

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEINGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE BLIDA 1

Faculté des sciences de la nature et de la vie

Département des biotechnologies



Projet de fin d'Etudes en vue de l'obtention du diplôme en Masteracadémique

Filière : Sciences agronomiques

Option : Biotechnologies végétales

Thème :

**ESSAI DE GERMINATION DES SEMENCES DE HARICOT,
(PHASEOLUS VULGARIS L.) VARIETE EL-DJADIDA PAR LA
TECHNIQUE DE PRIMING EN HORS SOL.**

Réalisé par :

BERSALI SELMA

MEKFOULDJI WASSILA

Devant le jury composé de :

Mr. BENMOUSSA M.	Professeur	U. Blida 1	Président
Mr. SNOUSSI S.A	Professeur	U. Blida 1	Promoteur
Mr. ABBAD M.	M.C.B	U. Blida 1	Examineur

Année Universitaire 2018-2019

Remerciements

Tous nos remerciements vont à Mr SNOUSSI S.A. pour avoir accepté de diriger ce travail, qu'il trouve ici l'expression de notre profonde reconnaissance, notre immense gratitude et notre grand respect, pour tous ses efforts, son savoir, ses idées, sa confiance et ses encouragements.

Nos sincères remerciements vont à Mr BENMOUSSA M. de nous avoir fait l'honneur d'accepter de présider le jury. Qu'il trouve notre reconnaissance et notre respect les plus sincères.

Nos remerciements s'adressent particulièrement à Mr ABBAD M. pour sa participation comme examinateur. C'est avec sincérité que nous exprimons notre gratitude et notre profond respect.

Nos vifs remerciements, notre profonde reconnaissance et gratitude s'adressent tout particulièrement à Mr et Mme HAMIDI pour leurs conseils, leurs orientations, leurs générosités et leur savoir qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

Nous remercions également l'Institut Technique des Cultures Maraichères et Industrielle de Staoueli ainsi l'Institut des Sciences et Techniques Appliqués de Blida pour leur soutien et leur générosité.

Dédicaces

A l'ombre de nos grands parents

Sous l'œil bienveillant de nos parents

sans qui nous n'aurions pu être ici en face de vous à vous exposer un travail qui nous a tenues en haleine et nous espérons qu'il soit à la base d'un travail ultérieur et bénéfique pour des recherches de promotions à venir.

Que ce travail enthousiasmant à plus d'un titre, soit à la mesure de l'attente de nos encadreurs pour qui nous ne saurons jamais assez les remercier.

D'un sentiment plein d'amour, de sincérité et de fidélité on dédie ce travail aussi à nos chers amis NEYLA et YACINE, nos chers frères et sœurs (TAHAR, MERIEM, HAMZA, YACOUB, BOUCHRA et AMINA), toute notre famille, ainsi qu'à notre ingénieur de laboratoire Mr BENMALAM. Et à la mémoire de AYOUB MEKFOULDJI, disparu trop tôt

Résumé

Ce travail de recherche qui s'inscrit dans cette optique, a pour objectif d'étudier l'impact des différents types de priming sur le comportement des plantes de haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) dans un environnement salin et non salin par le procédé hors sol.

Les graines ont été prétraités à l'eau courante, KCl, CaCl₂, ZnSO₄, PEG, à différentes durées (6H, 9H, 12H et 24H) afin d'évaluer les effets de la durée d'amorçage, et de comparer l'impact des traitements osmotiques et hydrique par rapport au témoin dont les graines n'ont pas subi de traitement préalable. Des dosages biochimiques, ainsi que des mesures physiologiques et biométriques ont été effectués en cours de culture.

A travers les principaux résultats obtenus, nous avons remarqué que la teneur relative en eau du témoin était toujours faible par rapport aux autres traitements en cours de cycle de développement des plantes. Aussi, il y a lieu de noter que les traitements T3 (CaCl₂) et T4 (ZnSO₄) étaient les plus turgescents.

Aussi, Il est constaté, que le priming n'a pas eu un effet visible sur les plantes en début de culture, en revanche, la production de proline a augmenté chez les plantes stressés, ceci en raison de l'adaptation des plantes en milieu salin, et qui montre bien que la production de proline est une réponse de défense essentielle pour maintenir la pression osmotique dans une cellule, ce qui est rapporté dans les cultivars tolérants et sensibles au sel chez de nombreuses plantes cultivées.

Mots clés : amorçage, Haricot, culture hors sol, priming, proline, germination.

Abstract

This research work is part of this approach and aims to study the impact of the application of different priming treatments on the development and stress tolerance of bean plants (*Phaseolus vulgaris L.*) in a saline environment as well as in a nutrient medium, and this in hydroponics.

The seeds were pretreated with water, KCl, CaCl₂, ZnSO₄, PEG, at different times (6H, 9H, 12H and 24H) in order to evaluate the effects of the priming time, and to compare the impact. osmotic and water treatments compared to the control witch seeds have not undergone prior treatment. Biochemical assays, as well as physiological and biometric measurements were performed during culture.

Through the main results obtained, we noticed that the relative water content of the control was still low compared to other treatments during the plant development cycle. Also, it should be noted that the T3 (CaCl₂) and T4 (ZnSO₄) treatments were the most turgid.

Also, it was found that the priming did not have a visible effect on the plants at the beginning of culture, on the other hand, the production of proline increased in the stressed plants, this because of the adaptation of the plants in medium saline, which shows that proline production is an essential defense response for maintaining osmotic pressure in a cell, which is reported in tolerant and salt-sensitive cultivars in many crops.

Key words: priming, bean, hydroponics, proline, germination.

المخلص

هذا العمل البحثي يهدف إلى دراسة نتائج تطبيق العلاجات المختلفة التي خضعت لتقنية التخصيب المائي أو الأملاح المعدنية على التنمية و تحمل الإجهاد الملحي لبذور الفاصوليا في بيئة مالحة وكذلك في وسط المغذيات و هذا في الزراعة المائية.

تمت معالجة البذور باستخدام الماء في أوقات مختلفة (6سا, 9سا, 12سا, 24سا) من أجل تقييم آثار تقنية التخصيب المائي أو الأملاح المعدنية ، ومقارنة تأثير العلاجات المختلفة مع الشاهد الذي لم تخضع بذوره للمعالجة السابقة. أجريت فحوصات الكيمياء الحيوية ، وكذلك القياسات الفسيولوجية والبيولوجية خلال الزراعة.

من خلال النتائج الرئيسية التي تم الحصول عليها، لاحظنا أن المحتوى المائي النسبي للشاهد منخفضاً مقارنة بالمعالجات الأخرى خلال دورة حياة النبات.

