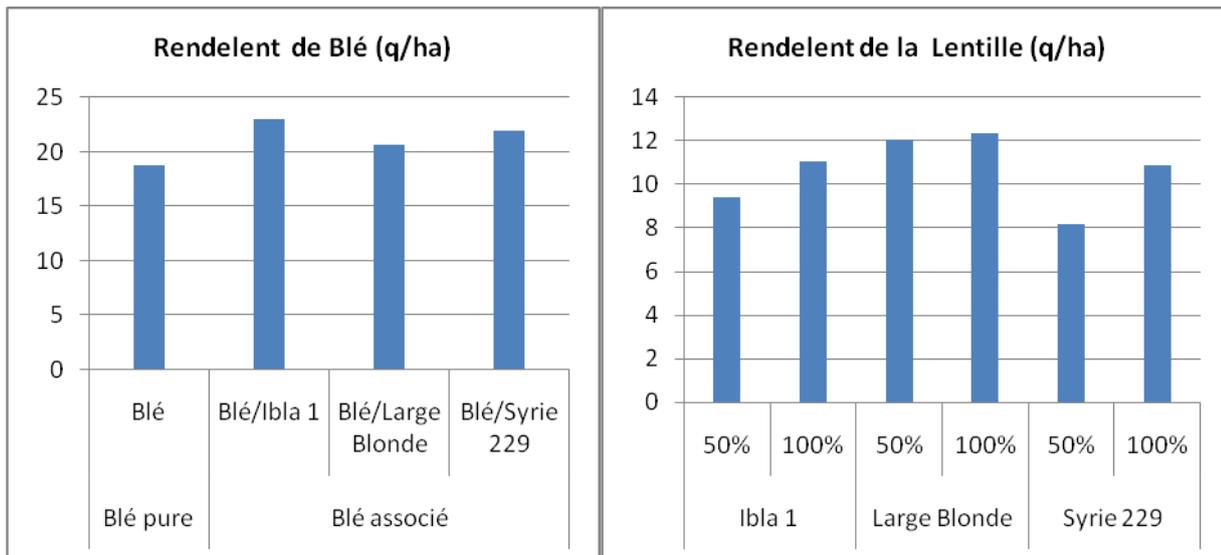


Figure 33 : Rendement de blé et de lentille en grain (q/ha).

Le rendement enregistré pour le blé est presque similaire en culture associée il est de 22.96 q/ha avec Ibla 1 et de 21.97 q/ha avec Syrie 229 et de 20.70 q/ha associé avec large blond avec un écart de 4.16 q/ha par rapport au rendement de blé en monoculture qui est de 18.80 q/ha.

La lentille a enregistré la valeur la plus élevée en monoculture quel que soit le génotype alors que la variété large blonde a donné le rendement le plus élevé 12.35 q/ha en monoculture et 12.05 q/ha en association, le faible rendement a été enregistré par la variété Syrie en association avec une valeur qui ne dépasse pas 8.16 a/ha.

Conclusion

L'objectif majeur de notre travail est de voir l'effet des cultures associées, le cas blé dur lentille sur le rendement et la croissance des plantes en étudiant les différentes parties végétatives (partie aérienne, racinaire et nodulaire) par rapport à la monoculture sans l'apport des engrais.

Pour cela on prend des différents pourcentages de blé dur et de lentille dans notre association. Nos résultats permis de montrer que l'association blé dur – lentille n'est pas performante, elle n'a pas permis d'améliorer l'utilisation des ressources du milieu, pour la production de biomasse et de rendement par rapport aux monocultures, et ce d'autant plus que le rendement du blé dur en association est faible.

Une attention particulière est accordée à l'acquisition de N en relation avec l'efficacité symbiotique des nodules à travers les processus induits par les racines modifiant ainsi la disponibilité de l'N.

Les résultats montrent que la disponibilité de deux cultures dans une même parcelle (cultures associées) provoque une concurrence sur les nutriments et surtout sur l'azote, alors une diminution du rendement par rapport à la monoculture.

On conclue aussi que le meilleur pourcentage d'association est se lui de 50% qui provoque une complémentarité entre les deux cultures associées (blé dur-lentille).

Nos résultats n'indiquent pas l'efficacité de l'association sur l'apparition de mauvaises herbes dans l'association blé dur-lentille.

Cependant, nos conclusions laissent ouvrir d'autres perspectives de recherche en rapport avec le choix d'autres cultures complémentaires à associer et de jouer sur la dose de semis.

A cet effet, et pour compléter ce travail

Il est souhaitable de mener des études pour identifier les rhizobiums présents dans le sol du site et leur efficacité à fixer l'azote atmosphérique.

Il serait d'autant plus intéressant de travailler en collaboration avec les machinistes pour la mécanisation de la récolte si on veut appliquer ce système à grande échelle.

□ De plus, il est souhaitable, d'orienter les recherches vers d'autres types et modes d'association légumineuses-céréales qui peuvent s'avérer intéressantes du point de vue économique et écologique.

A

Abis (2012) Le blé en Méditerranée sociétés, commerce et stratégies. Économie et territoire relations commerciales CIHEAM Paris : 241-247.

Ait Abdallah. (2011).Culture et cout de production des grandes cultures. P 84.
ISBN : 978- 9961-881-18-7.<https://agronomie.info/fr/situation-de-culture-de-lentille-importance-algerie>

Alexandre de Spotifarm, le 12 avr. 2022 <https://blog.spotifarm.fr/tour-de-plaine-spotifarm/author/alexandre-de-spotifarm>

Alimentaires(ACLA), direction de la production végétale.

Amarowicz, R., Karamac, M., and Shahidi, F. (2003), Antioxidant Activity of Phenolic Fractions of Lentils (*Lens culinaris*) (Electronic Version). Journal of Food Lipids, 10 (1), 1–10

Amarowicz, R., Troszynska, A., Ko-Pikelna, N. and Shahidi, F. (2004), Polyphenolics Extracts from Legume Seeds : Correlations Between Total Antioxidant Activity, Total Phenolics Content, Tannins Content and Astringency (Electronic Version).Journal of Food Lipids, 11, 278–286.

