

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة سعيدة دكتور مولاي الطاهر

Université de Saida Dr MOULAY Tahar



كلية علوم الطبيعة و الحياة

Faculté des Sciences de la nature et de la vie

قسم الفلاحة و علوم التغذية

Département d'agronomie et science de nutrition

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master Biotechnologie végétal

Spécialité : biotechnologie végétale

**Thème: Contribution à l'étude de l'effet du stress salin sur la germination
de trois espèces Haricot, pois et pois chiche**

Présenté par :

Mr : Bounouala Mohamed

Soutenu le : Lundi 16 juin 2025

Devant le jury composé de :

Président	Mr.SAIDI Abdelmoumen	MCA	Université de Saida Dr MOULAY Tahar
Examineur	Mr. MEBARKI Moubarek	MCB	Université de Saida Dr MOULAY Tahar
Rapporteur	Mr. HENNI Mustapha	MCB	Université de Saida Dr MOULAY Tahar

Année universitaire 2024/2025

Remercîments

Nous remercions Dieu de nous avoir donné la force et la volonté pour accomplir ce mémoire.

Ainsi, nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements à notre Encadreur **Dr. Henni Mustapha** pour avoir d'abord proposé ce thème, pour suivi continuél tout le long de la réalisation de ce mémoire, et qui n'a pas cessé de nous donner ses conseils.

Nous remercions également les membres du jury, **Mr.SAIDI Abdelmoumen et Mr.Mebarki Moubarek** , pour avoir accepté d'évaluer ce travail et pour leurs remarques constructives.

Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants du département

Nos remerciements s'étendent aussi au personnel technique et administratif du laboratoire et du département, dont le soutien a été essentiel à la bonne conduite de nos expériences.

Enfin, nous tenons à exprimer toute notre reconnaissance à nos familles et amis pour leur soutien moral et matériel durant cette période.

DÈDICACES

À la mémoire de mon grand-père

C'est la personne parfaite dans ce monde.

Cet ouvrage est dédié à mon grand-père, qui m'a toujours encouragé et motivé dans mes études.

J'espère que ce geste humble sera apprécié par le monde dans lequel il vit désormais, comme un signe de gratitude de la part du petit-fils qui a toujours prié pour le salut de son âme.

Que Dieu ait pitié de lui, et lui accorde une place spacieuse au Paradis, et fasse de lui sa dernière demeure au Ciel.

À mes chers parents

À mes chers parents, qui ont toujours été à mes côtés, me donnant un bel exemple de travail acharné et de persévérance.

J'espère que ce travail est une expression sincère de ma profonde gratitude et de mon amour, et je demande à Dieu Tout-Puissant de les bénir avec la santé et une longue vie.

À mes frères et sœurs, qui m'ont soutenu tout au long de mon parcours académique, je vous remercie infiniment.

Je vous souhaite, ainsi qu'à vos enfants, une vie pleine de bonheur et de succès, et je demande à Dieu Tout-Puissant de vous protéger et de prendre soin de vous.

À toutes les personnes qui n'ont jamais cessé de me soutenir

Merci beaucoup à tous.

****Mohamed****

Liste des abréviations

(BCMV) : *Bean Common Mosaic Virus* (Virus de la mosaïque commune du haricot).

(USDA) : *United States Department of Agriculture* (Département de l'Agriculture des États-Unis).

(FAO) : *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture).

(N₂) : Diazote, forme moléculaire de l'azote atmosphérique.

(CEC) : Capacité d'Échange Cationique.

(ESP) : Exchangeable Sodium Percentage.

(PSE) : Pourcentage de Sodium Échangeable.

(Na⁺) : Ion Sodium.

(Cl⁻) : Ion Chlorure.

(K⁺) : Ion Potassium.

(Ca²⁺) : Ion Calcium.

(Mg²⁺) : Ion Magnésium.

(NO₃⁻) : Ion Nitrate.

(NaCl) : Chlorure de sodium (sel utilisé en solution saline).

(CaCO₃) : Carbonate de calcium (calcite).

(Ph) : Potentiel hydrogène, mesure de l'acidité ou de la basicité d'une solution.

(H₂O₂) : Peroxyde d'hydrogène.

(O₂⁻) : Oxygène.

(SOD) : Superoxyde Dismutase, enzyme antioxydante.

(CAT) : Catalase, enzyme antioxydante.

(POD) : Peroxydase, enzyme antioxydante.

(NHX) : Transporteurs vacuolaires de type Na⁺/H⁺ (antiporters).

(SOS1) : *Salt Overly Sensitive 1*, transporteur membranaire qui expulse activement le Na^+ .

(ROS) : *Reactive Oxygen Species* / Espèces Réactives de l'Oxygène.

(Mm) : Millimolaire, unité de concentration molaire.

(GA₃): Acide gibbérellique 3, phytohormone favorisant la germination.

(Gf) : Taux final de germination.

(TMG) ou **T₅₀** : Temps moyen de germination (moment où 50 % des graines ont germé).

(g/L) : Grammes par litre.

(ANOVA) : Analyse de la variance.

(R1, R2, R3) : Répétition 1, 2 et 3 (réplicas expérimentaux).

(°C) : Degrés Celsius (unité de température).

(%) : Pourcentage.

Liste des figures

Figure n° 1: Quelques variétés de <i>Phaseolus vulgaris</i> L.	05
Figure n° 2: Plantes de l'espèce <i>Phaseolus vulgaris</i> L. var. <i>nanus</i> (L.) Aschers.....	06
Figure n° 3: Plant du pois chiche.....	11
Figure n° 4: Description morphologique du pois chiche	12
Figure n° 5: Le pois (<i>Pisum sativum</i> L.).....	15
Figure n° 6: Morphologie de la plante de pois (<i>Pisum sativum</i>).....	17
Figure n° 7 : Courbe théorique de la germination.....	30
Figure n° 8 : Germination épigée et hypogée.....	32
figure n° 9: Les trois espèce de légumineuse (pois,haricot,pois chiche).....	36
Figure n°10: Préparation des graines	37
Figure n°11: Les différentes concentrations salines de NaCl (0,3,6, 9, et 12 g/l).....	38
Figure n°12: Test de germination	39
Figure n°13 : Dispositif expérimental des trois espèces (pois,haricot,pois chiche).....	39
Figure n°14 : Table des données de l'ANOVA.....	41
Figure n°15 : Résultats de l'analyse ANOVA.....	41
Figure n°16 : Taux de germination d'haricot aux différentes concentrations de NaCl (g/l).....	42
Figure n°17 : : Taux de germination de pois chiche aux différentes concentrations de NaCl (g/l).....	43

Figure n°18 : Taux de germination de pois aux différentes concentrations de NaCl (g/l).....	44
Figure n°19 : Cinétique de germination de haricot pour les différentes concentrations de NaCl.....	45
Figure n°20 : Cinétique de germination de pois chiche pour les différentes concentrations de NaCl.....	46
Figure n° 21 : Cinétique de germination de pois pour les différentes concentrations de NaCl.....	47

Liste des tableaux

Tableau 01 : Quelques informations sur les trois espèces (pois, haricot, pois chiche).....36

Tableau 02 : Test ANOVA à un facteur sur le taux de germination de l'haricot.....43

Tableau 03: Test ANOVA à un facteur sur le taux de germination de pois chiche.....44

Tableau04 : Test ANOVA à un facteur sur le taux de germination de pois.....45

Résumé:

L'étude examine l'effet de cinq concentrations de NaCl (0 à 12 g/L) sur la germination de trois Fabaceae : le haricot (*Phaseolus vulgaris* L.), le pois (*Pisum sativum* L.) et le pois chiche (*Cicer arietinum* L.). La salinité réduit significativement la germination dès 9 g/L, avec une forte inhibition à 12 g/L. Le haricot et le pois chiche sont les plus sensibles, tandis que le pois montre une meilleure tolérance malgré un retard de germination. Ces effets s'expliquent par une perturbation osmotique et ionique des graines. Le pois se distingue comme l'espèce la plus résistante, adaptée aux sols salinisés.

Mots clés : Germination ; Fabaceae ; Salinité ; Stress osmotique ; Enzymes.

الملخص:

تناولت الدراسة دراسة تأثير خمسة تراكيز من كلوريد الصوديوم (0 إلى 12 جرام/لتر) على إنبات ثلاثة أنواع من الفصيلة البقولية: الفاصوليا (*Phaseolus vulgaris* L.)، والبازلاء (*Pisum sativum* L.)، والحمص (*Cicer arietinum* L.). تؤدي الملوحة إلى تقليل الإنبات بشكل ملحوظ من 9 جم / لتر، مع تثبيط قوي عند 12 جم / لتر. الفاصوليا والحمص هما الأكثر حساسية، في حين تظهر البازلاء قدرة تحمل أفضل على الرغم من تأخر إنباتها. يتم تفسير هذه التأثيرات من خلال اضطراب التناضح والأيونات في البذور. تعد البازلاء من أكثر الأنواع مقاومة، حيث تتكيف مع التربة المالحة.

الكلمات المفتاحية: الإنبات؛ البقوليات؛ الملوحة؛ الإجهاد الأسموزي؛ الأنزيمات.

Summary :

This study examined the effect of five NaCl concentrations (0 to 12 g/L) on the germination of three Fabaceae: bean (*Phaseolus vulgaris* L.), pea (*Pisum sativum* L.), and chickpea (*Cicer arietinum* L.). Salinity significantly reduced germination as low as 9 g/L, with strong inhibition at 12 g/L. Bean and chickpea were the most sensitive, while pea showed better tolerance despite delayed germination. These effects are explained by osmotic and ionic disturbance of the seeds. Pea emerged as the most resistant species, adapted to salinized soils.

Keywords: Germination; Fabaceae; Salinity; Osmotic Stress; Enzymes.

Introduction	1
Chapitre I : Donné bibliographique sur les trois espèces (haricot, pois chiche et pois)	
1- Aperçu général sur les légumineuses	03
2- Le haricot (<i>Phaseolus vulgaris L.</i>)	04
2.1 Origine et historique du haricot	04
2.2 Diversité et classification botanique du haricot	04
2.3 Morphologie générale du haricot	06
2.4 Valeur nutritive du haricot	07
2.5 Importance de la culture du haricot	07
2.6 Contraintes de production du haricot	09
3. Le pois chiche (<i>Cicer arietinum L.</i>).....	10
3.1 Origine et historique du pois chiche	10
3.2 Diversité et classification botanique du pois chiche	10
3.3 Morphologie générale du pois chiche	11
3.3.1 Appareil végétatif	11
3.3.2 Appareil reproducteur	12
3.4 Valeur nutritive du pois chiche	12
3.5 Importance de la culture du pois chiche	13
3.6 Contraintes de production du pois chiche	14
4. Le pois (<i>Pisum sativum L.</i>)	15
4.1 Origine et historique du pois	15
4.2 Classification botanique du pois	15

4.3 Description morphologique de la plante de pois	16
4.4 Production et consommation	18
4.5 Contraintes de production du pois	18

Chapitre II : Données bibliographiques sur la salinité

1. Généralités sur la salinité	20
2. Définition du stress salin	20
3. Les sources de salinité dans les sols.....	20
4. Les différents types de salinisation.....	21
5. Effets de la salinité sur les plantes	23
6. Principaux mécanismes d'adaptation au stress salin	25

Chapitre III : Données bibliographiques sur la germination

1. La germination	27
2. Les conditions de la germination	27
2.1. Les conditions internes de la germination	27
2.2. Les conditions externes de la germination.....	28
3. La dormance : un obstacle à la germination	29
4. Physiologie de la germination.....	30
5. Les types de germination.....	32
5.1 Germination épigée	31
5.2 Germination hypogée	31

6. Cinétique de la germination.....	33
7. Importance de la germination	34

Chapitre IV: Matériel et Méthode

1- Matériel du laboratoire	35
2- Matériel végétal	35
3- Méthodologie de travail	36
3-1 Préparation des graines	36
3-2 Préparation du solitions de stress salin.....	37
4-Germination sous stress salin	38
5-Paramètres de mesure de la germination.....	40
6-Teste statistique	40

Chapitre V : Résultats et discussion

1. Taux de la germination.....	42
1.1. Haricot (<i>Phaseolus vulgaris L</i>).....	42
1.2 Le pois chiche (<i>Cicer arietinum.L</i>).....	43
1.3 Le pois (<i>Pisum sativum.L</i>).....	44
2- Cinétique de la germination	45
2.1. Haricot (<i>Phaseolus vulgaris L</i>).....	45
2.2 Le pois chiche (<i>Cicer arietinum.L</i>).....	46

Table des matières

2.3 Le pois (<i>Pisum sativum</i> .L).....	47
3- Discussion	47
Conclusion	50
Références bibliographiques.....	51

Introduction

Introduction:

L'augmentation de la salinité des sols constitue aujourd'hui un défi majeur pour la durabilité de l'agriculture. Ce phénomène affecte particulièrement les zones arides et semi-arides où l'agriculture repose sur des ressources en eau souvent de qualité médiocre.

La salinité des sols est considérée comme l'un des facteurs abiotiques les plus contraignants pour la productivité agricole (GRATTAN & GRIEVE, 1999 ; PARIDA & DAS, 2005). En Algérie, cette contrainte est particulièrement marquée dans les régions à climat sec, où l'usage d'eaux salines pour l'irrigation, l'absence de drainage efficace et la gestion inadaptée des sols aggravent la situation (BENIDIRE ET AL., 2014). Elle engendre des effets néfastes sur la croissance des végétaux (EILERS ET AL., 1995 ; GREGORY, 2005), à travers deux mécanismes physiologiques : le stress osmotique, qui limite l'absorption de l'eau, et la toxicité ionique liée à l'accumulation de Na^+ et Cl^- dans les tissus (HOPKINS, 2003 ; MUNNS & TESTER, 2008). Ces perturbations entraînent une altération de l'équilibre nutritionnel et métabolique de la plante, réduisant ainsi son rendement.

La germination, phase critique du développement des plantes, est particulièrement sensible à ces contraintes. Ce processus débute par l'absorption de l'eau (imbibition) et se termine par l'apparition de la radicule. Il dépend à la fois de facteurs externes (eau, température, oxygène, lumière) et internes (état de dormance, viabilité des graines, réserves énergétiques) (BEWLEY ET AL., 2013 ; SOLTNER, 2007 ; MAZLIAK, 1982). Le stress salin peut inhiber la germination en élevant la pression osmotique du milieu ou par l'effet toxique des ions accumulés (KATEMBE ET AL., 1998 ; DEBEZ ET AL., 2001).

Les Fabaceae, telles que le haricot, le pois et le pois chiche, représentent des cultures d'intérêt stratégique du fait de leur richesse nutritionnelle et de leur rôle dans l'amélioration de la fertilité des sols. Plusieurs études ont été consacrées à l'analyse de leur tolérance au stress salin (BEZZIOU AYA & CHEMAKHI BOUCHRA, 2022 ; FETNASSI OUARDA, 2015).

Ce travail vise à comparer l'effet de différentes concentrations de NaCl (0 à 12 g/L) sur la germination de trois espèces de Fabaceae : le haricot (*Phaseolus vulgaris*), le pois (*Pisum sativum*) et le pois chiche (*Cicer arietinum*), choisies pour leur importance agronomique et leur sensibilité variable au stress salin. L'expérimentation a été menée en laboratoire, en conditions contrôlées, dans des boîtes de Pétri. Les paramètres évalués incluent le taux final de germination et la cinétique (T50), avec une analyse ANOVA à un facteur.

L'étude se structure en cinq parties : une revue bibliographique sur les espèces étudiées, une présentation du phénomène de salinisation, une description de la germination, le matériel et les méthodes employés, suivis de la présentation, la discussion des résultats et enfin la conclusion avec les perspectives.

