



République Algérienne Démocratique et Populaire
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Université Abdelhamid ibn Badis
جامعة عبد الحميد بن باديس



DÉPARTEMENT D'AGRONOMIE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par :

Maleck Saidou N'diaye

Hani Hamidi

Pour l'obtention du diplôme de Master en agronomie

Spécialité : Production végétale

THÈME

**Comportement morpho-physiologique de cinq variétés
de pois chiche (*Cicer arietinum L*) au manque d'eau**

Soutenue publiquement le : **03/06 /2025**

Devant le Jury :

Présidente : Mme Hamza Houaria	MCA	Université Mostaganem AIB
Examineur : Meliani Hadj Ahmed	MAA	Université Mostaganem ABB
Encadreur : Arbaoui Mohamed	MCA	Université Mostaganem AIB
Co-Encadreur : Yahia Noureddine	MCA	Université Oran 1 ABB

Année Universitaire : 2024/2025

Remerciements



Au terme de ce travail, louange à Dieu Tout-Puissant pour Sa grâce infinie, Sa force et Sa volonté qui nous ont permis d'achever ce travail après des années d'efforts.

*Nous exprimons nos profonds remerciements à notre encadreur à **Mr, ARBAOUI M.** Enseignant à l'université de Mostaganem pour son accompagnement, ses conseils avisés, sa disponibilité et son*

Encadrement tout au long de ce travail.

*Nous remercions sincèrement les membres du jury, **Mme Hamza Houaria** et **Meliani Haj Ahmed**, pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'évaluer notre travail, ainsi que pour leurs*

Remarques constructives qui contribueront à l'enrichissement de cette recherche.

Nous remercions également l'ensemble des enseignants du département d'agronomie spécialité production végétale, pour la qualité de leur enseignement et leur contribution à notre formation académique.

*Nos sincères remerciements vont à **Mr. Yahia N.** Enseignant à l'université Oran 1 pour les moyens matériels et les conditions favorables qu'il nous a offerts pour mener à bien cette recherche.*

Nous adressons également notre reconnaissance à nos collègues, camarades et amis pour leur soutien, leur esprit de collaboration et leurs encouragements.

Enfin, nous exprimons notre profonde reconnaissance à nos familles, en particulier à nos parents, pour leur soutien inconditionnel, leur patience et leur confiance tout au long de notre parcours universitaire.



Dédicaces



Je dédie ce mémoire à mes chers parents, mon père et ma mère, pour leur amour, leurs sacrifices, leurs prières et leur soutien indéfectible, grâce auxquels j'ai pu avancer avec foi, persévérance et confiance.

*A **Amadou Youssouf Dia**, qui a été pour moi une véritable figure paternelle. Son accompagnement, ses conseils et son appui moral m'ont profondément marqué.*

*A mon cousin **Amadou Ba**, je dédie une place toute particulière dans ce mémoire. Il a toujours été là, avec une générosité sans limite, un engagement constant et une discrétion remarquable. Son soutien financier, surtout dans les moments les plus difficiles a été bien plus qu'un simple appui matériel : il a été un véritable pilier qui m'a permis de continuer mes études avec sérénité et dignité.*

Au-delà de l'aide concrète, c'est sa confiance, sa bienveillance et sa présence rassurante qui m'ont profondément marqué. Cette réussite lui appartient aussi. Merci du fond du cœur.

Je dédie également ce travail à mes amis étudiants, avec qui j'ai partagé des moments de fraternité, d'entraide et de solidarité. Leur amitié a été une source précieuse de motivation et de réconfort.

*Enfin, je tiens à exprimer ma profonde gratitude au **peuple Algérien**. Depuis mon arrivée en Algérie, je n'ai cessé pas d'être touché par l'accueil chaleureux, la générosité sincère et la fraternité authentique que j'ai reçu.*

Les Algériens nous ont ouvert leurs bras et leurs cœurs, nous traitant non pas comme des étrangers, mais comme frères, des fils, des amis.

A chaque étape de ce parcours, j'ai ressenti une bienveillance rassurante et un respect constant, que ce soit dans le cadre universitaire, social ou quotidien. Leur hospitalité, leur disponibilité et leur solidarité ont transformé mon séjour en une expérience humaine inoubliable. Vivre et étudier en Algérie a été pour moi plus qu'une simple étape académique : ce fut une immersion dans une culture riche, une terre d'histoire et de dignité.

Jamais je n'oublierai cette attitude noble et fraternelle du peuple algériens. Elle restera à jamais gravée dans ma mémoire et dans mon cœur.



Maleck Saidou N'diaye

Dédicaces



*Au nom de Dieu, Celui qui a enseigné par la plume, qui a enseigné à l'homme
ce qu'il ne savait pas.*

*C'est en Son Nom que débute tout chemin, et par Sa grâce qu'il s'accomplit. À Lui seul reviennent
la louange et la reconnaissance, à tout instant.*

*À Dieu, le Tout-Puissant, avant tout et pour toujours, je dédie ce travail, avec une gratitude infinie,
Lui qui m'a accordé la force, la patience et la persévérance quand tout semblait vaciller.*

À ceux qui ont été, après Dieu, la lumière de ma vie et mon pilier sur ce chemin,

*À mon cher père **Abdallah**, mon modèle et ma fierté, toi qui as semé en moi l'amour du savoir et du
travail, toi qui m'as soutenu dans mes moments de faiblesse quand d'autres se sont éloignés.*

*À ma tendre mère **Djamila Belarbi**, battement de mon cœur, confidente de ma vie, source de mon
sourire et protectrice de mes silences... ton amour est une bénédiction inestimable.*

*En signe de fidélité et d'amour, je vous offre le fruit de mon travail, enveloppé dans un bouquet
d'espérance et de reconnaissance.*

*À mes deux trésors, ma sœur **Asya** et mon frère **Mohamed Ali**, mes rayons de soleil, mes lunes
protectrices. Vous avez été mon appui dans l'ombre, ma force dans le silence.*

*À mon ami, mon frère que ma mère n'a pas enfanté, et compagnon de route, **Othmane Arif**, avec
qui j'ai partagé chaque étape de ce parcours. Que la réussite et le succès nous accompagnent tous
les deux dans le chemin que nous avons commencé ensemble.*

*À moi-même enfin, Toi qui as tenu bon malgré les doutes, bravé la fatigue, veillé des nuits entières
pour accomplir ce rêve, toi qui n'as jamais abandonné malgré les obstacles... aucun mot ne suffira
pour t'honorer.*

*À vous tous, je dédie humblement ce travail, qui n'aurait pu voir le jour sans vos prières, votre
amour et vos paroles réconfortantes dans les moments les plus difficiles.*



Hani Hamidi

Résumé

Le pois chiche (*Cicer arietinum L.*) qui trouve ses origines au moyen- Orient il y'a à peu près 8500 ans, est une légumineuse annuelle autogame très appréciée pour sa haute valeur nutritive. L'expérimentation a examiné les réactions de cinq variétés de pois chiche (ILC482, FLIP90/13C, CCLS, Lechoso, Ghab 05) à deux formes d'irrigation (100% et 25% de Hcc), semées dans des gobelets, ensuite plantées dans des sachets en plastique d'un kilogramme remplis de substrat (composé à 50% de terreau et à 50% de sable de mer). Durant deux semaines, les jeunes pousses ont bénéficié de leur apport habituel d'eau, puis le stress hydrique a été instauré, trois semaines après l'application du stress les différentes analyses ont été réalisées, portant sur les paramètres morphologiques (longueur des tiges et des racines, nombre de ramifications), des paramètres physiologiques (bilan hydrique, la teneur en eau totale, le ratio racine sur tige), ainsi que des paramètres biochimiques (la teneur en chlorophylle, le taux en protéine foliaire). L'étude a montré des différences significatives entre les variétés, notamment dans la longueur des tiges et racines, le rapport racine/tige, et le poids des organes sous stress. Certaines variétés ont démontré une tolérance supérieure au stress hydrique, mettant en évidence des adaptations morphologiques et physiologiques précieuses pour le choix de variétés résistantes à la sécheresse.

Mots clés : *Cicer arietinum L.*, Comportement, Morphologie, physiologie, biochimie, Stress hydrique

Abstract

Chickpea (*Cicer arietinum L.*), which originated in the Middle East approximately 8,500 years ago, is a self-pollinating annual legume highly valued for its high nutritional value. The experiment examined the responses of five chickpea varieties (ILC482, FLIP90/13C, CCLS, Lechoso, Ghab 05) to two forms of irrigation (100% and 25% Hcc), sown in cups, then planted in one-kilogram plastic bags filled with substrate (50% potting soil and 50% sea sand). For two weeks, the young shoots received their usual water supply, then water stress was introduced. Three weeks after the application of the stress, various analyses were carried out, covering morphological parameters (length of stems and roots, number of branches), physiological parameters (water balance, total water content, root to stem ratio), as well as biochemical parameters (chlorophyll content, leaf protein level). The study showed significant differences between varieties, particularly in the length of stems and roots, the root/stem ratio, and the weight of organs under stress. Some varieties demonstrated superior tolerance to water stress, highlighting valuable morphological and physiological adaptations for the selection of drought-resistant varieties.

Key words: *Cicer arietinum L.*, Comportment, Morphology, physiology, biochemistry, Water Stress.

ملخص

الحمص (*Cicer arietinum L.*)، الذي نشأ في الشرق الأوسط منذ حوالي 8500 عام، هو نبات بقولي حولي ذاتي التلقيح، ذو قيمة غذائية عالية. درست التجربة استجابات خمسة أصناف من الحمص (ILC482، FLIP90/13C، CCLS، Lechoso، Ghab 05) لنوعين من الري (100% و 25% من حمض الهيدروكلوريك)، مزرعة في أكواب، ثم مزرعة في أكياس بلاستيكية وزنها كيلوغرام واحد مملوءة بطبقة سفلية (50% تربة تأصيص و 50% رمل بحري). لمدة أسبوعين، تلقت البراعم الصغيرة إمدادها المعتاد من الماء، ثم طرح عليها إجهاد مائي. بعد ثلاثة أسابيع من تطبيق الإجهاد، أجريت تحليلات مختلفة شملت المعايير المورفولوجية (طول السيقان والجذور، وعدد الفروع)، والمعايير الفسيولوجية (توازن الماء، إجمالي محتوى الماء، نسبة الجذور إلى الساق)، بالإضافة إلى المعايير الكيميائية الحيوية (محتوى الكلوروفيل، مستوى بروتين الأوراق). أظهرت الدراسة فروقاً ملحوظة بين الأصناف، لا سيما في طول السيقان والجذور، ونسبة الجذور إلى السيقان، ووزن الأعضاء المعرضة للإجهاد. وأظهرت بعض الأصناف قدرة فائقة على تحمل الإجهاد المائي، مما يبرز تكيفات مورفولوجية وفسيولوجية قيمة لاختيار أصناف مقاومة للجفاف.

الكلمات المفتاحية: الحمص (*Cicer arietinum L.*)، السلوك، الشكل الظاهري (المورفولوجيا)، الفسيولوجيا، الكيمياء الحيوية، الإجهاد المائي .

SOMMAIRE

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Sommaire

Abréviation

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction.....1

1^{ère}Partie : Données Bibliographiques sur le pois chiche (*Cicer arietinum L*)

Chapitre 1: Étude de la culture de pois chiche

1. Origine et historique du pois chiche.....	3
2. Importance économique du pois chiche.....	4
2.1. Dans monde.....	4
2.2. En Algérie	5
3. Systématique et classification botanique.....	7
3.1. Morphologie.....	7
3.1.1. Système racinaire.....	8
3.1.2. Tige.....	9
3.1.3. Feuilles.....	9
3.1.4. Fleur.....	9
3.1.5. Graines.....	10
4. Types de culture du pois chiche.....	10
4.1. Comportements physiologiques.....	12
4.2. Phase végétative	12
4.3. La période de reproduction.....	12
5. Variétés cultivées en Algérie.....	13
6. Exigences édapho-climatique.....	13

6.1. Exigence climatique.....	13
6.1.1. Température.....	14
6.1.2 Lumière	14
7. Exigence édaphique	14
7.1. Sol.....	14
7.2. Eau.....	14
8. Conduite technique d'une culture de pois chiche	14
8.1. Rotation et assolement.....	14
8.2. Préparation du sol.....	15
8.3. Fertilisation	16
8.4. Mode et doses de semis.....	17
9. Facteurs limitant la production de pois chiche.....	17
9.1. Les principales maladies.....	17
9.2. Adventices de pois chiche.....	18
9.3. Nature des mauvaises herbes.....	19
10. Intérêts du pois chiche.....	19
10.1. Valeur nutritionnelle.....	19
10.2. Importance sanitaire.....	20
10.3 Importance agronomique.....	21
10.4. Protéines et acides aminés.....	21
10.5. Vitamines	21

Chapitre 2. Influence du manque d'eau sur *Cicer arietinum L.*

1. Notions du stress hydrique.....	22
1.1. Effets du stress hydrique.....	22
1.2. Sur la photosynthèse.....	22
1.3. Sur la croissance végétative.....	23
1.4. Sur le rendement.....	23
2. Mécanismes d'ajustement.....	23
2.1. Échappement.....	23
2.2. Tolérance.....	23
2.3. Évitement.....	24
3. Adaptation phénologique.....	24
3.1. Adaptations morphologiques.....	24
3.2. Adaptation physiologique.....	24

2^{ème} Partie: Étude expérimental

1. Objectif de l'essai.....	25
2. Matériel et Méthodes.....	25
2.1. Matériel végétal.....	25
2.2. Méthode d'étude.....	26
2.2.1. Site de l'essai.....	26
2.2.2. Substrat de culture.....	26
2.2.3. Calcul de la dose d'irrigation.....	27
2.3. Expérimentation.....	28
2.3.1. Protocole et dispositif expérimental.....	28
2.3.2. Semis	28
2.3.3. Dispositif expérimental.....	30
2.3.4. Application du stress.....	31
2.4. Paramètres mesurés.....	31
2.4.1. Paramètres morphologiques.....	31
2.4.1.1. Longueur des tiges et des racines.....	31
2.4.1.2. Nombre de ramifications racinaires.....	31
2.4.2. Paramètres physiologiques.....	31
2.4.2.1. Teneur en eau totale.....	31
2.4.2.2. Ratio matière sèche racinaire/matière sèche aérienne.....	31
2.4.3. Paramètres biochimiques.....	32
2.4.3.1. Chlorophylle.....	32
2.4.3.2. Taux en protéines foliaire.....	34

3^{ème} Partie : Résultats et Discussion

1. Interprétation des résultats.....	40
1.1. Morphologie.....	40
1.2. Hauteur de la plante (Hp).....	41
1.3. Longueur de la racine.....	42
2. Nombre de ramifications racinaire.....	43
3. Bilan hydrique.....	45
3.1. Teneur en eau totale (TET).....	45
3.2. Ratio R:T.....	46
4. Métabolisme azoté.....	47

4.1. Teneur en chlorophylle.....	47
4.1.1. Chlorophylle a.....	47
4.1.2. Chlorophylle b.....	48
4.1.3. Les caroténoïdes.....	49
4.2. Teneur en protéines totales solubles.....	50
Discussion.....	51
Conclusion.....	54
Références bibliographique	
Annexe	

ABREVIATION

FAO : Food and Agriculture Organisation

MADR : Ministère de l'agriculture et du développement rural

% : Formule de calcul de pourcentage

Ha : Hectare

ITGC : Institut Technique des Grandes Cultures

Mpb : micro paire de base

G : Gramme

Kg/h : kilo gramme par hectare

°C : Degré Celsius

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

ML : Millilitre

T : Témoin

S : Stressé

LT : Longueur de la tige

LR : Longueur de la racine

NRR : Nombres de ramifications racinaires

PT : Poids de la tige

PR : Poids de la racine

PTS : Poids de la tige sec

PRS : Poids de la racine sec

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Propagation du pois chiche dans le monde antique.....	3
Figure 2 : Importance proportionnelle des dix premiers pays producteurs de pois chiches. Provenance : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.....	4
Figure 3 : Production et rendement du pois chiche en Algérie.....	6
Figure 4 : Production de pois chiche à l'échelle Nationale.....	6
Figure 5 : Description morphologique du pois chiche.....	8
Figure 6 : Les racines de pois chiche	8
Figure 7 : Type de fleurs de pois chiche (<i>Cicer arietinum</i>).....	9
Figure 8 : Types de pois chiche (<i>Cicer arietinum</i> .L).....	11
Figure 9 : Phase de croissance, de reproduction et de sénescence du pois chiche tout au long de son cycle vital.....	12
Figure 10 : Photo préparation du sol.....	15
Figure 11 : Photo de fertilisation azotée.....	16
Figure 12 : Site d'expérimentation (serre de Mazagran / Université de Mostaganem).....	26
Figure 13 :Positionnement géographique de la serre de pratique dans la ferme de Mazagran.....	26
Figure 14 : Substrat de culture composé de 100% de terreau.....	27
Figure 15 : Terreau et sable utilisé.....	27
Figure 16 : Semis des graines de pois chiche.....	29
Figure 17 : État des plants de pois chiche à 7 ^{ème} jours des semis.....	29
Figure 18 : Transplantation des plants dans des sachets de 1kg	29
Figure 19 : Dispositif expérimental.....	30
Figure 20 : Échantillons de 5 variétés pesées.....	32
Figure 21 : Morceaux des feuilles vertes broyées.....	32

Figure 22 : (A) Mélange d'éthanol et d'acétone sans l'ajout de matière végétale.(B) mélange d'éthanol et d'acétone avec ajout de feuilles broyées.....	33
Figure 23 : Transfert des échantillons dans les cuves pour spectrophotomètre.....	33
Figure 24 : Lecture des absorbances à l'aide d'un spectrophotomètre.....	34
Figure 25 : Matière végétales et tampon d'extraction.....	35
Figure 26 : Traitement des échantillons au bain mari pour l'extraction des protéines.....	35
Figure 27 : Mélange de réactif de Bradford et de surnageant.....	35
Figure 28 : Agitation du mélange de réactif de Bradford+surnageant.....	36
Figure 29 : Préparation de la solution standard de protéines à base de l'albumine sérum bovine...	36
Figure 30 : Agitation des échantillons sur le Vortex	38
Figure 31 : Courbe d'étalonnage (SAB).....	39
Figure 32 : Morphologie de cinq variétés de <i>Cicer arietinum L.</i> stressées au manque d'eau....	40
Figure 33 : Évolution de la hauteur de la plante (cm) de cinq variétés de <i>Cicer arietinum L.</i> stressées au manque d'eau.....	41
Figure 34 : Évolution de la longueur de la racine (cm) de cinq variétés de <i>Cicer arietinum L.</i> stressées au manque d'eau.....	42
Figure 35 : Nombre de ramifications racinaires (NRR) de cinq variétés de <i>Cicer arietinum L.</i> stressées au manque d'eau.....	43
Figure 36 : Teneur en eau totale de la plante (%) de cinq variétés de <i>Cicer arietinum L.</i> stressées au manque d'eau.....	44
Figure 37 : Ratio R:T de cinq variétés de <i>Cicer arietinum L.</i> stressées au manque d'eau.....	45
Figure 38 : Variation de la teneur en chlorophylle (a) chez les différents génotypes de <i>Cicer arietinum L.</i> stressés au manque d'eau.....	46
Figure 39 : Variation de la teneur en chlorophylle (b) chez les différents génotypes de <i>Cicer arietinum L.</i> stressés au manque d'eau.....	48
Figure 40 : Variation de la teneur en caroténoïdes chez les différentes variétés de <i>Cicer arietinum L.</i> stressées au manque d'eau.....	49
Figure 41 : Variation de la concentration des protéines chez les différents génotypes de <i>Cicer arietinum L.</i> stressés au manque d'eau.....	49

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Les principaux pays producteur de pois chiche (<i>Cicer arietinum L</i>).....	5
Tableau 2 : Classification botanique de Pois chiche (<i>Cicer arietinum L</i>)	7
Tableau 3 : Caractéristiques des principales variétés de pois chiche cultivées en Algérie	13
Tableau 4 : Pour les régions à fortes potentialités de pluviométrie supérieure à 400mm	15
Tableau 5 : Pour les régions à faibles potentialités de pluviométrie inférieure à 400 mm.....	15
Tableau 6 : Périodes indicatives de semis du pois chiche.....	16
Tableau 7 : Maladies transmises par la semence et/ ou par le sol	18
Tableau 8 : Principales mauvaises herbes du pois chiche en Algérie.....	19
Tableau 9 : Composition nutritionnelle pour 100 g de pois chiche sec et cuit.....	20
Tableau 10 : Origines et caractéristiques de ces génotypes sont recensées.....	25
Tableau 11 : Dispositif expérimental.....	30
Tableau 12 : Quantité de BSA ajoutée suivant la concentration de BSA dans la solution.....	37
Tableau 13 : Volume d'eau distillée ajouté en complément de la solution de BSA.....	37
Tableau 14 : ANOVA à deux facteurs de la hauteur de la plante de cinq variétés de <i>Cicer arietinum L.</i> soumises au stress hydrique.....	42
Tableau 15 : Résultats de l'analyse de la variance pour la longueur des racines.....	43
Tableau 16 : ANOVA à deux facteurs du nombre de ramifications racinaires (NRR) de cinq variétés de <i>Cicer arietinum L.</i> stressées au manque d'eau.....	44
Tableau 17 : ANOVA à deux facteurs de la teneur en eau totale de cinq variétés de <i>Cicer arietinum L.</i> stressées au manque d'eau.....	45
Tableau 18 : ANOVA de deux facteur du ratio MSR/MSA de cinq variétés de <i>Cicer arietinum L.</i> stressées au manque d'eau.....	46
Tableau 19 : ANOVA de deux facteur de chlorophylle a de cinq variétés de <i>Cicer arietinum L.</i> stressées au manque d'eau. Analyse de variance de chlorophylle a.....	47

Tableau 20 : ANOVA de deux facteurs de chlorophylle b de cinq variétés de *Cicer arietinum* L. stressées au manque d'eau.....48

Tableau 21 : ANOVA à deux facteurs de la teneur en protéines totales de cinq variétés de *Cicer arietinum* L. stressées au manque d'eau.....50

INTRODUCTION

Introduction

Depuis des milliers d'années, le *Cicer arietinum* L (pois chiche) joue un rôle essentiel notamment dans l'agriculture et la nourriture humaine. Ce végétal annuel, qui remonte à environ de sept millénaires et qui provient du Moyen orient, s'est répandue dans le monde entier, arrivant le sous-continent indien, au cours Ile millénaire avant Jésus Chris (**Zhao et al., 2021 ; Brink et al., 2006**). Cette légumineuse se divise en catégories multiples à savoir le Desi et kabuli. Ce qui constituent une alimentation équilibrée, riche en énergie, en minéraux et en certaines vitamines. Il forme un élément principal de nombreuses menus habituels et contemporaines (**Rashid, et al., 2021**).