أيضا ، وجد أن تقنية التخصيب لم يكن لها تأثير واضح على النباتات في البداية ، من ناحية أخرى ، زاد إنتاج البرولين في النباتات المجهد ، وهذا بسبب تكيف النباتات في الوسط المياه المالحة ، والتي تبين أن إنتاج البرولين هو استجابة دفاعية أساسية للحفاظ على الضغط في الخلية.

الكلمات المفتاحية : التخصيب المائي , الفاصولياء , البرولين, الزراعة المائية, إنبات.

Liste des tableaux :

Tableau1: Synthèse des principaux travaux sur l'hydropriming des semences de différentes espèces cultivées	26
Tableau 2: Synthèse des principaux travaux sur l'osmopriming des semences de différentes espèces cultivées.....	28
Tableau 3: Superficie, production et rendement de haricots verts et secs en Algérie pour l'année 2014.....	69
Tableau 4: Composition (g/100g de graines) et valeur énergétique (calorie/ 100g) des graines de <i>Vigna unguiculata</i> , de <i>Cicer arietinum</i> et de <i>Phaseolus vulgaris</i>	70
Tableau 5: Composition de l'eau de Blida et teneur des éléments minéraux (meq/l).....	83
Tableau 6: Périodes testées de priming pour chaque traitement.....	85
Tableau 7: Eau d'Oued Cheliff naturelle reconstituée avec l'eau de Blida (pH=7,52).....	88
Tableau 8 : Besoin en éléments minéraux pour la préparation de la solution nutritive....	89
Tableau 9: Les différentes doses d'irrigation nécessaire pour la culture du haricot.....	90
Tableau 10: Périodes de coupes effectuées sur les plantes de haricot.....	90

Liste des figures :

Figure n° 1: Localisation du lieu de l'expérimentation.....	81
Figure n°2 : Aspect général des conteneurs.....	82
Figure n°3: Application du priming par les différents traitements.....	83
Figure n°4 : Germination des graines du haricot.....	84
Figure n°5: Mise en germination des graines âgées.....	84
Figure n°6: Mesure du poids frais des jeunes plantules (g).....	85
Figure n°7: Application définitive du priming.....	86
Figure n°8: Mise en germination définitive dans l'étuve.....	86
Figure n°9: Présentation du dispositif expérimental.....	87
Figure n°10: Vue générale du dispositif expérimental.....	88
Figure n°11 : Repiquage des germes en place définitive dans les conteneurs.....	89
Figure n°12 : Mesure de la surface foliaire.....	91
Figure n°13 : Poids frais des différents organes du haricot.....	92
Figure n°14: Incubation des flacons dans un agitateur rotatif.....	94
Figure n°15: Agitation au vortex des différents tubes.....	95
Figure n°16: Aspect général des plantes du haricot.....	98
Figure n°17 : Longueur moyenne des racines du haricot en (cm).....	99
Figure n° 18: Biomasse fraîche moyenne des racines du haricot en (g).....	100
Figure n°19 : Hauteur finale des plantes du haricot en (cm).....	101
Figure n° 20: Biomasse fraîche des tiges des plantes du haricot en (g).....	102
Figure n° 21: Diamètre moyen des tiges des plantes du haricot en (mm).....	103

Figure n° 22: Nombre de feuilles des plantes du haricot.....	104
Figure n° 23: Biomasse fraîche des feuilles des plantes du haricot en (g).....	105
Figure n° 24: Nombre de fleurs des plantes du haricot.....	106
Figure n° 25: Nombre de gousses des plantes du haricot.....	107
Figure n° 26: Biomasse fraîche des gousses des plantes du haricot en (g).....	108
Figure n° 27: Biomasse sèche des racines des plantes du haricot(g).....	108
Figure n° 28: Biomasse sèche des tiges des plantes du haricot (g).....	110
Figure n° 29: Biomasse sèche des feuilles des plantes du haricot(g).....	111
Figure n° 30: Biomasse sèche des gousses des plantes du haricot en (g).....	112
Figure n°31 : Teneur relative en eau stade 1 chez les plantes de haricot (%).....	113
Figure n° 32: Teneur relative en eau stade 2 chez les plantes de haricot (%).....	114
Figure n° 33: Teneur relative en eau stade 3 chez les plantes de haricot (%).....	115
Figure n°34 : fuite des électrolytes stade 1 chez les plantes de haricot (%).....	116
Figure n°35 : fuite des électrolytes stade 2 chez les plantes de haricot (%).....	117
Figure n°36 : fuite des électrolytes stade 3 chez les plantes de haricot (%).....	118
Figure n°37 : Taux d'anthocyanine total stade 1 chez les plantes de haricot (%) (Graphique).....	119
Figure n° 38: Taux d'anthocyanine total stade 1 chez les plantes de haricot (%).....	120
Figure n° 39: Taux d'anthocyanine total stade 2 chez les plantes de haricot (%) (Graphique).....	120
Figure n° 40: Taux d'anthocyanine total stade 2 chez les plantes de haricot (%).....	121
Figure n°41 : Taux d'anthocyanine total stade 3 de la solution nutritive chez les plantes de haricot (%).....	122
Figure n°42: Quantité totale de chlorophylle a stade 1 chez les plantes de haricot en (µg/g MF).....	124

Figure n° 43: Quantité totale de chlorophylle b stade 1 chez les plantes de haricot en ($\mu\text{g/g}$ MF).....	125
Figure n° 44: Quantité totale de chlorophylle a stade 2 chez les plantes de haricot en ($\mu\text{g/g}$ MF).....	126
Figure n° 45: Quantité totale de chlorophylle b stade 2 chez les plantes de haricot en ($\mu\text{g/g}$ MF).....	127
Figure n° 46: Quantité totale de chlorophylle a stade final chez les plantes de haricot en ($\mu\text{g/gMF}$).....	128
Figure n° 47: Quantité totale de chlorophylle b stade final chez les plantes de haricot en ($\mu\text{g/gMF}$).....	129
Figure n°48 : Quantité de proline stade 1 chez les plantes de haricot en ($\mu\text{g/gMF}$).....	130
Figure n° 49: Quantité de proline stade 2 chez les plantes de haricot en ($\mu\text{g/gMF}$).....	131

Liste des abréviations

FAO : Organisation international de l'alimentation et de l'agriculture.

pH : Potentiel hydrique

% : Pourcentage.

MADR : Ministère de l'agriculture et de développement rural.

> : Supérieur.

< : Inferieur.

mg/l : Milli gramme par litre.

mM: Milli molaire.

Atm : Atmosphère.

mg : Milli gramme.

ug : Microgramme.

PMG : Poids de mille grains.

t : Tonne.

t/ha : Tonne par hectare.