Ammar M (2014) Organisation de la chaine logistique dans la filière céréales en Algérie états des lieux et perspective. Thèse de doctorat de CIHEAM Montpellier : p17-20.

Amossé C., Jeuffroy M.H., Celette F., David C., 2013. Relay-intercropped forage legumes help to control weeds in organic grain production. European Journal of Agronomy 49, 158167.

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

Aude Coulombel (ITAB), 2008.Les techniques de l'agriculture biologique

B

Baldy C. 1986. Effets du climat sur la croissance et le stress hydrique des blés en méditerranée occidentale in : tolérance à la sécheresse des céréales en zones

méditerranéenne, diversité génétique et amélioration variétale. Les colloquents, n° 64, Montpellier. Ed. INRA, Paris 1993.

Baldy C., 1974. Contribution à l'étude fréquentielle des conditions climatiques. Leurs

Bamouh A. (1999). Fiche technique, la lentille amélioration de la culture des légumineuses Alimentaires (ACLA), direction de la production végétale.

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

Bedoussac L., Justes E., 2011. A comparison of commonly used indices for evaluating species interactions and intercrop efficiency: application to durum wheat-winter pea intercrops. *Field Crops Res.* 124, 25–36.

Bedrani S (2008) Algérie .L'agriculture, la pêche et le développement rural dans les pays

Bedrani S (2008) Algérie .L'agriculture, la pêche et le développement rural dans les pays méditerranéens : tendances et politique. In Allaya (ed). Les agricultures méditerranéennes : 140 Options Méditerranéennes B64- Analyses par pays. Montpellier : CIHEAM-IAM p37-73 (Options méditerranéennes. Série B : Etudes et Recherches ; n. B 61

Bejiga G. (2006). Lens culinaris Medik. Fiche de Protabase. Brink, M. and Belay G.

Belaid D 1990 Elément de pyrotechnie général Ed Office des publications universitaires. Ben-Aknoun (Alger). 155P

Betencourt E., 2012. Interactions entre céréale et légumineuse en association et acquisition de phosphore du sol : processus rhizosphérique sous-jacents. Thèse doctorat, centre international d'études supérieures en sciences agronomiques. Montpellier, 231p.

Betencourt, E., Duputel, M., Colomb, B., Desclaux, D. & Hinsinger, P. 2012.

Intercropping promotes the ability of durum wheat and chickpea to increase rhizosphere phosphorus availability in a low P soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 46:181-190

Boulal et al., 2007. Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blé et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc et Tunisie) Coédition ITGC INRA ICARDA 176p

Bousalhih B, Lazali M et Aoun O. La culture de la lentille. Journée d'étude sur les

Bozzini, A.,(1988). Origin, distribution, and production of durum wheat in the world. In :Fabriani, G., & Lintas, C. (eds.). Durum – Chemistry and technology. American Association Of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, USA, pp. 1-16

Bruno,J.F., Stachowicz, J.J.&Bertness, M.D. 2003.Inclusion of facilitation intoecologicaltheory. Trends in Ecology and Evolution, 18(3), 119-125.

C

Caron D., (1993). Les fusariuses. ITCF. Paris 30-39

CCCE (France)-Projet céréales (Algérie). 183 p.

Chaudhary, M.I., Adu-Gyamfi, J.J., Saneoka ,H., Nguyen, N.T., Suwa, R., Kanai S., El-Shemy, H.A., Lightfoot, D.A.&Fujita, K. 2008. The effect of phosphorusdeficiency on nutrientuptake, nitrogen fixation and photosynthetic rate in mashbean, mungbean and soybean. Acta PhysiologiaPlantarum, 30: 537-544.

Clarkson, D. T. 1985. Factorsaffectingmineralnutrient acquisition by plants. AnnualReview

Clawson, D.L.1985.Harvest Security and IntraspecificDiversity in Traditional Tropical Agriculture. EconomicBotany, 39:56-67.

Clément et al, 1971 Les céréales, « grand court ». Coll. Agro. Alimentaire. Lavoisier. p. 78-91.

Collection et Techniques Agricoles. 248p.

Collection et Techniques Agricoles. 248p.

Corre-Hellou G, Baranger A, Bedoussac L, Cassagne N, Cannavacciuolo M, Joëlle J, Pelzer E, Piva G., 2014. Interactions entre facteurs biotiques et fonctionnement des associations végétales. Innovations Agronomiques 40, 25-42.

Corre-Hellou, G. & Crozat Y. 2004. Interspecific competition for soil N in pea-barley mixtures during the vegetative phase and consequences on N₂ fixation. In 5th Conference on Grain Legumes, Dijon, France.pp. 65- 66.

Corre-Hellou, G. 2005. Acquisition de l'azote dans des associations Pois-Orge (*Pisumsativum* L. – *Hordeumvulgare* L.) en relation avec le fonctionnement du peuplement. Thèse de Doctorat, Université d'Angers. 172p.

Corre-Hellou, G., Fustec, J. & Crozat, Y. 2006. Interspecific competition for soil N and its interactions with N₂ fixation, leaf expansion and crop growth in pea-barley intercrops. *Plant and Soil*.282: 195–208.

Corre-Hellou, G., A. Dibet, H. Hauggaard-Nielsen, Y. Crozat, M. Gooding, P. Ambus, C. Dahlmann, P. VonFragstein, A. Pristeri, M. Monti. & E.S. Jensen, 2011. Competitive ability of pea-barley intercrops against weeds and interactions with crop productivity and soil N acquisition. *Field Crops Research*, 122: 264-272.

D

D'Erfurth I., Cosson V., Eschstruth A., Lucas H., Kondorosi A., Ratet P. (2003). Transposition efficace du rétrotransposon du tabac Tnt1 dans la légumineuse modèle *Medicago truncatula*. *Plant J*

Dahmardeh M, Ghanbari A., Syahsar B.A., Ramrodi M., 2010. The role of intercropping maize (*Zeamays* L.) And Cowpea (*Vigna unguiculata* L.) on yield and soil chemical properties. *African Journal of Agricultural Research*. Iran, Vol. 5, p.p. 251-257.

Darrah, P.R. 1993. The rhizosphere and plant nutrition : a quantitative approach. *Plant and Soil* 156 :1-20. De la zone de Boumedfa, la DSA et la Daïra de Boumedfa 3P.