En Algérie, le pois chiche est l'une des capitales légumineuses alimentaires qui consacre une fonction importante dans l'alimentation de la population. Cultivée pour ses graines sur certaines zones agro-écologiques ce genre conçois une source très raisonnable des protéines avec un pourcentage qui peut atteindre selon (**Laumont et Chevassus, 1956**) : 30% du masse du grain. Le mélange des graines de pois chiche avec celle des céréales peut avoir une valeur nourrissante équivalent à celle fournie par des protéines animales (**Kande, 1965 ; Chaux, 1972**).

L'importance économique du pois chiche est illustrée par une production mondiale allant jusqu'à 10 millions de tonnes annuellement, avec l'Inde qui se place en première position parmi les producteurs à l'échelle mondiale (**Chafika et al., 2014 ; Muehlbauer et al., 2017**). Son intérêt nutritionnel, met aussi en place une importance capitale, en ce qu'elle représente, une privilégiée de protéine en qualité suffisante et prend une place de choix au sein des régimes à base de plantes (**Rio, 2017 ; Maalouf et al., 2019**).

D'un point de vue agronomique, le *Cicer arietinum* L se diffère par ses traits adaptatifs remarquables, tel que sa faculté à capter l'azote de l'atmosphère via des nodosités racinaires symbiotiques. Ce mécanisme enrichit la productivité du sol tous en réduisant les dépendances en engrais chimiques. (**Abdelali et al., 2021 ; L'taief et al., 2009**).

Toutefois, en déception de ses nombreux bénéfices que nous avons soulevés, le pois chiche (*Cicer arietinum* L), fait face à des adversités majeures, surtout le stress lié à l'eau qui le prive de son développement et sa productivité dans les zones tropicales et subdésertiques, il est important de conduire rentablement ce stress pour optimiser les exploits et garantir la continuité des systèmes agricoles dans les zones locales (**Chennafi et al., 2006 ; Rao, 2006**).

Cette partie bibliographique vise en principe à explorer les connaissances assidues sur l'histoire agricole, tout en mettant accent sur certains paramètres comme la physiologique, la morphologique, les exigences agro-climatiques tout en soutenant les différences variétales en compagnie des réponses adaptatives du pois chiche. Elle forme une base théorique essentielle du comportement morfo-physiologique de 6 variétés de pois chiche (*Cicer arietinum* L) à travers ces

éléments, s'ajoute la mesure de la teneur en chlorophylle ainsi que l'extraction et le dosage des protéines par méthode de Bradford pour discerner celles dotés d'une meilleure résilience face aux aléas climatiques ardues et une faculté agronomique prometteuse.

**1^{ère} Partie : Données
Bibliographiques sur le pois
chiche (*Cicer arietinum* L)**

Chapitre 1: Étude de la culture de pois chiche

1. Origine et historique du pois chiche

La figure 1 montre que le pois chiche (*Cicer arietinum L*) a été domestiqué dans une zone restreinte du sud-est turc, se trouvant entre les fleuves de Tigres et Euphrate, à côté de la frontière Syrienne. Des ancêtres des pois chiches ont été aperçus, notamment *Cicer arietinum ssp* et *C. echinospermum*, mais seul *C. reticulatum* a été métissé avec le pois chiche cultivé (Jha et al., 2022). Les noms donnés à cette plante dans diverses cultures, comme en Égypte dynastique où elle était appelée « bec de faucon », constituent également une preuve linguistique de son existence. Elle a été découverte dans des niveaux précéramiques du Proche-Orient datant d'environ 8 000 av. J.-C. à Jéricho et près de Damas, ainsi que dans des strates datant d'environ 8 500 av. J.-C. dans le nord-ouest de la Syrie, suggérant une domestication très ancienne.

Néanmoins, elle ne s'est plantée dans la région qu'à l'apparition de l'âge du Bronze, vers le cinquième millénaire av. J.-C. Les aperçus sont fréquents à partir de l'IV^e millénaire avant J.-C., surtout dans la région méditerranéenne. En contrepartie sa grande valeur biologique, il était considéré comme un aliment réservé aux indigents préférablement qu'aux rois. Il est pénible de retracer son chemin à travers le monde, mais des graines datant de voisinage 6000 avant J.-C. ont été découvertes en Bulgarie et, deux millénaires plus tard, en Grèce (Zohary et Hopf, 1973).

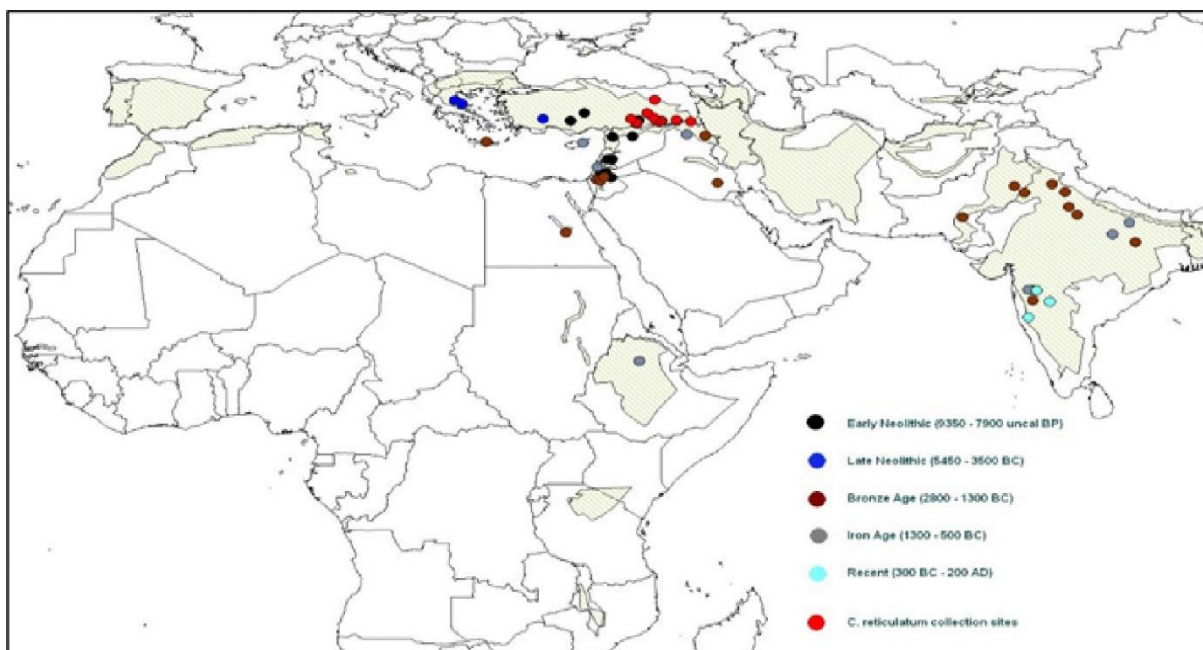


Figure 1 : Propagation du pois chiche dans le monde antique (Muehlbauer et al., 1993).

2. Importance économique du pois chiche

2.1 Dans monde

D'après la FAO (organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture), voici les principaux pays producteurs de pois chiche (*Cicer arietinum L*) :

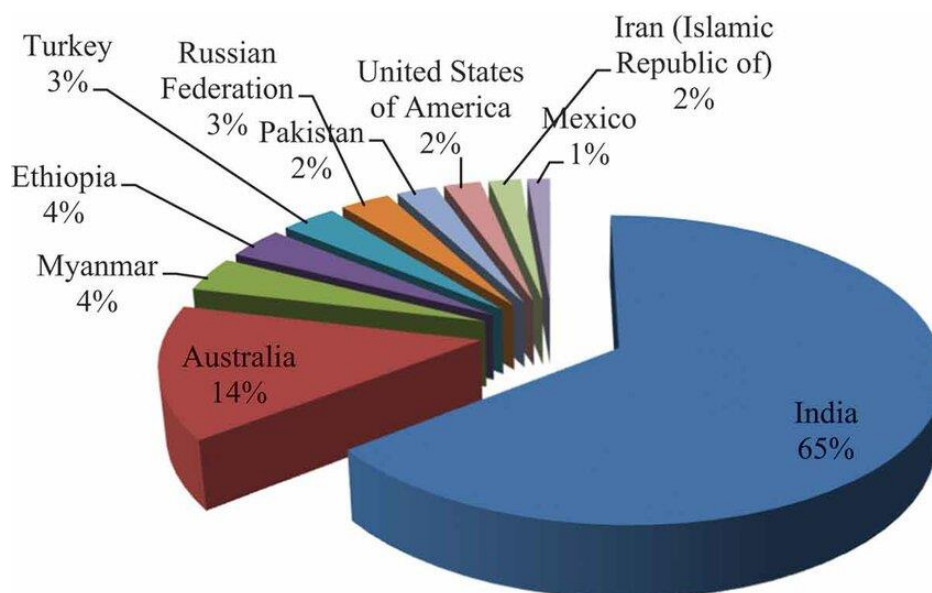


Figure 2 : Importance proportionnelle des dix premiers pays producteurs de pois chiches. Provenance : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO, 2019).

Le pois chiche se positionne comme la troisième légumineuse à grains en termes de production, qui se monte 10,1 millions de tonnes annuellement, juste après le haricot commun (21,5 millions de tonnes par an) et le pois (10,4 millions de tonnes par an) (**Chafika, Nsarellah et al., 2014**). La culture de pois chiche est économique. En Afrique subsaharienne (ASS), où il ne forme présentement qu'approximativement 500000 hectares sur près de 12 millions d'hectares de parcelles consacrées à la production mondiale de pois chiche, son éventuel économique est important (**Fikre, Desmae et al., 2020**). La production se centralise essentiellement en Inde, où l'espace réservé à la culture du pois chiche s'est agrandi ces dernières années pour arriver environ 13,5 millions d'hectares (**Muehlbauer and Sarker, 2017**).

Chaque année, plus de 1,3 millions de tonnes de pois chiche sont introduites sur le marché international pour combler les exigences de pays qui n'arrive pas à garantir à la sollicitation avec leur production. Les principaux pays exportateurs sont l'Inde, l'Australie et le Mexique (**Muehlbauer**

and Sarker, 2017). Le marché du pois chiche est restreint et soumis à des alternances. Une demande progressive de pois chiches en Asie a entraîné une hausse des importations (Merga and Haji, 2019). Le tableau 1 illustre la production de pois chiche pour les principaux pays producteurs dans le monde, en plus de la production intégrale mondiale sur la période de 2010 à 2014.

Tableau 1 : Les principaux pays producteur de pois chiche (*Cicer arietinum L*) (FAO STAT, 2020).

Pays	Productions (tonnes)				
	2010	2011	2012	2013	2014
Inde	7480000	8220000	7700000	8832500	9880000
Pakistan	561500	496000	291000	751000	750.000
Turquie	530634	787477	518000	506000	450.000
Australie	602000	513338	673371	813300	817.000
Myanmar	441493	473102	500000	490000	492.300
Éthiopie	322839	400208	409733	249465	485.682
Iran	267768	290243	315000	295000	275.310
Mexique	131895	72143	271894	209941	171.665
Canada	128300	90800	161400	169400	123.000
Syrie	42928	50052	55913	57500	
Monde	11064324		11613037	13102023	13623695

2.2. En Algérie

En Algérie, le pois chiche se classe en deuxième position derrière la fève de 1994 à 2008, comme le montre l'illustration passant d'une superficie de 19290 en 1994 à 4600 en, 2008 (ITGC, 2011). La production de pois chiches est suffisamment insignifiante au comparateur mondial, totalisant 30879,64 entre 2010 et 2020. Cependant, il convient de soutenir que la production de pois chiche en Algérie a connu une élévation en 2020, s'élevant à 30000 tonnes, ce qui constitue un progrès par rapport aux années précédentes (FAOSTAT, 2020). En outre, la production de pois chiches en

Algérie a connu un sur-croît, culminant à 50.000 tonnes. Cela révèle que l’Algérie pourrait dans l’avenir, accroître sa production de pois chiche, même si celle-ci demeure suffisamment modeste confrontée aux autres grands producteurs mondiaux de pois chiche.

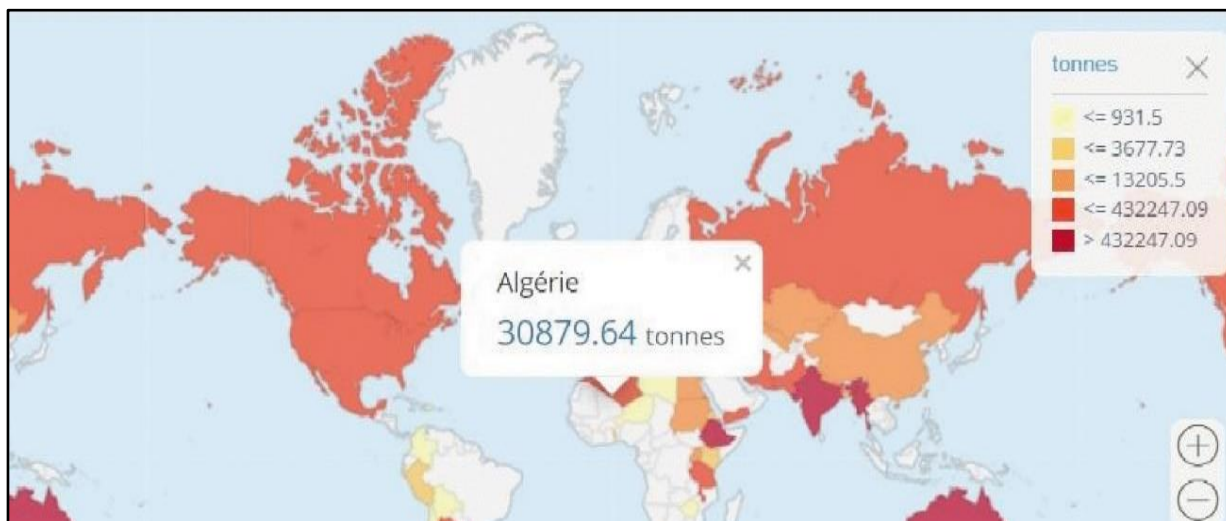


Figure 3 : Production et rendement du pois chiche en Algérie (FAO STAT 2020).

Le Pois chiche est célèbre en Algérie, comme c’est le cas dans tous les autres pays méditerranéens. Il apparaît que la région Nord de l’Algérie englobe la majorité des superficies cultivées en légumineuses alimentaires, avec plus de 52,83% pour la région Nord-Ouest. Le pois chiche est cultivé dans les zones littorales et les plaines intérieures (Zine et al., 2015).

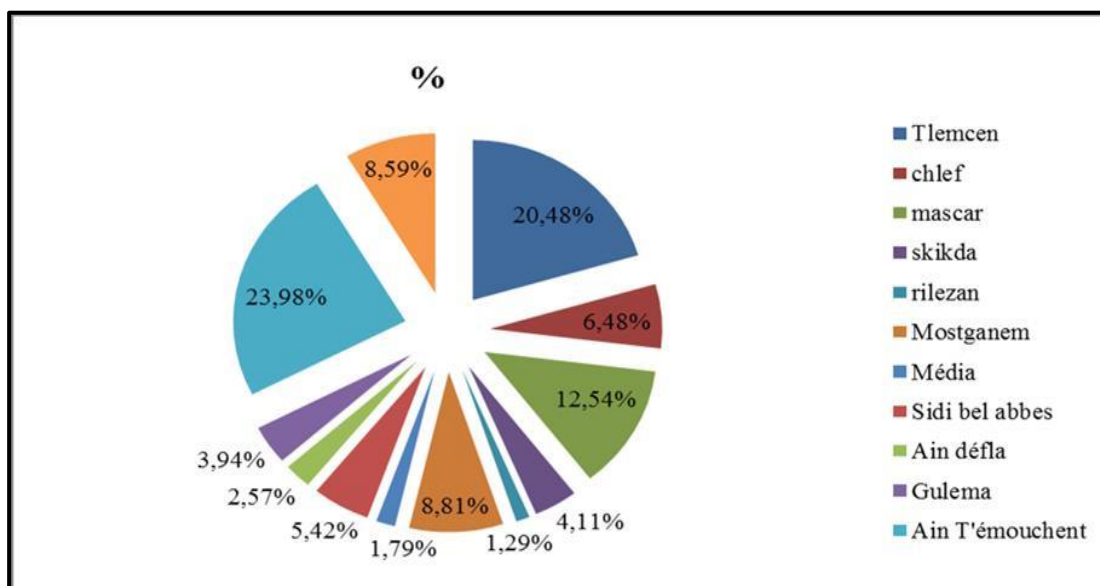


Figure 4 : Production de pois chiche à l’échelle Nationale (Zine et al., 2015).

3. Systématique et classification botanique

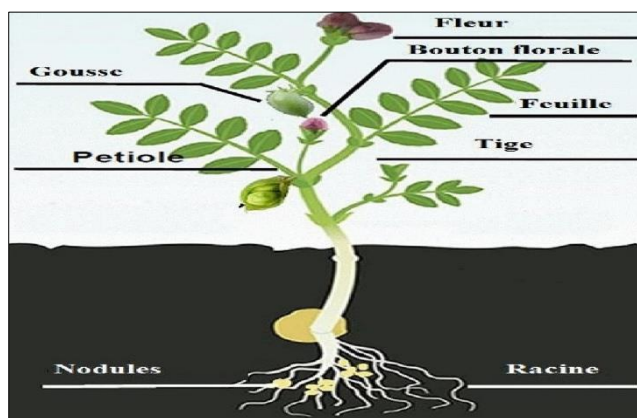
Les recherches sur la parenté génétique entre les espèces de *Cicer* ont initialement été menées en évaluant les similarités cary morphologiques (**Singh et Ocampo, 1993**), en analysant les profils iso enzymatiques (**Labdi et al., 1996**), en étudiant l'hybridation interspécifique (**Singh et Ocampo, 1993**) et en caractérisant la chromatine (**Galasso et al., 1996**) entre les pois chiches et leurs parents sauvages. Les résultats de ces études ont indiqué que *C. arietinum* pourrait avoir *C. reticulatum* comme ancêtre. Plus récemment, des marqueurs moléculaires (**Choumane et al., 2000**) ont confirmé cette parenté ancestrale.

Tableau 2. Classification botanique de Pois chiche (*Cicer arietinum*) selon **Gaid (2015)**.

Règne	Plantae
Sous règne	Tracheobionta (plantes vasculaires)
Embranchement	Spermatophyta (plantes à graines)
Sous/ Embranchement	Magnoliophyta (Angiosperme)
Classe	Magnoliopsida (dicotylédones)
Sous- Classe	rosidae
Famille	Fabacea
Ordre	Fabales
Genre	<i>Cicer</i>
Espèce	<i>Cicer arietinum</i>
Nom commun	Pois chiche

3.1.Morphologie

Sur le plan botanique, le pois chiche connu sous le nom scientifique de *Cicer arietinum* est une plante herbacée (qui peut être dressée ou basse), cycle annuel diploïde ($2n=16$) et autogame, avec moins de 1% d'hybridation naturelle (**Singh et Reddy, 1991**). Sa tige, haute de 30 à 70 cm, est velue et glanduleuse. Elle est constituée de 1 à 8 branches primaires, ainsi que de branches inférieurs et tertiaires. Selon l'endroit des branches par rapport à la verticale, cinq types de port peuvent être distingués : érigé, semi-érigé, semi-étalé, étalé et prostré (**Gaur et al., 2010**).