Chapitre I : Donné bibliographique sur les trios espèces

01- Aperçu sur les fabaceae (haricots poids et pois chiche):

Les fabaceae, notamment le haricot (*Phaseolus vulgaris* L.), le pois (*Pisum sativum* L.) et le pois chiche (*Cicer arietinum* L.), occupent une place essentielle dans l'agriculture et l'alimentation en raison de leur richesse en protéines, en fibres et en micronutriments essentiels. Elles jouent un rôle clé dans l'amélioration de la fertilité des sols grâce à leur capacité à fixer l'azote atmosphérique via leur symbiose avec des bactéries du genre *Rhizobium*, réduisant ainsi la dépendance aux engrais azotés et contribuant à une agriculture plus durable (BEEBE ET AL., 2013).

Le haricot est l'une des fabaceae les plus cultivées dans le monde et se décline en plusieurs variétés, dont les haricots secs et les haricots verts, qui sont appréciés pour leur valeur nutritionnelle et leur polyvalence culinaire. Cependant, sa culture est fortement influencée par les conditions environnementales, notamment la salinité et le stress hydrique, qui peuvent réduire considérablement son rendement (SINGH, 1999).

Le pois, cultivé principalement dans les régions tempérées, est une source importante de protéines et d'amidons et joue un rôle fondamental dans les rotations culturales en améliorant la structure du sol et en réduisant l'incidence des maladies agricoles (MCPHEE, 2003).

Le pois chiche, quant à lui, est particulièrement adapté aux environnements arides et semi-arides, grâce à sa tolérance à la sécheresse et à sa capacité à puiser l'eau en profondeur dans le sol. Il constitue une source précieuse de protéines végétales et est riche en acides aminés essentiels, ce qui en fait un aliment de base dans de nombreux régimes alimentaires à travers le monde (JUKANTI ET AL., 2012).

Toutefois, ces fabaceae sont vulnérables aux stress abiotiques tels que la salinité, qui affecte leur croissance, leur métabolisme et leur productivité en perturbant l'absorption des nutriments et l'équilibre hydrique des plantes. L'étude de leur réponse aux stress environnementaux, notamment le stress salin, est donc essentielle pour développer des variétés plus tolérantes et assurer une production agricole stable face aux défis climatiques et à la dégradation des sols (VARSHNEY ET AL., 2019).

2- l'haricot (*Phaseolus vulgaris* L):

2-1 Origine et historique du haricot :

Le haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L.) est une plante fabaceae qui trouve son origine en Amérique centrale et en Amérique du Sud, où il a été domestiqué indépendamment dans deux centres principaux : l'un en Mésio-Amérique et l'autre dans la région andine (BITOCCHI ET AL., 2012). Les premières traces archéologiques de haricots cultivés remontent à environ 7 000 à 8 000 ans dans ces régions (GEPTS, 1998). Son introduction en Europe remonte au XVI^e siècle, après les voyages de Christophe Colomb et des explorateurs espagnols, qui l'ont ensuite diffusé en Afrique et en Asie (Singh et al., 1991). Grâce à sa diversité génétique et à son adaptation à divers climats, le haricot est devenu une culture essentielle dans de nombreuses régions du monde, particulièrement en raison de sa richesse en protéines et de sa capacité à enrichir le sol en azote (BROUGHTON ET AL., 2003). Aujourd'hui, il est cultivé dans plus de 150 pays et constitue une source majeure de nutrition pour des millions de personnes, en particulier dans les pays en développement (FAO, 2021).

2-2 Diversité et classification botanique de haricots:

Le haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L.) est une fabaceae d'importance alimentaire et agricole, caractérisée par une grande diversité génétique, morphologique et agronomique issue de sa double domestication en Mésio-Amérique et dans les Andes (BITOCCHI ET AL., 2012). Cette variabilité se manifeste par la diversité des graines en taille, forme et couleur (GEPTS ET DEBOUCK, 1991) et par des types de croissance variés (buissonnant, semi-grimpant, grimpant), favorisant son adaptation aux différentes conditions de culture (SINGH ET AL., 1991). Grâce à cette diversité, plusieurs variétés écogéographiques ont été identifiées, facilitant son expansion mondiale (BLAIR ET AL., 2006). En plus d'être une source essentielle de protéines, fibres et minéraux (GRAHAM ET VANCE, 2003) le haricot contribue à l'amélioration de la fertilité des sols via la fixation symbiotique de l'azote avec rhizobium (HUNGRIA ET VARGAS, 2000), réduisant ainsi l'usage d'engrais azotés. Face au changement climatique et aux stress abiotiques comme la sécheresse et la salinité, sa diversité génétique constitue un atout majeur pour le développement de variétés plus résistantes et productives (BROUGHTON ET AL., 2003; BEEBE ET AL., 2013).



Figure 1: Quelques variétés de *Phaseolus vulgaris* L.

Sur le plan botanique, le haricot commun appartient au:

Règn : Plantae

Sous-règne : Tracheobionta

Super division : Spermatophyta

Division : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Sous-classe : Rosidae

Ordre : Fabales

Famille : Fabaceae

Genre : *Phaseolus*

Espèce : *Phaseolus vulgaris*

2-3 Morphologie général de la plante:

2-3-1 Appareil végétatif :

Le haricot commun est une plante herbacée, annuelle, de la famille des fabaceae qui peut prendre plusieurs types de port selon les variétés. On distingue deux grands groupes, les haricots grimpants, à port volubile, et les haricots nains à port érigé et plus ramifié (DAGBA, 1988) (Figure 1).



Figure 2: Plantes de l'espèce *Phaseolus vulgaris* L. var. *nanus* (L.) Aschers.

2-3-2 Appareil reproducteur:

Les inflorescences sont en forme de grappes de 5 à 15 fleurs portées par un pédoncule de 5 à 8 cm de long qui prend naissance à l'aisselle des feuilles. Ces fleurs s'insèrent par 1,2 ou 3 à la fois, par l'intermédiaire de pédicelles de 10 à 15 mm de long (PHILLIPS et *al.*, 1994).

La fécondation est principalement autogame ce qui facilite la sélection de lignées pures et le maintien de variétés stables, elle s'effectue surtout la nuit (PHILLIPS et *al.*, 1994).

Les fruits sont en forme de gousses déhiscentes, allongées, appelées aussi cosses, généralement droites, plus ou moins longues et terminées par une pointe, leur largeur varie de 8 à 25 mm. Elles renferment en moyenne 4 à 8 graines (PHILLIPS et *al.*, 1994).

2-4 Valeur nutritive de l'haricot :

Le haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) est une source alimentaire riche en nutriments essentiels, jouant un rôle clé dans l'équilibre nutritionnel et la sécurité alimentaire mondiale. Il est particulièrement reconnu pour sa haute teneur en protéines végétales, représentant environ 20 à 25 % de son poids sec, ce qui en fait une alternative précieuse aux protéines animales, notamment dans les régimes végétariens et végétaliens (BROUGHTON ET AL., 2003). De plus, il est riche en fibres alimentaires, favorisant la digestion et contribuant à la prévention des maladies cardiovasculaires et du diabète de type 2 (MESSINA, 2014). Le haricot contient également une quantité significative de minéraux essentiels tels que le fer, le zinc, le magnésium et le potassium, qui sont indispensables à de nombreuses fonctions physiologiques, notamment le transport de l'oxygène, le métabolisme énergétique et le bon fonctionnement du système nerveux (GRAHAM ET VANCE, 2003). En outre, il est une bonne source de vitamines, notamment les vitamines du groupe B, qui participent au métabolisme des glucides et des protéines (GUILLON & CHAMP, 2002). Grâce à sa faible teneur en lipides et à son indice glycémique modéré, le haricot est recommandé dans la prévention de l'obésité et des maladies métaboliques (REBELLO ET AL., 2014). Enfin, la présence de composés bioactifs, tels que les polyphénols et les flavonoïdes, lui confère des propriétés antioxydantes, qui contribuent à la réduction du stress oxydatif et à la prévention de certaines maladies chroniques (RANILLA ET AL., 2007).

2-5 Importance de la culture des haricots :**2-5-1 Importance écologique :****2-5-1-1 Dans le monde:**

Dans les systèmes agricoles durables, le haricot joue un rôle essentiel en favorisant la régénération des sols et en limitant l'empreinte écologique de l'agriculture. Grâce à sa capacité de fixation biologique de l'azote, il réduit la nécessité d'utiliser des engrais chimiques, diminuant ainsi la pollution des nappes phréatiques et les émissions de gaz à effet de serre. En outre, sa culture en rotation avec d'autres plantes améliore la structure des sols et aide à briser les cycles de maladies et de ravageurs. Son adaptabilité aux conditions climatiques variées en fait également une culture résiliente face aux défis environnementaux, renforçant ainsi la durabilité des systèmes agroécologiques à l'échelle mondiale (GRAHAM & VANCE, 2003).

2-5-1-2 En Algérie:

Le haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) joue un rôle écologique significatif en Algérie. En tant que fabaceae, il établit une symbiose avec des bactéries du genre rhizobium, formant des nodosités sur ses racines qui fixent l'azote atmosphérique. Ce processus enrichit le sol en azote, réduisant le besoin en engrais chimiques et favorisant une agriculture plus durable. De plus, l'intégration du haricot dans les rotations culturales améliore la structure du sol et contribue à la biodiversité agricole. Ces caractéristiques font du haricot une culture clé pour la durabilité des systèmes agricoles en Algérie.

2-5-2 Importance économique:**2-5-2-1 Dans le monde :**

Le haricot (*Phaseolus spp.*) est une fabaceae d'une importance économique majeure à l'échelle mondiale. Il constitue une source essentielle de protéines végétales, de fibres et de micronutriments, jouant un rôle clé dans la sécurité alimentaire, notamment dans les pays en développement. Sa culture contribue à la diversification des systèmes agricoles grâce à sa capacité de fixation biologique de l'azote, réduisant ainsi le besoin d'engrais chimiques et améliorant la fertilité des sols. Sur le plan commercial, le haricot est largement cultivé et échangé, les principaux producteurs étant le Brésil, l'Inde, la Chine et les États-Unis. La demande croissante pour des régimes alimentaires plus sains et durables stimule également son marché mondial (BROUGHTON ET AL., 2003).

2-5-2-2 En Algérie:

Le haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) revêt une importance économique notable en Algérie grâce à sa richesse en protéines et à sa contribution à la sécurité alimentaire. Toutefois, la production nationale reste insuffisante pour satisfaire la demande intérieure, ce qui engendre une dépendance aux importations. Pour soutenir la filière, les autorités algériennes ont instauré des mesures de protection tarifaire, avec un taux de protection d'environ 25 %, afin de favoriser la compétitivité de la production locale et encourager la modernisation des techniques agricoles. Ce dispositif, combiné à des initiatives visant à améliorer les rendements

et la qualité des cultures, participe à la diversification de l'économie agricole du pays (MINISTERE DE L'AGRICULTURE, 2017 ; [DSPACE.UMMTO.DZ](#)).

2-6-Contraintes de production de l'haricot :

2-6-1 Contraintes climatiques:

L'haricot est sensible aux températures extrêmes et au stress hydrique, particulièrement lors des stades critiques de floraison et de remplissage des gousses. Un déficit hydrique peut entraîner des avortements floraux et une réduction du rendement (WHITE & SINGH, 1991).

2-6-2 Contraintes agronomiques:

L'haricot nécessite un sol bien drainé et riche en nutriments. Il est particulièrement vulnérable à l'excès d'humidité, ce qui favorise l'apparition de maladies racinaires (BEEBE ET AL., 2013). De plus, il est peu compétitif face aux adventices, ce qui impose une gestion efficace du désherbage (GRAHAM & RANALLI, 1997).

2-6-3 Contraintes sanitaires:

Cette culture est exposée à plusieurs maladies fongiques, telles que la rouille (*Uromyces appendiculatus*), l'anthracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) et la pourriture racinaire (*Rhizoctonia solani*), ainsi qu'à des virus comme le BCMV (Bean Common Mosaic Virus) (Schwartz & Pastor-Corrales, 1989). Les ravageurs tels que les pucerons, les thrips et les bruches causent également des pertes importantes (ABATE ET AL., 2000).

2-6-4 Contraintes économiques et techniques:

La fluctuation des prix du marché, la faible mécanisation de la culture et la nécessité d'une rotation culturale pour préserver la fertilité des sols sont des facteurs limitant son expansion (BEEBE ET AL., 2013).

3- Le pois chiche (*Cicer arietinum.L*):

3-1 Origine et historique de pois chiche:

Le pois chiche (*Cicer arietinum*), une fabaceae cultivée depuis des millénaires, trouve son origine au Proche-Orient et en Méditerranée. Des traces archéologiques indiquent sa domestication il y a environ 7 500 ans dans le Croissant fertile, une région englobant l'actuel Iran, la Turquie et la Syrie (ZOHARY ET HOPF, 2000). Introduit en Inde et en Afrique du Nord par les routes commerciales antiques, il est aujourd'hui une culture essentielle dans ces régions. Son importance alimentaire et agricole a favorisé son expansion mondiale, notamment en Europe et en Amérique latine (JUKANTI ET AL., 2012).

3-2 Diversité et classification botanique de pois chiche:

Le pois chiche (*Cicer arietinum L.*) est une fabaceae d'importance agricole et nutritionnelle, largement cultivée dans les régions semi-arides du monde. Il est apprécié pour sa richesse en protéines, en fibres et en minéraux essentiels, en faisant une source alimentaire clé pour de nombreuses populations. Sa culture s'adapte à diverses conditions climatiques, bien qu'il soit particulièrement sensible au stress hydrique et salin. Grâce à son système racinaire profond, il joue également un rôle important dans l'amélioration de la fertilité des sols en fixant l'azote atmosphérique.

Cette plante appartient au:

Règne : Plantae

Sous règne : Tracheobionta (plantes vasculaires)

Embranchement : Spermatophyta (plantes à graines)

S/ Embranchement : magnoliophyta(=Angiospermes, phanérogames ou plantes à fleurs)

Classe : magnoliopsida(ou Dicotylédones)

Sous classe : rosidae

Ordre : fabales Famille : Légumineuses

Genre : Cicier

Espèce : Cicer arietinum L.

Nom commun : Pois chiche. (USDA, 8).

3-3 Morphologie générale de la plante:

3-3-1 Appareil végétatif:

L'appareil végétatif du pois chiche (*Cicer arietinum L.*) est caractérisé par une plante herbacée annuelle, pouvant atteindre 30 à 70 cm de hauteur, avec une tige dressée ou semi-dressée, parfois ramifiée et recouverte de poils glanduleux. Ses feuilles sont composées, imparipennées, alternes et dentées, contribuant à la réduction de la perte d'eau par évapotranspiration. Le système racinaire pivotant est bien développé, lui permettant d'explorer des horizons profonds du sol pour capter l'eau et les nutriments. Grâce à la symbiose avec les bactéries du genre rhizobium, il joue un rôle essentiel dans la fixation biologique de l'azote, améliorant ainsi la fertilité des sols (SINGH ET AL., 2016).



Figure 03: Plant du pois chiche.

3-3-2 Appareil reproducteur:

L'appareil reproducteur du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) est caractéristique des Fabacées, avec des fleurs hermaphrodites, zygomorphes et de type papilionacé. Chaque fleur est constituée d'un calice à cinq sépales soudés, d'une corolle à cinq pétales différenciés (un étendard, deux ailes et une carène formée par la fusion des deux pétales inférieurs), de dix étamines diadelphes (neuf soudées et une libre) et d'un pistil unique à ovaire supère contenant plusieurs ovules. L'illustration fournie met en évidence ces différentes structures florales en couleur, facilitant leur identification. On y observe clairement les sépales verts, les pétales rose-violet, les étamines jaunes et le pistil avec son ovaire, son style et son stigmate en vert. La reproduction est majoritairement autogame, bien que l'allogamie puisse se produire à un faible taux, notamment par l'intervention d'insectes pollinisateurs tels que les abeilles. Après la fécondation, comme illustré, l'ovaire évolue en une gousse indéhiscente contenant un à trois grains selon les conditions environnementales et la variété (PUNDIR ET AL., 1993 ; SINGH & RACHIE, 1985).