C° : Degré Celsius.

mm : Milli mètre.

T : Traitement.

P : Observation.

ED : Eau distillée.

EB : Eau de Blida.

ml : Milli litre.

min : Minute.

nm : Nanomètre.

DDL : Degré de liberté.

MPA : Mégapascal.

ds/m : Degré de salinité par mètre.

g/l : Gramme par litre.

ATP : Adénosine triphosphate.

ADP : Adénosine diphosphate.

HSP : Protéines de choc thermique.

KDa : kilodalton.

ARNm : Acide ribonucléique messager.

ROS : Espèces réactives de l'oxygène.

ppm : Partie par million.

meq/l : Milliéquivalent par litre.

ms : millisiemens.

qx : Quintaux.

Prod : Production.

Rdt : Rendement.

L'ITCMI : Institut Technique des cultures Maraîchères et Industrielles.

Km: kilo mètre.

KPA: kilo pascal.

N : normalité.

EL : Electro leakage.

PEG : polyéthylène glycol.

V : volume.

DO : densité optique.

ABA : Acide abscissique.

GA3 : Acide Gibbérellique.

RWC : Relative Water Content.

Table des matières
Partie bibliographique

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Introduction

Chapitre I : la technique du priming

1. Historique	24
2. quelque généralité sur la technique du priming	24
3. Définition du priming	24
4. Les types de priming	25
4.1. Hydro priming	25
4.2. L'osmoprimer ou osmoconditionnement.....	28
4.3. Bioprimer.....	32
5. Comportement de quelque espèce végétale vis-à-vis de la technique de priming	32
6. Mécanismes de l'endurcissement (amorçage).....	33
6.1. Effet de l'amorçage sur la germination.....	33
6.2. Effet de l'amorçage sur la dormance.....	34
6.3. Effet de l'amorçage sur l'intégrité membranaire	34
6.4. Effet de l'amorçage sur la respiration.....	34
6.5. Effet de l'amorçage sur les protéines.....	34
6.5.1. Les enzymes	34
6.5.2. Les protéines de stress	35
6.6. Effet de l'amorçage sur les systèmes antioxydants.....	35
6.7. Effet de l'amorçage sur les osmolytes.....	35
6.8. Effet de l'amorçage sur le matériel génétique.....	36
6.8.1. ADN et l'ARN	36

6.8.2. Le cycle cellulaire	37
6.9. Effet de l'amorçage sur la longévité des semences.....	38

Chapitre II : généralité sur le stress salin

1. Notion du stress	40
2. Différents Facteurs du stress	41
2.1. La sécheresse	41
2.2. Stress hydrique	41
2.3. La salinité	41
3. Mécanismes de toxicité du chlorure de sodium	42
3.1. Stress osmotique	42
3.2. Stress ionique	42
3.3. Stress nutritionnel	43
4. Mécanisme d'adaptation des plantes aux stress	43
4.1 L'exclusion	43
4.2 L'inclusion.....	43
4.3 L'ajustement osmotique	43
4.4 Biosynthèse d'osmoprotectants	44
4.5 Contrôle membranaire	44
4.6 Induction des hormones végétales	44
5. Impact de la salinité sur les plantes	44
6. Les différents types de salinisation	45
6.1. Salinisation primaire	45
6.2. Salinisation secondaire.....	46
7. Mises en valeur des sols salés.....	46
8. Effet de la salinité sur les plantes	46
8.1. Effet du stress sur la germination.....	47
8.2. Effet de la salinité sur la croissance et le développement	47
8.3. Effet de la salinité sur l'eau dans la plante.....	48
8.4. Effet de la salinité sur l'anatomie de la feuille.....	48
8.5. Effet de la salinité sur les pigments photosynthétiques et les protéines.....	49
8.6. Effet de la salinité sur l'ultra structure du chloroplaste.....	49
8.7. Effet de la salinité sur le taux des ions.....	49
8.8. Effet de la salinité sur le comportement biochimique de la plante	49

8.9.	Effet de la salinité sur la plante du haricot	50
9.	Biosynthèse de solutés compatibles	50
10.	Facteurs intervenants dans le processus de la salinité	51
11.	Importance de la salinité.....	52
12.	Mécanismes d'adaptations des plantes à la salinité.....	52
12.1.	Compartmentation	52
12.2.	Ajustement osmotique.....	52
12.3.	Régulation de la croissance.....	53
12.4.	Le contrôle membranaire.....	53
13.	Restauration et aménagement des sols salins	53
13.1.	Drainage	53
13.2.	Lessivage.....	54
13.3.	réhabilitation par modification des pratiques culturales.....	54
13.4.	La phytoremédiation.....	54

Chapitre III : Généralité sur la technique hydroponique

1.	Notions de base sur la culture hors sol ou hydroponique.....	56
2.	Historique sur la culture hydroponique ou hors-sol.....	56
3.	Définition de la culture hors sol	57
4.	Avantages et inconvénients des cultures hors-sol	57
4.1.	Avantages	57
4.2.	Inconvénients.....	58
5.	Différentes composante du système hydroponique	58
5.1.	Substrats	59
5.2.	Types de substrats.....	60
5.2.1.	Conteneurs.....	60
5.2.2.	Solution nutritive	60
5.2.2.1.	Le pH	60
5.2.2.2.	La conductivité électrique	61
5.2.2.3.	Equilibre ionique	61
5.2.2.4.	Traitement de l'eau d'arrosage	61
6.	Intérêts et utilisations des cultures hors sol	61
7.	Espèces cultivées en hors-sol	62
7.1.	Cultures légumières sous serres.....	62

7.2.	Cultures florales.....	62
7.3.	Arbres fruitières nains.....	62
8.	Différents systèmes de la culture hors-sol	62
8.1.	Culture aéroponique	62
8.2.	Cultures hydroponiques ou N.F.T. (Technique du film nutritif)	63
8.3.	Culture sur substrat ou systèmes agrégés	63

Chapitre IV : Généralité sur le haricot

1.	Données générales sur les légumineuses.....	65
1.1.	Généralités sur Les légumineuses	65
1.2.	Intérêt des légumineuses	65
1.2.1.	Intérêt Scientifique	65
1.2.2.	Intérêt agronomique.....	65
1.2.3.	Intérêt écologique.....	65
1.2.4.	Intérêt alimentaire	66
2.	Présentation de l'espèce	66
3.	Origine et répartition géographique du haricot commun Caractéristiques de la plante	66
4.	Caractérisation de la plante.....	67
5.	Classification botanique	67
6.	Haricot dans le monde et en Algérie	68
7.	Intérêt de la culture de l'haricot.....	69
7.1.	Intérêt économique	69
7.2.	intérêt nutritionnelle	69
7.3.	intérêt alimentaire	70
8.	Description de la plante	70
8.1.	Racines	70
8.2.	Tige	71
8.3.	Feuille	71
8.4.	Fleurs	71
8.5.	Gousses	72
8.6.	Graines	72
9.	Cycle végétatif.....	72
9.1.	Phase de germination	72
9.2.	Phase de croissance	72