(A)



(B)

Figure 5 : (A) Description morphologique du pois chiche (Kudapa *et al.* 2018) ; (B) Morphologie du pois chiche (Alli, 2007).

3.1.1. Système racinaire



Figure 6: Les racines de pois chiche (Photo Originale 2025)

La plante de pois chiche (*Cicer arietinum*) est dotée d'un système racinaire vigoureux et enfoncé, qui peut prendre jusqu'à un mètre et qui s'amplifie à la fois d'une façon latérale et pivotante. Les nodules montrent généralement un mois après la poussée de la plante et sont limités aux premiers 15 centimètres de la partie aérienne. Ces nodules sont formés par les racines latérales en combinaison avec la bactérie symbiotique (Gaur *et al.* 2010). Des examens nouveaux ont dévoilé que les populations de rhizobium du pois chiche sont très variées et se scindent en nombreux genres, à titre d'exemple : *Mesorhizobium amorphae*, *Mesorhizobium loti*, *Mesorhizobium tianshanense*, *Mesorhizobium opportunistum*, *Mesorhizobium abyssinicae* et *Mesorhizobium shonense*, avec une prépondérance de *Mesorhizobium ciceri* et *Mesorhizobium mediterraneum* (Zhang *et al.* 2020).

3.1.2. Tige

Les tiges de la plante de pois chiche présentent une ramification, une orientation érigée, une forme quadrangulaire, des côtes, un revêtement velu, une texture herbacée et une couleur verte. Elles sont habituellement divisées en branches primaires, secondaires et tertiaires (Kaur and Prasad, 2021).

3.1.3 Feuilles

Le pois chiche (*Cicer arietinum*) est composé des feuilles imparipennées, comportant 5 à 17 paires de folioles dentelées disposées en alternance. La partie inférieure des feuilles est tapissée d'un pelage formé de poils simples et pluricellulaires (Gaur *et al.* 2010).

3.1.4. Fleur

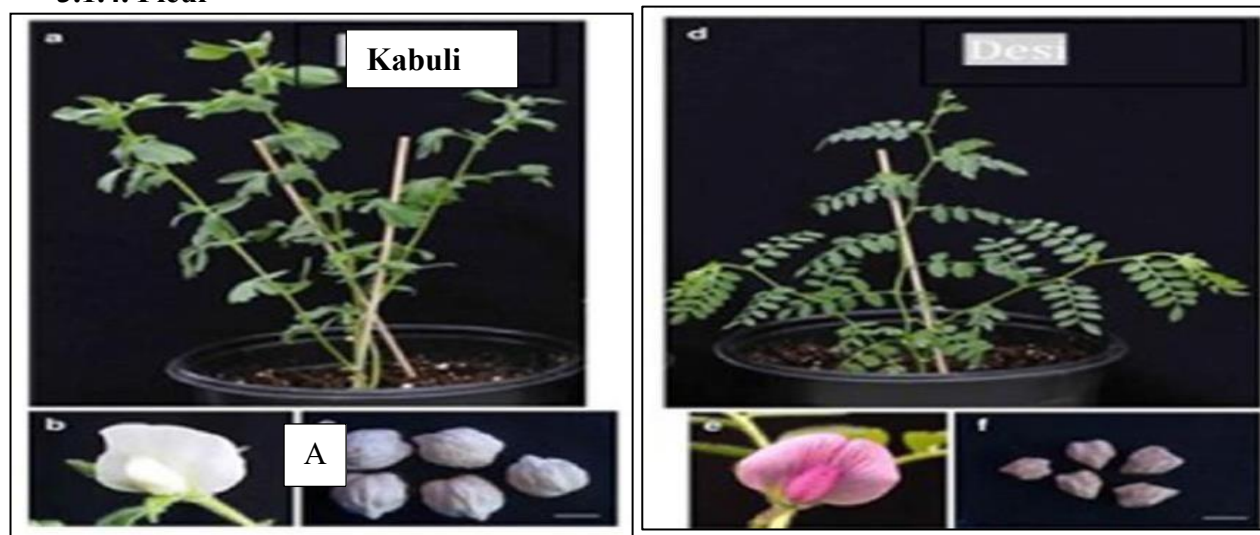


Figure 7 : Type de fleurs de pois chiche (*Cicer arietinum*) (Karla *et al.*,2020) (a) Fleur blanche de pois chiche type kabuli ; (b) Fleur rose de type desi.

La fleur peut être caractérisée étant régulière et bisexuée, assemblée de cinq sépales velus joints formant un tube calice. Elle possède cinq pétales qui sont susceptible d'être roses, blancs, violets ou bleus, ajustés de manière à engendrer un aspect lépidoptère avec un large étendard, deux ails et deux pétales en carène qui constituent une composition similaire à celle d'un bateau. On retrouve dix étamines arrangées en diadelphes (9 étamines fusionnées et une dixième vacante), produisant des grains de pollen de couleur orange. Le style est linéaire avec un stigmate globuleux, et l'ovaire pubescent sessile abrite entre 1 et 4 ovules. Les bourgeons papilionacés du pois chiche, de taille modeste, contiennent des étamines diadelphes : 9 d'entre elles ont des filaments associés tandis que la dixième est autonome.

Au cours du développement du bouton à fleur, les filaments s'allongent les anthères libèrent du pollen sur le pistil. Ces derniers sont maintenus à l'intérieur de la carène. L'autopollinisation prédomine, bien que des cas de pollinisation hybride naturelle et de pollinisation cléistogame ait aussi été distingués. Ces souverains se produisent avant l'éclosion du bouton floral. La gousse a une forme ellipsoïde rhomboïdale, généralement renfermant une ou deux graines, et pouvant en compter jusqu'à trois. Elle est caractérisée par une dilatation et une pubescence glanduleuse. Le milieu a peu d'impact sur la taille de la gousse, qui peut, cependant varier considérablement. Le taux de remplissage de la gousse est fermement influencé par les aléas climatiques et fluctue entre 8,97 et 56,53%. Les graines découvrent des couleurs convenant du crème au jaune, en passant par le brun, le noir ou le vert, et détiennent une forme qui est à la fois ronde et anguleuse. La surface du tégument peut être lisse, plissée ou tuberculeuse, tandis que la graine présente une forme comprimée sur les côtés, pourvue d'un sillon central couvrant deux tiers de sa longueur et d'un bec au front.

La germination se fait par cryptocotyle. Le pois chiche, grâce à son système racinaire pivotant et profond, est apte d'aboutir sa maturité complète même dans des conditions qui seraient préjudiciables pour la majorité des autres cultures. La longue racine pivotante de la plante lui confère une meilleure endurance à l'aridité, ce qui la rend particulièrement convenable à la culture dans les régions froides et avec peu de précipitation (Rasool et al., 2015).

3.1.5. Graines

Les graines de pois chiche ont peu d'endosperme, et leurs couleurs, dimensions et figures changent selon le type de pois chiche. Il en existe trois types :

- Le type Desi ou « microsperma » : distinct par de petites graines anguleuses au bec arrondi et à la surface résistante. Les graines de ce type montrent également un tégument épais et coloré, décliné en divergentes pigmentations de brun, jaune, vert et noir.
- Le type Kabuli ou « macrosperma » : caractérisé par de grosses graines blanches ou beiges en tournure de « tête de bélier » et pourvues d'un tégument fin et lisse.

Un troisième type intermédiaire, appelé Gulabi, a été constaté par certains auteurs. Il présente des grains lisses, de couleur apparente et d'envergure moyenne (ITGC 2011).

4. Types de culture du pois chiche



Figure 8: Types de pois chiche (*Cicer arietinum.L*) Kabuli et Desi ([Http/www.agriculture.gov.sk.ca/](http://www.agriculture.gov.sk.ca/) visité le 03/03/2008) in Ben Mbarek., 2011).

Le pois chiche (*Cicer arietinum L*) est un type de plante à jour long avec des intervalles d'éclairage étendus et des températures davantage chaudes incitent ses étapes de croissance et de reproduction (Wery, Deschamps *et al.* 1988) (Singh et Reddy 1991). La photopériode et la température s'élèvent. En Algérie, on spécifie deux sortes de pois chiche en ardeur de la saison de semi : **Le pois chiche d'hiver** et **le pois chiche de printemps**.

Dans les la région méditerranéenne d'Algérie, il est habituel de cultiver le pois chiche au printemps (entre 15 février et 15 Mars). Suivant les observations, bien que les diversités génotypiques dans la réplique du pois chiche au photopériodisme et à la température, on remarque une simplification accentuée des phases végétatives et reproductrice au fur et à mesure.

Les principaux défis de cette tournure d'agriculture sont la chaleur et la sécheresse, qui mènent à des productivités modestes et fluctuants notamment en fin de cycle. Selon les experts de l'ITGC, un semis d'hiver anticipé, s'étalant de la mi-novembre à la mi-décembre, assure une croissance optimale des végétaux et fournis une augmentation expressive de la productivité. Toutefois, cela requiert une sélection adéquate de variétés qui résistent à l'antracnose et une gestion stricte des adventices.

C'est pour cette raisonnement qu'un projet sur le pois chiche a été débuté dans les années 1980, lancé par l'ICARDA en partenariat avec l'ITGC. Un programme d'essai de grande envergure, s'étalant sur dix ans et réalisé dans diverses conditions agro écologique, a conduit au choix de plusieurs variétés de pois chiche qui résistent au froid et à l'antracnose à titre d'exemple : Chetoui I ou ILC 3279 (1984), Chetoui 2 ou ILC 482 (1985), FLIP 85-54C (1988), FLIP 85-17C (1989), FLIP 84-79C (1989), FLIP 82-150C (1993) et FLIP 90-13C (1993).

4.1. Comportements physiologiques

Dans la culture de pois chiche, on repère deux intervalles correspondant à des mutations remarquables de l'allure de développement et à la modulation de la croissance.

4.2. Phase végétative

Ce stade se lance de la germination jusqu'à la ramification.

- ❖ **La levée** : C'est l'apparition des plantes à la surface du sol et elle peut être prolongée par les températures basses. A cette période, il est susceptible d'observer la présence de la première feuille (**Kechache, 2005**).
- ❖ **La ramification** est signalée dès qu'une première tige s'engage à pousser à partir d'un bourgeon localisé à la base et que les premières nodosités apparaissent, tandis que l'élévation des entre nœuds se produit de façon ponctuelle (**Kechache, 2005**).

4.3. La période de reproduction

- ✚ D'après (**Allali et al., 2007**), le moment de floraison a été établi en considérant le nombre de jours qui s'écoulent entre le semis et le moment où 50% des fleurs sont béantes. Elle commence à partir du nœud mineur.
- ✚ **La fructification** fait référence à l'initiation du processus de formation des gousses ou bien à l'apparition de la fructification (le passage des fleurs aux gousses) (**Kechache, 2005**).
- ✚ **La maturité** est déterminée comme l'intervalle caractérisé par la décoloration des feuilles, l'apparition de nécrose à l'extrémité de la gousse et la transformation de couleur à l'angle où le grain et l'épicarpe de la gousse se rencontrent (**Kechache, 2005**).

La phase de reproduction est définie comme l'intervalle de jours depuis l'éclosion des premières fleurs jusqu'à la moisson finale (**Kechache, 2005**).

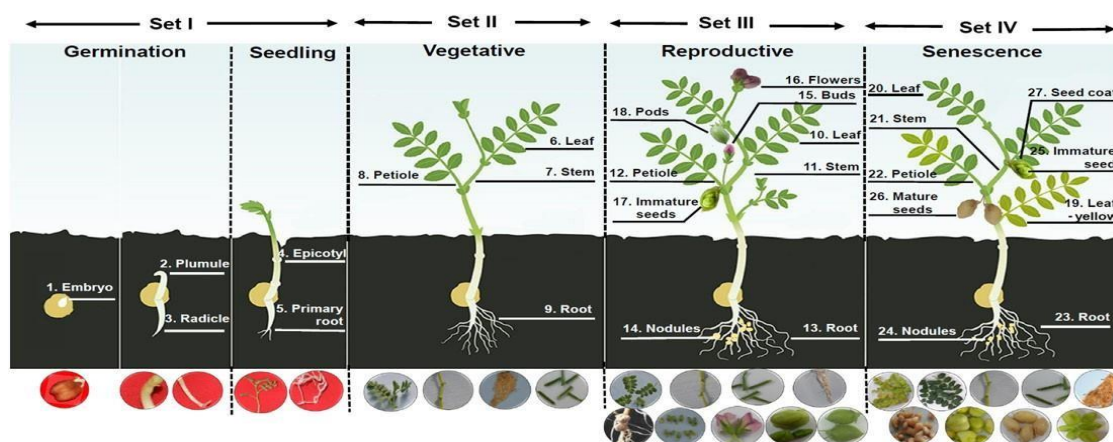


Figure 9 : Phase de croissance, de reproduction et de sénescence du pois chiche tout au long de son cycle vital (**Kudapa et al., 2018**).

5. Variétés cultivées en Algérie

L'emploi de semences standardisées est l'élément de production le plus commodément transférable dans un contexte agricole. Relatif aux variétés de pois chiches, la sélection devrait se faire en tenant compte de l'adéquation avec les exigences agro-écologiques, de la qualité culinaire exigée et du potentiel de rendement de la variété. Le tableau ci-joint renseigne certaines caractéristiques des variétés cultivées en Algérie (ITGC,2018).

Tableau 3. Caractéristiques des principales variétés de pois chiche cultivées en Algérie.

Source : (ITGC, 2018)

	Variétés	type	Caractéristiques
Variétés locales	Ain Témouchent Sebdou Rabat9	Kabuli	Port de type étalé et semi précoce, ce plant est sensible à l'antracnose et au flétrissement. Il a une productivité faible et doit être semée au printemps. Bonne valeur nutritionnelle.
Variétés en Multiplication	Chetoui1 (ILC3279)	Gulabi	Semis en hiver, plante dressée, de grande taille, tardive et résistante à l'antracnose, elle est cependant sensible au flétrissement et montre une bonne productivité. Assez bonne valeur nutritive.
	Beni Chograne (Flip 84-92c) Seraidi (Flip90-13c)	Kabuli	Port semi dressé, semi-tardif, résistant à l'antracnose, à semer durant l'hiver.
	OuedRhumel (Ghab04) AinZada (Ghab05)	Kabuli	-
Variétés Nouvellement Introduites	Souagui, Makerra, Béni Aziz, Béni Hamiden, El Ogbane, Tafna, Tikjda		

6.Exigences édapho-climatique

6.1. Exigence climatique

6.1.1. Température

Le pois chiche est une végétation résiliente qui persiste bien les températures hautes, avec un maximum variant de 21 à 29°C durant la journée et de 15 à 21°C durant la nuit. La formation des gousses est inhibée par des températures modérées, qui sont inférieures à 5°C. Il n'est pas résistant au froid, à l'exception des variétés dites (type hiver) qui savent persister des températures jusqu'à -8°C lorsqu'elles sont très jeunes. Toutefois, elles deviennent généralement sensibles dès qu'elles arrivent le stade 3-4 feuilles et sollicitent alors des températures plus élevées. Cela ouvre la possibilité de réaliser des semis d'hiver (de décembre à février) dans de régions avec peu de gel (ITGC, 2018).

6.1.2 Lumière

La plante de pois chiche est considérée comme étant une plante de jours longs (Summerfield et al., 1971). La nodulation, la fixation d'azote et la floraison ont influencées par l'intensité lumineuse et la durée de l'éclairage (Lie, 1971 in Beddar, 1990). Les périodes d'exposition prolongées à la lumière et les températures hautes hâtent les étapes de croissance végétative et reproductrice (Summerfield et al., 1984).

7. Exigence édaphique

7.1. Sol

Le pois chiche n'est pas très exigeant en termes de qualités du sol, mais il ne supporte pas les sols hydromorphes ou mal drainés. Il peut s'accroître dans des sols ayant un pH allant de 6 à 9. Les sols calcaires doivent être évités, car ils constituent des graines qui cuisent difficilement (ITGC, 2018).

7.2. Eau

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

8. Conduite technique d'une culture de pois chiche

8.1. Rotation et assolement

La culture du pois chiche est idéale en tant que première culture, car elle purifie le sol, améliore sa structure et fixe l'azote de l'atmosphère qui sera bénéfique pour les cultures ultérieures. Pour éviter les dommages causés par des champignons, en particulier l'anthracnose, il est conseillé

de respecter une pause minimale de 3 à 4 ans entre deux plantations de pois chiche. Il est conseillé d'effectuer les rotations de cultures suivantes, en fonction du niveau de précipitations (ITGC, 2018).

Tableau 4. Pour les régions à fortes potentialités de pluviométrie supérieure à 400mm (ITGC, 2018)

1 ^{ère} année	2 ^{ème} année	3 ^{ème} année	4 ^{ème} année
Pois chiche	Blé	Jachère	Blé

Tableau 5 : Pour les régions à faibles potentialités de pluviométrie inférieure à 400 mm (ITGC,2018).

1 ^{ère} année	2 ^{ème} année	3 ^{ème} année	4 ^{ème} année
Pois chiche	Blé	Fourrage	Blé

8.2. Préparation du sol

La première phase engage un déchaumage post-récolté de la culture précédente, suivi d'un labourage à 20-25 cm procédé avec une charrue à socs en condition humides ou un chisel en cas de sécheresse. Le labour est effectué à l'aide de la culture de couverture et du cultivateur, qui sont conseillés dans des conditions arides et sur les terrains peu profonds. L'établissement du lit de semences joue un rôle crucial dans le succès des semis et l'assurance d'une levée optimale de la culture. Cette procédure est exécutée à l'aide d'une herse (à rouleaux ou à lampes), ce qui maintient un raffinement et un nivelage du lit de semences. Il est recommandé d'effectuer un roulage après le semis (surface lisse) (ITGC, 2018).



Figure 10 : Photo préparation du sol (Source : Profert, 2018).

8.3. Fertilisation

L'emploi d'engrais de base (contenant du phosphore et du potassium) certifie une floraison parfaite, une qualité supérieure du grain et aussi une ténacité accrue face à la sécheresse et aux maladies (activité bactérienne). Il est recommandé d'apporter 92 unités/ha de phosphore en zone favorable (400-600mm) et 46 unités/ha en zone moins appropriée (300 et 400mm), ce qui répond à 1 à 2q/ha de TSP46%. De plus, un apport de 50 unités/ha de potassium (approchant de 1q de sulfate de potasse) lors des premiers labours est prometteur. En ce qui concerne l'apport d'azote, le pois chiche est une plante de la famille des légumineuses, identifiée surtout pour sa faculté de fixer l'azote atmosphérique à travers ses nodosités et ses relations avec les bactéries du sol. En effet, cette faculté d'exploiter l'azote. Lui confère le moyen de minimiser les frais de production d'une part et de contrôler la contamination des nappes phréatiques par les nitrates issus des fertilisants d'autre part. Toutefois, l'application de 20 unités/ha d'azote au stade de 3 feuilles soutiens le début de la croissance des plants (ITGC, 2018).



Figure 11 : Photo de fertilisation azotée (Source : www.profert.dz).

Tableau 6. Périodes indicatives de semis du pois chiche (Source : Djennadi *et al.*, 2010)

Regions	Périodes indicatives de Semis	Recommandations ITGC
Littoral	15 décembre à début février	Décembre-Janvier (semis d'hiver) Février (semis de printemps).
Sub littoral		
Haut-plateaux	1 ^{ère} December à 15 Janvier	Novembre-Décembre (semis d'hiver)
Plaines intérieures	15 décembre à début février	

8.4. Mode et doses de semis

L'utilisation d'un semoir de précision pour le semis mécanique demeure la meilleure option, car elle garantit une disposition correcte des graines, une germination uniforme et des économies en matière de semences. Il est également possible d'effectuer le semis mécanique à l'aide d'un semoir à céréales pourvu de tubes de descente. Le semis peut être effectué à la main, après avoir procédé au billonnage. La quantité de semence par hectare est comprise en général entre 50 et 80 kg, et un passage de rouleau est essentiel pour diminuer les pertes lors de la germination et simplifier la moisson. L'expérimentation effectuée à l'ITGC révèle que le taux de pertes est lié à la procédure de semis, en évidence la supériorité du semoir monograin (ITGC, 2018).

9. Facteurs limitant la production de pois chiche





Le développement de culture de pois chiche, a révélé plusieurs contraintes, provoquant des dommages plus ou moins importants. Ces facteurs sont de deux ordres, à savoir, les facteurs abiotiques dont la sécheresse et les gelées printanières (Labd, 1990). Ainsi, (Hamadache et Kheddami, 1999) et (Djnni, 2003) ont signalé que la faible productivité du pois chiche en Algérie est souvent due à des aspects agro-technique, tel que le période du semis, la qualité inférieure des semences et les méthodes de semis. De plus, les facteurs biotiques agissent également, à savoir les mauvaises herbes, les insectes, les nématodes et les maladies.