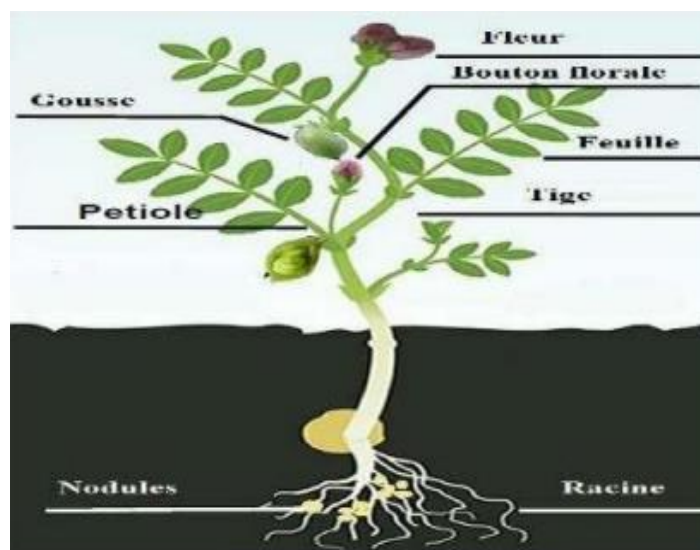


Figure 04: Description morphologique du pois chiche (KUDAPA et al., 2018)

3-4 Valeur nutritive de pois chiche:

Le pois chiche est une plante destinée à l'alimentation humaine. Sa valeur nutritive est importante grâce à ses grains qui sont riches en protéines, de l'ordre de 20 à 25%. Certaines lignées peuvent atteindre jusqu'à 28.9% (VAN DER MAESEN, 1972) et qui sont

caractérisées par une faible quantité de matière grasse et ne contiennent pas de cholestérol. Le pois chiche présente un excellent équilibre en acides aminés essentiels. Aussi, il est riche en calcium, en phosphore, en vitamine B1 et B2 et en fibres alimentaires (BAUMGARTNER, 1998). Il peut constituer un élément énergétique et protéique pour le bétail, car il présente une bonne digestibilité.

3-5 Importance du Pois Chiche:

3-5-1 Dans le monde:

Selon la FAO (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture) et en anglais (Food and Agriculture Organisation), les grands pays producteurs du pois chiche sont les suivants : L'Inde est non seulement le plus important de fabaceae alimentaires au monde, mais également le plus important consommateur. Le Canada est devenu en 2000-2001 un important exportateur de pois chiches, avec des exportations évaluées à 106 millions de dollars. La production mondiale est estimée à environ 7 millions de tonnes pour une superficie de 10 millions d'hectares, mais selon les estimations, les superficies étaient très limitées en 2003, elles étaient de l'ordre de 9900 ha jusqu'au 2006 ont atteint 10800 ha. Au cours de ces dernières années la production mondiale a connu des hauts et des bas allant de 6,7 million de tonnes (MT) en 2000-2001 à 9,5 MT en 1998-1999.

3-5-2 En Algérie:

La culture du pois chiche occupe la troisième place dans la production mondiale des fabaceae après la fève et le petit pois, dont l'Asie est le premier producteur avec une superficie de 10 159 000 ha (RAJESH, 2001). En Algérie la culture du pois chiche occupe seulement 0,63% de la superficie de ses terres. Sa production nationale reste modeste. Les principales zones de culture de pois chiche sont Sétif, Constantine et Guelma (est du pays), Sidi Bel Abbès, Témouchent, Mascara et Tlemcen (ouest du pays).

En Algérie, la culture des fabaceae en particulier le pois chiche a un intérêt national, car elle doit permettre de satisfaire les besoins, réduire les importations et limiter la dépendance économique vis-à-vis de l'étranger (SAOUD, 2013). En effet, cette culture occupe environ 33,32% de la superficie totale des fabaceae, avec un taux de production de 31,95% de la production nationale des fabaceae alimentaires.

3-6 Contraintes de production de pois chiche :

3-6-1 Restrictions vitales:

Les restrictions vitales sont celles qui compromettent directement la survie et la production du pois chiche. Parmi elles, le stress hydrique est l'un des principaux facteurs limitants, car le pois chiche est majoritairement cultivé dans des régions arides et semi-arides où la disponibilité en eau est faible, affectant la germination, la croissance et la nouaison (SINGH ET AL., 1997). La salinité excessive des sols constitue une autre contrainte majeure, provoquant des déséquilibres ioniques et une réduction de l'absorption des nutriments, ce qui diminue considérablement la croissance des plantes (Flowers et Yeo, 1995). De plus, des températures élevées pendant la floraison peuvent entraîner une stérilité florale et réduire la formation des gousses, affectant ainsi directement le rendement (SUMMERFIELD ET AL., 1984).

3-6-2 Restrictions non vitales:

Les restrictions non vitales n'affectent pas directement la survie de la plante, mais réduisent son rendement et sa qualité. Parmi elles, les maladies fongiques comme la fusariose vasculaire (*Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris*) et l'anthracnose (*Colletotrichum* spp.) entraînent des pertes importantes, bien qu'elles puissent être atténuées par l'utilisation de variétés résistantes et de traitements fongiques (NENE ET AL., 1996). Les attaques d'insectes ravageurs, notamment les bruches (*Callosobruchus* spp.), endommagent les graines stockées et diminuent leur qualité commerciale (Reddy, 1999). De plus, des pratiques culturales inadaptées, telles qu'une mauvaise rotation des cultures ou une fertilisation insuffisante, peuvent entraîner un épuisement des nutriments du sol et réduire progressivement la productivité des cultures (Lal, 2002).

4- Le pois (*Pisum sativum*):

4-1 Origine et historique de pois:

Le pois (*Pisum sativum*) est une fabaceae dont l'origine remonte au Proche-Orient méditerranéen, avec des traces de culture découvertes en Irak et en Turquie (MACKEE, 1994). Il fait partie des premières plantes domestiquées par l'homme en raison de sa richesse en protéines, de sa valeur énergétique et de sa facilité de culture. Son goût apprécié et sa polyvalence culinaire ont favorisé son adoption dans diverses régions du monde, contribuant à l'expansion de sa culture à travers les siècles (MACKEE, 1994).



Figure 05: le pois (*Pisum sativum*).

4-2 Classification botanique du Pois :

Le pois est une plante annuelle, de la famille des Fabacée (couramment appelée Légumineuses). Sa classification botanique est comme suit (USDA, 2008) : Règne : Plantae (Plantes).

Sous-règne : Tracheobionta (plantes vasculaires).

Embranchement : Spermatophyta (plantes à graines).

Sous Embranchement : Magnoliophyta.

Classe : Magnoliopsida (Dicotylédones).

Sous-classe : Rosidae.

Ordre : Fabales.

Famille : Fabaceae.

Sous-famille : Papilionoideae.

Genre : *Pisum*.

Espèce : *Pisum sativum* L.

4-3 Description morphologique de la plante:

Le pois (*Pisum sativum*) est une plante herbacée annuelle appartenant à la famille des Fabacées. Sa morphologie est caractérisée par plusieurs éléments distinctifs :

4-3-1 Le système racinaire :

L'enracinement du pois est assez développé puisque les racines peuvent atteindre 60 cm à 80 cm de profondeur en fin de floraison. Son système racinaire est formé d'un pivot relativement peu développé avec des racines secondaires voire tertiaires où on peut noter la présence de nodosités, associations symbiotiques avec des bactéries fixatrices de N₂ (MARION, 2019).

4-3-2 Le système aérien :

L'appareil aérien est constitué d'une tige principale et de ramifications issues des bourgeons latéraux portant des fleurs puis des fruits contenant des graines (CHRISTIAN, 2019).

□ **Tige:** Elle est généralement herbacée, creuse et peu lignifiée, ce qui la rend fragile et dépendante d'un support pour son développement optimal. Sa hauteur varie de 30 cm à 2 mètres selon la variété cultivée (MURFET, 1985).

- **Feuilles** : Composées et paripennées, elles comprennent 1 à 4 paires de folioles ovales à lancéolées et se terminent par une vrille, qui facilite l'accrochage de la plante aux supports environnants (SMARTT, 1990). Les stipules sont larges et bien développées, jouant un rôle majeur dans la photosynthèse (DUC, 1997).
- **Fleurs**: Les fleurs sont de type papilionacé, généralement blanches, rosées ou pourpres, et regroupées en inflorescences axillaires (MURFET, 1985). L'autofécondation est dominante chez le pois, bien que la pollinisation croisée soit possible dans certaines conditions (SMARTT, 1990).
- **Fruits**: Le pois produit des gousses allongées contenant plusieurs graines. La forme et la couleur des gousses varient selon les variétés (DUC, 1997).
- **Graines**: Elles sont généralement sphériques ou légèrement anguleuses, avec des teintes allant du vert au jaune, voire au brun ou au violet. Elles sont riches en protéines, en glucides et en fibres, jouant un rôle essentiel dans l'alimentation humaine et animale (LHUILIER-SOUDELE, 2002).

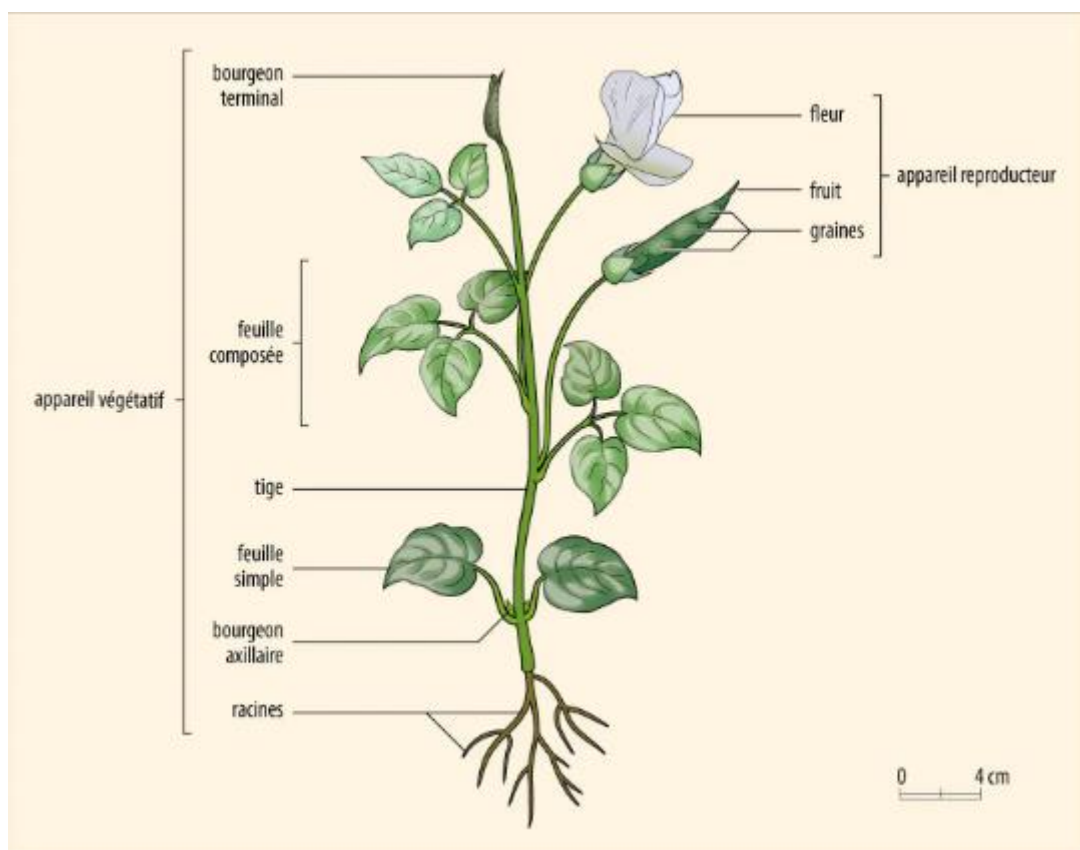


Figure 06: la Morphologie de la plante de pois (*Pisum sativum*).

4-4 Production et consommation :

4-4-1 Dans le monde:

Le pois (*Pisum sativum*) est une fabaceae largement cultivée à travers le monde, aussi bien sous forme de pois secs que de pois frais. En 2021, la production mondiale de pois secs était estimée à environ 14,6 millions de tonnes, avec le Canada en tête des producteurs, représentant près de 35 % de la production mondiale (FAO, 2021). L'Union européenne et la Russie figurent également parmi les principaux producteurs. En ce qui concerne les pois frais, la Chine domine largement le marché avec plus de 60 % de la production mondiale, suivie par l'Inde (FAOSTAT, 2021). La consommation de pois varie selon les régions : les pois secs sont couramment utilisés dans l'alimentation humaine et animale en Europe et en Amérique du Nord, tandis que les pois frais sont plus consommés en Asie (DUC, 1997).

4-4-2 En Algérie:

En algérie, le pois a été cultivé avant 1830 dans les jardins et les champs en kabylie (LAUMONT ET CHEVASSUS, 1960). le pois est répandu sur tout le territoire national. il est surtout cultivé sur les plaines côtières et les zones sublittoral. il occupe la 3ème place parmi les légumes secs (MAATOUGUI, 1996). la culture a pris un développement important en 1945, elle a connu par la suit un essor remarquable de 1947 à 1952. en 1980, 10800 ha ont été consacrés à cette culture. en ce qui concerne le pois frais, l'algérie se classe parmi les 10 premiers pays producteurs du monde. parmi les variétés cultivées en algérie : onward, paret, triphin, latcha (variété locale), merveille de kelvedon, douce de province et serpette (MEKLATI, 1992).

4-5 Contraintes de production de pois:

La culture du pois est confrontée à plusieurs contraintes qui peuvent limiter son rendement et sa qualité. Ces contraintes peuvent être d'ordre climatique, agronomique, pathologique et économique.

4-5-1 Contraintes climatiques:

Le pois est une culture adaptée aux climats tempérés, mais il est sensible aux températures extrêmes. Les gelées tardives au printemps peuvent affecter la germination et le développement des jeunes plants, tandis que des températures élevées pendant la floraison entraînent des avortements floraux et une réduction du rendement (MURFET, 1985). Un déficit hydrique, notamment au stade de floraison et de remplissage des gousses, peut également limiter la production (DUC, 1997).

4-5-2 Contraintes agronomiques:

La culture du pois exige un sol bien drainé, car il est particulièrement sensible à l'excès d'eau et à l'asphyxie racinaire, ce qui peut favoriser l'apparition de maladies racinaires (MUEHLBAUER & TULLU, 1997). La faible compétitivité du pois vis-à-vis des adventices constitue une autre contrainte majeure, nécessitant une bonne gestion du désherbage (JENSEN ET AL., 2010).

4-5-3 Contraintes pathologiques et parasitaires:

Le pois est sensible à plusieurs maladies fongiques telles que la fusariose (*Fusarium* spp.), l'anthracnose (*Ascochyta* spp.) et la pourriture racinaire (*Aphanomyces euteiches*) qui peuvent réduire considérablement le rendement (DUC, 1997). Les ravageurs comme les pucerons (*Acyrtosiphon pisum*) et la bruche du pois (*Bruchus pisorum*) constituent également une menace importante (JENSEN ET AL., 2010).

4-5-4 Contraintes économiques et techniques:

La fluctuation des prix du marché et la concurrence avec d'autres cultures plus rentables (blé, maïs) peuvent limiter l'expansion du pois (SMÝKAL ET AL., 2012). De plus, la mécanisation de la récolte est parfois difficile en raison de la fragilité des tiges et de la sensibilité à la verse (DUC, 1997).

Chapitre II : Données bibliographiques sur la salinité

1- Généralité sur la salinité:

Dans les zones arides et semi-arides, la salinité est l'un des facteurs majeurs responsables de la détérioration des sols en les rendant impropres à l'agriculture. (BENIDIRE ET AL., 2014). D'après Penningsfeld et Kurzmann (1969), les plantes cultivées peuvent être classées de la manière suivante : plantes résistantes, plantes tolérantes et plantes sensibles, Cette vision traditionnelle n'est pas à l'abri des critiques. La sensibilité des plantes varie non seulement en fonction de l'espèce, mais également selon les cultivars et l'âge des plantes. Il faut garder à l'esprit que l'objectif des producteurs n'est pas la survie des plantes mais le meilleur rendement en produits de qualité. Une culture peut supporter des niveaux élevés de salinité sans risque pour sa survie, alors que sa production peut être fortement affectée (URBAN et URBON, 2010).