9.3.	Phase de floraison	73
9.4.	Phase de maturation	73
10.	Exigences de la plante	73
10.1.	Exigence Climatique	73
10.1.1.	Température	73
10.1.2.	Lumière	73
10.1.3.	Humidité	73
10.2.	Exigences édaphiques	74
10.2.1.	Salinité	74
10.2.2.	pH	74
10.3.	exigences hydriques	74
10.4.	exigences nutritionnelles	74
11.	Conduite de culture	75
11.1.	Le semi	75
11.2.	Travaux d'entretien	75
11.2.1.	Binage	76
11.2.2.	Buttage	76
11.2.3.	Désherbage.....	76
11.2.4.	Arrosage	76
11.2.5.	Tuteurage	76
11.2.6.	Aération.....	76
11.3.	Récolte	76
12.	Contraintes liées à la culture et à la productivité du haricot commun.....	76
12.1.	Les maladies	77
12.1.1.	La maladie des taches anguleuses	77
12.1.2.	L'antracnose du haricot	77
12.1.3.	La pourriture	77
12.1.4.	La bactériose à halo	77
12.2.	Les ravageurs	77
12.2.1.	Les mouches du haricot	77
12.2.2.	Les thrips	77
12.3.	Les contraintes abiotiques	77
12.3.1.	La sécheresse	78
12.3.2.	La salinité du sol	78

12.3.3. Les hautes températures	78
---------------------------------------	----

Partie pratique

Chapitre I : Matériels et méthodes

1- Objectif de l'expérience	81
2- Matériel végétal utilisé	81
3- Conditions expérimentales	81
3.1- lieu de l'expérimentation	81
3.2- Substrat.....	82
3.3- Conteneurs.....	82
3.4- Description des traitements.....	83
4- Essai de priming	83
4.1- Essai sur les graines récentes (2014).....	83
4.2 - Mise en germination dans l'étuve des graines récentes.....	84
4.3- Essai sur les graines de longévité dépassée (âgées) (2011).....	84
4.4- Paramètres mesurés avant l'application définitive du priming.....	85
4.4.1- Taux de germination	85
4.4.2- Poids frais des plantules.....	85
4.4.3- Poids sec des jeunes plantules.....	85
4.4.4- Longueur des racines	85
5- Analyses statistique relatives aux temps de priming.....	85
6- Application du priming	86
7- Mise en germination définitive dans l'étuve	86
8- Dispositif expérimental	86
9- Description de la solution d'irrigation.....	88
10- Repiquage	89
11- Entretien de la culture	90
11.1- Irrigation.....	90
11.2- Lessivage	90
12- Paramètres mesurés	90
12.1- Paramètres morphologiques ou biométriques.....	91

12.1.1- la hauteur des plants	91
12.1.2- Hauteur finale des plants et longueur des racines.....	91
12.1.3- Surface foliaire	91
12.1.4- Diamètre des tiges.....	91
12.1.5- Biomasse fraîche produite	92
12.1.6- Biomasse sèche produite	92
12.1.7- Nombre de fleurs, gousses et feuilles	93
12.2- Paramètres physiologiques effectués.....	93
12.2.1- Teneur relative en eau (RWC)	93
12.2.2- Fuite des électrolytes (EL).....	93
12.2.3- Dosage de l'anthocyanine	94
12.3- Paramètre biochimique	94
12.3.1- Dosage de la chlorophylle a et b	94
12.3.2- Dosage de la proline.....	94
13- Analyses des données.....	96

Chapitre II : Résultats et discussions

1- Aspect général des plantes de haricot	98
2- Paramètres morphologiques mesurés.....	99
2.1- Longueur moyenne des racines (cm).....	99
2.2- Biomasse fraîche moyenne des racines (g).....	100
2.3- Hauteur finale des plantes (cm).....	101
2.4- Biomasse fraîche des tiges en (g).....	102
2.5- Diamètre moyen des tiges (mm).....	103
2.6- Nombre de feuilles des plantes.....	104
2.7- Biomasse fraîche des feuilles des plantes.....	105
2.8- Nombre de fleur des plantes.....	106
2.9- Nombre de gousses des plantes	106
2.10- Biomasse fraîche des gousses des plantes.....	107

2.11- Biomasse sèche des racines en (g).....	108
2.12- Biomasse sèche des tiges en (g).....	109
2.13- Biomasse sèche des feuilles en (g).....	111
2.14- Biomasse sèche des gousses en (g).....	112
3- Paramètres physiologiques mesurés.....	113
3.1- La teneur relative en eau en (%).....	113
3.2- Mesure de la fuite des électrolytes	116
3.3- Taux d'Anthocyanine dans les feuilles de haricot en (%).....	119
4- Paramètres biochimiques.....	124
4.1- Quantité de chlorophylle a et b dans la plante en ($\mu\text{g/g MF}$).....	124
4.2- Quantité de proline dans la plante en ($\mu\text{g/g MF}$).....	150

Conclusion

Annexe

Références bibliographiques

Introduction

Introduction

La culture hydroponique ou culture hors sol relève des nouvelles technologies de production agricole où le sol naturel est remplacé par un L'agriculture est une activité pratiquée par l'homme, depuis des milliers d'années, pour répondre à ses besoins alimentaires. Elle utilise le sol comme milieu ou substrat contenant les éléments nécessaires pour la croissance des plantes. Avec la maîtrise de cette activité grâce au progrès scientifique et technologique qu'a connu le secteur agricole, il est devenu possible de mener cette activité en utilisant autres substrats, voire sans substrat. Ainsi est née la culture hors sol. Ce type de culture regroupe plusieurs techniques innovantes qui se différencient par le mode d'apport des éléments nutritifs dont les plantes ont besoin pour Leur croissance (ESSADAoui, 2013).

La culture hydroponique ou culture hors sol relève de nouvelles technologies de production agricole où le sol naturel est remplacé par un substrat de culture artificiel (KOUASSI, 2009).

La croissance des plantes est fortement influencée par de nombreux facteurs biotiques et abiotiques. La salinité est l'un des facteurs abiotiques majeurs limitant la productivité des plantes et par conséquent la production agricole. Dans le monde, plus de 800 millions d'hectares de terres sont touchés par des niveaux de sel qui pourrait sensiblement réduire la productivité des cultures (Munns et Tester, 2008). La salinité entraîne une réduction des surfaces cultivables et combinée à d'autres facteurs, elle représente une menace pour l'équilibre alimentaire des régions arides et semi-arides (DUTUIT, 1999).