9.1. Les principales maladies

Les principales maladies affectant le pois chiche sont le flétrissement vasculaire ou wilt et l'anthracnose.

- **Le flétrissement vasculaire ou wilt** : est causé par un saprophyte *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceri*, qui vit dans le sol et à travers les débris infestés. Il peut se conserver jusqu'à 6 ans. La maladie se développe quand la température du sol est voisine de 25°C. Les symptômes se manifestent par un flétrissement, avec une coloration vasculaire brune, plus ou moins claire, une défoliation totale de la plante peut survenir. Le contrôle de cette maladie se fait par l'application de fongicides (ITGC, 2018).

Tableau 7. Maladies transmises par la semence et/ ou par le sol (Source : Profert, 2018)

	Maladies	Cultures	Modes de transmission
	Anthracnose	Lentille et pois chiche	Semences, débris végétaux, sol
	Pourriture grise	Lentille et pois chiche	Semences et sol
	Flétrissement fusarien du pois chiche	Pois chiches	Sol et semences
	Rouilles	Lentille et pois chiche	Sol

- **L'antracnose** : est la principale maladie fongique du pois chiche causée par *Ascochyta rabiei*. Il s'attaque aux parties aériennes de la culture. Le champignon est transmis par les semences, les débris infectés qui peuvent conserver pendant une durée de deux ans, ainsi que par les plantes non hôtes. L'invasion de toutes les parties aériennes de la plante engendre des dommages majeurs pouvant causer la perte totale de la récolte. La maladie se manifeste par des taches brunes, circulaires sur les feuilles et les gousses et allongées sur les tiges (ITGC, 2018).

9.2. Adventices de pois chiche

Dans une culture de pois chiche, les mauvaises herbes sont un sérieux problème (Siddique et Kricshnamurthy, 2014), elles peuvent simplifier les productivités de 75 à 97% (Paolini *et al.*, 2006). La intervalle critique de compétition des mauvaises herbes est repérée aux premiers stades après émergence de la culture (Mohammadi *et al.*, 2005). Le vérifie des mauvaises herbes avec

certaines traitements de prélevée et de post levée a engendré un gain de rendement significatif (**Bouhache et Benmansour, 2014**).

En effet, l'emploi d'herbicides chimiques sur les légumineuses comestibles est particulièrement complexe, car les quantités de désherbants spécifiques aux cultures ne maîtrisent pas efficacement les mauvaises herbes dicotylédones. On peut utiliser divers herbicides après le semis, mais avant l'émergence des cultures et des mauvaises herbes. (**Baye, et 2015 ; Tanji, 2013**).

9.3. Nature des mauvaises herbes

Juste après la récolte du pois chiche, il arrive que les densités de mauvaises herbes excèdent 100 plantes/m². On distingue quatre catégories de ces plantes indésirables :

- ✓ **Les dicotylédones annuelles** comme le coquelicot, les mauves, la moutarde, l'aneth, la bette
- ✓ **Les graminées annuelles** comme les repousses de céréales, le ray gras, l'avoine, les bromes, les alpistes
- ✓ **Les vivaces** comme les liserons, le chiendent, le souchet, la morelle à feuilles argentées
- ✓ **Les parasites** comme l'orobanche (*Orobanche crenata*).

Tableau 8 : Principales mauvaises herbes du pois chiche en Algérie (**Hamadache, 2014**).

Espèces	Nom commun
Sinapis arvensis	Moutarde des champs
Scandix pecten-veneris	Ombellifère
Polygonum aviculare	Renouée
Amaranthus spinosus	Amarante
Galium tricorne	Gaillet à trois cornes
Convolvulus arvensis	Liseron des champs
Avena sterilis	Folle avoine
Phalaris sp	Phalaris
Bromus sp	Brome

10. Intérêts du pois chiche

10.1. Valeur nutritionnelle

Le pois chiche *Cicer arietenum L*, est perçu comme l'une des légumineuses les plus bénéfiques pour l'alimentation humaine, sa valeur nutritionnelle est due à ses graines qui regorgent de composés organiques et minéraux (Tableau 9) (**Rio, 2017**).

Tableau 9 : Composition nutritionnelle pour 100 g de pois chiche sec et cuit (**Remond and Walrand, 2017**).

Composition organique (en100g)				Composition minérale (en100g)			
Pois chiche sec		Pois chiche cuit		Pois chiche sec		Pois chiche cuit	
Protéines(g)	20,5	Protéines (g)	8,9	Fer (mg)	4,31	Fer (mg)	2,89
Lipides(g)	6,0	Lipides (g)	2,6	Zinc (mg)	2,76	Zinc (mg)	1,53
Glucides(g)	63,0	Glucides (g)	27,4	Calcium (mg)	57	Calcium (mg)	49
Fibre(g)	12,2	Fibre (g)	7,6				
Énergie (kcal)	378	Énergie (kcal)	116				

Les spécialistes en nutrition poussent fortement l'intégration des légumineuses telles que le pois chiche dans l'alimentation humaine, compte tenu de leurs nombreux bénéfices nutritifs (**Ravi and Bhattacharya, 2004**). Ainsi, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) encourage une consommation de 80 g/jour de légumineuses par personne (**Yadav and Chen, 2007**). Les pois chiches représentent une bonne source de protéine de très bonne qualité ainsi que de glucide qui, ensemble, représentent approximativement 80% du poids sec des grains (**Singh et al., 1984**). D'après **Maalouf, Hu et al. (2019)**, un hectare de cette légumineuse alimentaire produit 1 tonne de protéines, soit dix fois plus qu'une production d'un élevage à viande sur la même surface.

10.2. Importance sanitaire

Le pois chiche (*Cicer arietinum* L.), est une légumineuse importante semée et consommée dans le monde entier (**Kishor et al., 2017**), surtout dans les pays afro-asiatiques (**Abdelali et al., 2021**) Il présente de divers avantages :

- ✚ **Réponse au glucose et à l'insuline** : Les glucides de pois chiche sont digérés à un rythme très lent (**Mamta et al., 2021**) donc, les pois chiches ont un indice glycémique bas (**Wallace et al. 2016**).
- ✚ **Contrôle du poids** : En règle générale, les régimes qui sont riches en fibres, pauvres en densité énergétique et en charge glycémique, et modérés en protéines sont perçus comme particulièrement cruciaux pour la gestion du poids. Les personnes qui consomment des pois chiches ont 53% de moins de chances d'être obèses et 51% de moins de chances d'avoir une glycémie élevée (**Wallace et al., 2016**).

✚ **Santé du tractus gastro-intestinal** : Des études humaines sur les pois chiches rapportent des améliorations globales de la santé intestinale caractérisées par une fréquence accrue de défécation, une facilité de défécation et une consistance plus molle des selles lors d'un régime de pois chiches par rapport à un régime habituel (**Wallace *et al.*, 2016**).

10.3. Importance agronomique

Pour les agriculteurs, le pois chiche représente une culture de haute valeur. Les pois chiches d'Australie sont connus pour leur excellence qualité et sont souvent très recherchés à l'échelle mondiale, grâce à leurs pratiques agricoles exemplaires et leurs normes rigoureuses en matière de qualité des grains (**Wood and Scott, 2021**).

C'est une légumineuse dotée des nodosités racinaires abritant des bactéries susceptibles de fixer l'azote de l'air pour le restituer au sol (**Abdelali *et al.*, 2021**). Ce mécanisme participe à l'amélioration du sol en azote, élevant sa fertilité et optimisant les productions. La productivité des sols va inciter l'établissement d'autres plantes ayant un intérêt écologique en protégeant les zones arides et semi-arides. Ce supplément d'azote apaise l'emploi des intrants chimiques, simplifiant ainsi le coût de production et la contamination environnementale (**L'taief *et al.*, 2009**).

10.4. Protéines et acides aminés

Le pois chiche se distingue en tant que légumineuse spécifique, riche en acides gras non saturés, appropriée pour des applications nutritionnelles (**Zia-ul-Haq *et al.*, 2008**). D'après **Carbas *et al.* (2021)**, la composition du pois chiche comprend 66% d'acides gras polyinsaturés (AGPI), 19% d'acides gras mono insaturés (AGMI) et autour de 15% d'acides gras saturés (AGS), et 1,46 mg quotidiennement pour les femmes) et en zinc (4,2 mg par jour pour les hommes et 3,0 mg par jour pour les femmes), ainsi que 200 g peuvent répondre aux besoins en magnésium (260 mg par jour pour les hommes et 220 mg par jour pour les femmes) (**Kaushal *et al.*, 2017**).

10.5. Vitamines

Le pois chiche renferme d'importantes quantités de vitamine E et de vitamine B9, soit 11,2 et 206,5 mg/100 g pour la variété Desi, et 12,9 et 299,0 mg/g pour la variété Kabuli. C'est une excellente source d'acide folique associée à des quantités plus modestes de vitamines hydrosolubles comme la riboflavine B2 (Desi : 0,21 mg/100g, Kabuli : 0,26 mg/100g), l'acide pantothénique B5 (Desi : 1,01mg/100g, Kabuli : 1,02mg/100g) et la pyridoxine B6 (Desi : 0,30mg/100g, Kabuli : 0,38 mg/100g). Ces valeurs sont comparables ou supérieures à celles trouvées dans d'autres légumineuses (**Jukanti *et al.*, 2012 ; Ravneet et Kamlesh., 2021**

Chapitre 2: Influence du manque d'eau sur *Cicer arietinum L*

1. Notions du stress hydrique

L'agriculture mondiale est confrontée à un enjeu de taille : le stress hydrique, qui provient de la corrélation entre les besoins en eau des végétaux et leur accessibilité dans le milieu environnant. Cette situation prend en réflexion la capacité d'eau utile pour leur développement, qui est accessible par leurs racines, tout en tenant compte des pertes d'eau dues à la transpiration et l'évapotranspiration. Dans les régions arides et semi-arides, affectées par des fluctuations climatiques inattendus, cette pression représente un défi majeur pour l'agriculture, pesant sur sa productivité (**Chennafi et al, 2006**).

Ce problème, minutieusement analysé par des chercheurs tels que Boyer, demeure un fardeau considérable pour l'économie agricole, en particulier dans les zones confrontées à de longues phases de sécheresse. Il se distingue par un déficit important en eau, fréquemment aggravé par des variations climatiques, conduisant à une chute importante de la production agricole (**Melle & Mouellef, 2010**).

En termes de définition, le stress hydrique survient lorsque la demande en eau des cultures dépasse l'offre disponible, menaçant leur croissance et leur développement. Cela peut résulter d'un manque de précipitations ou d'une qualité d'eau inadaptée à un usage agricole optimal. Les conséquences de ce stress sont multiples, allant de l'épuisement des réserves d'eau douce à la dégradation de leur qualité, avec des implications néfastes pour l'environnement et la durabilité des systèmes agricoles (**Melle & MOUELLEF, 2010 ; Rao et al., 2006**).

1.1. Effets du stress hydrique

Les stress causés par un manque d'eau montrent une menace constante pour la survie des plantes (**Hopkins, 2003**). L'impact de ce stress change en fonction de son intensité, de sa durée, du stade de développement de la plante, du génotype et de son interaction avec l'environnement (**Yokota et al 2006**). Tous les mécanismes de la plante sont affectés par un déficit hydrique, qu'il s'agisse du métabolisme, de l'organogenèse (la production d'organes par les méristèmes) ou de la morphogenèse (le processus de différenciation et de croissance conduisant à la formation d'organes matures) (**Hélène & Doré, 2013**).

1.2. Sur la photosynthèse

La diminution de la photosynthèse, liée à la diminution de la teneur relative en eau et du potentiel hydrique foliaire, est due essentiellement, à la réduction de la pénétration du CO₂, limitée par une fermeture des stomates (**Plaut & Federman, 1991 ; Slama et al 2005**). En effet, l'effet dépressif d'une contrainte hydrique sur la photosynthèse des végétaux résulte non seulement d'une baisse de la conductance stomatique, mais également d'une altération de l'appareil photosynthétique et/ou d'une diminution de la surface foliaire (**Kaiser, 1987 ; Slama et al., 2005**).

1.3. Sur la croissance végétative

D'après (Chaves *et al.*, 2002) et (Lebon, 2006), le développement végétatif des plantes est considérablement affecté en cas de disponibilité restreinte en eau. On note spécialement une réduction significative de la dimension, de la longueur des espaces entre les nœuds, du nombre de feuilles et même de la superficie foliaire, comme l'indiquent aussi (Lebon, 2006 ; Attia, 2007). Les plantes soumises à une privation hydrique voient généralement leur sénescence foliaire s'accélérer, et une perte trop importante d'eau peut conduire à la mort des cellules (Kramer & Boyer, 1995), comme le souligne également (Bouchabke *et al.*, 2006).

1.4. Sur le rendement

Une carence d'eau conduit à une diminution de la croissance et de la productivité des plantes en comparaison avec leur potentiel génétique. Si ce stress se produit précocement, il simule conjointement la croissance de racines et des parties aériennes, ainsi que le développement des feuilles et des organes de reproduction (Debaeke *et al.*, 1996 ; Melle & MOUELLEF, 2010).

2. Mécanismes d'ajustement de la plante face au stress hydrique

Pour faire face aux impacts néfastes du stress hydrique, les plantes ont mis places des différentes stratégies d'adaptation. Parmi ces dispositifs on note l'échappement, la tolérance et l'évitement, comme le met e évidence (Ounane, 1998).

2.1. Échappement

Il existe chez certaines plantes un phénomène physiologique d'éviter les conséquences néfastes du stress hydrique en accélérant leur développement, en réduisant leur cycle de vie ou en se reproduisant avant le début de la période de sécheresse. La floraison précoce est notamment considérée comme l'un des mécanismes les plus efficaces d'évasion chez les plantes, selon (González-Barrios *et al.*, 2018).

2.2. Tolérance

L'aptitude à la tolérance En ce qui la concerne, elle engage des processus comme la diminution de la surface des feuilles et le freinage du développement de nouvelles feuilles. La production de trichomes, qui aide à abaisser la température des feuilles en augmentant leur capacité réfléchissante, contribue aussi à minimiser la perte d'eau par transpiration foliaire, comme l'ont montré (Srivastava *et al.* (2021). Cependant, il est amplement certain que les changements dans le système racinaire, particulièrement en termes de taille, densité, longueur, prolifération et taux de croissance, représentent la principale stratégie des plantes tolérantes au stress hydrique, comme le soulignent Petrópolis, Fernandes *et al.* (2020).

2.3. Évitement

Dans le contexte de la stratégie d'évitement, la plante conserve un potentiel hydrique élevé en allégeant les déficits par transpiration stomatique et en renforçant l'absorption d'eau par le système racinaire. Dans certaines situations, la présence de feuilles et de cuticules duveteuses peut aussi aider à conserver un potentiel hydrique élevé dans les tissus des plantes, comme l'a souligné **(Roy, 2017)**.

3. Adaptation phénologique

Consiste pour certaines plantes à accomplir leur cycle de développement avant l'installation du stress hydrique. Cette stratégie permet de maintenir un statut hydrique élevé dans la plante par différents mécanismes, notamment en limitant la transpiration par la fermeture des stomates ou par le phénomène d'enroulement foliaire, comme l'a décrit **(Gauthier, 1996)**.

3.1. Adaptations morphologiques

Cela comprend une simplification de la surface des feuilles et du nombre de tige, ainsi que certaines caractéristiques comme enroulement des feuilles et/ou une amélioration du développement du système racinaire. La taille de plante et l'existence de barbes sont aussi des modifications morphologiques essentielles comme l'on souligné **(Mahamane & Mahamane, 2009)**.

3.2. Adaptation physiologique

Sur le plan physiologique, les plantes adoptent différentes stratégies pour gérer le stress dû à la sécheresse. A titre d'exemple, la régulation stomatique fait référence à l'action par laquelle la plante ferme ses stomates pour prévenir le déficit en eau. Aussi bien le maintien d'un niveau d'humidité élevé dans les feuilles que la présence d'une quantité significative de chlorophylle sont des attributs des plantes qui résistent au stress hydrique. En outre, l'adaptation osmotique, effectuée grâce à la concentration de composés osmo-régulateurs comme la proline, les acides aminés et les sucres solubles, a pour objectif de préserver la turgescence cellulaire et le gradient d'hydratation au sein de la cellule, comme l'on mit en évidence **(Calatayud et al 2013)**.

2^{-ème} Partie : Étude expérimentale

1. But de l'Essai

Le but de cet essai est d'évaluer le comportement de cinq variétés de pois chiche aux deux types d'irrigation à travers l'analyse des paramètres morphologiques (longueur des tiges et des racines, nombre de ramification, la biomasse), physiologiques (la teneur en eau totale, le contenu relatif en eau) et le métabolisme azoté (les protéines totales et la chlorophylle).

1. Matériel et Méthodes

2. Matériel Végétal

Le matériel végétal utilisé est composé de cinq génotypes de pois chiche (**ILC 482, Flip90/13C, CCLS, Lechoso, Ghab 05**) dont les caractéristiques sont énumérées dans le tableau suivant :

Tableau 10 : Origines et caractéristiques de ces génotypes sont recensées (**ICARDA, 2012**).

Nom	Port	Caractéristiques distinctives	Origine
ILC 482	érigé	Date de semis : novembre Période de récolte : juin Période de floraison : mi- saison (mai) Rendement : modéré Tolérance : bonne tolérance à la sécheresse et la salinité du sol. Type Gulabi	ICARDA
FLIP 90/13C	Erigé	Ramification moyenne, hauteur 30 à 40cm, couleur des fleurs blanches, type kabuli, résistantes à l'antracnose et le froid, cycle végétatif tardif.	Syrie
CCLS	Etendu	Date de semis : novembre Période de récolte : juin Période de floraison : mi- saison (mai) Rendement : modéré, type kabuli. Tolérance : bonne tolérance à la sécheresse.	Algérie/ ICARDA
Ghab 05	haut	Grain, moyen rendement élevé, semi-précoce à semi-tardive, type kabuli, sensible à l'antracnose	ICARDA (Syrie)
Lechoso	Dressé à semi érigé	<ul style="list-style-type: none"> • Couleur: Blanc laiteux ou crème. • Forme: Gros grains irréguliers, parfois ridés. • Texture: Fine, onctueuse, ferme. • Saveur: Intense et douce. Aspect: Graines avec des sillons très marqués	Espagne

2.2. Méthode d'Étude

2.2.1. Site de l'essai

L'expérimentation a été menée intégralement sous une serre en verre au sein de l'atelier agricole située à Mazagran à 5 Km environ de la ville de Mostaganem, dont les facteurs température, humidité, et le vent sont bien contrôlés.



Figure 12 : Site d'expérimentation (serre de Mazagran / Université de Mostaganem).



Figure 13 : Positionnement géographique de la serre de pratique dans la ferme de Mazagran (Google Maps, 2025).

2.2.2. Substrat de culture

Dans notre dispositif expérimental nous avons envisagés un substrat de culture qui est composé d'un mélange 50% de terreau (acheté dans le commerce) et 50% de sable de mer (lavé et rincé plusieurs fois avec l'acide chlorhydrique et l'eau de Javel). Après séchage, le substrat a été rempli directement dans des gobelets en plastiques pour la germination des graines.



Figure 14 : Substrat de culture composé de 100% de terreau

Deux semaines, les plantules ont été transplantées dans des sachets en plastiques de 1 kilo.



Figure 15 : Terreau et sable utilisé (Originale, 2025)

2.2.3. Calcul de la dose d'irrigation

Pour déterminer la dose d'irrigation, on doit d'abord calculer la capacité au champ de notre substrat. Pour cela, trois échantillons ont été prélevés, séchés à l'air libre. Chaque échantillon a été placé dans un pot perforé à la base, avec un poids sec (PS) de 100g. Les pots ont ensuite été saturés en ajoutant de l'eau jusqu'à ce que celle-ci commence à s'écouler par l'orifice situé au fond des pots, assurant ainsi la saturation complète du sol. Après la saturation, les pots ont été laissés à l'égouttage pendant 24 heures à température ambiante, afin de permettre l'évacuation de l'eau gravitaire. A l'issue de cette période, les pots ont été de nouveau pesés pour déterminer la quantité d'eau retenue par le sol (poids frais), correspondant à l'eau à la capacité au champ. Les résultats obtenus sont les suivants :

Pot 1: 132ml

Pot 2: 133ml

Pot 3: 134 ml

Moyenne : 133ml

La moyenne de la capacité au champ est donc de :

$$X = \frac{132+133+134}{3} = 133 \text{ ml}$$

La teneur en eau (TE) à la capacité au champ a été calculée selon la formule suivante :

$$TE = \frac{Pf - Ps}{Pf} \times 100$$

$$TE = \frac{133-100}{133} \times 100$$

$$TE = 24,81\%$$

Pour une poche de 1000 g de substrat, la dose d'irrigation est :

$$Hcc = TE \times 10 \rightarrow Hcc = 24,81 \times 10 = 248,1$$

- La dose d'irrigation (pour le témoin) est calculée d'une manière suivante :

- ❖ 30 % (Durant le stade développement végétatif) $\rightarrow \frac{24,81 \times 30}{100} = 7,443 \text{ml}$ pour 100 g

de substrat, pour un pot de 1000g la dose d'irrigation est : $7,443 \times 10 = 74,43 \text{ml}$

- ❖ Après le début de la floraison on augmente la dose à 60% de la Hcc $\rightarrow \frac{24,81 \times 60}{100} =$

14,886ml sur une base de 100g de substrat, pour un pot de 1000g la quantité d'eau à appliquer est : $24,81 \times 10$ ce qui donne 248,1ml

- ❖ La dose à 25 % est appliquée pour le stress :

- ❖ Pour un substrat de 1000 g, on obtient $\rightarrow \frac{248,1 \times 25}{100} = 62,02 \text{ml}$

2.3. Expérimentation

2.3.1. Protocole et dispositif expérimental

2.3.2. Semis

Le semis a été réalisé à la main le 28 février 2025 dans des gobelets avec une graine par gobelet pour assurer une bonne germination.