Dissanayaka, D.M.S.B., Maruyama, H, Masuda, G. & Wasaki. 2015. Interspecific facilitation of P acquisition in intercropping of maize with white lupin in two contrasting soils as influenced by different rates and forms of P supply. *Plant and Soil*, 390: 223-236.

Djermoun A., (2009). La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. *Revue Nature et Technologie*, 01 ; 45 : 53

Dubois G. et Flodrops B., 1987. La protection des semences: un concept nouveau d'intensification. *Encyclopédie Agricole Pratique*. Ed. La nouvelle librairie, Paris 96 p

E

Edwards, L. 1998. Comparison of two spring seeding methods to establish forage covercrops in relay with winter cereals. *Soil and Tillage Research*, 45:227-235.

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

F

Fabriani, G., & Lintas, C. (eds.). Durum – Chemistry and technology. American Association

Food Outlook 2022 production mondiale du blé

Ford et al 2007 L'origine des lentilles et le lieu de sa propagation et de sa plantation

Ford et al. 2007 Les lentilles (*Lens culinaris*. Medik) sont des légumineuses cultivées principalement pour leurs graines comestibles

G

Gate, P.H., (1995). Ecophysiologie du blé ; Technique et documentation : Lavoisier, Paris 429 p.

Goldberg, D.E. & Landa K. 1991. Competitive Effect and Response: hierarchies and Correlated Traits in the Early Stages of Competition. *The Journal of Ecology*, 79:1013–1030.

Gwénola R et Franck D 2022 Les maladies de la lentille [https://www.terresinovia.fr/-/maladies-de-la-lentille-durant-le-remplissage-des-gousses#:~:text=L'ascochyte%20\(Ascochyta%20lentis\),visibles%20au%20centre%20des%20l%C3%A9sions.](https://www.terresinovia.fr/-/maladies-de-la-lentille-durant-le-remplissage-des-gousses#:~:text=L'ascochyte%20(Ascochyta%20lentis),visibles%20au%20centre%20des%20l%C3%A9sions.)

Gwénola RIQUET 12 août 2020 <https://www.terresinovia.fr/-/la-place-de-la-lentille-en-france>

H

Hales N, Rush C (2016) Algeria Grain and Feed Annual 9 : 1-11. FAO (2014) Afrique classement des pays producteurs de matières Premières : 2p.

Harmsen., 2007. Measuring bioavailability : from a scientist approach to standard methods. *Journal of Environmental Quality* 36 : 1420-1428.

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

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

Hinsinger, P. 1998. How do plant roots acquire mineral nutrients? Chemical processes involved in the rhizosphere. *Advances in Agronomy* 64:225-265.

Hinsinger, P., Betencourt, E., Bernard, L., Brauman, A., Plassard, C., Shen J., Tang, X. & Zhang, F. 2011. P for two, sharing a scarce resource: soil phosphorus acquisition in the rhizosphere of intercropped species. *Plant Physiology.* 156: 1078-1086.

<http://www.vertcarbone.fr/phosphore-le-fond-et-la-forme-un-article-agroreporter/>

<https://agronomie.info/fr/cycle-biologique-de-lens-culinaris>

[https://agronomie.info/fr/situation-de-culture-de-lentille-importance-algerie/#:~:text=En%20Alg%C3%A9rie%2C%20la%20culture%20des,Mila\)%20\(Figure%201\).](https://agronomie.info/fr/situation-de-culture-de-lentille-importance-algerie/#:~:text=En%20Alg%C3%A9rie%2C%20la%20culture%20des,Mila)%20(Figure%201).)

<https://blog.spotifarm.fr/tour-de-plaine-spotifarm/author/alexandre-de-spotifarm>

<https://espace-pain.info/index.php/la-culture-du-ble/>

<https://fertilisation-edu.fr/cycles-bio-geo-chimiques/le-cycle-du-phosphore-p.htm>

<https://obvaj.org/citoyens/les-bonnes-pratiques/le-phosphore/>

<https://www.almerja.com/reading.php?idm=119214>

<https://www.atlasbig.com/fr-ch/pays-par-production-de-lentilles>

Influences sur la production des principales zones céréalières d'Algérie. INRA (France)-

Issa, A. Y., Volate, S. R. and Wargovich, M. J. (2006), The Role of Phytochemicals in Inhibition of Cancer and Inflammation :New Directions and Perspectives (Electronic Version). *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, 405–419

J

Jensen E.S., Ambus P., Bellostas N., Boisen S., Boisen N., Corre-Hellou G., Crozat Y., Dahlmann C., Dibet A., Von Fragstein P., Gooding M., Hauggaard-

Nilesen H., Kasyanova E., Launay M., Monti M., Prtteri A., 2006. Intercropping of cereals and grain legumes for increased production, weed control, improved product quality and prevention of N-losses in European organic farming systems. European Joint Organic Congress. 30-31 May, Odense, Danmark, p.p. 180-181

Jensen E.S., Bedoussac L., Carlsson G., Journet E.P., Justes E., Hauggaard-Nielsen H., 2015. Enhancing yields in organic crop production by eco-functional intensification. *Sustain. Agric. Res.* 4, 42–50.

Jensen, E.S. 1996. Grain yield, symbiotic N₂ fixation and interspecific competition for inorganic N in pea-barley intercrops. *Plant and Soil.* 182:25–38.

Juillet-Anat 2017-N°446 PERSPECTIVES AGRICOLES p41

K

KARAALI A 2009 Contraintes liées à la production de la lentille, djabel-ZOUAOUI-Qacentina.blog4ever.com

Keddy, P. 2001. *Studying competition.* Kluwer Acad. Publ. 59p.

L

Laffont J.M., (1985). Diseases of maize and other cereals. Knowing them to control them better.

LATATI M., PANSU M., DREVON J.J., OUNANE S.M., 2013. Advantage of intercropping maize (*Zeamays L.*) and common bean (*Phaseolus vulgaris L.*) on yield and nitrogen uptake in Northeast Algeria. *International Journal of Research in Applied Sciences* 1, p.p.1-7.