Les plantes cultivées sont soumises à de multiples stress abiotiques pendant leur durée de vie qui réduisent considérablement la productivité végétale et menacent la sécurité alimentaire mondiale. Des recherches récentes suggèrent que les plantes peuvent être « primées » pour mieux tolérer différentes contraintes abiotiques. Dans ce domaine, le priming, qui consiste en un traitement prégerminatif, est très étudié et même entraînant pour améliorer aussi bien le développement que le rendement des espèces végétales, en modulant les activités métaboliques de la germination avant la percée de la radicule. Les traitements de prégermination des semences et, plus particulièrement, la double redéshydratation permet d'améliorer les performances germinatives, la croissance et le développement des plantes sous des conditions favorables ou stressantes, en provoquant des modifications physiologiques, biochimiques et cellulaires (BOUCELHA et DJEBBAR, 2019). Ces effets peuvent conduire à un meilleur établissement du rendement, des plantes

plus vigoureuses, une meilleure tolérance à la sécheresse, une floraison plus précoce, une récolte plus précoce et un rendement plus élevé (Harris et al., 1999). Comme les effets du priming sur les performances du haricot ne sont pas bien connus, notre contribution a été menée afin de déterminer l'influence de la durée de priming sur le couvert végétal, le rendement et la tolérance à la sécheresse.

Partie bibliographique

Chapitre I

La technique du priming.

1- Historique :

L'histoire de l'amorçage des semences a commencé au cours des années 1970, lorsque le terme est devenu populaire. Heydecker et ses collaborateurs sont les pionniers précoces qui ont préparé des semences avec des solutions osmotiques pour améliorer les performances de germination (Heydecker et *al.*, 1973). À la fin des années 1970, les termes conditionnement osmotiques ou osmoconditionnements ont été proposés comme solutions de rechange à "amorçage". Ces termes étaient plus descriptifs et évitaient la confusion avec "l'amorçage" de fragments d'ADN pour la synthèse (Khan et *al.* 1978). Malgré le risque de confusion, l'amorçage des semences était devenu un terme largement accepté dans le commerce des semences et, aujourd'hui, les termes conditionnement et amorçage osmotiques sont utilisés de manière synonyme. Le terme "amorçage osmotique" est souvent utilisé pour différencier d'autres technologies d'amorçage qui ont été développées depuis l'adoption initiale du terme (BRADFORD, 1986).

2- Quelques Généralités sur la technique du priming

Afin de résoudre les problèmes posés par l'hétérogénéité de la germination et d'améliorer le développement et le rendement des espèces végétales, plusieurs approches ont été utilisées depuis plusieurs années (Basra et *al.*, 2003). La technique la plus fréquente et la plus commune est représentée par les traitements pré germinatifs des semences. Ces traitements sont également dénommés « endurcissement des semences » ou « amorçage », priming en anglais. Ces traitements de pré germination permettent la levée de la dormance, d'amener les semences au même stade physiologique (synchronisation), et même d'améliorer la croissance des plantules et leur tolérance aux stress abiotiques (Heydecker, 1978; Kheddache, 2005).

3- Définition du priming

Les traitements pré germinatifs (ou de pré germination) représentent des méthodes physiologiques qui améliorent la production végétale en modulant les activités métaboliques de la germination avant l'émergence de la radicule (Bradford, 1986; Taylor et Harman, 1990), c'est à dire au cours de la phase réversible de la germination, durant de laquelle la semence peut revenir à son état initial sans dommages (Bayard, 1991).

Beaucoup d'auteurs ont montré, chez différentes espèces de végétales telles que le haricot, la lentille, le blé, le maïs, le riz, la pastèque, le melon, la tomate, la carotte et l'amarante, que l'endurcissement des semences permet la levée de la dormance, l'accélération et la synchronisation de la germination (Heydekker et al., 1973; Welbaum et al., 1998; McDonald, 2000) ainsi qu'une meilleure croissance, une floraison plus précoce, une plus grande tolérance aux stress abiotique et un rendement plus élevé (Harris et al., 2002; Ashraf et Foolad, 2005; Basra et al., 2006; Moosaviet al., 2009).

4- Les types de priming

Les méthodes d'amorçage des semences peuvent être divisées en deux groupes selon que l'absorption d'eau est incontrôlée (hydro et hormoprimer) ou contrôlée (osmoprimer) (Taylor et al., 1998).

4.1. Hydro priming

Selon Pill et Necker (2001), l'amorçage consiste à tremper les graines dans l'eau avant de les semer et peuvent ou non être suivies d'un séchage à l'air des graines. Dans de nombreuses zones agricoles, une cause majeure de l'établissement de peuplements pauvres et le faible rendement des cultures constituent des conditions environnementales défavorables pour la germination des graines et la levée des plantules.

Cependant, les semis à germination rapide peuvent émerger et produire des racines profondes avant que les couches supérieures du sol sont desséchées et en croûte, ce qui peut permettre une bonne implantation et un rendement plus élevé.

L'amorçage des semences réduit l'effet de la salinité sur le paramètre morphologique des plantes. Tout facteur facilitant la germination rapide peut contribuer à l'établissement d'une culture réussie (Rafiq et al., 2006).

Une méthode consiste à humidifier les semences, un traitement de pré-semis dans lequel les semences sont traitées dans des conditions d'humidité élevée (Suzuki and Khan, 2001).

Tableau1: Synthèse des principaux travaux sur l'hydropriming des semences de différentes espèces cultivées :

Durée d'imbibition	Espèces	Effets	Références
36 heures	Mais <i>Zeamays</i>	-Amélioration de la germination et la croissance. -Tolérance plus vigoureuse aux stress salin et osmotique.	Janmohammadi et al. (2008).
12 heures	Lentilles <i>Lens culinaris</i>	-Amélioration de la germination et la levée des semis.	Ghassemi-Golezani et al. (2008).
7, 14 et 21 h	Haricot <i>Phaseolusvulgaris</i>	-Amélioration du rendement -7 h d'imbibition offrent les meilleurs résultats.	Ghassemi-Golezani et al. (2010).
4, 6 et 8h	Niébé Deux variétés <i>Oloyinet Durum</i>	-Amélioration du rendement et de la tolérance au stress hydrique -4 et 6 h d'imbibition offrent les meilleurs résultats pour Oloyin et Durum, respectivement.	Fabunmi et al. (2012).
12 h	Pois chiche <i>Cicer arietinum</i>	-Amélioration de la germination des graines ayant subi un vieillissement. -Augmentation de la teneur en eau des feuilles. -Augmentation du rendement.	Hosseinzadeh Mahootchi et al. (2013).