Figure 16 : Semis des graines de pois chiche



Figure 17 : État des plants de pois chiche à 7^{ème} jours des semis.



Figure 18 : Transplantation des plants dans des sachets de 1kg (Originale, 2025)

Après le 15^{ème} jour de germination, les plants de pois chiche ont été transplanté dans des sachets de 1 kg, pour fournir plus d'espace pour la croissance des racines et assurer une bonne nutrition des plantes.

Le repiquage des jeunes plants de pois chiche dans les poches leurs offrent un environnement plus favorable avec plus d'espace et de nutriments, ce qui favorise un développement racinaire sain et une croissance vigoureuse pour une meilleure récolte.

2.3.3. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental adopté est le bloc aléatoire complet (ABC). Il est divisé en trois blocs homogènes c'est-à-dire que l'on admet que le sol a la même constitution physique, chimique, topographique,

Le nombre de pots de notre essai est de 30. Les traitements sont :

Traitements : T (témoin à 100% de Hcc) ; S (stressé à 25% de Hcc)

Variétés : ILC482, Flip90/13C, CCLS, Lechoso et Ghab 05.

Répétitions : 3 blocs (A, B et C)

Tableaux 11 : Dispositif expérimental

BLOC A

V4S	V2S	V5T
V1T	V5S	V3S
V3T	V2T	V4T
V1S		

BLOC B

V5S	V2S	V1S
V3T	V5T	V4S
V3S	V2T	V4T
V1T		

BLOC C

V3S	V2S	V4S
V4T	V1T	V5T
V3T	V5S	V2T
V1S		

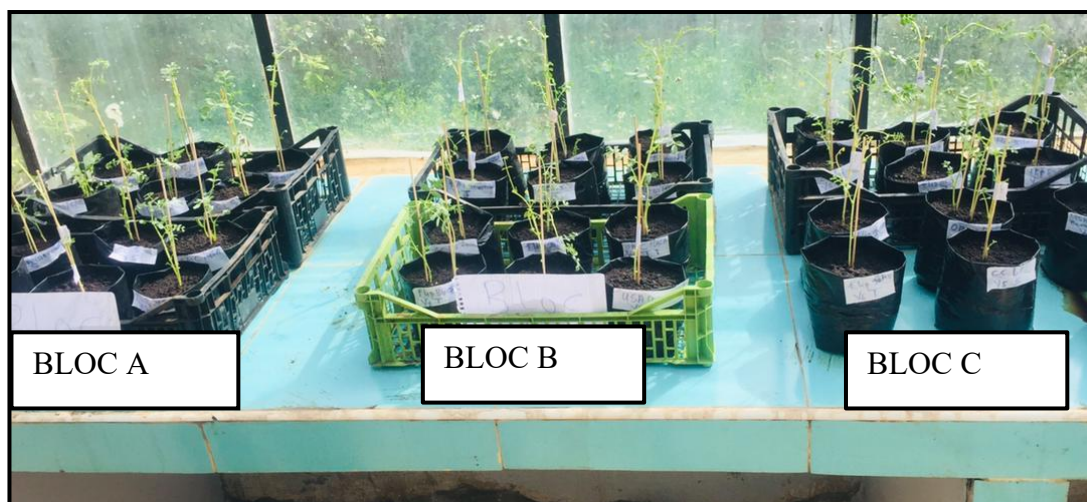


Figure 19 : Dispositif expérimental

2.3.4. Application du stress

Le stress hydrique a été provoqué par la réduction de la dose et de la fréquence d'irrigation, nous continuons le processus d'irrigation des pots trois fois par semaine, au début du stress la dose d'irrigation est 100% de Hcc (248.1 ml) (témoin), le stress hydrique est appliqué avec 25% de Hcc (62,02 ml), deux semaines après, les différents échantillons ont été prélevés pour les différentes analyses.

2.4. Paramètres mesurés

2.4.1. Paramètres morphologiques

2.4.1.1 La longueur des tiges

La hauteur des plantes a été mesurée à l'aide d'une règle graduée pour les différentes variétés au stade formation des gousses, de la base de la plante jusqu'à la fin de la tige d'un échantillon de trois plants au hasard pour chaque répétition de chaque variété.

2.4.1.2 La longueur de la racine

La longueur des racines a été mesurée à l'aide d'une règle graduée pour une plante prélevée de chaque répétition de chaque variété.

2.4.1.3 Nombre de ramifications racinaires

Le nombre de ramifications racinaires (NRR) par plante pour les différentes variétés a été déterminé au stade floraison, de chaque répétition de chaque variété.

2.4.2. Paramètres physiologiques

2.4.2.1. Teneur en eau totale

Nous avons pesé les différents organes à savoir (tiges et racines) pour obtenir leur poids frais (PF). Ensuite, ils ont été placés dans une étuve à 100°C pendant 24 heures. Après ce processus, nous avons pesé à nouveau ces échantillons pour identifier leurs poids sec (PS). L'évaluation du teneur en eau se fait à l'aide de la formule ci-dessous :

$$\text{Teneur en eau totale (\%)} = \frac{PF-PS}{PF} \times 100$$

a) Matière sèche : À la fin de l'expérience le poids sec des organes feuille et racine sont calculés. Poids sec des feuilles (PS) et le poids sec des racines (PRS).

La matière sèche (MS%)

$$\text{MS \%} = \frac{\text{Poids sec}}{\text{Poids frais}} \times 100$$

b) Ratio racine/tige

Le rapport (MSR/MST) est calculé sur la base du rapport de la masse sèche de la racine et la masse sèche de la tige.

2.4.1. Paramètres biochimiques

2.4.1.1. Teneur en chlorophylle



Figure 20 : Échantillons de 5 variétés pesées (Laboratoire Oran, 2025)

Prendre 0.2 g de la partie médiane des feuilles vertes (matière fraîche) sont découpées en petit morceaux. Ces derniers sont broyés à l'aide d'un pilon et mortier. Ensuite sont misent dans des tubes à essais qui contiennent 10 ml d'un mélange d'éthanol et d'acétone (80% éthanol et 20% acétone) (Pompelli *et al.*, 2012).

Pour l'éthanol et l'acétone on se procède de manière suivante :



Figure 21 : Morceaux des feuilles vertes broyées

Si 80% d'éthanol → 100ml alors combien d'éthanol faut-il pour 240ml de mélange ce qui nous donnent $x = \frac{80 \times 240}{100} = 192\text{ml}$ pareil pour l'acétone $x = \frac{20 \times 240}{100} = 48\text{ml}$



Figure 22 : (A) Mélange d'éthanol et d'acétone sans l'ajout de matière végétale
(B) mélange d'éthanol et d'acétone avec ajout de feuilles broyées.

Après l'extraction, les échantillons ont été transférés dans des cuves spectrophotomètre à l'aide d'une micropipette pour la lecture photométrique.



Figure 23 : Transfert des échantillons dans les cuves pour spectrophotomètre

Ces derniers ont été soigneusement nettoyées à l'éthanol, spécialement sur leurs parois extérieures, afin d'assurer une transparence optimale et d'éviter toute interférence lors de la lecture (**DO**). Pour ce qui est de spectre d'absorption, les mesures sont faites avec les DO suivantes comme il a été décrit par **Lichtenthaler, (1987)**.



Figure 24 : Lecture des absorbances à l'aide d'un spectrophotomètre (Photo originale 2025).

• Dosage

Pour chaque échantillon, une petite quantité de solution a été prélevée, puis introduit dans une cuve de spectrophotomètre propre et adaptés. Les cuves ont ensuite été placées dans le spectrophotomètre, réglé à la longueur d'onde utilisée, les concentrations de chlorophylle **a** et **b** sont effectués à l'aide d'un spectrophotomètre a des densités optiques respective de 664et 684 nm et 470nm pour les caroténoïdes.

L'appareil est étalonné avec la solution témoin à base 80% éthanol et 20% acétone, les concentrations de la chlorophylle a et b et les chlorophylles totales sont calculé par :

$$\text{chl a} = (13.36 \times A_{664\text{nm}}) - (5.19 \times A_{684\text{nm}})$$

$$\text{chl b} = (27043 \times A_{648\text{nm}}) - (8.12 \times A_{664\text{nm}})$$

$$\text{Car} = [(1000 \times A_{470}) - (2.13 \text{chl} \langle a \rangle) - (97.64 \text{chl} \langle b \rangle)] / 209$$

La **teneur en chlorophylle totale** est déduite de la somme des **chlorophylles a et b**. Après la lecture avec le spectrophotomètre, les résultats seront résolus avec ces équations qui nous donnent les teneurs de la chlorophylle <a>et et les pigments caroténoïdes en µg/mg.

2.4.1.2. Teneurs en protéines totales

Dosage des protéines par méthodes de Bradford

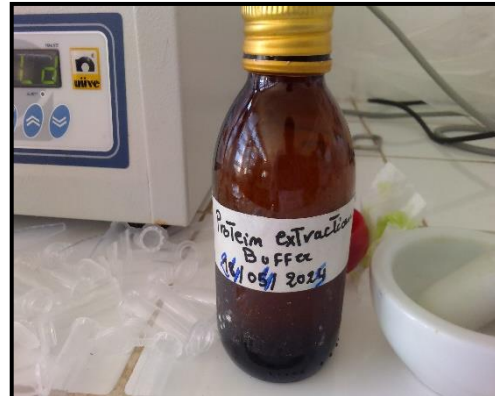


Figure 25 : Matière végétales et tampon d'extraction

Le dosage des protéines a été réalisé au laboratoire d'Oran selon la méthode de Bradford. Pour chaque échantillon, 0,5g de matière verte provenant de cinq variétés de pois chiche ont été pesés, chaque échantillon a été homogénéisé dans 1000 microlitres de tampon d'extraction mélangant un peu de sable pour bien écraser les matières végétales, à l'aide d'un broyeur (mortier et pilon).



Figure 26 : Traitement des échantillons au bain mari pour l'extraction des protéines

Le mélange obtenu a été placé au bain-marie pendant 5 minutes à 60°C, puis transférés au réfrigérateur pendant 20 minutes pour permettre une extraction à froid. Ces principes ont été répété pour les trois blocs expérimentaux (A, B, C).



Figure 27 : Mélange de réactif de Bradford et de surnageant

Après l'extraction, les échantillons ont été centrifugés et le surnageant a été récupéré. Pour le dosage, 100ul de surnageant ont été mélangés avec 1900ul de réactif de **Bradford** dans des cuves spectrophotométriques.



Figure 28 : Agitation du mélange de réactif de Bradford+surnageant

Les cuvettes spectrophotométriques ont été recouvertes de bloc de polystyrène expansé pour protéger la solution de la lumière, puis agitées pendant 15 minutes à température ambiante. Enfin, les mesures de l'absorbance ont été réalisées à une longueur d'onde de 595nm.

Courbe d'étalonnage

La courbe d'étalonnage est une étape cruciale de la méthode de Bradford pour quantifier la concentration en protéines. Elle permet de faire correspondre l'absorbance mesurée (à 595nm) à une concentration en protéines. Voici les étapes détaillées pour établir une courbe d'étalonnage précise :

Étape pour établir une courbe d'étalonnage

Préparation des solutions standards de protéines

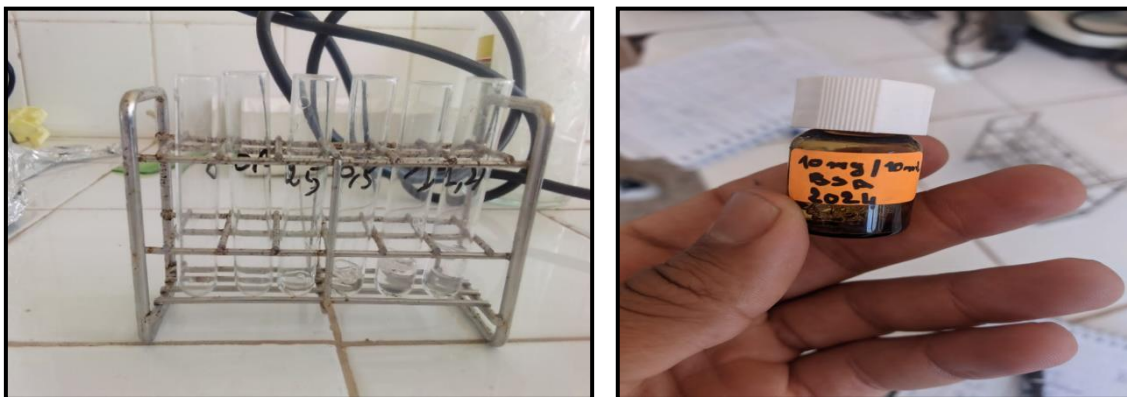


Figure 29 : Préparation de la solution standard de protéines à base de l'albumine sérum bovine

Pour réaliser la courbe d'étalonnage, en premier temps, six tubes à essai ont été préparés et numérotés en fonction des concentrations croissantes de la solution, les concentrations choisies étaient les suivantes : **0, 0.1, 0.25, 0.5, 1 et 1.4**

Nous avons utilisé une protéine de référence (BSA), l'albumine de sérum bovin, car elle est stable et couramment utilisée pour ce type de dosage (**mg/ml**).

Tableau 12 : Quantité de BSA ajoutée suivant la concentration de BSA dans la solution

Concentration de sérum albumine bovine (SAB)	Volume ajouté de SAB
0	Pas d'ajout de SAB
0,1	Pas d'ajout de SAB
0,25	250 μ L
0,5	500 μ L
1	1000 μ L
1,4	1000 μ L+400 μ L

Après avoir procédé à l'addition des volumes adéquats de solution de sérum albumine bovine (SAB), un appoint en eau distillée a été accompli afin d'obtenir un volume final constant pour toutes les conditions expérimentales. Voici le tableau avec les différents volumes de l'eau distillée ajouté.

Tableau 13 : Volume d'eau distillée ajouté en complément de la solution de BSA

Concentration de sérum albumine bovine (SAB)	Volume d'eau distillée
0	2ml
0,1	0,1 ml
0,25	1ml+ 7,5ml
0,5	1,5ml
1	1ml
1,4	0,6ml

Ajout de réactif de Bradford

Après avoir ajustées les concentrations par addition d'eau distillée nous avons entamer l'étape suivante qui est l'ajout du réactif de Bradford. Chacun des tubes, 3 ml de solution de Bradford ont été ajoutés. Les tubes ont été agités sur le vortex puis incubés 15 minutes à l'obscurité, pendant cette période le colorant va se lier aux protéines, changeant de couleur en fonction de la quantité de protéine présentes, comme vous pouvez voir sur la photo ci-dessous.



Figure 30 : Agitation des échantillons sur le Vortex

Mesure de l'absorbance

Après l'incubation des tubes nous avons mesurer les l'absorbance de chaque solution à 595nm avec un spectrophotomètre Une cuve de référence remplie d'eau distillée a été utilisée pour calibrer le spectrophotomètre. Les absorbances de densité optique (DO à 595 nm) des tubes standards ont été mesurées dans l'ordre : **0, 0.1, 0.25, 0.5, 1, 1.4**. Chaque mesure a été reprise 3 fois, pour garantir la fiabilité.

La courbe d'étalonnage

Premièrement on sélectionne les valeurs dans Excel. Ensuite, on clique sur l'onglet insertion, puis sur nuage ce qui va nous donner des courbes avec des points. Ensuite on entre dans l'onglet disposition, on clique sur quadrillage, un tableau va s'afficher à droite puis on défile jusqu'à quadrillage principal et secondaire. Ensuite on entre dans l'onglet courbe de tendance, on clique sur la courbe de tendance linéaire ce qui va nous donner une droite linéaire, toujours dans le même onglet, cette fois-ci on clique sur autres options de courbe linéaire, un tableau va s'afficher, on fait clique sur afficher l'équation sur le graphe, dans notre cas, l'équation obtenu est la suivante :

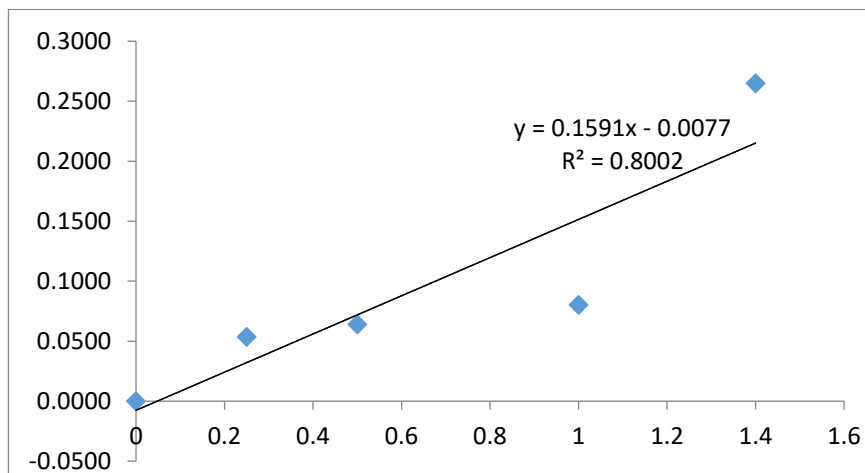


Figure 31 : Courbe d'étalonnage (SAB)

$$Y = 0,1591x - 0,0077$$

NB : y est la DO et x la concentration en $\mu\text{g}/\mu\text{L}$)

Exploitation

Pour calculer la concentration en protéines des échantillons des pois chiches, on utilise la formule dérivée de l'équation :

$$[X] = \frac{Y + 0,0077}{0,1591}$$

Les DO des extraits protéiques mesurés pourront être intégrés dans cette formule pour obtenir leurs concentrations. Pour construire la courbe on se réfère aux données utilisées précédemment, tel que le poids de matière fraîche qui était de **0,5g** avec un volume de 1000microlitre de tampon d'extraction. On va donc multiplier la concentration par le volume (en ml) et diviser par **500mg** selon la formule suivante :

$$\text{Quantité de protéines} = \frac{\text{concentration (DO)} \times \text{volume (1ml)}}{0,5\text{mg}}$$

3^{ème} Partie : Résultat et discussions

1. Interprétation des résultats

Les résultats obtenus dans cette étude ont montré que le comportement morpho-physiologique de cinq variétés de pois chiche (**ILC, Flip90/13C, CCLS, Lechoso et Ghab**) soumises à un stress hydrique a été différent selon la variété et selon le traitement.

1.1.Morphologie

Des photos ont été prise des plants stressés pour une comparaison visuelle entre les cinq variétés (ILC, Flip90/13C, CCLS, Lechoso et Ghab) et entre les deux traitements (100 et 25 % de Hcc).