Latati, M., Blavet, D., Alkama, N., Laoufi, H., Drevon, J.J., Gérard, F., Pansu M. & Ounane, S.M. 2014. The intercropping cowpea-maize improves soil phosphorus availability and maize yields in an alkaline soil. *Plant and Soil*, 385:181-191.

Lecomte, P. & Parache, P. 1993. L'association avoine/pois: une culture fourragère adaptée aux régions de demi-altitude et utilisable comme plante abri d'un semis fourrager. *Fourrages*, 134, 211-216 Légumineuses organisée par l'université DBKM avec la collaboration des producteurs

Lithourgidis et al., 2011. Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea–cereal intercropping systems. *European journal of agronomy* 34(2011) 287-294.

Lithourgidis, A. S., Dordas, C.A., Damalas, C.A. & Vlachostergios, D.N. 2011. Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture: A review *Austr. J. Crop Science*, 5: 396–410.

Litrico, I., Goldringer, I. & Enjalbert, J., 2015. Plusvalue de la diversité génétique intraparcelle pour la stabilité de la production et autres services écosystémiques. *Innovations Agronomiques*, 43, pp.7–18.

M

Malézieux, E., Y. Crozat, C. Dupraz, M. Laurans, D. Makowski, H. Ozier-Lafontaine, B. Rapidel, S. De Tourdonnet & M. Valantin-Morison. 2009. Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agron. Sustain. Dev.*, 29: 43-62.

Masle Meynard J., (1982). Mise en évidence d'un stade critique par la montée d'une talle. *Agronomie*, 1: 623-632.

Masle, Meynard, J., (1981). Relation entre croisement et développement pendant la montaison d'un peuplement de blé d'hiver, influence des conditions de nutrition. *Agronomie*. 1 : 365-374.

MELAKHESSOU Zohra 2007. Etude de la nuisibilité directe des adventices sur la culture de pois- chiche d'hiver (Cicer arietinum L) variété ILC 3279, cas de Sinapis arvensis L.

N

Näsholm, T., Kielland K., Ganeteg U. 2009. Uptake of organic nitrogen by plants. *New Phytologist* 182: 31-48

Ndzana, R.A., Magro, A., Bedoussac, L., Justes, E., Journet, E.-P. & Hemptinne, J.L., 2014. Is there an associational resistance of winter pea–durum wheat intercrop towards *Acyrtosiphon pisum* Harris? *J. Appl. Entomol.* 138, 577–585.

Nicolas BOUSQUET (ARVALIS - Institut du végétal)

Alexandre de Spotifarm | 23 oct. 2020(<https://blog.spotifarm.fr/tour-de-plaine-spotifarm>)

Nitrogen compounds in plants. FebsLetters 581 : 2281-2289.

O

Ofori, F. & Stern, W.R.1987. Cereal legumeintercroppingsystems. Advances in. Agronomy. 41: 41-90. Of Plant Physiology and Plant MolecularBiology 36:77-115

Oukinder, M. & Jacquard, P. 1988. Modèle d'association graminée-legumineuse : le mélange vesce-avoine. Revue Agronomie, 8(2) :97-106.

P

Pelzer E, Bedoussac L, Corre-Hellou G, Jeuffroy M.-H, Métivier T, Naudin C, 2014. Association de cultures annuelles combinant une légumineuse et une céréale : retours d'expériences d'agriculteurs et analyse. Innovations Agronomiques 40, 73-91.

Planetoscope 2012 la production mondiale de lentilles <https://www.planetoscope.com/fruits-legumes/1976-production-mondiale-de-lentilles.html>

Projet PerfCom, 2012. Les cultures associées céréale/légumineuses en agriculture 'bas intrants' dans le sud de la France. <http://www.montpellier.inra.fr/systerra-perfcom/>.

Q

Qualista.17 juillet 2021 .cycle de vie et récolté de blé <https://qualista.fr/actualites/juillet-la-recolte-du-ble/>

R

RAGHOTHAMA K.G., 1999. Phosphate acquisition. AnnualRev Plant Physiol Plant MolecBiol 50 : 665-693.

Référence bibliographique :

Rengel, Z., Marschner P. 2005. Nutrientavailability and management in the rhizosphere :Exploitinggenotypicdifferences. New Phytologist 168 :305-312.

Rentsch, D., Schmidt S., Tegeder M. 2007. Transporters for uptake and allocation of organic

Rice, E.L.1984. Allelopathy. AcademicPress, Orlando.422p.

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

S

Saskatchewan, (2002). Lentille in Saskatchewan, Saskatchewan Agriculture and Food

Schoeny, A., Jumel, S., Rouault, F., Lemarchand, E.&Tivoli, B., 2010. Effect and underlying mechanisms of pea-cereal intercropping on the epidemic development of ascochyta blight. European Journal of Plant Pathology, 126, 317–331.

Shah, Z, Shah S. H., Peoples M. B., Schwenke G. D. & Herridge D. F.(2003). Crop residue and fertiliser N effects on nitrogen fixation and yields of legume-cereal rotations and soil organic fertility *Field Crops Research*, 83, 1-11.

Smadhi D, Zella L (2009) Céréaliculture en sec et précipitations annuelles : le cas de l'Algérie du nord. *Sécheresse* 20 : 199-203.

Soltner P., 2005. Les bases de la production végétales : La plante et son amélioration. 4^{ème} Ed.

Sulieman, S., Ha, C.V., Schulze, J. & Tran L.-S.P.2013. Growth and nodulation of symbiotic *Medicago truncatula* at different levels of phosphorus availability. *Journal of Experimental Botany*, 64: 2701-2712.

Soltner P, 1990 ,Prats et al ,1971. Les bases de la production végétales : La plante et son amélioration. 4^{ème} Ed.

T

THOBATSI T., 2009. Growth and yield responses of maize (*Zea mays* L) and cowpea (*Vigna unguiculata* L.) in an intercropping system. MSc. Thesis, Pretoria University. 149p.

Thompson JA, Nelson RL, 1998. Core set of primers to evaluate genetic diversity in soybean, *Crop Science*, 38, 1356-1362.

Trenbath, B.R. 1993.Intercropping for the management of pests and diseases. *Field Crops Research*, 34:381–405.