2- Définition de stress salins:

Des concentrations élevées en sel dans la rhizosphère provoquent un stress, du fait du déficit en eau et de la toxicité des ions. L'exclusion de sel et l'ajustement osmotique, jouent tous deux un rôle essentiel dans la tolérance à des environnements très salés (HOPKINS, 2003).

La salinité peut être définie comme étant un processus pédologique suivant lequel le sol s'enrichit anormalement en solubles acquérant ainsi le caractère salin (EILERS ET AL., 1995 ; GREGORY, 2005). Le stress salin est un excès d'ions, en particulier mais pas exclusivement d'ions (Na^+ et Cl^-). Le stress salin est dû à la présence de grandes quantités de sel potentiel hydrique. Il Réduit considérablement la quantité d'eau disponible pour les plantes, alors on dit moyen "Physiologiquement sec"(BASSOU, 2019).

3-Les sources de salinité dans les sols:

La salinité des sols peut avoir plusieurs origines, qui peuvent être classées en sources naturelles et anthropiques.

3-1 Sources naturelles de salinité:

Les processus naturels qui contribuent à la salinisation des sols incluent :

- **L'altération des roches** : La dissolution des roches riches en sels libère des ions qui s'accumulent dans le sol.
- **Les dépôts d'aérosols marins** : Dans les régions côtières, le vent transporte des embruns salins qui se déposent sur le sol, augmentant sa teneur en sels.
- **La remontée capillaire des nappes phréatiques salines** : En climat aride et semi-aride, l'évaporation intense favorise la migration des sels dissous des nappes phréatiques vers la surface du sol.
- **Les précipitations et l'hydrographie** : Certaines zones reçoivent des eaux de pluie chargées en sels, notamment à partir de sources souterraines ou de rivières salines.

3-2 Sources anthropiques de salinité:

Les activités humaines sont également responsables de l'augmentation de la salinité des sols, principalement à travers :

- **L'irrigation excessive avec une eau saline** : L'utilisation d'une eau d'irrigation contenant des sels dissous entraîne leur accumulation progressive dans le sol, surtout en l'absence de drainage efficace.
- **Une mauvaise gestion des sols** : Le compactage du sol et l'utilisation excessive d'engrais minéraux peuvent accentuer l'accumulation de sels.
- **La déforestation et la modification du couvert végétal** : La suppression de la végétation naturelle modifie l'équilibre hydrique, favorisant la remontée des sels vers la surface.
- **Le drainage inadéquat** : Une évacuation insuffisante des eaux d'irrigation favorise l'accumulation de sels dans le profil du sol, aggravant ainsi la salinisation.

4- Les différents types de salinisation:

D'après LACHARME (2001) Ce qu'on appelle en général salinisation regroupe plusieurs mécanismes de dégradation : la salinisation, la sodisation et l'alcanisation qui sont trois phénomènes différents. Ces mécanismes sont à la base des principales dégradations de sol.

4-1 La salinisation :

Il s'agit de la concentration de sels neutres dans le profil de sol, en quantité suffisante pour affecter ses aptitudes agronomiques (augmentation de la pression osmotique provoquant un stress hydrique de la plante). Ils ont en général un PH inférieur à 8,5. Leur perméabilité est similaire à un sol non salin. Ces sols ne nécessitent que des nettoyages et un système de drainage efficient (LACHARME, 2001).

4-2 La sodisation :

La capacité du sol d'échanger des cations est appelée capacité d'échange cationique CEC. La sodisation est mesurée en pourcentage de la CEC occupée par le sodium. Ce pourcentage est nommé ESP ou PSE pourcentage de sodium échangeable. Lorsque la garniture cationique des argiles dépasse un seuil de teneur en sodium (NaH) généralement situé aux environs de 10% (ESP > 10%) et plus, les argiles ont tendance à déflocculer (se disperser). Le sol perd alors sa structure et sa perméabilité, il s'effondre. A un stade plus poussé, la sodisation s'accompagne d'une hausse du PH qui se traduit par une régression sévère des aptitudes agronomiques du sol, due en particulier à des carences. Un sol est considéré comme sodique si ESP est supérieur à 15 %. Le PH est seulement supérieur à 8,5 (LACHARME, 2001).

4-3 L'alcalinisation :

il s'agit d'une élévation du PH du sol sous l'effet de l'accumulation de bases. En simplifiant le phénomène, il est utile de rappeler ceci:

- En milieu aride, et en cas de drainage limité ou nul, la forte évaporation conduit à concentrer les eaux de surface et du sol.
- Lorsqu'une eau même faiblement minéralisée se concentre, sa composition évolue: la teneur en ions augmente. A la limite une évaporation poussée conduira à des eaux concentrées et donc salées.
- Toutes les espèces minérales ne se maintiennent pas en solution au cours de l'évaporation: lorsque le seuil de solubilité du minéral est atteint, il précipite et les ions correspondants cessent donc de se concentrer.

- Le premier minéral qui précipite est la calcite CaCO_3 . Cette précipitation intervient pour une valeur constante du produit des concentrations en calcium et en carbonate. Or l'eau du fleuve est relativement plus riche en carbonate (base faible) qu'en calcium. La précipitation laisse donc des carbonates résiduels en solution. Sa concentration a donc tendance à continuer à augmenter. Ceci entraîne l'accroissement du PH de la solution (LACHARME, 2001).

5-Effet de la salinité et du stress salin sur les plantes:

La salinité provoque à la fois un stress ionique et un stress osmotique sur les plantes et les réponses les plus connues des plantes à la salinité sont liées à ces effets (DUBEY, 1997). L'effet de la salinité sur les plantes se traduit généralement par une réduction de leur croissance (GHOULAM ET AL., 2002). D'autre part, les effets osmotiques des sels sur les plantes sont le résultat de l'abaissement du potentiel hydrique du sol dû à l'augmentation des concentrations des solutés dans le profil racinaire des plantes, cette condition interfère avec la capacité des plantes à extraire l'eau à partir du sol et à maintenir leur turgescence (GUERRIER, 1996, GHOULAM et al., 2002). L'accumulation des sels dans les feuilles cause la sénescence prématurée, la réduction de l'approvisionnement en assimilât dans les zones de croissance et de ce fait, elle altère la croissance des plantes (MUNNS ET AL., 1995). Chez les variétés sensibles, l'accumulation de sels est plus rapide, et les cellules ne peuvent pas compartimenter les sels dans les vacuoles au même degré que les variétés tolérantes (MUNNS, 1993). En générale, le stress salin affecte tous les principaux processus vitaux de la plante tel que la croissance, les relations hydriques, la photosynthèse et l'absorption des minéraux (NEUMANN, 1997).

5-1 Effet de la salinité sur la germination:

La germination des graines qu'elles soient halophiles ou glycophiles, est affectée par la salinité (DEBEZ, 2001). Les concentrations élevées du sel empêchent la germination d'*Arabidopsis thaliana* (Zhu, 2001). D'autre part, Askri et al. ont montré (2007), que la germination des graines de pastèque (*Citrullus latanus* L.) dans deux concentrations salines de NaCl 50 et 100 mM il y a respectivement une réduction de la vitesse de germination et de la capacité germinative. Une autre étude faite sur des graines d'artichauts, a montré que plus de 50% des graines irriguées avec des solutions salines sont mortes 4 à 5 jours après l'émergence de la racicule (MAUROMICALE et LICANDRO, 2002). L'effet de la salinité sur la germination des graines est varié en fonction de l'intensité du stress et la variété des plantes et cela, soit en diminuant la quantité d'eau et la vitesse de son absorption par la graine, soit par

l'accroissement de la pression osmotique de l'eau d'imbibition qui est trop élevée pour permettre la germination (KATEMBE ET AL., 1998), où en augmentant la pénétration d'ions qui peuvent s'accumuler dans la graine à des doses qui deviennent toxiques (DEBEZ ET AL., 2001). Quand le stress salin est levé et que la germination est remise dans des conditions normales, les graines reprennent leur activité (DUAN ET AL., 2004).

5.2. Sur la croissance des plantes:

Plusieurs recherches ont rapporté une réduction de croissance de plantes en raison de la salinité, chez la tomate (ROMERO- ARANDA ET AL., 2001) et le coton (MELONI ET AL., 2001). Cependant, il existe des différences dans la tolérance au stress salin entre les espèces et les cultivars (OMMAMIE, 2005). AZIZ et KHAN (2001) ont constaté que l'optimal de croissance chez l'espèce *Rhizophora mucronata* a été obtenue avec une irrigation à l'eau de mer à 50%, la croissance diminue avec l'augmentation de la concentration en sel, tandis que chez une légumineuse « *Alhagi pseudoalhagi* », le poids total de la plante s'accroît sous une faible salinité (50 mM de NaCl) mais il est diminué à des concentrations élevées (100 et 200 mM de NaCl) (KURBAN ET AL., 1999). Chez la betterave à sucre, la masse fraîche et sèche des feuilles et des racines a été nettement réduite à 200 mM de NaCl, mais le nombre de feuilles était moins affecté (GHOULAM ET AL., 2002) des résultats similaires ont été annoncé par FISARAKIS et al. (2001) chez la vigne qui a enregistré une grande réduction de la matière sèche des feuilles et des racines à des concentrations élevées en NaCl, soulignant une répartition des photoas similats au niveau des racines, Ils ont conclu que ces résultats sont peut-être dus à de plus grandes capacités d'ajustement osmotique sous stress salin chez les racines.

5-3 Effet osmotique et restriction hydrique:

Le stress salin induit un effet osmotique en augmentant la concentration en sels dissous dans la solution du sol, ce qui réduit le potentiel hydrique et limite l'absorption de l'eau par les racines des plantes. Cette restriction hydrique entraîne une diminution de la turgescence cellulaire, affectant ainsi la division et l'élongation des cellules, ce qui réduit la croissance des organes végétatifs, notamment les feuilles et les racines (Munns & Tester, 2008). De plus, la fermeture stomatique provoquée par la salinité limite la transpiration et, par conséquent, l'assimilation du CO₂, ce qui affecte la photosynthèse et réduit la productivité des cultures

(CHAVES ET *AL.*, 2009). Ainsi, l'effet osmotique du stress salin agit de manière similaire à une sécheresse physiologique, compromettant le métabolisme et la croissance des plantes.

5-4 Toxicité ionique et déséquilibre nutritionnel:

La toxicité ionique causée par le stress salin résulte principalement de l'accumulation excessive de Na^+ et Cl^- dans les tissus végétaux, ce qui perturbe l'homéostasie ionique et interfère avec l'absorption des nutriments essentiels. En particulier, le Na^+ entre en compétition avec le K^+ , un élément clé pour l'activation enzymatique et la régulation du potentiel membranaire, conduisant ainsi à une carence en potassium et à un dysfonctionnement métabolique (Tester & Davenport, 2003). De plus, la présence excessive de Na^+ et Cl^- inhibe l'absorption d'autres éléments nutritifs essentiels tels que Ca^{2+} , Mg^{2+} et NO_3^- , provoquant un déséquilibre nutritionnel qui affecte la croissance et le développement des plantes (Grattan & Grieve, 1999). Ce déséquilibre entraîne des altérations physiologiques, notamment une diminution de la photosynthèse et une sensibilité accrue au stress oxydatif, compromettant ainsi la productivité des cultures.

5-5 Conséquences sur la croissance et le développement des plantes:

Le stress salin affecte profondément la croissance et le développement des plantes en perturbant divers processus physiologiques et biochimiques. La réduction de l'absorption d'eau due à l'effet osmotique entraîne un ralentissement de l'élongation cellulaire et une diminution de la surface foliaire, limitant ainsi la photosynthèse et la production de biomasse (MUNNS & TESTER, 2008). Par ailleurs, l'accumulation excessive de Na^+ et Cl^- provoque des déséquilibres ioniques et des carences en nutriments essentiels, entraînant une sénescence précoce des feuilles et une réduction de la capacité photosynthétique (PARIDA & DAS, 2005). Ces effets combinés conduisent à une diminution du développement racinaire et aérien, réduisant inévitablement le rendement des cultures, en particulier chez les espèces sensibles à la salinité.

6- Principaux mécanisme d'adaptation des plantes au stress salin:

6-1 Régulation de l'absorption et de l'exclusion des ions toxiques:

Les plantes exposées à un environnement salin développent des stratégies pour limiter l'accumulation des ions toxiques, en particulier le Na^+ et le Cl^- , afin de préserver leur

équilibre ionique et leur fonctionnement cellulaire. La régulation de l'absorption de ces ions repose sur l'action de transporteurs membranaires spécifiques tels que **SOS1 (Salt Overly Sensitive 1)**, qui expulse activement le sodium hors des cellules racinaires, réduisant ainsi sa toxicité (ZHU, 2003). Par ailleurs, certains transporteurs vacuolaires, comme les **NHX (Na^+/H^+ antiporters)**, permettent la séquestration du Na^+ dans les vacuoles, limitant ainsi son accumulation dans le cytoplasme et atténuant ses effets négatifs sur les processus métaboliques (BLUMWALD, 2000). En parallèle, certaines espèces végétales renforcent leur endoderme et exoderme pour restreindre l'entrée du Na^+ dans les tissus conducteurs, limitant ainsi sa translocation vers les parties aériennes. Ces mécanismes de régulation de l'absorption et de l'exclusion des ions toxiques jouent un rôle clé dans la tolérance des plantes au stress salin.

6-2 Accumulation d'osmolytes et ajustement osmotique:

L'accumulation d'osmolytes est un mécanisme clé permettant aux plantes de s'adapter au stress salin en maintenant leur potentiel hydrique cellulaire et en réduisant les effets néfastes de la salinité. Parmi les osmolytes les plus couramment accumulés figurent les prolines, les sucres solubles et les polyols, qui agissent en stabilisant les structures cellulaires et en protégeant les enzymes contre la dénaturation (ASHRAF & FOOLAD, 2007). Cet ajustement osmotique favorise l'absorption de l'eau et contribue à la tolérance au sel en réduisant les effets du stress oxydatif et en maintenant la turgescence cellulaire (Munns & Tester, 2008). Ainsi, la capacité d'une plante à accumuler des osmolytes est un indicateur clé de sa résistance au stress salin.

6-3 Activation des mécanismes de défense antioxydants:

Le stress salin entraîne une production excessive d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) telles que le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) et les radicaux superoxydes (O_2^-), provoquant des dommages aux membranes, aux protéines et à l'ADN. Pour limiter ces effets, les plantes activent des systèmes de défense antioxydants comprenant des enzymes comme la superoxyde dismutase (SOD), la catalase (CAT) et les peroxydases (POD), qui neutralisent les ROS et réduisent le stress oxydatif (APEL & HIRT, 2004). En complément, des antioxydants non enzymatiques tels que l'acide ascorbique et le glutathion participent à la protection cellulaire. L'efficacité de ces mécanismes est essentielle pour assurer la survie des plantes en conditions de salinité élevée.

Chapitre III : Donné bibliographique sur la germination

1- La germination:

La germination correspond à l'ensemble des processus qui transforment une graine sèche en une graine en pleine activité. Elle débute avec l'absorption d'eau et se conclut par l'élongation de l'axe embryonnaire (Hopkins, 2003). C'est le passage d'un état de dormance à une reprise de vie active, sous l'influence de conditions favorables (HOPKINS, 2003). D'après Mazliak (1982), il s'agit d'un phénomène physiologique qui commence avec l'hydratation de la semence et se termine au moment où la radicule commence à croître ; une graine est alors considérée comme germée dès que la radicule perce les téguments.