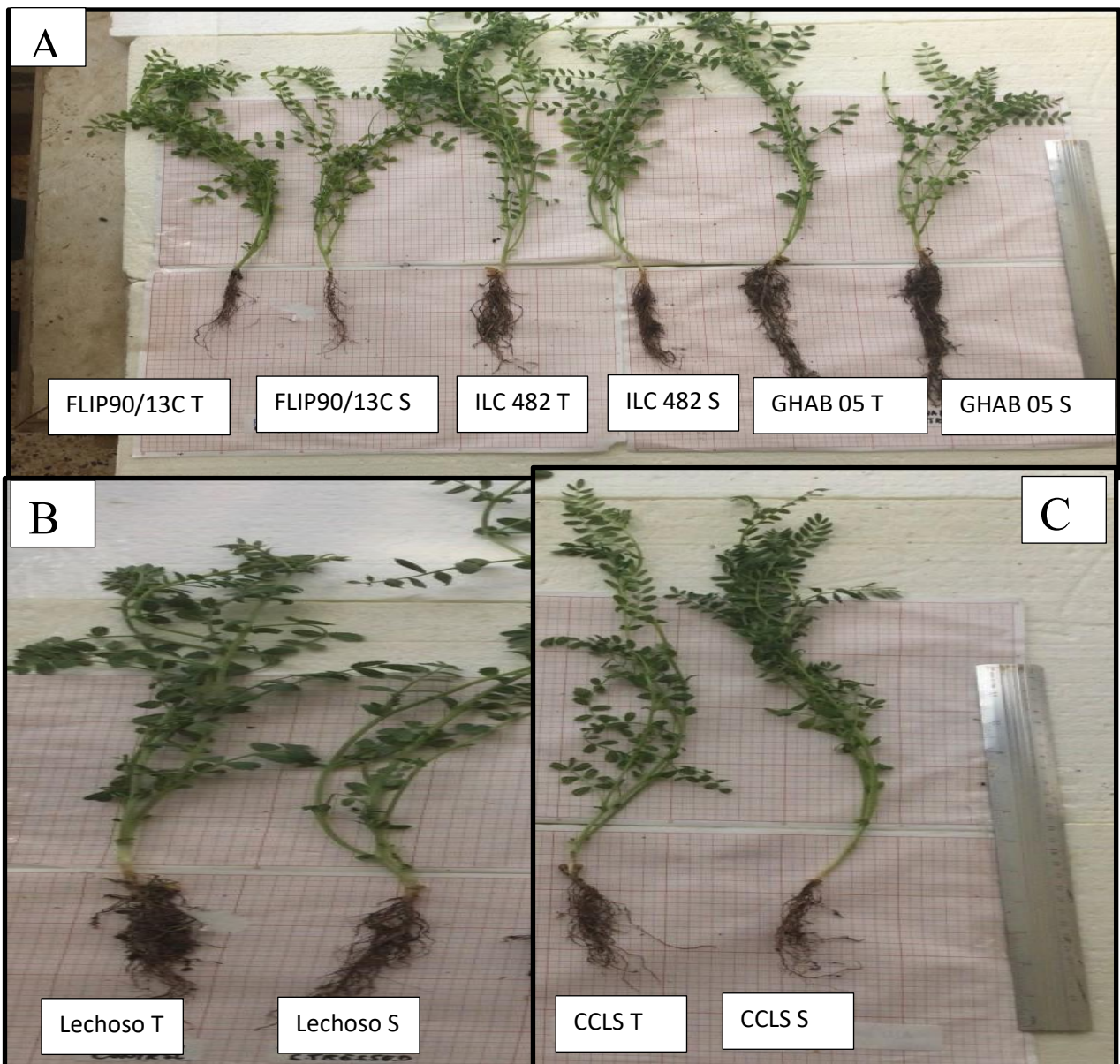


Figure 32. Morphologie de cinq variétés de *Cicer arietinum* L. stressées au manque d'eau.

Les observations des photos de comparaison entre le témoin et le stressé des cinq variétés de *Cicer arietinum* L. (Figure 32), nous avons remarqué clairement des variations morphologiques entre les deux plants de chaque variété testée. La photo (A) a exprimé un système racinaire de la variété Ghab sous stress hydrique s'est bien comporté par rapport aux variétés, cependant, Flip a donné un système racinaire plus faible. La photo (B), le système racinaire a régressé chez le stressé par rapport au témoin pour CCLS, la photo (C) a montré un système racinaire stressé qui n'a pas été amoindri par le manque d'eau.

En général, les observations faites sur les cinq variétés de *Cicer arietinum* L. Les témoins ont montré que les variétés Lechoso et Ghab s'est distinguée des autres variétés avec sa vigueur suivi de ILC et en troisième position les deux autres variétés (Flip90/13C et CCLS).

1.2. Hauteur de la plante (Hp)

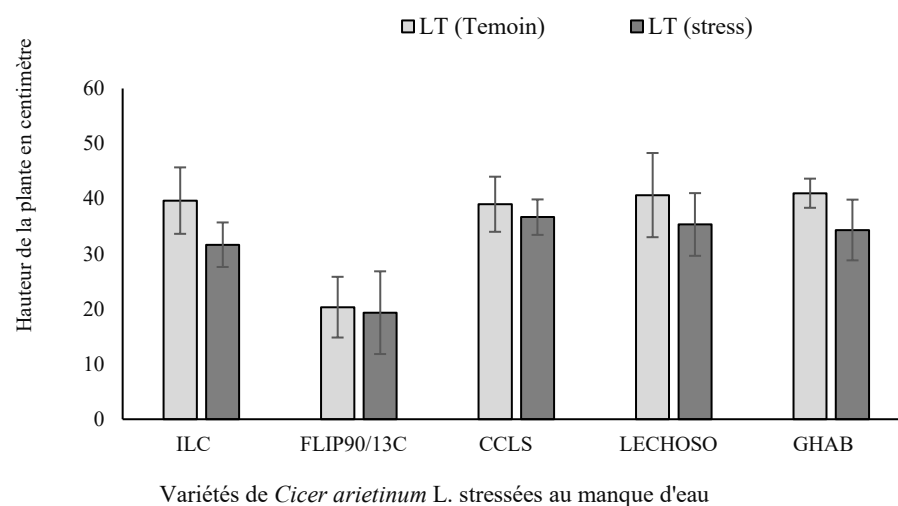


Figure 33 Évolution de la hauteur de la plante (cm) de cinq variétés de *Cicer arietinum* L. stressées au manque d'eau.

La figure 33 a exprimé une variation dans la hauteur de la plante (cm) sous l'effet du stress hydrique pour les cinq variétés de pois chiche testées. Les variétés ILC, CCLS, Lechoso et Ghab ont affiché une similitude de la hauteur de la plante de (39.66 et 31.66 cm), (39 et 36.66 cm), (40.66 et 35.33 cm), (41 et 34.33 cm) respectivement pour le témoin et le stressé. En revanche, la variété FLIP90/13C a montré une hauteur de la plante plus faible par rapport aux autres variétés avec (20.33) chez le témoin et (19.33) chez le stressé. Il faut souligner que la hauteur de la plante a été affectée par le manque d'eau pour les 5 variétés de pois chiche testées.

Une réduction de la hauteur des plantes est observée chez toutes les variétés en conditions de stress hydrique, ce qui reflète une altération du développement de la tige sous l'effet négatif du déficit hydrique.

Tableau 14 : ANOVA à deux facteurs de la hauteur de la plante de cinq variétés de *Cicer arietinum* L. soumises au stress hydrique.

Source des variations	DDL	F	P	Valeur critique pour F
Variétés)	4	28.748	0,003	6,388
Traitements)	1	12.660	0,023	7,708
Erreur	4			
Total	9			

ddl : degrés de liberté

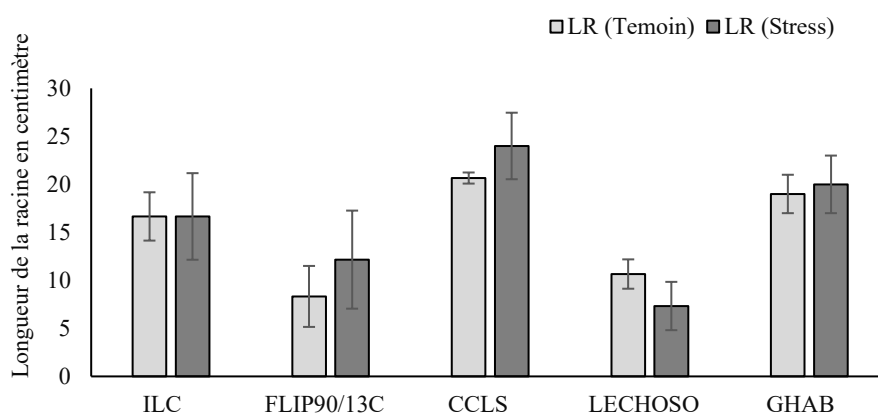
Fobs : Valeur de F Fisher

P : Probabilité

L'étude statistique de la longueur de la hauteur de la plante (à $p=0.05$) a exprimé une différence hautement significative ($p>0.005$) entre les variétés et une différence significative ($p>0.05$) entre les traitements (Tableau 14).

1.3. Longueur de la racine

La **figure 34** a exprimé la longueur de la racine (LR) qui évolue sous l'effet du stress, les variétés (FLIP90/30C, CCLS et Ghab) ont montré une augmentation de la longueur racinaire sous stress de (8.33 et 12.16 cm), (20.66 et 24 cm), (19 et 20 cm) respectivement chez le témoin et le stressé. Cependant, la longueur de la racine reste stable chez la variété (ILC) avec (16.66 cm) chez le témoin et le stressé. Quant à la variété (Lechoso), il a été constaté une réduction de la longueur racinaire sous stress avec (10.66) pour le témoin et (7.33 cm) pour le stressé. Cette diminution reflète une forte sensibilité au stress hydrique.



Variétés de *Cicer arietinum* L. stressées au manque d'eau

Figure 34. Évolution de la longueur de la racine (cm) de cinq variétés de *Cicer arietinum* L. stressées au manque d'eau.

L'analyse de la variance à deux facteurs a montré une différence significative à $p > 0.05$) entre les variétés et aucune différence significative entre les traitements ($p < 0.05$) (Tableau 15).

Tableau 15 : Résultats de l'analyse de la variance pour la longueur des racines.

Source des variations	DDL	F	P	Valeur critique pour F
Lignes (variétés)	4	16,120	0,009	6,388
Colonnes(dispositif)	1	0,563	0,494	7,708
Erreur	4			
Total	9			

ddl : degrés de liberté

Fobs : Valeur de F Fisher

P : Probabilité

2. Nombre de ramifications racinaires

La **figure 35** a montré que les variétés FLIP90/13C et Lechosso et ILC ont enregistré les valeurs les plus élevées par rapport aux autres variétés. Elles ont présenté une forte capacité de ramification et elles ont maintenus leur croissance malgré l'effet du stress hydrique, cependant, les variétés Ghab et ILC ont vu une augmentation du nombre de ramifications racinaire chez les plants exposés au stress hydrique qui ont enregistré un NRR de (7 et 9) chez le témoin contre (9.66 et 10.33) chez le stressé.

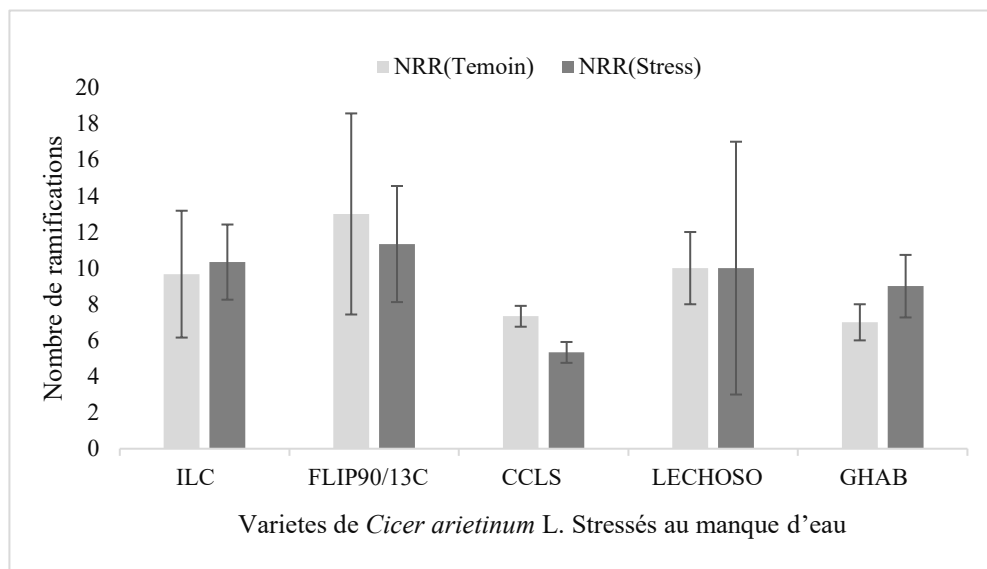


Figure 35. Nombre de ramifications racinaires (NRR) de cinq variétés de *Cicer arietinum* L. stressées au manque d'eau.

Tableau 16. ANOVA à deux facteurs du nombre de ramifications racinaires (NRR) de cinq variétés de *Cicer arietinum* L. stressées au manque d'eau.

Source des variations	SCE	DDL	CM	F	P	Valeur critique pour F
Lignes	23,433	4	5,858	1,053	0,480	6,388
Traitements	0,1	1	0,1	0,017	0,899	7,708
Erreur	22,233	4	5,558			
Total	45,766	9				

ddl : degrés de liberté

Fobs : Valeur de F Fisher

P : Probabilité

SRS : Stress hydrique stimulé

Les deux facteurs (variétés ni traitements) n'ont un effet significatif sur le paramètres mesuré le nombre de ramification de racine. Cela suggère que dans les conditions de l'essai, le stress hydrique n'a pas affecté significativement le développement des ramifications racinaires, et que les différences ont montré une réponse morphologique similaire face à ce facteur.

3. Bilan hydrique

3.1. Teneur en eau totale

La teneur en eau totale des plantes a montré des différences entre les variétés et entre les traitements hydriques. Le stress hydrique a entraîné une augmentation de la teneur en eau chez les variétés CCLS, traduisant une très bonne stratégie de rétention hydrique. ILC et FLIP90/13C ont montré une stabilité exemplaire, suggérant une tolérance passive au stress. La variété Ghab a présenté une diminution modérée. Elle a montré une sensibilité au stress, mais moins marquée que Lechoso.

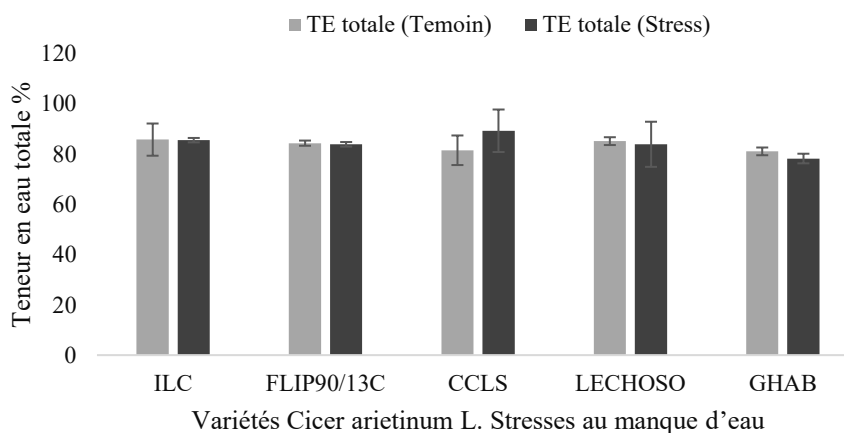


Figure 36. Teneur en eau totale de la plante (%) de cinq variétés de *Cicer arietinum* L. stressées au manque d'eau.

Tableau 17. ANOVA à deux facteurs de la teneur en eau totale de cinq variétés de *Cicer arietinum* L. stressées au manque d'eau.

Source de variations	ddl	F	P	Valeur critique pour F
Variétés	4	3,88	0,1024	6,388
Colonnes	1	0,0065	0,93	7,708
Erreur	4			
Total	9			

ddl :degrés de liberté

SCE : Somme des carrés des écarts

CM : Carré moyen

Fobs : Valeur de F Fisher

P : Probabilité

Les résultats obtenus dans le tableau 4 ont indiqué que l'effet variétal n'est pas significatif ($P>0.05$) De même l'effet des traitements s'est révélé non significatif ($F= 0,1024$; $P=0,764$) avec une valeur critique de F égale à 7,708.

3.2. Ratio R : T

La figure 37 a affiché un rapport entre la matière sèche de la racine (MSR) sur la matière sèche de la partie aérienne (MSA) a exprimé une variation dans ce rapport u rapport entre les cinq variétés testées puisque les résultats enregistrés chez les variétés ILC, FLIP90/13C, CCLS, Lechoso, Ghab de (0.40, 0.26, 0.51, 0.28 et 0.99) par le témoin. La comparaison variétale a donné un rapport important avec (1.15) chez Ghab. La variété Lechoso a classé 2^{ème} avec (1.05), puis CCLS (0.51), FLIP90/13C (0.38) et enfin ILC occupe la dernière place avec un rapport de (0.32).

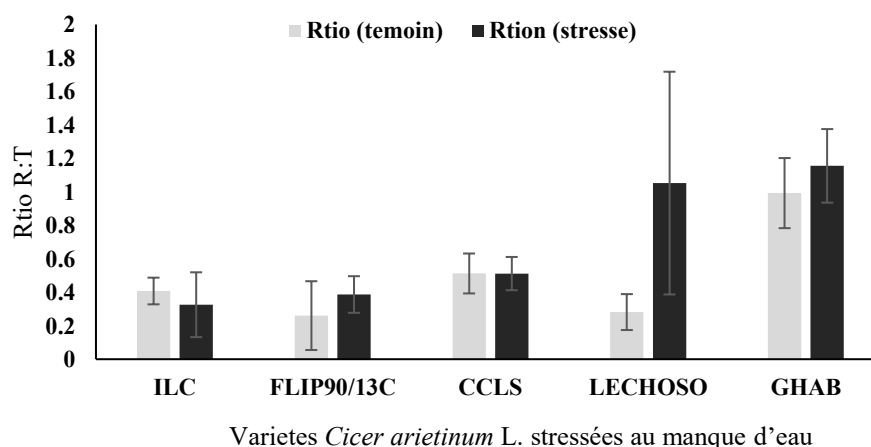


Figure 37. Ratio R : T de cinq variétés de *Cicer arietinum* L. stressées au manque d'eau.

Tableau 18. ANOVA de deux facteurs du ratio MSR/MSA de cinq variétés de *Cicer arietinum L.* stressées au manque d'eau.

Source des variations	ddl	Fobs	P	Valeur critique pour F
Lignes	4	3,246	0,140	6,388
Colonnes	1	1,687	0,263	7,708
Erreur	4			
Total	9			

ddl : degrés de liberté

SCE : Somme des carrés des écarts

CM : Carré moyen

Fobs : Valeur de F Fisher

P : Probabilité

$\alpha = 0,05$

L'analyse de la variance à deux facteurs a exprimé que l'effet variétal n'est pas significatif puisque Résultat des variétés puisque la probabilité = 0,14 > 0,05. De même, l'effet traitements a affiché une probabilité (p=0,263) qui a été supérieure à $\alpha = 0,05$ donc on peut conclure que le stress hydrique ou le traitement témoin n'a pas eu d'effet significatif sur le ratio poids sec de la racine sur le poids sec de la tige (Tableau 18).

4. Métabolisme azoté

4.1. Teneur en chlorophylle

4.1.1. Chlorophylle a

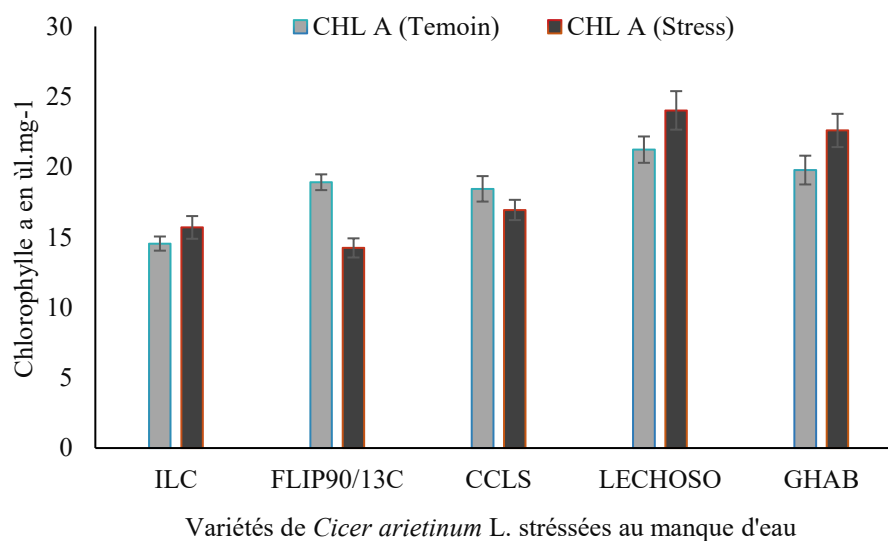


Figure 38. Variation de la teneur en chlorophylle (a) chez les différents génotypes de *Cicer arietinum L.* stressés au manque d'eau.

La figure 38 a exprimé une variation chez les différentes variétés de pois chiche testées au manque d'eau, ainsi, les deux variétés Lechoso, Ghab et ILC ont montré une augmentation de la Chl(a) sous stress hydrique par rapport aux deux autres variétés (Flip et CCLS). Le génotype CCLS a conservé une teneur élevée chez le témoin bien supérieure aux plants stressés. ILC a présenté une réponse physiologique singulière, caractérisée par une légère augmentation de la chlorophylle a chez les plants stressés par rapport au témoin. Chez les plants stressés par rapport au témoin, en revanche, En revanche, FLIP90/13C a présenté une diminution significative de la chlorophylle a, traduisant une altération du système photosynthétique sous stress hydrique.