U

United States Department of Agriculture (USDA) (2008),USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 21. (Electronic Version)

V

Vandermeer, J.1989.The Ecology of Intercropping. Cambridge University Press. Cambridge, 237p.

Voisin, A., Salon C., Munier-jolain N.G., Ney B. 2002.Quantitative effects of soil nitrate growth potential and phenology on symbiotic nitrogen fixation of pea (*Pisum sativum* L.). *Plant and soil*, 243: 31–42.

Vrignon-Brenas, S., Celette, F., Amossé, C. & David C.2016.Effect of spring fertilization on ecosystem services of organic wheat and clover relay intercrops. *European Journal of Agronomy*, 73:73-82.

W

Willey, R .1990. Resource use in intercropping systems. *Agric. Water Manag.*, 17:215-231

Willey, R. 1979. Intercropping -Its importance and research needs. Part 1. Competition and yield advantages. *Field crop abstracts*, 32, 1-10.

Y

Yannick Carel -ARVALIS-Institut du végétale, Le marché mondial du blé dur.

Z

ZHANG F., LI L., 2003. Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient-use efficiency. *Plant and soil* 248, p.p. 305-312.

Annexe 1

Analyse granulométrique méthode à la pipette de Robinson

Mode opératoire

1. Destruction de la matière organique

- Pesez 20g du sol tamisé à 2mm, dans un bécher,
- Destruction de la matière organique: verser dans le même bécher 50 ml d'eau oxygénée (H₂O₂), en laissant agir toute une nuit. Ajouter encore 20 ml H₂O₂ tout en chauffant Jusqu'à la disparition de la mousse.
- Dispersion des éléments argileux dans l'eau distillée favorisée par adjonction d'un agent Dispersant : Ajouter 25 ml d'Hexametaphosphate de sodium.
- Agitation mécanique: transverse le tout de chaque bécher dans un flacon d'agitation. L'agitation doit être maintenue 2 heures avec une vitesse de 30 a 50 tours /mn.

2. Prélèvement « Argiles + Limons fins »

- Nous mesurons la température de la solution et nous déterminants le temps de chute pour 10cm de profondeur pour les particules de diamètre inférieur à 0.05mm.
- Nous agitions de nouveau l'éprouvette par retournement a la main en bouchant son Extrémité pour homogénéiser la suspension, nous posons l'éprouvette et déclenchons-le Chronomètre. (4 min 48s pour une température de 20°C).
- Nous faisons descendre la pipette délicatement dans la suspension jusqu'a 10cm de Profondeur.
- Nous aspirons et recueillons le liquide dans une capsule tarée.
- Nous portons à l'étuve à 105°C environ 24 heures.

2.1. Prélèvement des Argiles

Nous procédons de la même manière que le prélèvement précédent de chute sera Encore plus long : 6 heures à 20°C.

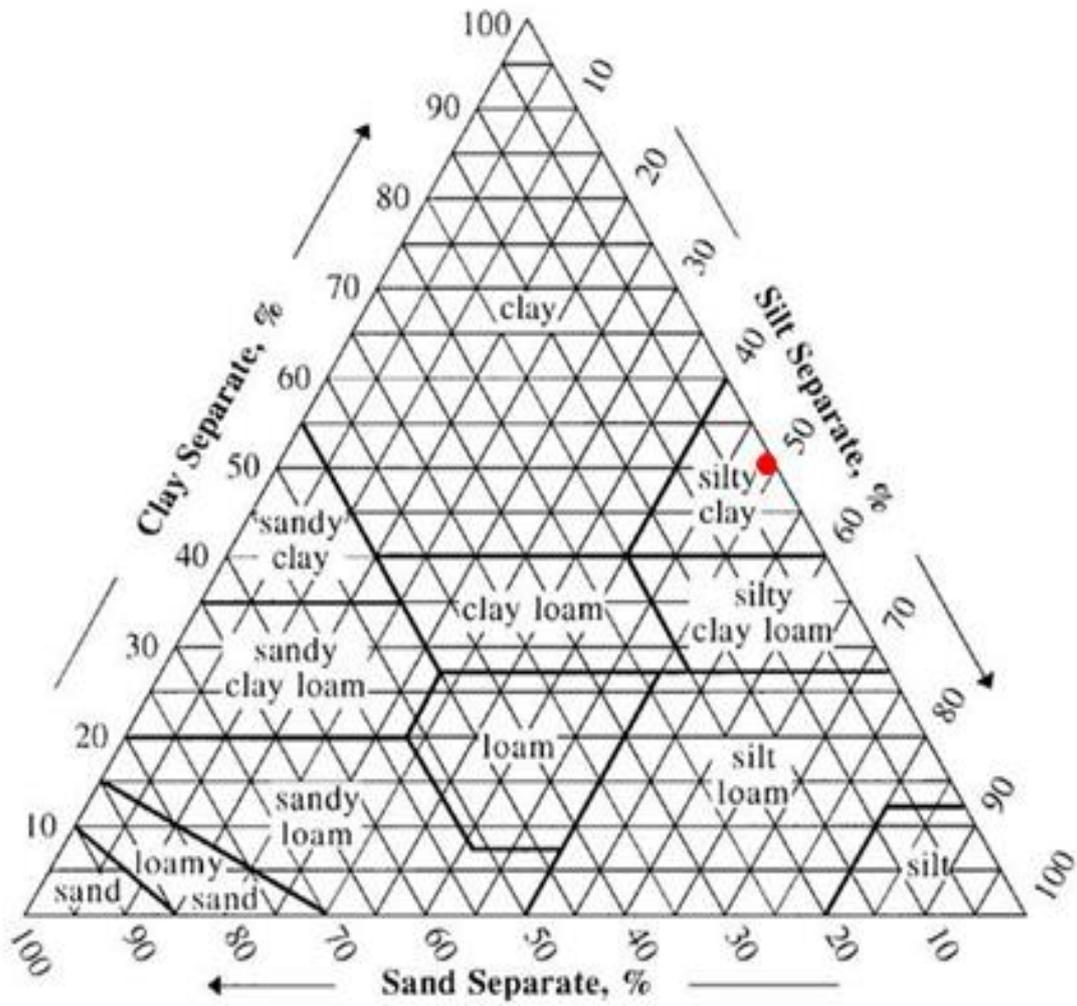
2.2. Détermination des Sables Fins et grossiers

- Nous versons le contenu de l'éprouvette sur deux tamis superposes, le premier a 0.2mm Et le second de 0.05mm ; les sables retenus sur le tamis 0.2mm sont les sables grossiers, et Les sables fins sur le tamis de 0.05mm.
- Nous l'avons par jets de pissette ses sables et les recueillir dans creuset.
- Nous mettons dans l'étuve à 105°C pendant 24heures.