24 h	Riz <i>Oryzasativa</i>	-Amélioration de la production du riz en conditions de stress hydrique.	Tilahun-Tadesse et al. (2013).
2 , 4 , 6, 8 et 10h	Cotton <i>Gossypiumhirsutum</i>	-4 et 6 h d'imbibition permet d'avoir la meilleure germination, émergence et croissance pondérale des semis.	Bölek et al. (2013).
12, 24 et 48h	Sauge <i>Salviaofficinalis</i>	-12 h d'imbibition avait l'effet le plus efficace sur l'amélioration des performances germinatives et la croissance. -48 h d'imbibition affectent la germination et la croissance linéaire et pondérale.	Dastanpoor et al. (2013).
8 et 16h	Haricotmungo <i>Vignaradiata</i>	-Amélioration du rendement et de la tolérance au stress hydrique. -16 h d'imbibition avaient l'effet le plus efficace.	Ghassemi-Golezani et al. (2014).
6, 12, 18 et 24h	Soja <i>Glycine max</i>	Amélioration des performances germinatives. -Augmentation de la biomasse et le rendement. - 18 h d'imbibition offrent les meilleurs résultats.	Mehri (2015).

4.2. Osmopriming ou osmoconditionnement

C'est le type d'amorçage de semences le plus communément utilisé. Il consiste à faire subir aux graines un traitement pré germinatif osmotique seul ou suivi d'une redéshydratation. Cette hydratation contrôlée des semences est réalisée grâce à des agents osmotiques tels que le polyéthylène glycol (PEG), les sels (KNO₃, NaCl, KCl) ou les polyols (mannitol) (Bradford, 1986; Yari *et al.*, 2010). Les agents osmotiques les plus utilisés sont le NaCl et le PEG vu leur efficacité sur l'amélioration des vigueur des semis.

Des travaux antérieurs ont suggéré que le succès de l'amorçage des semences dépend des interactions complexes de plusieurs facteurs tels que : (Ôzbingol *et al.*, 1998 et Dezfuli *et al.*, 2008)

- le type de la semence et son état physiologique
- la quantité d'eau utilisée pour le traitement (quantité suffisante pour déclencher un certain nombre de transformations biochimiques et moléculaires, mais insuffisante pour que la radicule perce les téguments),
 - la durée du traitement
 - la température à laquelle est conduit le traitement
 - la nature de la méthode utilisée pour faire prégermer les semences
 - la concentration de la solution osmotisante
 - les conditions de stockage des semences amorcées.

Tableau 2: Synthèse des principaux travaux sur l'osmopriming des semences de différentes espèces cultivées.

Agent osmotisante	Concentration ou Potentiel	Durée d'imbibition	Espèces	Effets	Références
NaCl		24h	Fenouil <i>Foeniculum vulgare</i>	- PEG (-0,9 MPa), K ₂ SO ₄ et NaCl (-0,3 MPa)	Neamatollahi <i>et al.</i> (2009).
K ₂ SO ₄	-0.3, -0.6, -0.9 et -1.2 MPa			meilleures performances	

PEG 6000				germinatives. -NaCl (-1,2 MPa), PEG (-0,3 MPa), NaCl (-0,6 MPa) meilleure croissance racinaire. - PEG (-0,3 MPa), NaCl (-0,6 MPa) meilleure croissance des parties aériennes	
PEG 6000	-10 % et 20 %	12, 24, 36h.	Blé <i>Triticumaestivum</i>	- PEG 20 % et KH ₂ PO ₄ (12 h) meilleure germination.	Yari et al. (2010).
KCl	- 2 % et 4 %			- PEG 20 % (24 h) meilleure croissance racinaire.	
KH ₂ PO ₄	-0,5 % et 1 %			- PEG 10 % (24 h) meilleure croissance de la tige. -KCl affecte la germination et	

				la croissance.	
PEG 6000	0,4, -0,8, -1,2, -1,6 et -2 MPa	6, 12, 24 et 48 h	Soja <i>Glycine max</i>	- PEG 6000 à -1,2 MPa (12 h) offre les meilleurs résultats de germination et d'intégrité membranaire	Sadeghi et al. (2011).
- NaCl	-0,9, -1,1, -1,3, -1,5 et -1,7 MPa	6 et 12 h	Trèfle <i>Trifolium alexandrinu</i>	-NaCl -1,3 MPa (6 h) meilleure germination -Et activation des systèmes anti-oxydatifs	Rouhi et al. (2012).
KNO3	0,75 et 1,5%	24h	Riz <i>Oryzasativa</i>	-KNO3 1,5 % permet d'avoir une meilleure germination et croissance linéaire et pondérale des racines.	Esmaeiliet Heidarza (2012).
NaCl	3 et 6 dS / m-1				
NaCl	2, 4, 6 et 8 g.l-1	12, 24 et 36 h	Coriandre <i>Coriandrumsati vum</i>	-NaCl à 4 g.l-1 (12 h) permet une meilleure tolérance au stress salin.	Ben Fredj et al. (2013).
PEG 6000	-1,5 MPa	6 jours	Poivron <i>Capsicumnannu</i>	-Amélioration de la	Siri et al. (2013).

			<i>um</i>	germination des graines ayant subi un vieillissement -Maintien de l'intégrité membranaire	
KNO3	0.8 %	8h	Colza <i>Brassic napus</i>	-Augmentation du rendement en conditions défavorables (le froid) et particulièrement le KNO3	GhassemiGolezani et al. NaCl (2013).
NaCl					
PEG 6000	-1 Mpa	72h	Concombre <i>Cucumis Sativa</i>	-Amélioration de la germination des semences âgées. -Réparation des membranes endommagées.	Krainart et al. (2015).
KH2PO4					
CaCl2	-1,25 MPa	24h	Mais <i>Zeamays</i>	-Amélioration de développement du système racinaire et du rendement en conditions de sécheresse.	Bismillah khan et al. (2015).

4.3. Biopriming

Selon Reddy (2012), le Biopriming est une nouvelle technique de traitement des semences intégrant les aspects biologiques (inoculation des semences avec un organisme bénéfique pour la protéger) et physiologiques (hydratation des semences) du contrôle des maladies.

Il a récemment été utilisé comme méthode alternative pour lutter contre de nombreux agents pathogènes transmis par les semences et le sol.