Tableau 19 : ANOVA de deux facteurs de chlorophylle a de cinq variétés de *Cicer arietinum L.* stressées au manque d'eau. Analyse de variance de chlorophylle a.

Source des variations	ddl	F	P	Valeur critique pour F
Variétés	4	1,389	0,378	6,388
Colonnes	1	0,102	0,764	7,708
Erreur	4			
Total	9			

ddl : degrés de liberté

SCE : Somme des carrés des écarts

CM : Carré moyen

Fobs : Valeur de F Fisher

P : Probabilité

Les conclusions statistiques dans le tableau 19 n'ont donné aucune différence significative (P= 0378). De même, l'effet des traitements n'a présenté aucune différence significative (P=0,764), la valeur de F observée restant largement inférieur à la valeur critique fixée à 7,708.

4.1.2. Chlorophylle b

C'est un pigment complémentaire à la chlorophylle a, important pour l'absorption de lumière et le transfert d'énergie dans le photosystème. Sa variation permet d'évaluer l'impact du stress sur le complexe photosynthétique.

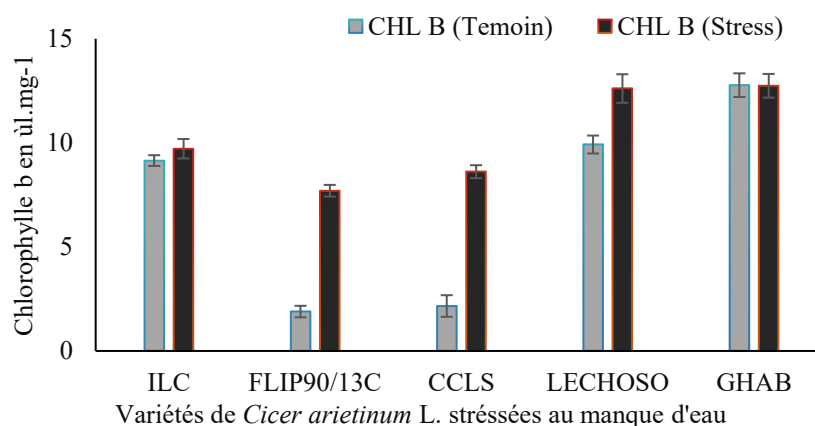


Figure 39. Variation de la teneur en chlorophylle (b) chez les différents génotypes de *Cicer arietinum* L. stressés au manque d'eau.

La **figure 39** a exprimé un effet du stress hydrique sur le contenu de chlorophylles b dans les folioles des différents génotypes de pois chiche. Ainsi, le génotype FLIP90/13C stressé a enregistré une teneur en chlorophylles de (1.89 et 7.69 µg/mg), le génotype CCLS de (2.15 et 8.61 µg/mg), Lechoso (9.91 et 12.61 µg/mg) et ILC (9.14 et 9.71 µg/mg) respectivement par le témoin et le stressé. En revanche, le génotype Ghab a maintenu la teneur en Chl. b entre le témoin et le stressé (12.77 et 12.74 µg/mg).

Tableau 20. ANOVA de deux facteurs de chlorophylle b de cinq variétés de *Cicer arietinum* L. stressées au manque d'eau.

Source des variations	ddl	F	P	Valeur critique pour F
Variétés	4	5,697	0,060	6,388
Colonnes	1	5,493	0,079	7,708
Erreur	4			
Total	9			

ddl : degrés de liberté

SCE : Somme des carrés des écarts

CM : Carré moyen

Fobs : Valeur de F Fisher

P : Probabilité

L'effet des variétés et des traitements hydriques sur la teneur en chlorophylle (**b**) n'est pas statistiquement significatif au seuil de 5%, mais les résultats montrent une tendance proche de la significativité, suggérant une possible influence des facteurs étudiés sur ce paramètre physiologique.

4.1.3. Caroténoïdes

Pour ce paramètre, la **figure 40** a affiché des valeurs très variées en caroténoïdes. Les variétés FLIP90/13C, CCLS ont montré une teneur élevée et stable en caroténoïdes, ILC, Lechoso et Ghab

ont des teneurs nettement plus faibles, avec une légère diminution sous stress, ce qui peut être le signe d'une sensibilité plus marquée.

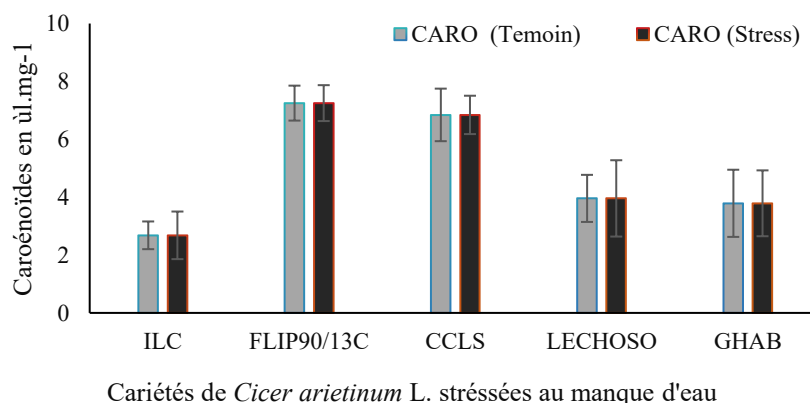


Figure 40. Variation de la teneur en caroténoïdes chez les différentes variétés de *Cicer arietinum* L. stressées au manque d'eau.

4.2. Teneur en protéines totales solubles

La teneur en protéines des variétés de pois chiche étudiées a été donnée par la **figure 41**. Il ressort de ce diagramme qu'une forte augmentation chez les variétés Lechoso et CCLS ont marqué une forte augmentation de protéines dans les feuilles avec une moyenne de (1.92 et 7.05 mg/MF) et (1 et 5.26 mg/MF) respectivement pour le témoin et le stressé. Cependant, Ghab a aussi enregistré une augmentation sous stress de (4.21 mg/MF) par rapport au témoin (3.52 mg/MF). À l'inverse, le stress a affecté la teneur en protéines des variétés ILC et FLIP90/13C qui ont subi une forte dégradation avec une moyenne chez les plants stressés de (8.12 et 8,05 mg/MF) contre (5.98 et 3,43mg/MF) par le témoin.

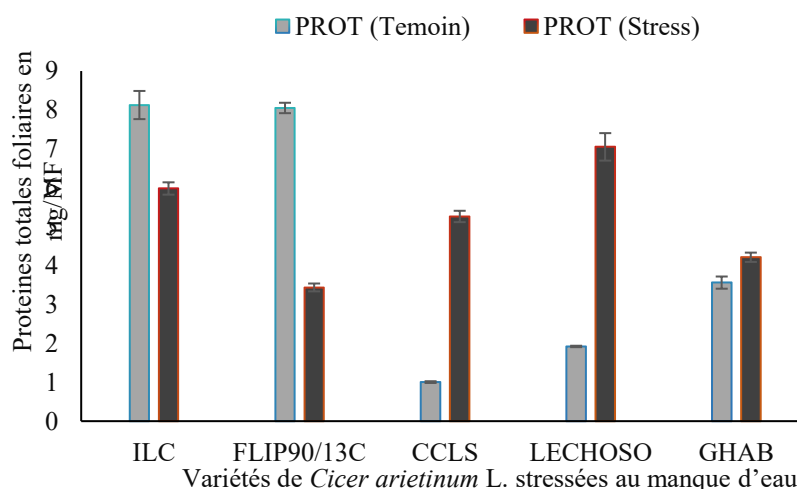


Figure 41. Variation de la concentration des protéines chez les différents génotypes de *Cicer arietinum* L. stressés au manque d'eau.

Tableau 21. ANOVA à deux facteurs de la teneur en protéines totales de cinq variétés de *Cicer arietinum* L. stressées au manque d'eau.

Source des variations	ddl	F	P	Valeur critique pour F
Variétés	4	0,563	0,703	6,388
Colonnes	1	0,125	0,741	7,708
Erreur	4			
Total	9			

L'étude statistique du comportement variétal des différentes variétés de *Cicer arietinum* L. n'a exprimé aucun effet significatif au seuil de 5%. Cela signifie qu'il n'y a pas de différence notable entre les variétés analysées en ce qui concerne la teneur en protéines (P-value= **0.741** > **0.05**). L'effet des traitements n'a donné aucun effet significatif (Tableau 21).

Discussion

Les observations morphologiques ont révélé une variation significative entre les différentes variétés de pois chiche (*Cicer arietinum L.*) soumises au stress hydrique, traduisant ainsi des niveaux différenciés de tolérance à la sécheresse. Selon la littérature, les légumineuses tolérantes à la sécheresse se caractérisent généralement par un système racinaire plus développé et un rapport racine/tige accru, favorisant une meilleure absorption de l'eau et le maintien de la croissance en conditions limitantes.

(Nadeem *et al.*, 2019).

Les photos de comparaison entre le témoin et le stressé des cinq variétés de *Cicer arietinum L.* ont clairement donné des variations morphologiques pour chaque variété testée, ainsi, chez la variété Flip90/13C le stress a affecté la partie aérienne et racinaire par rapport au témoin, Cependant, la variété (Flip90/13C) a été affecté par le stress. Les variétés CCLS et Lechoso ont présenté une ressemblance entre les deux plants au niveau partie aérienne, mais une différence nette dans la partie racinaire, où le plant témoin est bien supérieure au stressé, et une légère différence pour la variété ILC.

Cependant, chez la variété Ghab, le plant stressé a montré une nette supérieure au plant témoin (partie aérienne et racinaire). Ces résultats ont confirmé que le stress hydrique impacte négativement la croissance en hauteur des plants de pois chiche, avec une intensité variable selon la variété. La croissance en hauteur est souvent utilisée comme indicateur indirect de la vigueur végétative et de la capacité de la plante à maintenir ses processus physiologiques sous conditions stressantes.

Les variétés comme CCLS, Lechoso et Ghab, qui conservent une hauteur proche de celle observée en conditions témoins, pourraient être considérées comme plus tolérantes au stress hydrique. À l'inverse, FLIP90/13C et ILC, qui ont montré une diminution plus prononcée de la hauteur, semblent moins adaptées aux environnements secs. Selon la littérature, cette tolérance peut être liée à des adaptations morfo-physiologiques telles que le développement d'un système racinaire profond, une efficacité accrue de l'usage de l'eau, ou encore des mécanismes de régulation hormonale qui limitent la perte d'eau tout en maintenant une croissance minimale.

Selon Siddique *et al.* (2020) les variétés qui ont des tiges plus longues peuvent être un indicateur de robustesse et de meilleure capacité de photosynthèse sous stress. Cela indique une réponse adaptative visant une exploration racinaire plus profonde, traduisant une tolérance relative au stress hydrique. L'augmentation de la longueur racinaire observée chez CCLS, et dans une moindre mesure chez FLIP90/13C, traduit une réponse adaptative positive au déficit hydrique. Ces variétés semblent développer des racines plus longues pour compenser le manque d'eau en surface. ILC et GHAB, avec des longueurs racinaires relativement stables, pourraient posséder une stratégie

de tolérance passive, maintenant leur architecture racinaire sans grand ajustement morphologique. LECHOSO, en revanche, montre une réduction significative de la longueur racinaire sous stress, ce qui limite sa capacité à puiser l'eau et peut expliquer une moins bonne adaptation à la sécheresse. Des travaux récemment ont souligné que les racines profondes et bien développées sont cruciales pour l'accès à l'eau souterraine, un facteur essentiel dans la tolérance à la sécheresse (**Basu et al., 2019**).

Les variétés Ghab et ILC ont adopté une stratégie compensatoire face au stress, en augmentant le nombre de ramifications. Par contre, les deux variétés CCLS et Lechoso ont présenté un nombre faible et stable de ramifications. Dans nos conditions d'expérimentation, le stress hydrique n'a pas affecté significativement le développement des ramifications racinaires, et que les différences ont montré une réponse morphologique similaire face à ce facteur.

La teneur en eau totale est un indicateur important du statut hydrique de la plante et de sa capacité à retenir l'eau en conditions de déficit hydrique. Une plante capable de conserver une teneur élevée en eau sous stress est généralement mieux adaptée à la sécheresse. La stabilité de la teneur en eau chez la majorité des variétés suggère des mécanismes d'adaptation ou de régulation (fermeture stomatique, réduction de la transpiration, ajustement osmotique). La variété CCLS, en particulier, semble activer des mécanismes efficaces de rétention d'eau, ce qui corrobore ses bonnes performances observées dans les autres paramètres (hauteur de plante, longueur racinaire). Les légères baisses chez ILC, Lechoso, Ghab) pourraient indiquer une moindre efficacité physiologique en réponse au stress, mais l'ampleur de la réduction reste faible. Enfin, la valeur élevée de la TE même en condition de stress a confirmé que le manque d'eau est modéré, et/ou que ces variétés disposent d'une certaine résilience hydrique de base.

La capacité à conserver de l'eau dans est cruciale pour maintenir la photosynthèse, la turgescence des tissus et la croissance en général. Sous stress hydrique, une teneur élevée en eau signifie une meilleure résistance au flétrissement et une persistance des fonctions métaboliques. Les stratégies varient : certaines variétés misent sur l'absorption racinaire renforcée, d'autres sur la réduction des pertes hydriques (transpiration, croissance ralentie, cuticule plus épaisse, etc.) Autrement dit le stress hydrique appliquée n'a pas eu d'influence notable sur les teneurs en eau des parties aérienne et racinaire et la réponse hydrique semble homogène entre les différentes variétés évaluées dans les conditions de l'essai.

Le calcul du ratio racine/tige, considéré comme marqueur de tolérance de stress hydrique, il indique un développement racinaire plus important que celui de la partie aérienne, ces résultats montrent qu'il y eu un effet au manque. Des études comme celles de **Ngumbi et Kloepper (2016)**, rapportent que le mécanisme de tolérance au stress hydrique est lié au ratio racine/tige. Les résultats présentés dans le graphique révèlent que les deux variétés (Lechso et Ghab) sont plus tolérantes au

stress hydrique, car leur ratio R : T est nettement plus élevé sous l'effet du stress hydrique comparé aux conditions témoins.

Le maintien (voire l'augmentation) de la Chlorophylle (a) est un indicateur de stabilité de l'appareil photosynthétique, essentiel pour la survie et la croissance. Ainsi, Lechoso, Ghab et ILC ont présenté un potentiel photosynthétique préservé voire amélioré, ce qui en fait de bons candidats pour les programmes de sélection en conditions arides, la diminution du taux de chlorophylles sous stress hydrique a été observé pour les variétés et Flip 90/30C et CCLS en particulier, comme s'est indiqué qu'une réduction de l'activité photosynthétique, probablement due à la dégradation des pigments photosynthétiques sous conditions de stress (Nadeem *et al.*, 2019).

Ces résultats ont indiqué que ni le facteur variétal, ni le stress hydrique appliquée n'ont exercé d'influence significative sur la teneur en chlorophylle (a) des plantes étudiées. Ainsi, dans les conditions expérimentales de l'étude, la concentration en chlorophylle A est restée globalement stable, quel que soit le traitement ou la variété. Les génotypes qui ont maintenus ou augmenté leur Chlorophylle (b) sous stress sont généralement ceux qui ont préservé le plus efficacement leur appareil photosynthétique, suggérant une réaction pigmentaire importante, qui peut traduire soit une adaptation rapide au stress, soit une réponse tardive à un stress sévère,

Les résultats obtenus des caroténoïdes ont suggéré que la stabilité de la teneur en caroténoïdes sous stress hydrique, particulièrement pour les variétés 'FLIP90/13C' et 'CCLS', pourrait être un indicateur de leur capacité à maintenir l'intégrité de leur appareil photosynthétique et à gérer le stress oxydatif, ce qui est un trait souhaitable pour l'amélioration des cultures en régions arides.

Les réponses des génotypes au stress hydrique en termes de concentration protéique sont variées et contrastées, mettant en évidence la diversité génétique des mécanismes de réponse au stress chez le pois chiche. L'augmentation des protéines (CCLS, Lechso, Ghab) sous stress hydrique a été souvent un indicateur de la capacité de la plante à s'adapter et à survivre aux conditions difficiles. Cette augmentation peut être attribuée à la synthèse de protéines spécifiques appelées "protéines de stress" ou "protéines de réponse au stress ou d'inhibition (ILC, FLIP90/13C) de la synthèse des protéines, La forte diminution observée du pourcentage constitue un indicateur probable de dommages cellulaires ou d'une réponse adaptative limitée, confirmant ainsi la sensibilité marquée de ce génotype au stress hydrique

Conclusion Générale

Le pois chiche (*Cicer arietinum L.*) se révèle être une ressource agricole essentielle et multifonctionnelle, non seulement grâce à sa forte valeur productrice, mais aussi pour son importance capitale en matière de durabilité environnementale. Provenant du Moyen-Orient et cultivé depuis des milliers d'années, il demeure une source indispensable de protéines, de fer et de vitamines, contribuant par conséquent à la sécurité alimentaire à l'échelle mondiale. Néanmoins, les obstacles que pose le changement climatique, tels que le stress lié à l'eau, requiert une recherche constante et un progrès soutenu pour améliorer la capacité du pois chiche à résister aux conditions environnementales défavorables.

Cette étude a permis de caractériser les réponses différentielles de cinq variétés de pois chiche face au stress hydrique, révélant des mécanismes d'adaptation variés. Les variétés CCLS, Lechoso et Ghab se sont distinguées par leur capacité à maintenir une croissance équilibrée, un système racinaire développé et une stabilité des paramètres physiologiques sous conditions de stress, témoignant d'une réelle résilience. À l'inverse, ILC 482 et Flip90/13C ont montré une sensibilité accrue, avec des altérations morphologiques et métaboliques marquées. Ces résultats confirment l'importance du ratio racine/tige et des ajustements biochimiques comme marqueurs clés de tolérance à la sécheresse.

Les perspectives de cette recherche sont doubles. D'une part, les variétés performantes identifiées représentent des ressources génétiques précieuses pour l'amélioration culturale en zones arides, où la résistance au stress hydrique devient un critère agronomique majeur. D'autre part, ces travaux ouvrent la voie à des investigations plus poussées sur les bases moléculaires de ces adaptations, ainsi qu'à des tests en conditions réelles de culture. La combinaison de ces approches pourrait significativement contribuer au développement de variétés de pois chiche mieux adaptées aux défis climatiques croissants, tout en enrichissant les connaissances fondamentales sur les mécanismes de résistance des légumineuses à la sécheresse.

Cette étude s'inscrit ainsi dans une démarche à la fois scientifique et appliquée, dont les retombées potentielles intéressent aussi bien la recherche fondamentale que l'agriculture durable des régions vulnérables.

Références bibliographiques

ABDELHAMID, M., & AMINE, T. Mémoire de fin d'études En vue de l'obtention du diplôme de MASTER.

Alajaji, S. A., & El-Adawy, T. A. (2006). Nutritional composition of chickpea (*Cicer arietinum* L.) as affected by microwave cooking and other traditional cooking methods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(8), 806–812.

Allali-Hassani, A., Pan, P. W., Dombrowski, L., Najmanovich, R., Tempel, W., Dong, A., ... & Arrowsmith, C. H. (2007). Structural and chemical profiling of the human cytosolic sulfotransferases. *PLoS biology*, 5(5), e97.

Basu, S., Yudkin, J. S., Kehlenbrink, S., Davies, J. I., Wild, S. H., Lipska, K. J., ... & Beran, D. (2019). Estimation of global insulin use for type 2 diabetes, 2018–30: a microsimulation analysis. *The lancet Diabetes & endocrinology*, 7(1), 25-33.

Baye, Y. (2015). Integrated weed management in pulses: Challenges and opportunities. *Legume Perspectives*, 7, 36–38.

Bouchabké, O., Tardieu, F., & Simonneau, T. (2006). Leaf growth and turgor in growing cells of maize (*Zea mays* L.) respond to evaporative demand under moderate irrigation but not in water-saturated soil. *Plant, Cell & Environment*, 29(6), 1138-1148.

Boukraa Betteyeb, M., Lahcen, O., & Abdellaoui, H. (2023). Impact des techniques culturales simplifiées sur le stress hydrique des céréales (Doctoral dissertation).

Brink, M., & Belay, G. (2006). *Plant Resources of Tropical Africa 1. Cereals and pulses.* PROTA Foundation, Backhuys Publishers, CTA.

Calatayud, P. A., Garrec, J. P., & Michel, N. (2013). Adaptation des plantes aux stress environnementaux. *Interactions insectes-plantes*, 229-245.

Chaves, M. M., Pereira, J. S., Maroco, J., Rodrigues, M. L., Ricardo, C. P. P., Osório, M. L., ... & Pinheiro, C. (2002). How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth. *Annals of botany*, 89(7), 907.

Chafika, H., Nsarellah, N., Elbouhmadi, K., Said, M., & Udupa, S. (2014). Effet du stress hydrique sur les critères physiologiques et biochimiques chez neuf génotypes de pois chiche (*Cicer arietinum* L.). *Revue Nature et Technologie*, 6(2), 816.