Le triangle de texture

Permet de classer les sols d'après leur composition granulométrique.

Soil Texture Triangle



Annexe 2 :

Echelle de pH des sols selon (Fillere, 1995)

Norme d'interprétation de la réaction du sol (pH)

Valeur Ph	Qualification
< à 4.5	Extrêmement acide
4.5 – 5.2	Très acide
5.3 – 5.5	Acide
5.6 – 6.0	Modérément acide
6.1 – 6.6	Légèrement acide
6.7 – 7.2	Neutre
7.3 – 7.9	Légèrement alcalin
8.0 – 8.5	Alcalin
>8.6	Très alcalin

Annexe 3

Classification du degré de salinité (Feller, 1995)

Conductivités électrique (µs/cm) Type de sol	250	250 – 500	500 - 1000	1000 - 2000	> 2000
Degré de salinité	Non salin	Légèrement Salin	salin	Très salin	Extrêmement salin

Annexe 4

Dosage de la Matière Organique (méthode ANNE)

Pour l'échantillon

Dans un bécher mettre : 1gramme de sol (0,2 mm) + 10 ml de K₂Cr₂O₇ + 20 ml D'acide sulfurique concentre. Mélanger et reposer 30 minutes.

Pour le témoin

Dans un bécher, on met 10 ml de de K₂Cr₂O₇ + 20 ml d'acide sulfurique concentré, Laissez reposer 30 minutes.

Mettre chaque préparation dans des fioles de 250 ml et compléter avec l'eau distillée. Prélever 20 ml de chacun + 1 ml de H₃PO₄ + 3 gouttes de Diphénylamine et laisser

Agiter pendant 5 minutes dans un agitateur rotatif.

Titration

On titre avec sel de Mohr à 0,25 N.

Titrer jusqu'à ce qu'il y virage du bleu foncé vers le vert, prendre le volume descend sur la burette pour le témoin et aussi pour l'échantillon.

$$\% C = (V \text{ témoin} - V \text{ échantillon}) \times 0,615 / P$$

P : poids du sol égale 1 gramme.

$$\% MO = \% C \times 1,72$$

Pour la préparation du sel de Mohr : 98,1 gramme de $FeSO_4$ + eau distillée dans un Erlen de 500 ml (en début, on met 98 ; 1 gramme de $FeSO_4$ + 400 ml de l'eau distillée + 20 ml d'acide sulfurique, on met dans un agitateur jusqu'au dissout total. Puis on complète avec l'eau distillée jusqu'au 500 ml.

Normes d'interprétation de la matière organique

Teneur en MO%	Interprétation	
MO < 1,4	Sol très pauvre en matière organique	
$1,4 \leq MO < 2$	Sol pauvre en matière organique	
$2 \leq MO < 3$	$2 \leq MO < 3$	Sol bien pourvu en matière organique
	22 % < Argile < 30%	Moyennement pourvu en matière organique
	Argile > 30 %	Sol pourvu en matière organique
$3 \leq MO < 4$	Sol bien pourvu en matière organique	
MO ≥ 4	Teneur élevée en matière organique	

Annexe 5

Dosage du calcaire total

Déposer 1g de sol sèche à l'aire, dans un flacon puis remplir l'appendice latérale du Flacon avec 5 ml de HCl 0,5N, après avoir lié le flacon au Calcimètre de Bernard amener à zéro les niveaux de l'eau dans la colonne et dans l'ampoule, verser l'acide sur l'échantillon, ensuite à l'aide de l'ampoule, rétablir le niveau et lire le volume de CO_2 dégagé (en cm^3), une fois le dégagement du CO_2 termine, baisser l'ampoule du Calcimètre jusqu'à ce que le niveau de cette dernière soit dans un même plan horizontal que celui dans la colonne, enfin déposer 1g de $CaCO_3$ pur pour l'étalonnage de l'appareil tel qu'il provoque un dégagement gazeux. On détermine ainsi le taux de calcaire selon les normes proposées par (Baize, 1988).

Dosage de calcaire actif (DROVINEAN) On prend 2 gramme de sol (0.2 mm) + 250 ml d'Oxalate d' NH_4 , laissé agiter 2 heures dans un agitateur mécanique. Après l'agitation faire la filtration.

Prélever 20 ml de la solution et verser dans un Bécher de 400 ml, ajouté ensuite 100 ml d'eau distillée + 5 ml d'acide sulfurique concentré. Chauffer à 60 – 70 °C.

Pour le témoin : 20 ml d'Oxalate d' NH_4 + 100 ml d'eau distillée + 5ml d'acide sulfurique. Titrer les deux solutions par permanganate (0.2N). Lorsqu'il y a virage vers le rose. On note le volume pour le témoin que ce de l'échantillon. La différence entre les deux titrages (échantillon et témoin) correspond à la quantité de carbone réagi avec l'Oxalate (V-V).
V : Volume de permanganate descend lu sur la Burette qui correspond au Témoin
V : Volume de permanganate descend lu sur la Burette qui correspond à l'échantillon
Norme d'appréciation du calcaire total du sol

CaCO₃%	Qualification du sol
< 1 %	Non calcaire
1 à 5%	Peu calcaire
5 à 25%	Modérément calcaire
25 à 50 %	Fortement calcaire
50 à 80 %	Très Fortement calcaire
>80%	Excessivement calcaire

Annexe 6

Dosage de l'Azote total (Kjedahl, 1882)

1. Minéralisation

1 gramme de sol (0,2 mm) + 20 ml d'eau distillée : reposer 30 minutes (la préparation se fait dans un bécher). Renverser ce contenu dans un matras + 20 ml d'acide sulfurique + catalyseur (10gramme de K_2SO_4 + gramme de CuSO_4). Dans le deuxième matras qui est considéré comme témoin, on met 20 ml d'acide sulfurique + catalyseur passer le tout au minéralisateur pendant 2 heures.