Selon le même auteur, c'est une approche écologique qui utilise des antagonistes fongiques sélectionnés contre les agents pathogènes du sol et des semences. Les traitements biologiques des semences peuvent constituer une alternative à la lutte chimique. L'amorçage des semences, l'osmo-amorçage et l'amorçage à la matrice solide ont été utilisés commercialement dans de nombreuses cultures horticoles, en tant qu'outil pour augmenter la vitesse et l'uniformité de la germination et améliorer le peuplement final. Cependant, si les semences sont infectées ou contaminées par des agents pathogènes, la croissance fongique peut être renforcée lors de la préparation, entraînant ainsi des effets indésirables sur les plantes. Par conséquent, l'amorçage des semences, seul ou en combinaison avec une faible dose de fongicides et / ou d'agents de lutte biologique, a été utilisé pour améliorer la vitesse et l'uniformité de l'émergence des semences et réduire les maladies provoquant la fonte des semis.

5- Comportement de quelques espèces végétales vis-à-vis de la technique de priming

Beaucoup d'auteurs ont montrés chez différentes espèces végétales telles que le haricot, la lentille, le blé, le maïs, le riz, la pastèque, le melon, la tomate, la carotte et l'amarante, que l'endurcissement des semences permet l'accélération et la synchronisation de la germination (HEYDECKER et *al.*, 1973, MCDONALD, 2000), ainsi qu'une meilleure croissance, une floraison plus précoce, une plus grande tolérance aux stress et un rendement plus élevé (HARRIS et *al.*, 2002, BASRA et *al.*, 2006, MOOSAVI et *al.*, 2009).

Dans une étude antérieure, l'hydroprimage pour 24h chez le blé résulte une augmentation de rendement grainier par rapport à l'ensemencement de graines non traitées (KAHLON et *al.*, 1992).

Dans une expérience de terrain hydroprimant une culture de maïs, a augmenté la vitesse de l'émergence des semis et amélioré le peuplement et la croissance des plantes (NAGAR et *al.*, 1998). BASRA et *al.* (2002) ont constaté que les semences de maïs réagissaient à des traitements de semences avec hydroprimage pendant 48h montrant l'invigoration maximale suivi d'hydroprimage pendant 24h.

6- Mécanismes de l'endurcissement (amorçage)

Il a été bien montré que les effets positifs de l'endurcissement sont associés à diverses modifications physiologiques, biochimiques, cellulaires, moléculaires et génétiques telles que la mobilisation des réserves, la dégradation de l'albumen, l'activation des systèmes anti oxydatifs, la stimulation de la synthèse des osmolytes et l'activation du cycle cellulaire fortement régulées et contrôlées par l'expression de nombreux gènes (Bray et *al.*, 1989). Toutefois, ces phénomènes intervenant au cours de la pré germination restent encore mal connus. Des études récentes montrent cependant qu'il existe des marqueurs moléculaires qui permettraient de mettre en évidence la pré germination et d'en assurer le contrôle. Ces marqueurs se manifestent à plusieurs niveaux : au cours de la mobilisation des réserves, lors de l'altération physique des tissus entourant la pointe racinaire, ou au cours de la reprise de l'activité cellulaire. La disponibilité de marqueurs moléculaires permettrait de définir plus facilement les conditions optimales de la pré germination des semences et de suivre en continu le déroulement des procédés (Soeda et *al.*, 2005).

1- Effet de l'amorçage sur la germination

Toutes les études sur l'endurcissement ont prouvé que l'amorçage est une méthode efficace pour améliorer les performances germinatives, en donnant des cultures uniformes et homogène. Ceci a été montré chez le haricot (Abebe et Modi, 2009; Ghassemi Golezani et *al.*, 2010).

Plusieurs auteurs ont expliqué cette germination rapide et synchronisée par une activation des processus pré-germinatifs en provoquant des modifications biochimiques quantitatives et qualitatives au niveau de la semence (Varier et *al.*, 2010; Maroufi et *al.*, 2011), telles que la réparation des membranes et de la synthèse des acides nucléiques (ADN et ARNm) (Jowkar et *al.*, 2012), une forte synthèse et activation des enzymes impliquées dans la dégradation et la mobilisation des réserves (Varier et *al.*, 2010; Wattanakulpakin et

al., 2012), ainsi qu'une activation de l'endo- β -mannase qui est l'enzyme responsable de la levée de la dormance (Varier et *al.*, 2010).

2- Effet de l'amorçage sur la dormance

Des études antérieurs ont bien montré que l'endurcissement permet la levée de la dormance des semences par l'activation de l'endo- β -mannase qui est l'enzyme responsable de la synthèse de l'éthylène (hormone qui permet la dégradation de l'albumen pour la levée de la dormance) (Stillet Bradford, 1997; Toorop et *al.*, 1998).

Des auteurs ont supposé que l'osmoprimer aide à libérer l'éthylène au sein des tissus de l'embryon recouverts par l'endosperme et cela serait suffisant pour permettre la germination des graines. Ainsi, le traitement pré germinatif peut lever la dormance même à des températures non optimales par le relâchement de la région testa de l'endosperme (Habdas et *al.*, 2000; Siriwitayawan et *al.*, 2003).

3- Effet de l'amorçage sur l'intégrité membranaire

Des études suggèrent que l'endurcissement permet la réparation des membranes cellulaires endommagées naturellement au cours du stockage (Jowkar et *al.*, 2012).

4- Effet de l'amorçage sur la respiration

Il a été montré chez certaines espèces que l'hydro et l'osmoprimer par le PEG induisent une modification considérable de l'activité respiratoire qui s'accompagne d'une augmentation marquée du nombre de mitochondries, de la quantité d'adénosine triphosphate ATP, de la charge énergétique et du rapport ATP/ADP au niveau des tissus embryonnaires des graines traitées (Corbineau et *al.*, 2000).

5- Effet de l'amorçage sur les protéines

Des recherches ont bien montré que l'endurcissement favorise la synthèse des protéines par l'amélioration de la machinerie de leur synthèse (Varier et *al.*, 2010).

- **Les enzymes :** Des études sur des semences endurcies ont suggéré une forte synthèse et activation des enzymes impliquées dans la dégradation des réserves protéiques (protéase), glucidiques (α et β amylases) et lipidiques (isocitrate lyase) dont les produits

(éléments nutritifs) seront utilisés au cours de la germination (Fu et *al.*, 1988; Sung et Chang, 1993; Varier et *al.*, 2010) .

Des protéines enzymatiques telles que la méthyltransférase et la Lisoaspartyl, qui réparent et protègent les protéines cellulaires endommagées par le vieillissement cellulaire naturel, sont signalées en augmentation au cours de l'amorçage (Varier et *al.*, 2010).

- **Les protéines de stress :** Les effets bénéfiques de l'endurcissement en conditions d'un stress hydrique peuvent être expliqués par l'augmentation de l'expression des protéines de stress.