2- Les conditions de la germination

2-1- Les conditions internes de la germination :

La germination est un processus complexe contrôlé par plusieurs facteurs internes, notamment la viabilité de la graine, la dormance, la composition chimique interne, ainsi que la structure et le développement physiologique de la graine. Une graine viable contient un embryon vivant capable de se développer en une plante, à condition que les conditions environnementales soient favorables. Toutefois, certaines graines peuvent entrer dans une phase de dormance, un mécanisme physiologique qui empêche la germination même lorsque les conditions extérieures sont adéquates. Cette dormance peut résulter de la présence d'inhibiteurs chimiques dans l'enveloppe ou l'embryon, ou d'une immaturité embryonnaire. De plus, la teneur en enzymes, en hormones (comme l'acide abscissique et la gibbérelline), ainsi qu'en réserves nutritives (amidon, protéines et lipides), joue un rôle crucial dans le déclenchement et le bon déroulement de la germination. Par ailleurs, plusieurs éléments liés à la qualité de la formation de la graine influencent sa capacité à germer, tels que la durée de vie des graines – définie par leur aptitude à germer sur une période donnée – et leur stade de développement. Une graine est considérée comme mature lorsque ses composantes, notamment les enveloppes protectrices et l'amande qui entoure l'embryon, ont atteint leur différenciation morphologique finale (BEWLEY ET AL., 2013 ; HELLER ET AL., 2004).

2-2- Les conditions externes de la germination :

Pour germer, la graine a besoin de conditions extérieures favorables, notamment la présence d'eau, d'oxygène, d'une température adéquate et, dans certains cas, de lumière (SOLTNER, 2007).

2-2-1-L'eau :

L'eau est indispensable à la germination, car elle doit être absorbée sous forme liquide afin de dissoudre les réserves de la graine, d'activer l'embryon, et de provoquer le gonflement puis la division des cellules (SOLTNER, 2007). La majorité des graines nécessitent une quantité d'eau équivalente à leur poids sec pour initier ce processus (BONNER, 2002).

2-2-2-L'oxygène :

Selon MAZLIAK (1982), la germination nécessite impérativement la présence d'oxygène, même en faible quantité. D'après MEYER ET AL. (2004), l'oxygène est essentiel à la production de l'énergie indispensable au fonctionnement des enzymes hydrolytiques, qui dégradent les réserves nutritives de la graine.

2-2-3-La température :

La température influence la germination de deux façons : directement, en accélérant les réactions biochimiques impliquées dans le processus – d'où l'effet stimulant d'une légère hausse de température – et indirectement, en modifiant la solubilité de l'oxygène dans l'embryon (MAZLIAK, 1982).

2-2-4-La lumière :

La lumière influence la germination de manière variable selon les espèces : elle stimule les graines à photosensibilité positive, l'inhibe chez celles à photosensibilité négative, tandis que certaines graines y sont totalement indifférentes (ANZALA, 2006). Les graines à photosensibilité positive, qui nécessitent une exposition prolongée à la lumière pour germer, sont les plus courantes et représentent environ 70 % des semences. Celles à photosensibilité négative, qui ne germent qu'en absence de lumière, notamment en profondeur dans le sol,

constituent environ 25 %, tandis que les graines indifférentes à la lumière sont rares (HELLER, 1998).

3- La dormance : un obstacle à la germination:

La dormance est l'un des principaux facteurs limitant la germination des graines, même lorsque les conditions environnementales (eau, température, oxygène) semblent favorables. Il s'agit d'un mécanisme adaptatif crucial qui permet aux plantes de synchroniser la germination avec les périodes les plus propices au développement de la plantule, en évitant notamment les conditions climatiques défavorables ou les périodes de stress abiotique (BEWLEY ET AL., 2013).

3-1 Les types de dormance:

La dormance est généralement classée en trois catégories principales (BASKIN & BASKIN, 2014) :

- **Dormance exogène (Inhibition tégumentaire)** : elle résulte de propriétés physiques ou chimiques des téguments (enveloppes) de la graine, qui empêchent l'absorption d'eau ou l'échange gazeux. Par exemple, chez de nombreuses Fabacées comme *Phaseolus vulgaris* (haricot commun) ou *Cicer arietinum* (pois chiche), la dureté du tégument constitue une barrière mécanique à la germination (ROLSTON, 1978).
- **Dormance endogène (Dormance embryonnaire)**: elle est due à des facteurs internes à l'embryon, tels que son immaturité ou la présence d'inhibiteurs chimiques (comme l'acide abscissique). Ce type de dormance est souvent associé à des exigences physiologiques précises pour être levée (BEWLEY ET AL., 2013).
- **Dormance combinée** : il s'agit d'un mélange des deux précédentes, où la levée nécessite à la fois une modification des téguments et une activation embryonnaire.

3-2 Levée de dormance:

Pour lever la dormance, plusieurs stratégies sont utilisées, en fonction du type de dormance identifié (ISTA, 2020) :

- **Méthodes physiques** : la scarification mécanique ou thermique (trempage dans l'eau chaude) permet de briser les téguments durs. Ces méthodes sont souvent utilisées chez les Fabacées pour améliorer les taux de germination (DELOUCHE, 1973).
- **Méthodes chimiques** : l'utilisation d'acide sulfurique concentré pour ramollir les téguments, ou l'application d'hormones comme les gibbérellines (GA_3) qui stimulent les processus métaboliques embryonnaires (TAIZ ET AL., 2015).
- **Méthodes environnementales** : l'alternance de températures jour/nuit, l'exposition à la lumière, ou la stratification à froid sont autant de techniques qui simulent les conditions naturelles permettant la levée progressive de la dormance (BASKIN & BASKIN, 2014).

3-3 Dormance et stress abiotique:

Dans le cadre de recherches sur le stress salin, il est important de distinguer la dormance des effets inhibiteurs directs du sel sur la germination. En effet, la salinité peut induire une dormance dite « secondaire », en réponse à un environnement défavorable, rendant difficile l'interprétation des tests de germination (FOOLAD & LIN, 1997). Cette interaction complexifie l'étude de la germination dans les conditions de stress et nécessite des protocoles expérimentaux rigoureux pour identifier les mécanismes spécifiques en jeu.

4- Physiologie de la germination :

La germination des graines comprend trois principales phases :

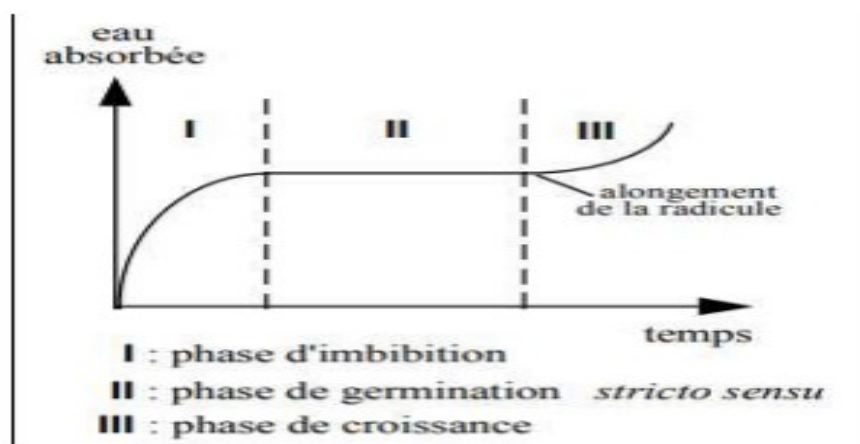


Figure 07 : Courbe théorique de la germination.

4-1- Phase 1:

La première phase, appelée imbibition, correspond à une absorption rapide et passive de l'eau par la graine. Ce phénomène se produit même si la graine n'est pas viable. L'entrée d'eau s'accompagne d'une augmentation de la consommation d'oxygène, due à l'activation des enzymes mitochondriales (HOPKINS, 2003).

4-2- Phase 2:

La deuxième phase, également appelée phase de germination **sensu stricto**, se caractérise par un ralentissement de l'absorption d'eau et une consommation d'oxygène stable (RAJJOU ET AL., 2004). Dans cette phase, la présence continue d'eau et d'oxygène permet l'activation des processus respiratoires et mitotiques. La synthèse des protéines est facilitée, la graine disposant déjà de l'ensemble de la machinerie nécessaire, notamment des ARNm accumulés durant la maturation (RAJJOU ET AL., 2004). Par ailleurs, l'eau active les phytohormones hydrosolubles stockées dans la graine, les rendant mobiles et fonctionnelles (SOLTNER, 2007). La phase de germination au sens strict se termine avec la percée du tégument par la radicule, rendue possible grâce à l'allongement des cellules (HELLER ET AL., 2004).

4-3- Phase 3:

La troisième phase, dite post-germinative, est marquée par une reprise de l'absorption d'eau et une augmentation de la consommation d'oxygène, ce qui entraîne rapidement la reprise des divisions cellulaires et la croissance. Cette phase correspond à un processus de développement actif, affectant d'abord la radicule, puis la tigelle (HOPKINS, 2003). À ce stade, la germination est considérée comme achevée dès que la radicule perce les téguments de la graine. Il est important de noter que toute déshydratation des tissus durant cette phase peut entraîner la mort de la semence.

5- Les types de germination:

On distingue principalement deux types de germination chez les plantes à graines, en fonction du déplacement des cotylédons pendant le processus :

5-1 Germination épigée :

Dans ce type de germination, l'hypocotyle s'allonge et soulève les cotylédons au-dessus du sol. Ceux-ci peuvent devenir chlorophylliens et participer à la photosynthèse. Ce mode de germination est typique chez des espèces comme le **haricot** (*Phaseolus vulgaris*).

5-2 Germination hypogée :

Dans ce cas, les cotylédons restent enfouis dans le sol, tandis que l'épicotyle pousse pour faire émerger les premières feuilles. C'est le type de germination observé chez le **pois** (*Pisum sativum*).

Selon BEWLEY ET AL. (2013), la distinction entre germination épigée et hypogée est déterminée par la morphologie embryonnaire et l'activité différentielle de l'hypocotyle et de l'épicotyle durant les premières phases de croissance.

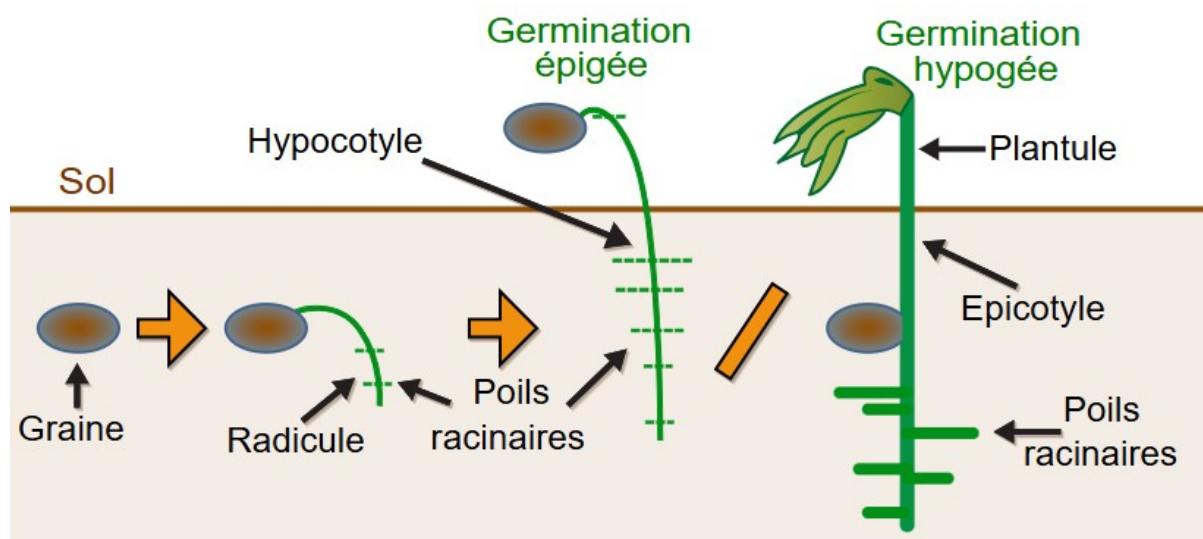


Figure 08 : Germination épigée et hypogée.

6- Cinétique de la germination:

La cinétique de la germination correspond à l'étude de l'évolution temporelle du processus de germination des graines. Elle constitue un indicateur clé pour évaluer la vigueur des semences, leur capacité à initier le développement végétatif, ainsi que l'impact de différents facteurs abiotiques ou biotiques sur cette phase critique du cycle de vie végétal (BEWLEY ET BLACK, 1994).

6-1 Paramètres de la cinétique:

Plusieurs paramètres permettent de caractériser la cinétique de germination :

- **Taux final de germination (Gf)** : pourcentage de graines ayant germé à la fin de l'observation. Il renseigne sur la viabilité globale du lot de semences.
- **Temps moyen de germination (TMG ou T_{50})** : temps nécessaire pour que 50 % des graines germent. Ce paramètre reflète la vitesse moyenne de germination (RANAL ET SANTANA, 2006).
- **Temps de début de germination (Td)** : moment où la première graine émet sa radicule, indiquant la précocité de la germination.
- **Indice de vitesse de germination (IVG)** : indice composite prenant en compte le nombre de graines germées chaque jour, pondéré par le temps. Il permet de distinguer des lots à germination rapide de ceux à germination lente (MAGUIRE, 1962).

6-2 Représentation graphique et modélisation:

La cinétique de germination est souvent représentée par une courbe de germination cumulée, où l'on trace le pourcentage de graines germées en fonction du temps. Cette représentation graphique permet d'évaluer visuellement la dynamique du processus de germination et de comparer les comportements entre différents traitements ou entre espèces végétales (RANAL & SANTANA, 2006).

Lorsque nécessaire, des modèles mathématiques adaptés à la forme sigmoïde de la courbe peuvent être utilisés pour ajuster les données empiriques et extraire des paramètres biologiques comparables, tels que le temps moyen de germination ou la vitesse maximale de

germination. Ces modèles permettent une analyse plus fine et objective de la dynamique germinative (COVELL ET *AL.*, 1986 ; BRADFORD, 1990).

6-3 Intérêt de l'analyse cinétique:

L'analyse de la cinétique de germination est particulièrement utile dans les études comparatives de variétés, dans les tests de stress environnementaux (salinité, sécheresse, température), ou encore dans les essais d'amélioration des performances semencières. Elle permet de distinguer non seulement la capacité à germer, mais aussi la rapidité et l'uniformité du processus.

7- Importance de la germination:

La germination représente une étape cruciale dans le cycle de vie des plantes, car elle marque le début de la croissance active de l'embryon et l'établissement de la plantule. La réussite de cette phase conditionne directement la densité de peuplement, la vigueur des plantes, et, en fine, le rendement des cultures. Une bonne germination permet une implantation rapide et homogène, ce qui favorise une meilleure compétition contre les adventices, une utilisation plus efficace des ressources du sol, et une meilleure résilience face aux stress abiotiques.

Dans le contexte agricole, la qualité de la germination est un indicateur essentiel de la viabilité des semences. Elle influence également les stratégies de sélection variétale et les pratiques de gestion culturales (irrigation, fertilisation, semis).

Comme le soulignent Finch-Savage et BASSEL (2016), la germination est non seulement le point de départ du développement végétal, mais aussi une phase hautement sensible aux conditions environnementales. Sa compréhension est donc essentielle pour optimiser la performance agricole dans un contexte de changement climatique.