Porter les deux matras à la rampe d'attaque (régler la température à 6°C pendant deux minutes puis à une température de 10°C pendant deux heures. mettre le contenu des deux Matras, chacun dans une fiole de 250 ml (rincer bien le fond des Matras, ajuster avec l'eau distillée jusqu'au 250 ml de la fiole.

2. Distillation

On Prend 20 ml de l'échantillon de la fiole de 250 ml + 20 ml de NaOH, on la met dans le matras du distillateur.

Dans l'autre cote on met dans un becher de 10 ml de l'acide borique (même chose pour le témoin : 20 ml de la fiole de 250 ml de témoin +20 ml de NaOH, dans l'autre côté on met dans un becher on met 10 ml de l'acide borique). on le place le matras et le bécher dans le distillateur. On fait fonctionner l'appareil jusqu'au ce que le contenu du Becher arrive à 50 ml.

3. Titration

Par pH mètre. On tout d'abord le pH de l'acide Borique, on titre avec l'acide Sulfurique (0,05N) qui est renversé dans la burette de Titration. On titre avec agitation rotative jusqu'au la solution arrive au pH de l'acide Borique.

$$\% N = V/V \times (T-B) \times N \times 1,4/S$$

Application numérique

$$= 250/20 \times (T-B) \times 0,05 \times 1,4/1 = (T-B) \times 0,875$$

V : volume de la fiole jugée égale 250 ml

V : volume prélevé de la fiole égale 20 ml

S : poids du sol égale 1gramme

N : Normalité de l'acide sulfurique égale 0,05 N lu titrage pour l'échantillon.

T : Volume de l'acide sulfurique lu sur la burette lors du titrage pour l'échantillon.

B : Volume de l'acide sulfurique lu sur la burette lors du titrage pour le témoin.

$$\% N = (T-B) \times 0,875$$

Interprétation des résultats du dosage de l'azote total selon Kjeldahl, 1882

La teneur en azote total (%)	0,5 à 1	1 à 1,5	1,5 à 2,5	≥ 2,5
interprétation	Trop faible	Satisfaisant	Un peu fort	Trop fort

Annexe 7

Dosage du phosphore assimilable (Olsen)

Normed'interprétation du phosphoreassimilable

Phosphore assimilable (Olsen) en ppm	Qualification
0 – 5	Très basse
5 – 10	Basse
10 – 22	Moyen
> 22	Elevé

Annexe 8

Modélisation de la variable hauteur de la plante Blé

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	9,787	11	0,89				
VAR.FACTEUR 1	0,82	3	0,273	0,555	0,66554		
VAR.BLOCS	6,012	2	3,006	6,103	0,03615		
VAR.RESIDUELLE 1	2,955	6	0,493			0,702	1,08%

Modélisation de la variable hauteur de la plante Lentille

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	324,037	17	19,061				
VAR.FACTEUR 1	227,491	5	45,498	5,475	0,01133		
VAR.BLOCS	13,446	2	6,723	0,809	0,47548		
VAR.RESIDUELLE 1	83,1	10	8,31			2,883	9,20%

Test de Newman-Keuls au seuil de signification de 5%

LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
Large Blonde 100%	36,388	A	
Large Blonde 50%	33,72	A	B
Ibla 1 100%	32,33	A	B
Ibla 1 50%	32,22	A	B
Syrie 229 50%	26,844		B
Syrie 229 100%	26,573		B

Annexe 9

Modélisation de la variable longueur racinaire de la plante Blé

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	27,639	11	2,513				
VAR.FACTEUR 1	3,454	3	1,151	0,383	0,77053		
VAR.BLOCS	6,167	2	3,084	1,027	0,41523		
VAR.RESIDUELLE 1	18,018	6	3,003			1,733	14,54%

Modélisation de la variable longueur racinaire de la plante Lentille

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	74,778	17	4,399				
VAR.FACTEUR 1	9,648	5	1,93	0,591	0,70906		
VAR.BLOCS	32,482	2	16,241	4,975	0,03141		
VAR.RESIDUELLE 1	32,648	10	3,265			1,807	16,26%

Annexe 10

Modélisation de la variable nombre des nodules

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	254,717	17	14,983				
VAR.FACTEUR 1	86,198	5	17,24	1,076	0,42926		
VAR.BLOCS	8,309	2	4,154	0,259	0,77883		
VAR.RESIDUELLE 1	160,211	10	16,021			4,003	26,36%

Annexe 11

Modélisation de la variable biomasse aérienne sèche Lentille

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	17,284	17	1,017				
VAR.FACTEUR 1	11,03	5	2,206	5,813	0,0093		
VAR.BLOCS	2,459	2	1,229	3,24	0,08139		
VAR.RESIDUELLE 1	3,795	10	0,38			0,616	9,33%

Test de Newman-Keuls au seuil de signification de 5%

LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
Large Blonde 100%	7,718	A		
Ibla 1 100%	7,414	A	B	
Syrie 229 100%	6,888	A	B	C
Syrie 229 50%	6,093		B	C
Large Blonde 50%	5,864			C
Ibla 1 50%	5,66			C

Modélisation de la variable biomasse aérienne sèche Blé

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,792	11	0,072				
VAR.FACTEUR 1	0,631	3	0,21	11,954	0,00683		
VAR.BLOCS	0,055	2	0,028	1,574	0,2824		
VAR.RESIDUELLE 1	0,106	6	0,018			0,133	4,77%

LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
Blé associé avec Large Blonde	3,067	A	
Blé associé avec Syrie 229	2,868	A	
Blé associé avec Ibla 2	2,765	A	
Blé 100%	2,433		B

Annexe 12

Modélisation de la variable biomasse racinaire sèche Lentille

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	2,127	17	0,125				
VAR.FACTEUR 1	1,49	5	0,298	5,084	0,01439		
VAR.BLOCS	0,051	2	0,025	0,434	0,66333		
VAR.RESIDUELLE 1	0,586	10	0,059			0,242	36,39%