Chaux, C. (1972). *Les légumineuses alimentaires dans l'alimentation humaine.* INRA.

Chennafi, H., Aïdaoui, A., Bouzerzour, H., & Saci, A. (2006). Yield response of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivar waha to deficit irrigation under semi-arid growth conditions.

Choumane, W., Winter, P., Weigand, F., & Kahl, G. (2000). Conservation and variability of sequence-tagged microsatellite sites (STMSs) from chickpea (*Cicer arietinum* L.) within the genus *Cicer*. *Theoretical and Applied Genetics*, 101, 269-278.

- Debaeke, P., Puech, J., Casals, M. L., & Pétibon, C. (1996).** Influence de la contrainte hydrique sur le développement reproducteur du pois chiche (*Cicer arietinum* L.). *Agronomie*, 16(1), 3–20. <https://doi.org/10.1051/agro:19960101>
- Djennadi, F., Houassin, D., Khammassi, M., Laouar, A., & Souissi, T. (2014).** Weed Incidence, Control and Grain Yield Losses in Conservation Cropping Systems of North Africa. In *Proc. 6th World Congress on Conservation Agriculture held June* (pp. 22-25).
- Djnni, M. (2003).** Contribution à l'étude des contraintes de la culture du pois chiche dans les zones steppiques d'Algérie. Mémoire de magistère, Université de Batna, Algérie.
- Dowling, A., Roberts, P., Doolette, A., Zhou, Y., & Denton, M. D.** Chickpea-Linseed Intercropping Has Greater Nitrogen Uptake Land Use Efficiency than Sole Crops.
- FAOSTAT. (2020).** Statistical database. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. Consulté sur <http://www.fao.org/faostat>
- Fikre, A., Desmae, H., & Ahmed, S. (2020).** Tapping the economic potential of chickpea in sub-Saharan Africa. *Agronomy*, 10(11), 1707.
- Gaid, M. (2015).** Étude de la diversité génétique et moléculaire chez quelques accessions de pois chiche (*Cicer arietinum* L.) [Mémoire de Master, Université Abou Bekr Belkaïd – Tlemcen].
- Galasso, I., Pignone, D., Frediani, M., Maggiani, M., & Cremonini, R. (1996).** Chromatin characterization by banding techniques, in situ hybridization, and nuclear DNA content in *Cicer L.*(Leguminosae). *Genome*, 39(2), 258-265.
- Gaur, P. M., Tripathi, S., Gowda, C. L., Ranga Rao, G. V., Sharma, H. C., Pande, S., & Sharma, M. (2010).** Chickpea seed production manual.
- Gauthier, C., Tavernier, G., Charpentier, F., Langin, D., & Le Marec, H. (1996).** Functional beta3-adrenoceptor in the human heart. *The Journal of clinical investigation*, 98(2), 556-562.
- González-Barrios, F. J., & Álvarez-Filip, L. (2018).** A framework for measuring coral species-specific contribution to reef functioning in the Caribbean. *Ecological indicators*, 95, 877-886.
- HAJJAJ, B., BOUHACHE, M., MRABET, R., TALEB, A., & DOUAIK, A. (2016).** Efficacité de quelques séquences d'herbicides contre les mauvaises herbes du pois chiche et de la féverole conduite en semis direct. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 4(3).
- Hamadache, A. (2014).** Le désherbage du pois chiche : Identification et lutte contre les principales mauvaises herbes en Algérie. Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC), Alger, Algérie.
- Hamadache, A., & Kheddami, M. (1999).** Amélioration de la culture du pois chiche en Algérie : contraintes et perspectives. Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC), Alger, Algérie.
- Hopkins, D. (2003).** School improvement for real. routledge.
- Hélène, B., & Doré, T. (2013).** Effets des pratiques agricoles sur la contamination des denrées par les mycotoxines issues de *Fusarium* et *Aspergillus* spp. *Cahiers Agricultures*, 22(3), 182-194.

- ITGC (Institut Technique des Grandes Cultures). (2018).** Catalogue des variétés de pois chiche cultivées en Algérie. Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et de la Pêche, Algérie.
- Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC). (2011).** Le pois chiche : Guide technique de production. ITGC, Alger, Algérie.
- Jha, U. C., Nayyar, H., & et al. (2022).** Chickpea (*Cicer arietinum* L.): Origin, domestication, and spread. In: *The Chickpea Genome* (Eds. R. Varshney, M. Thudi, & F. Muehlbauer). Springer Nature.
- Jukanti, A. K., Gaur, P. M., Gowda, C. L. L., & Chibbar, R. N. (2012).** Nutritional quality and health benefits of chickpea (*Cicer arietinum* L.): A review. *British Journal of Nutrition*, 108(S1), S11–S26.
- Kaiser, W. M. (1987).** Effects of water deficit on photosynthetic capacity. *Physiologia Plantarum*, 71(1), 142–149. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1987.tb04630.x>
- Kande, M. (1965).** Contribution à l'étude de la valeur alimentaire des légumineuses dans l'alimentation humaine. Thèse de doctorat, Université de Dakar.
- Kaur, R., & Prasad, K. (2021).** Technological, processing and nutritional aspects of chickpea (*Cicer arietinum*)-A review. *Trends in Food Science & Technology*, 109, 448-463.
- Kishor, P., David, M., & Prasad, S. (2017).** Nutritional and health benefits of chickpea (*Cicer arietinum* L.): A review. *Journal of Food Science and Nutrition*, 5(2), 85–92.
- Kramer, P. J., & Boyer, J. S. (1995).** Water relations of plants and soils. Academic press.
- Kudapa, H., Garg, V., Chitikineni, A., & Varshney, R. K. (2018).** The RNA-Seq-based high resolution gene expression atlas of chickpea (*Cicer arietinum* L.) reveals dynamic spatio-temporal changes associated with growth and development. *Plant, Cell & Environment*, 41(9), 2209-2225.
- Labd, H. (1990).** Comportement du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) face aux contraintes climatiques en Algérie. Mémoire de fin d'études, Institut Agronomique, Alger.
- Labdi, M., Robertson, L. D., Singh, K. B., & Charrier, A. (1996).** Genetic diversity and phylogenetic relationships among the annual *Cicer* species as revealed by isozyme polymorphism. *Euphytica*, 88, 181-188.
- Laumont, F., & Chevassus, H. (1956).** Les plantes alimentaires riches en protéines : intérêt pour l'Afrique du Nord. Institut de Recherches Agronomiques Tropicales.
- Li, J., & Roy, D. P. (2017).** A global analysis of Sentinel-2A, Sentinel-2B and Landsat-8 data revisit intervals and implications for terrestrial monitoring. *Remote Sensing*, 9(9), 902.
- Lichtenthaler, H. K. (1987).** [34] Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In *Methods in enzymology* (Vol. 148, pp. 350-382). Academic Press.
- L'Taief, B., Sifi, B., Zaman-Allah, M., Hajji, M., & Lachaâl, M. (2009).** Effets de la fertilisation azotée, de l'inoculation par *Rhizobium* sp. et du régime des pluies sur la production de biomasse et

la teneur en azote du pois chiche (*Cicer arietinum* L.). *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*, 13(4), 537–544.

Maalouf, F., Hu, J., & Singh, M. (2019). Chickpea: a rich source of protein and sustainable food production. In *Proceedings of the 2nd International Legume Society Conference*, Novi Sad, Serbia.

Maalouf, F., Hu, J., & al. (2019). Chickpea genetic resources: diversity, improvement, and utilization. In S. Sivasankar et al. (Eds.), *Genetic enhancement of grain legumes* (pp. 1–39). Springer.

Mahamane, A., Saadou, M., Danjimo, M. B., Saley, K., Yacoubou, B., Diouf, A., ... & Tanimoune, A. (2009). Biodiversité végétale au Niger : état des connaissances actuelles. *Annale de l'Université de Lomé, Séries Sciences*, 18, 81-93.

Mamta, R., Sharma, N., & Verma, A. (2021). Glycemic index and health benefits of legumes: Emphasis on chickpea. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 10(2), 29–36.

Melle, M., & Mouellef, M. (2010). Effets du stress hydrique sur la croissance et la physiologie du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) dans les conditions semi-arides. *Revue des Régions Arides*, 24(1), 89–96.

Melle, P. P., & MOUELLEF, A. (2010). Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au stress hydrique.

Merga, B., & Haji, J. (2019). Economic importance of chickpea: Production, value, and world trade. *Cogent Food & Agriculture*, 5(1), 1615718.

Muehlbauer, F. J., & Sarker, A. (2017). Chickpea production. In S. Sivasankar (Ed.), *The Lentil: Botany, Production and Uses* (pp. 206–216). CABI.

Muehlbauer, F. J., & Sarker, A. (2017). Economic importance of chickpea. In *The Chickpea Genome* (pp. 1–11). Springer.

Muehlbauer, F. J., Kaiser, W. J., Clement, S. L., & Summerfield, R. J. (1993). Production and breeding of chickpea (*Cicer arietinum* L.). In D. R. Hebblethwaite (Ed.), *Expanding the production and use of cool season food legumes* (pp. 399–407). Dordrecht: Springer.

Nadeem, M., Li, J., Yahya, M., Sher, A., Ma, C., Wang, X., & Qiu, L. (2019). Research progress and perspective on drought stress in legumes: A review. *International journal of molecular sciences*, 20(10), 2541.

Ngumbi, E., & Kloepper, J. (2016). Bacterial-mediated drought tolerance: current and future prospects. *Applied Soil Ecology*, 105, 109-125

Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). (2015). FAOSTAT : Statistiques de production de pois chiches par pays (2010–2014). FAO. <https://www.fao.org/faostat/fr/>

Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). (2019). FAOSTAT : Production de pois chiches par pays. FAO. <https://www.fao.org/faostat/fr/>

- Ounane, S. (1998).** Effet du stress hydrique sur la fixation et l'assimilation de l'azote chez le pois-chiche.
- Perrier, E. R., & Salkini, A. B. (Eds.). (2012).** Supplemental Irrigation in the Near East and North Africa: Proceedings of a Workshop on Regional Consultation on Supplemental Irrigation. ICARDA and FAO, Rabat, Morocco, 7–9 December, 1987. Springer Science & Business Media.
- Petrópolis, D. B., Fernandes, D. M., Oliveira, J. A., & Silva, R. F. (2020).** Root system architecture and growth responses of drought-tolerant plants under water stress conditions. *Plant Physiology and Biochemistry*, 148, 234–243. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.01.006>
- Pompelli, M. F., Barata-Luís, R., Ventrella, M. C., Suárez, N., & Lemos-Filho, J. P. (2012).** Allometric models and chlorophyll content estimation in *Jatropha curcas* L. *Photosynthetica*, 50(3), 431–440. <https://doi.org/10.1007/s11099-012-0052-4>
- Profert. (2018).** Guide technique pour la fertilisation et la préparation du sol. Profert Algérie. Consulté sur www.profert.dz
- Rachwa-Rosiak, D., Nebesny, E., & Budryn, G. (2015).** Chickpeas—composition, nutritional value, health benefits, application to bread and snacks: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 55(8), 1137-1145.
- Rajnovic, I., Ramírez-Bahena, M. H., Sánchez-Juanes, F., González-Buitrago, J. M., Kajić, S., Peix, Á., ... & Sikora, S. (2019).** Phylogenetic diversity of rhizobia nodulating *Phaseolus vulgaris* in Croatia and definition of the symbiovar phaseoli within the species *Rhizobium pisi*. *Systematic and applied microbiology*, 42(6), 126019.
- Rao, D. L. N., Raghavendra, G., & Reddy, K. S. (2006).** Response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) to moisture stress and *Rhizobium* inoculation under semi-arid conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 29(10), 1941–1950.
- Rashid, A., Akhtar, M., et al. (2021).** Nutritional and functional perspectives of chickpea (*Cicer arietinum* L.): An overview. *Legume Science*, 3(4), e105.
- Rasool, H. F., Arfeen, I. U., Mothi, W., & Aslam, U. (2015).** Leadership styles and its impact on employee's performance in health sector of Pakistan. *City University research journal*, 5(1), 97-109.
- Ravi, R., & Bhattacharya, S. (2004).** Flow behaviour of chickpea (*Cicer arietinum* L.) flour dispersions: effect of additives. *Journal of food engineering*, 65(4), 619-624.
- Ravneet, R., & Kamlesh, P. (2021).** Comparative vitamin content of leguminous crops with emphasis on chickpea varieties. *Nutrition and Food Science Journal*, 51(3), 412–420.
- Remond, D., & Walrand, S. (2017).** Les graines de légumineuses : caractéristiques nutritionnelles et effets sur la santé. *Innovations Agronomiques*, 60, np.
- Rio, M. E. (2017).** Valeur nutritionnelle des légumineuses : le cas du pois chiche (*Cicer arietinum* L.). *Revue Grain Legumes*, 79, 24–28.

- Rio, P. (2017).** Les régimes à base de plantes : fondements et enjeux. *Nutrition & Santé*, 12(2), 45–53.
- Siddique, A., Naeem, U., Khokhar, M. M., Syed, A. W., Iftikhar, J., & Amjad, A. (2025).** Impact of Demographic Factors on the Treatment Response of Antidepressant Therapy: A Descriptive Cohort Study from Pakistan Impact des facteurs démographiques sur la réponse au traitement antidépresseur : Une étude de cohorte descriptive du Pakistan. *LA TUNISIE MEDICALE*, 103(02), 201-205.
- Siddique, K. H. M., & Krishnamurthy, L. (2014).** Chickpea: physiology, growth and adaptation. In S. S. Yadav et al. (Eds.), *Crop adaptation to climate change* (pp. 163–176). Wiley-Blackwell.
- Singh, K. B. (1997).** Chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Field crops research*, 53(1-3), 161-170.
- Singh, K. B., & Reddy, M. V. (1991).** Advances in disease-resistance breeding in chickpea. In *Proceedings of the Workshop on Ascochyta Blight and Winter Sowing of Chickpeas* (pp. 123–138). ICARDA.
- Singh, K. B., & Reddy, M. V. (1993).** Resistance to six races of *Ascochyta rabiei* in the world germplasm collection of chickpea. *Crop Science*, 33(1), 186-189.
- Singh, K. B., Ocampo, B., & Robertson, L. D. (1998).** Diversity for abiotic and biotic stress resistance in the wild annual *Cicer* species. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 45, 9-17.
- Son, D., Compaoré, E., Bonkougou, S., & Sangaré, S. (2011).** Effet du stress hydrique sur la croissance et la production du sésame (*Sesamum indicum*). *Journal of Applied Biosciences*, 37, 2460-2467.
- Srivastava, D., Tiwari, M., Dutta, P., Singh, P., Chawda, K., Kumari, M., & Chakrabarty, D. (2021).** Chromium stress in plants: toxicity, tolerance and phytoremediation. *Sustainability*, 13(9), 4629.
- Summerfield, R. J., Dart, P. J., Huxley, P. A., Eaglesham, A. R. J., Minchin, F. R., & Day, J. M. (1977).** Nitrogen nutrition of cowpea (*Vigna unguiculata*). I. Effects of applied nitrogen and symbiotic nitrogen fixation on growth and seed yield. *Experimental Agriculture*, 13(2), 129-142.
- Summerfield, R. J., Hadley, P., Roberts, E. H., Minchin, F. R., & Rawsthorne, S. J. E. A. (1984).** Sensitivity of chickpeas (*Cicer arietinum*) to hot temperatures during the reproductive period. *Experimental Agriculture*, 20(1), 77-93.
- Tanji, A. (2013).** Désherbage des légumineuses alimentaires : Contraintes et perspectives. INRA Maroc, Service de Protection des Végétaux.
- Wallace, T. C., Murray, R., & Zelman, K. M. (2016).** The nutritional value and health benefits of chickpeas and hummus. *Nutrients*, 8(12), 766.
- Wery, J., Deschamps, M., & Lecoeur, J. (1988).** Adaptation du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) aux conditions climatiques méditerranéennes : effets de la température et de la photopériode sur la floraison. *Agronomie*, 8(6), 481-487.

- Wood, J. A., & Scott, J. F. (2021).** Economic impacts of chickpea grain classification: how ‘seed quality is Queen’ must be considered alongside ‘yield is King’ to provide a princely income for farmers. *Crop and Pasture Science*, 72(2), 136-145.
- Yadav, S. S., & Chen, W. (2007).** Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Breeding and Management. CAB International, Wallingford, UK.
- Yokota, A., Takahara, K., & Akashi, K. (2006).** Water stress. In *Physiology and molecular biology of stress tolerance in plants* (pp. 15-39). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Zhao, R., Sun, J., et al. (2021).** Origin, evolution, and genetic diversity of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, 134, 1941–1952.
- Zia-ul-Haq, M., Ahmad, S., Amarowicz, R., & De Feo, V. (2008).** Lipid composition and health benefits of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Nutrients*, 7(3), 1259–1270.
- Zine-Zikara, F., Bouzid, L., & Yekkour, A. (2015).** Le pois chiche en Algérie: situation, potentialités et perspectives. *Recherche Agronomique*, 27, 35-47.
- Zohary, D., & Hopf, M. (1973).** Domestication of Plants in the Old World: The Origin and Spread of Cultivated Plants in West Asia, Europe and the Nile Valley. Oxford University Press.
- hang, Y., Chen, W.-F., Wang, E.-T., Kan, F.-L., Sun, L.-N., Tian, C.-F., & Chen, W.-X. (2020).** Genetic diversity and taxonomy of chickpea (*Cicer arietinum* L.) rhizobia in the genus *Mesorhizobium*. *Systematic and Applied Microbiology*, 43(1), 126019. <https://doi.org/10.1016/j.syapm.2019.126019>
- lama, I., Ben Salem, M., Ben Naceur, M., & Zid, E. (2005).** Effet du déficit hydrique sur la photosynthèse et la croissance de deux variétés de pois chiche (*Cicer arietinum* L.). *Revue des Régions Arides*, 18(1), 1–9.
- ([Http/www.agriculture.gov.sk.ca/](http://www.agriculture.gov.sk.ca/) visité le 03/03/2008) in Ben Mbarek., 2011).**

ANNEXE

Tableau A : Caractéristique morphologiques des plants (longueur et ramification de la tige et de la racine).

Genotypes	Longueur de tige (cm) (LT)	Longueur de racine (cm) (LR)	Nombre de ramification de Racinaire (NRR)
ILC T1	46	19	10
ILC T2	39	14	13
ILC T3	34	17	6
ILC S1	28	21	12
ILC S2	31	12	11
ILC S3	36	17	8
FLIP 90/13 T	23	6,5	12
FLIP 90/13 T	14	6,5	8
FLIP 90/13 T	24	12	19
FLIP 90/13 S	27	10	10
FLIP 90/13 S	19	18	9
FLIP 90/13 S	12	8,5	15
CCLS T1	39	20	7
CCLS T2	44	21	7
CCLS T3	34	21	8
CCLS S1	39	26	5
CCLS S2	33	20	6
CCLS S3	38	26	5
LECHOSO T1	34	11	12
LECHOSO T2	39	12	10
LECHOSO T3	49	9	8
LECHOSO S1	40	5	5
LECHOSO S2	29	7	7
LECHOSO S3	37	10	18
Ghab T1	40	17	6
Ghab T2	44	19	8
Ghab T3	39	21	7
Ghab S1	28	23	11
Ghab S2	38	17	8
Ghab S3	37	20	8

Tableau B. Rapports entre les poids frais et secs des tiges et des racinaire et la teneur en eau pour les différentes variétés testées.

Génotypes	Poids frais tige (g)	Poids frais racine (g)	Poids sec tige (g)	Poids sec racine (g)	Teneur en eau totale	Rapport MSR / MSA
ILC (Temoin)	3,61	1,55	0,52	0,21	85,72	0,40
ILC (Stresse)	2,97	1,04	0,44	0,14	85,50	0,32
FLIP 90/13 (Temoin)	3,67	0,75	0,55	0,14	84,31	0,26
FLIP 90/13 (Stresse)	3,31	0,98	0,5	0,19	83,85	0,38
CCLS (Temoin)	3,4	2,07	0,67	0,34	81,48	0,51
CCLS (Stresse)	4,32	1,71	0,43	0,22	89,23	0,51
LECHOSO (Temoin)	8,23	1,95	1,18	0,33	85,11	0,28
LECHOSO (Stresse)	9,80	3,92	1,08	1,13	83,85	1,05
Ghab (Temoin)	5,69	3,80	0,90	0,89	81,04	0,99
Ghab (Strsse)	3,82	2,96	0,68	0,79	78,19	1,15

Tableau C : Variation de la teneur en protéines solubles chez différents géotypes de pois chiche sous stress hydrique.

Géotype	Réponse au stress (Protéines)	Interprétation
ILC	↓ modérée	Sensibilité modérée
FLIP90/13C	↓ très marquée	Sensibilité élevée
CCLS	↑ forte	Bonne tolérance
Lechoso	↑ très forte	Excellente tolérance
Ghab	↑ modérée	Résistance modérée