Chapitre IV: Matériel et Méthode

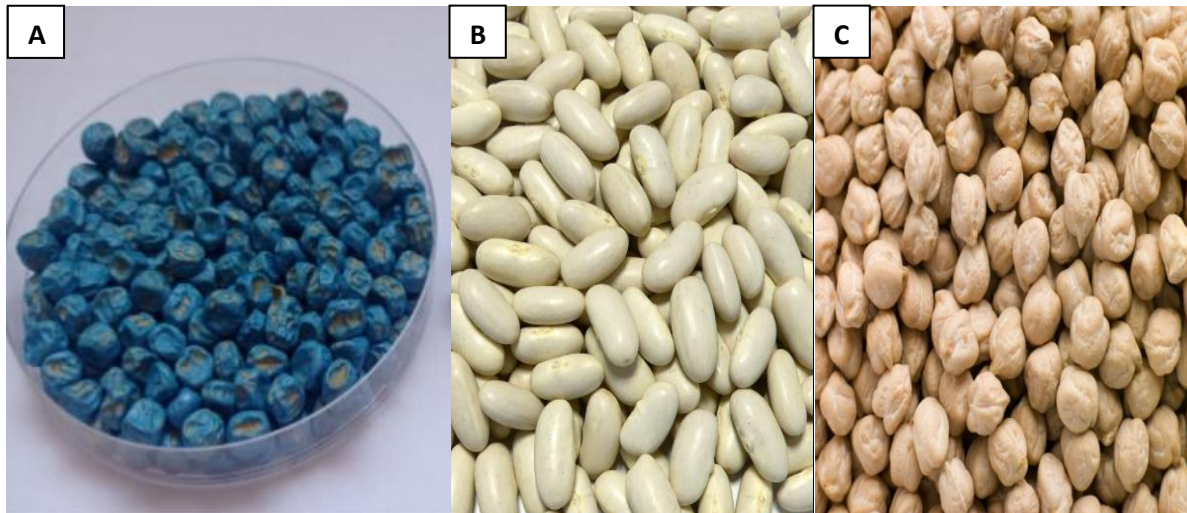
1- Matériel du laboratoire :

Le matériel utilisé au cours de cette expérimentation comprend :

- Graines de trois espèces (Haricot, pois et pois chiche).
- Sel
- Boules de coton
- Spatule
- Pince
- Boîtes de Pétri
- Balance pour peser le sel
- Pipette graduée
- Béchers
- Eau distillée
- Eau de Javel
- Chronomètre
- Appareil photo
- Marqueur
- Agitateur magnétique
- Bec benzène

2- Matériel végétal :

Pour évaluer l'effet de la salinité sur les fabaceae, trois espèces ont été achetées sur le marché : *Pisum sativum* (pois), *Phaseolus vulgaris* (haricot) et *Cicer arietinum* (pois chiche) (**figure 09**).



A: pois ; B: haricot ; C: pois chiche

figure 09: Les trois espèce de fabaceae.

Ces trois espèces présentent les caractéristiques suivantes :

Tableau n°1 : quelques informations sur le trois espèces (pois,haricot,pois chiche).

Légumineuse	Type	Caractéristiques
Pois Chiche	Grain sec	Petites graines rondes et beiges, riche en protéines et en fibres.
Haricot	Grain sec	Forme ovale et couleur blanche dans l'image, texture crémeuse après cuisson.
Pois	Grain sec	Petites graines rondes et bleues , texture légèrement sucrée, source de protéines, de fibres et de vitamines.

3- Méthodologie de travail :

3-2 Préparation des graines :

Trier et stériliser les graines des trois espèces étudiés (haricot, pois et pois chiche) par lavage à l'eau javal diluée à 33 % (1 volume d'eau de Javel pour 2 volumes d'eau distillée)

pendant 10 minutes. Rincez ensuite abondamment à l'eau distillée pour éliminer l'eau de Javel et les conservateurs adhérant aux graines afin de favoriser et homogénéiser leur germination.



Figure 10: Préparation des graines .

3-2 Préparation du solutions de stress salin:

Nous avons préparé cinq flacons d'un litre chacun pour tester cinq concentrations salines différentes. Le premier flacon sert de témoin sans sel. Dans le deuxième, nous avons dissous 3 g de sel dans 1 L d'eau. Les troisième, quatrième et cinquième flacons contiennent respectivement 6 g, 9 g et 12 g de sel dissous dans 1 L d'eau chacun.



Figure 11: les différentes concentrations salines de NaCl (0,3,6, 9, et 12 g/l) .

4- Germination sous stress salin :

Dans un milieu stérile, les graines préparées sont placées dans 45 boîtes de Petri stériles de 9 cm de diamètre, contenant du coton et arrosées avec 20 mL des solutions salines préparées. Chaque espèce (pois chiche, haricot, pois) est répartie dans 15 boîtes, contenant chacune dix graines. Ces 15 boîtes sont divisées en 5 groupes (les concentrations) de 3 (les répétitions), recevant respectivement les concentrations suivantes : 0 g/L (témoin), 3 g/L, 6 g/L, 9 g/L et 12 g/L.

Les boîtes sont ensuite placées dans une étuve réglée à 25 °C et arrosées quotidiennement à la même heure avec la solution correspondant à chaque concentration. Le pourcentage de germination est enregistré régulièrement.



Figure 12: Test de germination.

1- Dispositif expérimental:

La Figure suivante présente le dispositif expérimental de notre travail (Figure 13).

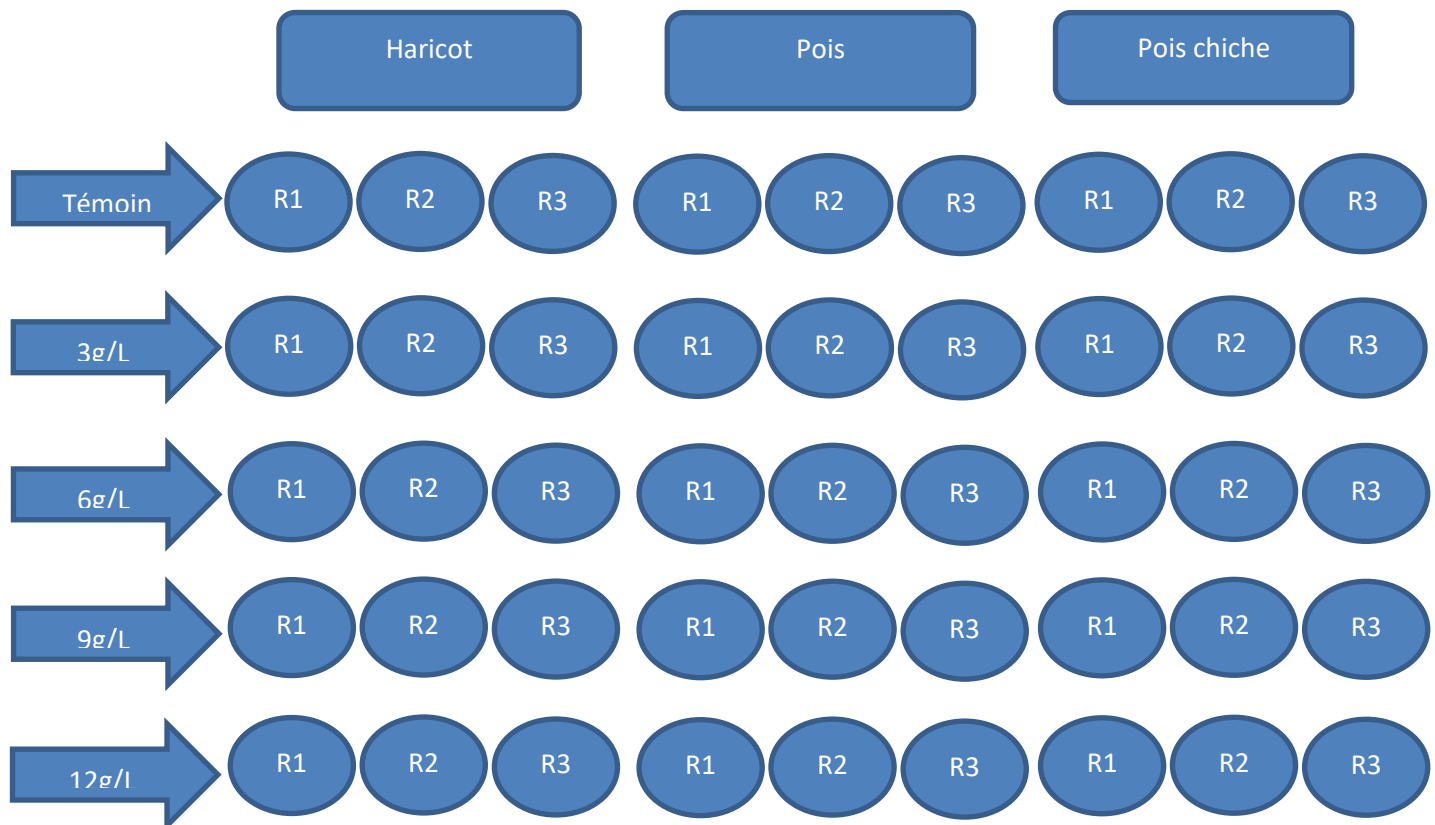


Figure 13 : Dispositif expérimental des trois espèces (haricot, pois, pois chiche).

5- Paramètres de mesure de la germination:

5-1- Taux de germination final :

$$\text{Taux de germination} = \frac{\text{Nombre totale des graines germées}}{\text{Nombre totale des graines testés}} \times 100$$

Le taux de germination correspond au pourcentage de graines ayant réussi à germer dans un ensemble donné, dans des conditions précises de température, d'humidité et de lumière. Il s'agit d'un indicateur essentiel de la viabilité des semences et de leur potentiel de développement. Ce paramètre est couramment utilisé pour évaluer la qualité physiologique des graines dans les expérimentations agronomiques (BEWLEY ET AL., 2013)

5-2- Cinétique de germination

C'est le pourcentage quotidien de germination obtenu dans les conditions choisies par l'expérimentateur, il dépend des conditions de germination et des traitements préalablement subis par les semences (MAZLIAK, 1982 cité par LARDJANI, 2019)

6- Teste statistique :

Pour test la significativité de l'effet du stress salin sur la germination des trois Fabaceae étudiées, les résultats obtenues ont fait l'objet d'une analyse de la variance (ANOVA à un facteur) au risque $\alpha = 5\%$ en utilisant le logiciel appinio (figure14 et 15) disponible gratuitement en ligne à l'adresse : <https://www.appinio.com/fr/outils/calculateur-anova>.

appinio

Comment ça marche ?

Solutions

Tarifs

Clients

Entreprise

Ressources

Connexion

S'inscrire

Calculateur ANOVA

Simplifiez votre analyse de la variance avec notre calculateur de pointe ANOVA et calculez les différences entre deux moyennes.

Data entry format

Enter raw data

Nom

Groupe 1

Valours

10,9,7

Nom

Groupe 2

Valours

1,5,6

+ Ajouter un groupe

— Supprimer un groupe

Niveau de significativité (α)

0.05

Réinitialiser

Calculer

Figure14 : Table des données.

Résultats

Valeur de la statistique F = 7.0000
valeur-p = 0.0572
Selon les critères conventionnels, cette valeur est considérée comme **statistiquement non significative**.

Résumé des données:

Groupes	N	Moyenne	Écart type	Erreur type
Groupe 1	3	8.67	1.5275	0.8819
Groupe 2	3	4.00	2.6458	1.5275

Résumé de l'ANOVA:

Source	Degrés de liberté	Somme des carrés	Carré moyen	Stat F	valeur-p
Entre les groupes	1	32.67	32.67	7.0000	0.0572
Au sein des groupes	4	18.67	4.67		
Total	5	51.33			

Figure15 : Résultats de l'analyse.

Chapitre V : Résultats et discussion

1- Taux de la germination :

Le taux de germination final des trois espèces étudiées (Haricot, Pois et Poischiche) en fonction des différentes concentrations en NaCl est représenté par les figures ci-après :

1-1 Haricot (*Phaseolus vulgaris* L):

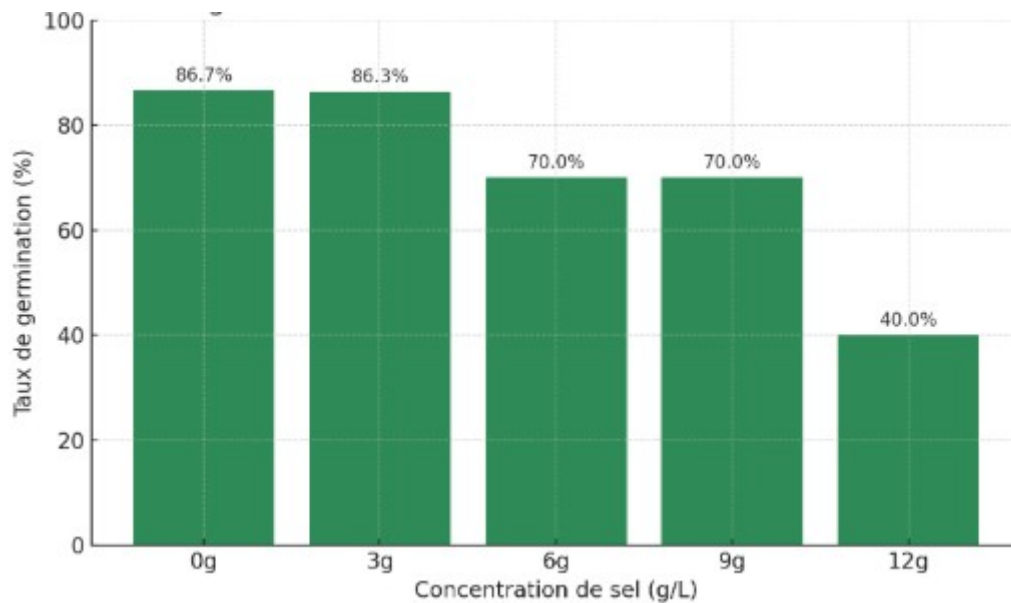


Figure 16 : Taux de germination d'haricot aux différentes concentrations de NaCl (g/l).

D'après la (figure 16), on constate que le taux de germination est élevé pour le témoin et la concentration 3g/l atteignant 86,66 % et 86,33% respectivement. Ce taux décroît légèrement à 70% pour les deux concentrations 6g/l et 9g/l. Il diminue considérablement à la concentration 12g/l où il est de 40%. L'analyse de la variance (ANOVA à un facteur) montre que l'effet des concentrations 3g/l, 6g/l et 9g/l n'affectent pas significativement le taux de germination, alors que la concentration 12g/l agit très significativement sur la réduction du taux de germination de l'haricot (tableau 02)

Tableau 02 : Test ANOVA à un facteur sur le taux de germination de l'haricot.

Paramètre	Stat-F	Valeur-P	signification
0g-3g	0.0500	0.8340	Non significative
0g-6g	1.5625	0.2794	Non significative
0g-9g	1.5625	0.2794	Non significative
0g-12g	30.25	0.0053	Très significative

1-2 Le pois chiche (*Cicer arietinum*):

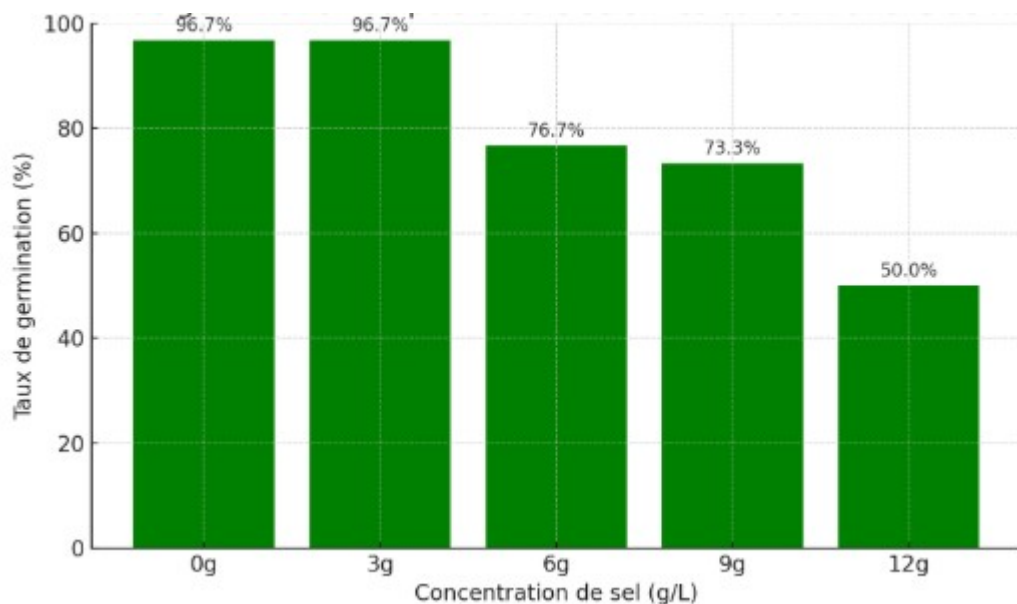


Figure 17 : Taux de germination de pois chiche aux différentes concentrations de NaCl (g/l).