Test de Newman-Keuls au seuil de signification de 5%

LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
Large Blonde 100%	1,136	A
Large Blonde 50%	0,834	A B
Syrie 229 100%	0,716	A B
Syrie 229 50%	0,676	A B
Ibla 1 100%	0,326	B
Ibla 1 50%	0,306	B

Modélisation de la variable biomasse racinaire sèche Blé

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,408	11	0,037				
VAR.FACTEUR 1	0,305	3	0,102	7,158	0,02162		
VAR.BLOCS	0,018	2	0,009	0,617	0,57367		
VAR.RESIDUELLE 1	0,085	6	0,014			0,119	12,79%

Test de Newman-Keuls au seuil de signification de 5%

LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
Blé associé avec Large Blonde	1,18	A
Blé associé avec Ibla 2	0,947	A B
Blé associé avec Syrie 229	0,852	B
Blé 100%	0,75	B

Annexe 13

Modélisation de la variable biomasse nodulaire sèche

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,002	17	0				
VAR.FACTEUR 1	0,001	5	0	1,223	0,36672		
VAR.BLOCS	0	2	0	1,48	0,27345		
VAR.RESIDUELLE 1	0,001	10	0			0,009	40,79%

Annexe 14

Modélisation de la variable nombre de plant/m² pour le blé

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	13444,25	11	1222,205				
VAR.FACTEUR 1	13062,25	3	4354,083	106,413	0,00007		
VAR.BLOCS	136,5	2	68,25	1,668	0,26546		
VAR.RESIDUELLE 1	245,5	6	40,917			6,397	7,33%

Test de Newman-Keuls au seuil de signification de 5%

LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
Blé 100%	144,333	A
Blé associé avec Large Blonde	70,333	B
Blé associé avec Syrie 229	68,333	B
Blé associé avec Ibla 1	66	B

Modélisation de la variable nombre de plant/m² pour la lentille

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	28660,44	17	1685,908				
VAR.FACTEUR 1	27891,11	5	5578,222	85,57	0		
VAR.BLOCS	117,443	2	58,722	0,901	0,43934		
VAR.RESIDUELLE 1	651,891	10	65,189			8,074	7,58%

Test de Newman-Keuls au seuil de signification de 5%

LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
Ibla 1 100%	156	A
Large Blonde 100%	142,667	A B
Syrie 229 100%	137,333	B
Large Blonde 50%	73,333	C
Ibla 1 50%	69,667	C
Syrie 229 50%	60,333	C

Annexe 15

Modélisation de la variable Nombre des ramifications I de la lentille

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	14,278	17	0,84				
VAR.FACTEUR 1	3,611	5	0,722	0,684	0,64739		
VAR.BLOCS	0,111	2	0,056	0,053	0,94888		
VAR.RESIDUELLE 1	10,556	10	1,056			1,027	39,35%

Modélisation de la variable Nombre des ramifications II de la lentille

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	648	17	38,118				
VAR.FACTEUR 1	160,667	5	32,133	0,717	0,62656		
VAR.BLOCS	39	2	19,5	0,435	0,66306		
VAR.RESIDUELLE 1	448,333	10	44,833			6,696	40,99%

Annexe 16

Modélisation de la variable nombre de fleur par plant (lentille)

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	427,778	17	25,163				
VAR.FACTEUR 1	249,778	5	49,956	2,884	0,07237		
VAR.BLOCS	4,778	2	2,389	0,138	0,87272		
VAR.RESIDUELLE 1	173,222	10	17,322			4,162	10,18%

Annexe 17

Modélisation de la variable nombre de gousses/ plant

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	4866,5	17	286,265				
VAR.FACTEUR 1	4673,833	5	934,767	122,459	0		
VAR.BLOCS	116,334	2	58,167	7,62	0,00987		
VAR.RESIDUELLE 1	76,333	10	7,633			2,763	8,59%

Test de Newman-Keuls au seuil de signification de 5%

LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES				
Large Blonde 50%	57,667	A				
Ibla 1 50%	47,667		B			
Syrie 229 50%	35,333			C		
Large Blonde 100%	19					D
Ibla 1 100%	18					D
Syrie 229 100%	15,333					D

Modélisation de la variable nombre de grains/épi

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	432,667	11	39,333				
VAR.FACTEUR 1	119,333	3	39,778	0,89	0,49958		
VAR.BLOCS	45,167	2	22,583	0,505	0,63017		
VAR.RESIDUELLE 1	268,167	6	44,694			6,685	12,30%

Annexe 18**Modélisation de la variable le poids de mille grains du blé**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	42,847	11	3,895				
VAR.FACTEUR 1	3,467	3	1,156	0,642	0,6175		
VAR.BLOCS	28,577	2	14,288	7,935	0,0212		
VAR.RESIDUELLE 1	10,804	6	1,801			1,342	2,15%

Modélisation de la variable le poids de cent grains de lentille

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	10,348	17	0,609				
VAR.FACTEUR 1	8,98	5	1,796	16,141	0,00022		
VAR.BLOCS	0,255	2	0,128	1,148	0,35706		
VAR.RESIDUELLE 1	1,113	10	0,111			0,334	6,04%

Test de Newman-Keuls au seuil de signification de 5%

LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES					
Large Blonde 100%	6,66	A					
Large Blonde 50%	6,163	A					
Ibla 1 100%	5,533					B	
Ibla 1 50%	5,2					B	C
Syrie 229 100%	4,967					B	C
Syrie 229 50%	4,587						C

Annexe 19**Modélisation de la variable rendement en grain pour le Blé**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	56,132	11	5,103				
VAR.FACTEUR 1	28,993	3	9,664	3,004	0,11662		
VAR.BLOCS	7,835	2	3,918	1,218	0,36092		
VAR.RESIDUELLE 1	19,304	6	3,217			1,794	8,50%

Modélisation de la variable rendement en grain pour la lentille

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	98,383	17	5,787				
VAR.FACTEUR 1	38,483	5	7,697	1,542	0,26128		
VAR.BLOCS	9,986	2	4,993	1	0,40371		
VAR.RESIDUELLE 1	49,914	10	4,991			2,234	20,96%