D'après la (figure 17), on constate que le taux de germination est élevé pour le témoin et la concentration 3g/l atteignant 96,66 %. Ce taux décroît légèrement à 76,66% pour la concentrations 6g/l et à 73,33% pour la concentration 9g/l. Il diminue considérablement à la concentration 12g/l où il est de 50%. L'analyse de la variance (ANOVA à un facteur) montre que les deux concentrations 3g/l, 6g/l ont un effet non significatif sur le taux de germination du pois chiche, alors que la concentration 9g/l et 12g/l agit significativement sur la réduction du taux de germination de cette espèce (tableau 03).

Tableau03: Test ANOVA à un facteur sur le taux de germination de pois chiche.

Paramètre	Stat-F	Valeur-P	Signification
0g-3g	2	0.2302	Non significative
0g-6g	2	0.2302	Non significative
0g-9g	18	0.0132	Significative
0g-12g	10	0.0341	Significative

1-3 Le pois (*Pisum sativum*):

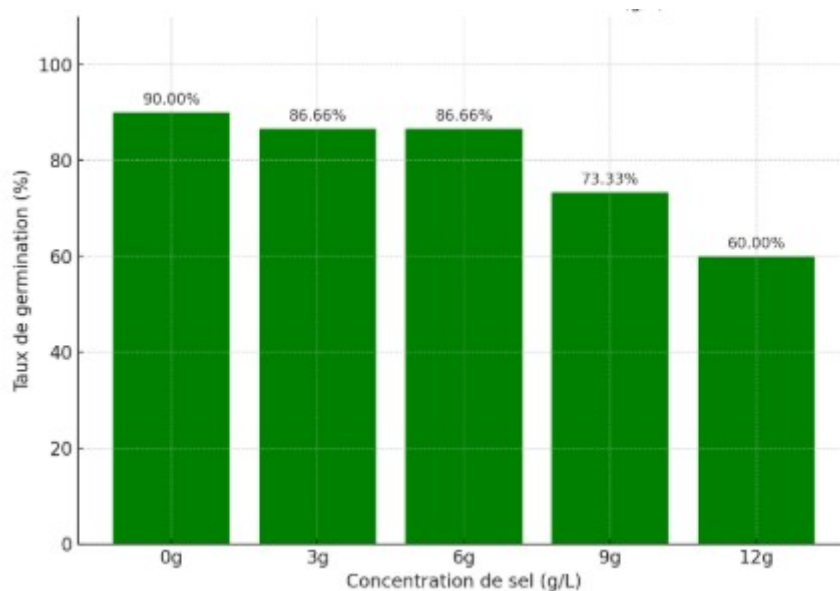


Figure 18 : Taux de germination de pois aux différentes concentrations de NaCl (g/l).

Selon la figure 18, on remarque que le taux de germination est élevé pour le témoin 90 % et les deux concentrations 3g/l et 6g/l atteignant 86,66%. Ce taux décroît légèrement à 73,33% pour la concentration 9g/l. Il diminue considérablement à la concentration 12g/l où il est de 60%. L'analyse de la variance (ANOVA à un facteur) montre que seule la concentration 12g/l présente un effet significatif réduction du taux de germination de pois (tableau 04).

Tableau04 : Test ANOVA à un facteur sur le taux de germination de pois.

Paramètre	Stat-F	Valeur-P	Signification
0g-3g	4.50	0.1012	Non significative
0g-6g	0.6429	0.0676	Non significative
0g-9g	3.20	0.1481	Non significative
0g-12g	18	0.0132	Significative

2- la cinétique de la germination:

2-1 l'haricot (*Phaseolus vulgaris*. L):

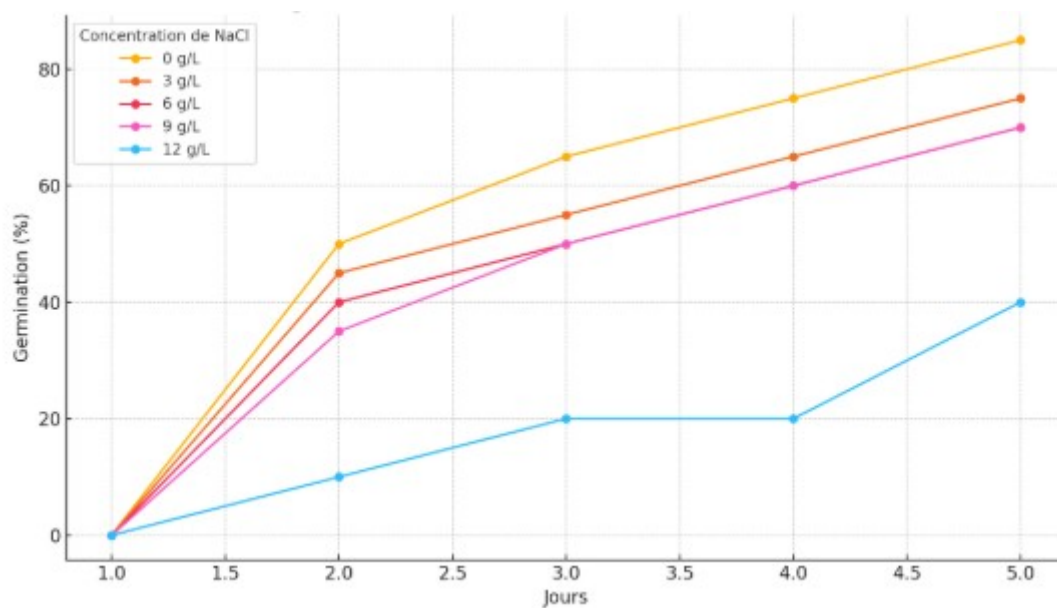


Figure 19: Cinétique de germination de haricot pour les différentes concentrations de NaCl.

Les résultats de la germination quotidienne de l'haricot aux différentes concentrations de NaCl (figure 19) montrent que cette germination débute le deuxième jour pour toutes les concentrations. Elle atteint un taux de germination de 50% entre le deuxième et le troisième jour pour les différentes concentrations à l'exception de la concentration 12 g/l qui ne dépasse pas le taux de 40% sur toute la période de l'expérimentation. Le taux de germination

maximal du témoin et des concentrations 3g/l, 6g/l et 9g/l est obtenu au 5 jours de l'expérimentation.

2-2 Le pois chiche (*Cicer arietinum*):

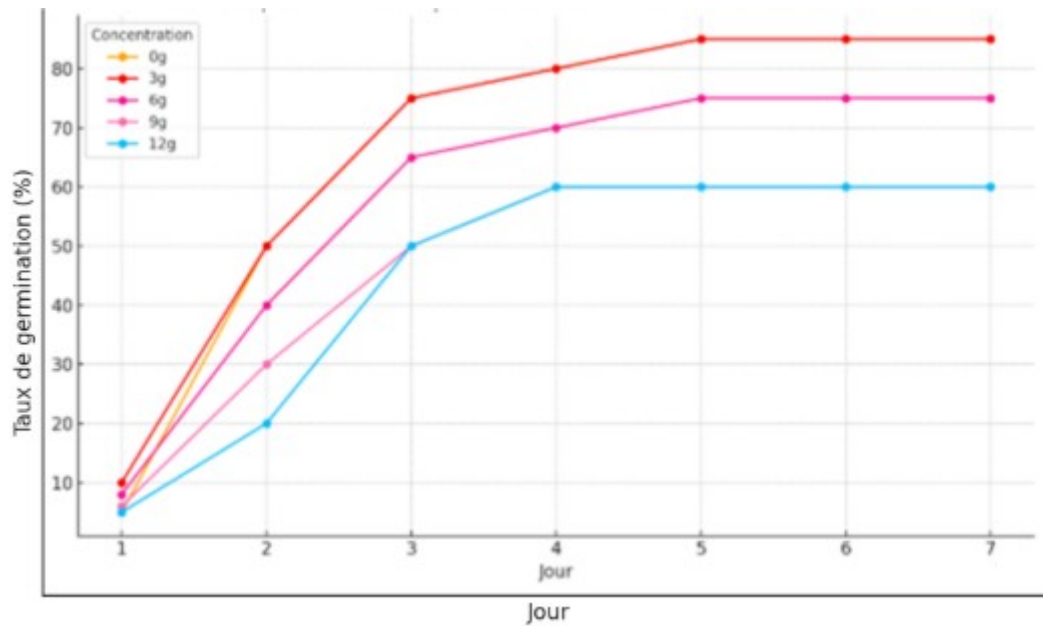


Figure 20 : Cinétique de germination de pois chiche pour les différentes concentrations de NaCl.

Les résultats de la germination quotidienne de pois chiche aux différentes concentrations de NaCl (figure 21) montrent que cette germination débute le premier jour pour toutes les concentrations et atteint un taux de germination de 50% au deuxième jour sauf la concentration 12 g/l qui atteint ce taux au troisième jour. Le taux de germination maximal est obtenu au 7 jours de l'expérimentation pour toutes les concentrations.

2-3 Le pois (*Pisum sativum*):

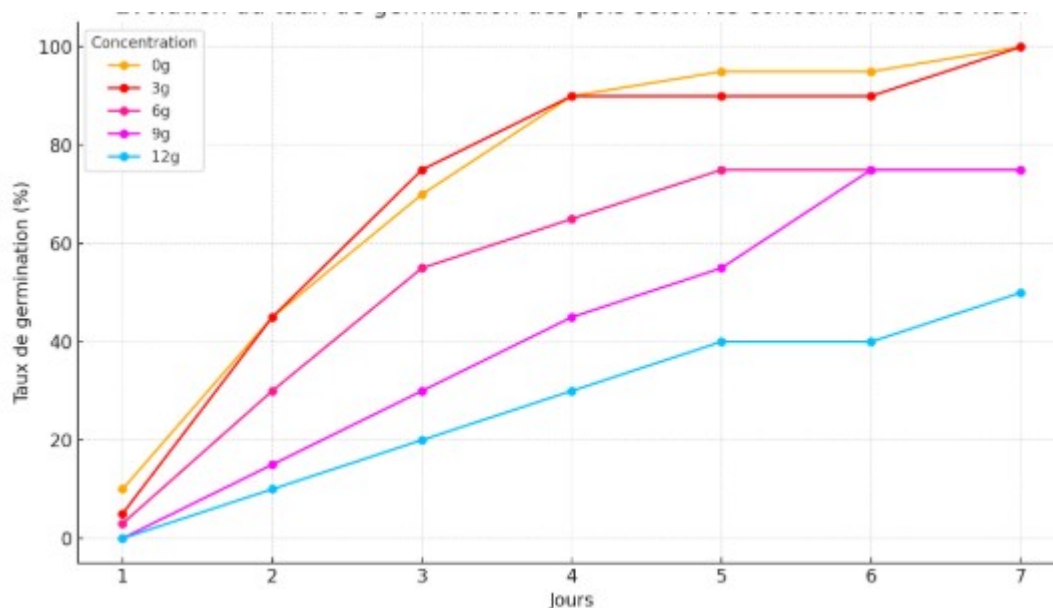


Figure 21 : Cinétique de germination de pois pour les différentes concentrations de NaCl.

Les résultats de la germination quotidienne de pois aux différentes concentrations de NaCl (figure 22) montrent que cette germination débute au deuxième jours pour toutes les concentrations. Le taux de germination de 50% est atteint au troisième jours pour le témoin et les concentrations 3g/l et 6g/l et au 5 jours et 7 jours pour les concentrations 9g/l et 12 g/l respectivement. Le taux de germination maximal est obtenu au 7 jours de l'expérimentation pour toutes les concentrations.

Discussion :

Les résultats obtenus dans notre étude montrent que le stress salin, induit par des concentrations croissantes de NaCl, affecte différemment la germination des trois légumineuses étudiées : le haricot (*Phaseolus vulgaris* L.), le pois (*Pisum sativum* L.) et le pois chiche (*Cicer arietinum* L.). Nous avons constaté que l'effet de la salinité est observé par la diminution significative du taux de germination maximal aux fortes concentrations de NaCl en particulier chez l'haricot (40%) et le pois chiche (50%) à la concentration de 12 g/l. Le pois apparaît le moins sensible à la salinité avec le taux de germination le plus élevé (60%) aux fortes concentrations de 12g/l. Une analyse ANOVA à un facteur a révélé un effet significatif de la concentration en sel sur le taux de germination des graines ($F = 30.25$, $p =$

0.0053). Les graines soumises à une concentration élevée de sel (12g) ont montré une germination significativement plus faible comparée aux concentrations inférieures. Ces résultats suggèrent une tolérance limitée des graines au stress salin, avec une inhibition marquée à haute concentration.

On observe que la résistance du pois aux fortes concentrations de sel s'exprime par une durée de germination plus prolongée en particulier le T50 obtenue sur une période de 7 jours contre 2 à 3 jours pour l'haricot et le pois chiche. Le taux de germination reste élevé pour les faibles concentrations (3 à 9 g/L) pour les trois espèces. Il varie entre 83,33% et 96,66% aux concentrations 0g/l et 3g/l et entre 70% et 86,66% aux concentrations 6g/l et 9g/l pour les trois espèces. Ces observations rejoignent celles D'OKÇU ET AL. (2005), qui ont démontré que l'augmentation de la salinité réduit de manière significative le pourcentage de germination des cultivars de petits pois, en retardant également l'atteinte du taux de germination de 50 %. De même, CAMARA ET AL. (2018) ont rapporté que le NaCl induit une réduction du taux de germination et un allongement du délai nécessaire pour atteindre 50 % de germination chez les graines de pois, confirmant le ralentissement observé dans notre étude. Par ailleurs, nos données concordent avec celles de COKKIZGIN ET AL. (2012), qui ont observé une baisse significative de tous les paramètres de germination chez le haricot sous stress salin, à l'exception du temps pour atteindre 50 % de germination, qui, selon eux, restait proche du témoin à certaines concentrations (2 à 3 jours). La diminution du taux de germination sous l'effet du sel est également soutenue par les travaux de SLAMA ET AL. (1992) et KHEMIRI ET AL. (2004), qui ont expliqué ce phénomène par une perturbation des systèmes enzymatiques (notamment la polyphénol oxydase et l'amylase), essentiels à l'initiation de la germination. Ces résultats suggèrent que la salinité agit principalement en augmentant la pression osmotique du milieu, réduisant ainsi l'absorption de l'eau, ce qui affecte à la fois l'imbibition des graines et la croissance ultérieure. Enfin, la variabilité de la tolérance entre les espèces testées — avec une meilleure résistance apparente du pois à des concentrations modérées de sel — rejoint les conclusions de GHRIB ET AL. (2011), selon lesquelles les différences dans le moment où 50 % des graines germent et dans le taux final de germination constituent de bons indicateurs pour discriminer les espèces selon leur sensibilité ou tolérance au stress salin.

Conclusion

Conclusion:

Les résultats obtenus dans notre étude montrent que le stress salin, induit par des concentrations croissantes de NaCl affecte différemment la germination des trois Fabaceae étudiées : le haricot (*Phaseolus vulgaris* L.), le pois (*Pisum sativum* L.) et le pois chiche (*Cicer arietinum* L.). Nous avons constaté que le taux de germination reste élevé pour les faibles concentrations (3 à 6 g/L), mais diminue significativement à partir de 9 g/L chez le pois chiche et le haricot, et à 12 g/L chez le pois. Ces observations rejoignent celles d'Okçu et al. (2005), qui ont démontré que l'augmentation de la salinité réduit de manière significative le pourcentage de germination des cultivars de petits pois, en retardant également l'atteinte du taux de germination de 50 %. De même, Camara et al. (2018) ont rapporté que le NaCl induit une réduction du taux de germination et un allongement du délai nécessaire pour atteindre 50 % de germination chez les graines de pois, confirmant le ralentissement observé dans notre étude. Par ailleurs, nos données concordent avec celles de Cokkizgin et al. (2012), qui ont observé une baisse significative de tous les paramètres de germination chez le haricot sous stress salin, à l'exception du temps pour atteindre 50 % de germination, qui, selon eux, restait proche du témoin à certaines concentrations. La diminution du taux de germination sous l'effet du sel est également soutenue par les travaux de Slama et al. (1992) et Khemiri et al. (2004), qui ont expliqué ce phénomène par une perturbation des systèmes enzymatiques (notamment la polyphénol oxydase et l'amylase), essentiels à l'initiation de la germination. . Enfin, la variabilité de la tolérance entre les espèces testées — avec une meilleure résistance apparente du pois aux concentrations croissantes de NaCl — rejoint les conclusions de Ghrib et al. (2011), selon lesquelles les différences dans le moment où 50 % des graines germent et dans le taux final de germination constituent de bons indicateurs pour discriminer les espèces selon leur sensibilité ou tolérance au stress salin.

Référence bibliographie

1. Abate, T., Ampofo, J. K. O., & Ntoukam, G. (2000). Biological control of insect pests of beans in Africa. *Annual Review of Entomology*, 45(1), 185-210.
2. Anonyme3 (2015). *Statistiques agricoles nationales*. Ministère de l'Agriculture, Algérie.
3. Anzala, M. (2006). *La germination et la photosensibilité des graines*. Revue de Botanique Appliquée, 34(2), 45-53.
4. Baskin, C. C., & Baskin, J. M. (2014). *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination* (2nd ed.). Academic Press. 392 pages.
5. Baumgartner, J. (1998). Nutritional composition of chickpeas. In P. M. Gaur & S. K. Slinkard (Eds.), *Chickpea Breeding and Management* (pp. 54–68). CAB International.
6. Beebe, S., Rao, I. M., Blair, M., & Acosta-Gallegos, J. A. (2013). Phenotyping common beans for adaptation to drought. *Frontiers in Physiology*, 4, 35.
7. Benidire, L., Benidire, L., & Benidire, M. (2014). *Effet du stress salin sur la croissance et la germination de quelques espèces végétales*. Revue des Sciences de l'Environnement, 5(1), 45–52.
8. Benidire, L., Castro-Mejía, J. L., Vlamakis, H., González-Zorn, B., & Smidt, H. (2014). Microbial diversity and its role in plant protection and growth promotion. *Frontiers in Microbiology*, 5, 150.
9. Bensaadi, A. (2011). *Physiologie végétale appliquée*. Éditions Universitaires. 210 pages.
10. Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W. M., & Nonogaki, H. (2013). *Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy* (3rd ed.). Springer. 392 pages.
11. Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W. M., & Nonogaki, H. (2013). *Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy* (3rd ed.). Springer.
12. Bitocchi, E., Nanni, L., Bellucci, E., Rossi, M., Giardini, A., Zeuli, P. S., & Papa, R. (2012). Mesoamerican origin of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is revealed by sequence data. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(14), E788–E796.
13. Blair, M. W., Iriarte, G., & Beebe, S. (2006). QTL analysis of yield traits in an advanced backcross population derived from a cultivated Andean × wild common

Références bibliographiques

- bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cross. *Theoretical and Applied Genetics*, 112(3), 561-574.
14. Bonner, F. T. (2002). *Seed Germination and Seedling Growth*. In: *Seed Biology and Germination*. University Press.
15. Brosi, B. J., & Briggs, H. M. (2013). Single pollinator species losses reduce floral fidelity and plant reproductive function. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(32), 13044-13048.
16. Broughton, W. J., Hernández, G., Blair, M., Beebe, S., Gepts, P., & Vanderleyden, J. (2003). Beans (*Phaseolus* spp.) – Model food legumes. *Plant and Soil*, 252(1), 55–128.
17. Christian, G. D. (2019). Morphology of *Pisum sativum*. *Botanical Studies*, 60(1), 20.
18. Debez, A., Chaïbi, W., & Bouzid, S. (2001). Effet du NaCl et de régulateurs de croissance sur la germination d'*Atriplex halimus* L. *Cahiers Agricultures*, 10(2), 135–138.
19. De la Rúa, P., Jaffé, R., Dall'Olio, R., Muñoz, I., & Serrano, J. (2009). Biodiversity, conservation and current threats to European honey bees. *Apidologie*, 40(3), 263-284.
20. Delouche, J. C. (1973). *Seed Scarification Techniques for Improving Germination*. *Journal of Seed Technology*, 1(1), 12-20.
21. dspace.ummto.dz. Plateforme de dépôt institutionnel de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (consulté 2025).
22. Duc, G. (1997). Pea seed composition and uses. In J. Janick (Ed.), *Progress in New Crops* (pp. 168–172). ASHS Press.
23. Eilers, P. H. C., & Boelens, H. F. M. (1995). *Baseline correction with asymmetric least squares smoothing*. Leiden University Medical Centre.
24. FAO (Food and Agriculture Organization). (2010). Beekeeping and sustainable development: an overview. FAO Agricultural Development Economics Working Paper 10-03. Rome, Italy.
25. FAO. (2021). FAOSTAT statistical database. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available at: FAOSTAT. (2021). *Production statistics for fresh peas*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
26. Finch-Savage, W. E., & Bassel, G. W. (2016). Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. *Journal of Experimental Botany*, 67(3), 567–591.

Références bibliographiques

27. Flowers, T. J., & Yeo, A. R. (1995). Breeding for salinity resistance in crop plants: Where next? *Australian Journal of Plant Physiology*, 22(6), 875–884.
28. Food and Agriculture Organization (FAO). (2021). *FAOSTAT Statistical Database*.
29. Food and Agriculture Organization (FAO). (2021). *World production of dry peas*.
30. Foolad, M. R., & Lin, G. Y. (1997). Genetic analysis of salt tolerance during germination in tomato. *Euphytica*, 96(2), 201-208.
31. Gallai, N., Salles, J.-M., Settele, J., & Vaissière, B. E. (2009). Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics*, 68(3), 810-821.
32. Gallai, N., Salles, J.-M., Settele, J., & Vaissière, B. E. (2009). Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics*, 68(3), 810-821.
33. Gallai, N., Salles, J.-M., Settele, J., & Vaissière, B. E. (2009). Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics*, 68(3), 810-821.
34. Gepts, P. (1998). Origin and evolution of common bean: Past events and recent trends. *HortScience*, 33(7), 1124-1130.
35. Gepts, P., & Debouck, D. G. (1991). Origin, domestication, and evolution of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). In R. J. Singh & D. G. Debouck (Eds.), *Genetic Resources, Chromosome Engineering, and Crop Improvement* (pp. 7–53). CRC Press.
36. Graham, P. H., & Ranalli, P. (1997). Legumes: Importance and constraints to greater use. In *Field Crops Research*, 53(3), 261-275.
37. Graham, P. H., & Vance, C. P. (2003). Legumes: importance and constraints to greater use. *Plant Physiology*, 131(3), 872-877.
38. Graham, P. H., & Vance, C. P. (2003). Legumes: Importance and constraints to greater use. *Plant Physiology*, 131(3), 872-877.
39. Grattan, S. R., & Grieve, C. M. (1999). Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environments. In M. Pessarakli (Ed.), *Handbook of Plant and Crop Stress* (2nd ed., pp. 203–229). CRC Press.
40. Gregory, P. J. (2005). *Plant Roots: Growth, Activity and Interactions with Soils*. Blackwell Publishing.
41. Guillon, F., & Champ, M. (2002). Carbohydrate fractions of legumes: uses in human nutrition and potential for health. *British Journal of Nutrition*, 88(S3), S293-S306.

Références bibliographiques

42. Heller, K. (1998). *La photosensibilité des graines*. Cahiers de Biologie Végétale, 23(4), 129-135.
43. Heller, K., Bewley, J. D., & Nonogaki, H. (2004). *Germination physiology and mechanisms*. In: *Seed Biology*, vol. 3, pp. 45-79. Springer.
44. Hopkins, W. G. (2003). *Introduction to Plant Physiology* (3rd ed.). Wiley. 540 pages.
45. Hopkins, R. (2003). Sculpture. In J. Levinson (Ed.), *The Oxford Handbook of Aesthetics* (pp. 572–582). Oxford University Press.
46. Hungria, M., & Vargas, M. A. T. (2000). Environmental factors affecting N₂ fixation in grain legumes in the tropics, with an emphasis on Brazil. *Field Crops Research*, 65(2-3), 151-164.
47. ISTA (International Seed Testing Association). (2020). *International Rules for Seed Testing*. ISTA. 120 pages.
48. 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.
49. Jukanti, A. K., Gaur, P. M., Gowda, C. L., & Chibbar, R. N. (2012). Nutritional quality and health benefits of chickpea (*Cicer arietinum* L.): a review. *Food Research International*, 45(2), 719-726.
50. Katembe, W. J., Ungar, I. A., & Mitchell, J. P. (1998). Effect of salinity on germination and seedling growth of two Atriplex species (Chenopodiaceae). *Annals of Botany*, 82(2), 167–175.
51. Kevan, P. G., & Baker, H. G. (1983). Insects as flower visitors and pollinators. *Annual Review of Entomology*, 28(1), 407-453.
52. Klein, A.-M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1608), 303-313.
53. Lal, R. (2002). Soil management and crop productivity in dry regions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 88(3), 187–200.
54. Laumont, G., & Chevassus, J. (1960). Culture et importance du pois en Algérie. *Bulletin de l'Office National des Statistiques Agricoles*, 10, 34–39.
55. Lhuillier-Soudele, C. (2002). Nutritional properties of peas. *European Journal of Food Science and Technology*, 214(3), 213–220.

Références bibliographiques

56. Maatougui, M. (1996). Répartition géographique du pois en Algérie. *Revue des Sciences Agronomiques*, 27(2), 65–71.
57. Mackee, J. W. (1994). *The Pea: Botany, Production, and Uses*. Cambridge University Press.
58. Marion, G. M. (2019). Root system and nodulation of peas. *Journal of Plant Nutrition*, 42(12), 1373–1385.
59. Mazliak, P. (1982). *Physiologie végétale*. Masson. 550 pages.
60. Mazliak, P. (1982). *Physiologie végétale*. Masson.
61. McPhee, K. E. (2003). Pea (*Pisum sativum* L.). In *Handbook of Plant Breeding: Legumes* (pp. 71-94). Springer, New York.
62. Messina, M. (2014). Insights gained from 20 years of soy research. *The Journal of Nutrition*, 144(12), 1649S-1652S.
63. Meyer, H. G., et al. (2004). The role of oxygen in seed germination. *Seed Science Research*, 14(4), 299-306.
64. Ministère de l'Agriculture Algérien. (2017). Rapport annuel sur la filière haricot en Algérie. Direction Générale de l'Agriculture, Alger, Algérie.
65. Morse, R. A., & Calderone, N. W. (2000). The value of honey bees as pollinators of US crops in 2000. *Bee Culture*, 128(3), 1-15.
66. Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651–681.
67. Murfet, I. C. (1985). Developmental morphology of the pea. *Australian Journal of Plant Physiology*, 12(4), 455–468.
68. Nene, Y. L., Sheila, V. K., & Sharma, H. C. (1996). *Chickpea Diseases and Their Control*. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT).
69. Parida, A. K., & Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60(3), 324–349.
70. Penningsfeld, F., & Kurzmann, J. (1969). *L'apiculture: guide pratique*. Éditions agricoles françaises, Paris, 230 p.
71. Potts, S. G., Biesmeijer, J. C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., & Kunin, W. E. (2010). Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(6), 345-353.
72. Pundir, R. P. S., & Van Der Maesen, L. J. G. (1993). *Chickpea* (*Cicer arietinum* L.). In R. J. Summerfield & E. H. Roberts (Eds.), *Grain Legume Crops* (pp. 279–309). Springer.

Références bibliographiques

73. Rajesh, K. (2001). Global production and area statistics of chickpea. *Journal of Legume Research*, 24(2), 89–93.
74. Rajjou, L., et al. (2004). Proteomic analysis of seed germination and early seedling growth in Arabidopsis. *Plant Physiology*, 136(4), 3284-3298.
75. Ranilla, L. G., Kwon, Y. I., Apostolidis, E., & Shetty, K. (2007). Phenolic compounds, antioxidant activity and in vitro inhibitory potential against key enzymes relevant for hyperglycemia and hypertension of commonly used medicinal plants, herbs and spices in Latin America. *Bioresource Technology*, 98(16), 2962-2971.
76. Rebello, C. J., Greenway, F. L., & Finley, J. W. (2014). A review of the nutritional value of legumes and their effects on obesity and diabetes. *Nutrition Reviews*, 72(8), 540-552.
77. Reddy, M. V. (1999). Insect pests of chickpea and their management. *Annual Review of Entomology*, 44, 499–524.
78. Rolston, M. P. (1978). Water impermeable seed dormancy. *Botanical Review*, 44(4), 365-396.
79. Saoud, S. (2013). Importance économique du pois chiche en Algérie. *Revue Algérienne d'Agronomie*, 5(1), 45–51.
80. Schwartz, H. F., & Pastor-Corrales, M. A. (1989). Bean common mosaic virus and other viruses of common bean. In *Disease of Vegetable Crops in Latin America* (pp. 35-56). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.
81. Singh, K. B., & Rachie, K. O. (1985). *Biology and Agronomy of Grain Legumes*. Academic Press.
82. Singh, P., Singh, K. B., & Saxena, M. C. (1997). Drought tolerance in chickpea. *Field Crops Research*, 52(1-2), 1–13.
83. Singh, S. P. (1999). Genetic resources of common bean: Present status and future needs. *International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), Rome, Italy*. 43 p.
84. Singh, S. P., Gepts, P., & Debouck, D. G. (1991). Races of common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). *Economic Botany*, 45(3), 379-396.
85. Smartt, J. (1990). *Evolution of Crop Plants* (2nd ed.). Longman Scientific & Technical.
86. Smith, D. R., & Berkelaar, E. (2014). The impact of neonicotinoids on honey bee health. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 33(2), 311-316.
87. Soltner, D. (2007). *Physiologie végétale*. Dunod. 610 pages.

Références bibliographiques

88. Soltner, D. (2007). *Les bases de la production végétale. Tome 1: Le sol*. Sciences et Techniques Agricoles.
89. Summerfield, R. J., Roberts, E. H., & Bunting, A. H. (1984). Temperature and photoperiod responses in chickpea and their relationship to adaptation. *Crop Science*, 24(1), 29–32.
90. Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant Physiology and Development* (6th ed.). Sinauer Associates. 800 pages.
91. UNEP (United Nations Environment Programme). (2013). *Global Environment Outlook 5: Environment for the future we want*. Nairobi, Kenya.
92. USDA, ARS (2008). *GRIN Taxonomy for Pisum sativum*. United States Department of Agriculture.
93. USDA, ARS (2008). *GRIN Taxonomy for Plants*. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service.
94. , and *Taxonomy of Chickpeas*. In R. J. Summerfield & E. H. Roberts (Eds.), *Chickpeas: Problems and Perspectives* (pp. 11–32). Commonwealth Agricultural Bureaux.
95. Varshney, R. K., Roorkiwal, M., Satyavathi, C. T., Chitikineni, A., & Thudi, M. (2019). Advances in genetics and genomics for enhancing drought tolerance in legumes. *Current Opinion in Plant Biology*, 48, 120-132.
96. White, J. W., & Singh, S. P. (1991). Water deficits and temperature stress in common bean production. *Field Crops Research*, 28(1), 63-77.
97. Zohary, D., & Hopf, M. (2000). *Domestication of Plants in the Old World: The Origin and Spread of Cultivated Plants in West Asia, Europe, and the Nile Valley* (3rd ed.). Oxford University Press.