En effet, une augmentation spécifique des protéines moléculaires de choc thermique (HSP) de 17,4 et 17,7 kDa a été observée chez des graines trempées dans le PEG ou le mannitol. Ces osmotisants conduisant à une hydratation incomplète des semences. Ces chaperons moléculaires agissent en maintenant le bon repliement d'autres protéines au cours de l'osmopriming, empêchant l'agrégation et la liaison aux protéines endommagées (Gallardo et *al.*, 2001). Ceci explique l'abondance des protéines de choc thermique, qui sont connues pour s'accumuler en grandes quantités au cours de toutes sortes de stress (Kester et *al.*, 1997). Ces HSPs synthétisées au cours de l'osmopriming en réponse au stress pourraient également protéger les protéines endommagées par le vieillissement naturel (Varier et *al.*, 2010).

6- Effet de l'amorçage sur les systèmes antioxydants

Un traveau de Varier et *al.* (2010) ont montré qu'au cours de l'hydropriming, une augmentation particulière de l'isoforme catalase qui est une enzyme d'élimination des radicaux libres synthétisés en réponse d'un stress oxydatif pour éviter les dommages cellulaires.

En plus de la catalase, d'autres enzymes clés qui piègent les radicaux libres telles que la superoxyde dismutase, les peroxydases et la glutathion réductase, augmentent également au cours d'un priming. Des niveaux accrus de ces enzymes de piégeage des radicaux libres, enraison du stress oxydatif et du vieillissement des semences, lors de l'amorçage pourraient aussi protéger la cellule contre les dommages des membranes dus à la peroxydation lipidique (Bailly et *al.*, 1997; Varier et *al.*, 2010).

7- Effet de l'amorçage sur les osmolytes

Sur le plan physiologique, les traitements prégerminatifs ont pour conséquence l'augmentation de la teneur en proline libre corrélée avec une forte expression de deux gènes et à des niveaux élevés de l'ARNm correspondant à l'activité des enzymes impliquées dans la synthèse de la proline (Gelormini, 1995).

D'autres études suggèrent que la prégermination induit une accumulation des sucres solubles en conditions stressantes pour permettre l'ajustement osmotique (Hamlat et Benkadi, 2000).

8- Effet de l'amorçage sur le matériel génétique

Les modifications physiologiques et biochimiques provoquées par le traitement de prégermination sont fortement régulées et contrôlées par l'expression de nombreux gènes. En raison de ces régulations complexes et de leurs conséquences potentielles à l'échelle du cycle de la plante, des études sur les aspects moléculaires et génétiques ont permis d'identifier les caractères les plus pertinents pour l'étude des effets de l'endurcissement ainsi, que l'identification des liens qui existent entre les différents niveaux d'organisation, ainsi que d'identifier une première liste des gènes candidats. La biosynthèse des protéines au cours de traitement prégerminatif dépend étroitement d'un réseau complexe et hétérogène de régulation et expression génétique. Ce qui induit de différentes possibilités; aux niveaux chromatinien (méthylation), transcriptionnels, posttranscriptionnels, traductionnels et post-traductionnels (SOEDA et *al.*, 2005).

D'autre part, certaines conséquences de l'endurcissement sont peut être dues à la méthylation de l'ADN ou à la conformation spatiale de la chromatine. Ainsi, les phénomènes épigénétiques sont d'une importance capitale pour la compréhension de nombreux phénomènes en biologie des plantes; ils jouent un rôle déterminant dans l'adaptation des plantes à leur environnement (HEBRARD, 2012). Ces changements épigénétiques sont modulés lors du développement et de l'exposition au stress, résultant en un mécanisme de défense plus efficace (BRUCE et *al.*, 2007).

- **ADN et l'ARN :** Le maintien de l'intégrité de l'ADN par la réparation des dommages subis naturellement est important pour la production d'un modèle sans erreur de transcription et de réplication. VARIER et *al.* (2010) ont révélé que le traitement de

prégermination des semences permet la réparation pré-répllicative de l'ADN endommagé au cours du stockage et du vieillissement.

MCDONALD (2000) a révélé une augmentation de la synthèse de l'ARN chez les graines endurcies, en particulier, dans les axes embryonnaires ainsi qu'une amélioration de l'intégrité des ribosomes. SOEDA et al. (2005) ont également observé au cours de l'osmopriming des graines de *Brassicaoleracea*, une forte expression des gènes codant pour les composants de la machinerie de traduction, tels que les sous-unités ribosomiques et les facteurs d'initiation de la traduction et de l'allongement.

D'autre part, des études menées sur l'expression génétique ont révélé, chez les semences endurcies, une augmentation de l'expression des gènes de carboxypeptidase serine (impliqués dans la mobilisation des protéines de réserve et la transacylation), des gènes de cytochrome B (impliqués dans le transport des électrons de la chaîne mitochondriale) ainsi que les gènes codant pour les protéines impliquées dans le métabolisme cellulaire (SOEDA et al., 2005).

- **Le cycle cellulaire Selon les travaux de DE CASTRO et al. (1995) et VARIER et al. (2010)** qui ont montré que la β -tubuline est un marqueur de la reprise du cycle cellulaire chez la tomate, susceptible de caractériser la prégermination des semences de tomate. La β -tubuline est une protéine qui entre dans la composition des microtubules en liant les centromères et intervient donc dans la division cellulaire. Dans le cas des semences de tomate endurcies, la néosynthèse de cette protéine est détectée principalement dans l'apex racinaire des cellules embryonnaires lors d'un traitement de prégermination (VARIER et al., 2010).

De Castro et al. (2000) ont montré que l'endurcissement améliore et synchronise la réplication de l'ADN dans toutes les cellules de l'embryon permettant le passage du cycle cellulaire de la phase G1 à la G2. Au cours de l'amorçage, le cycle cellulaire est bien arrêté à la phase G2 permettant la synchronisation des cellules ainsi que les événements mitotiques de la division cellulaire qui se produisent plus tôt et plus intensément dans les embryons de semences redéshydratées. Cette pré-activation de la synchronisation du cycle cellulaire est l'un des mécanismes par lesquels l'amorçage induit une meilleure performance de la germination. Ce mécanisme est régulé par l'activation des protéines du cycle cellulaire comme la β -tubuline, les cyclines et les protéines kinases cycline dépendante.

9- Effet de l'amorçage sur la longévité des semences

Paradoxalement, un effet négatif de l'hydropriming a été montré par plusieurs auteurs. En effet, la longévité des semences traitées est souvent réduite (VAN PIJLEN et *al.*, 1996; CHANG et SUNG, 1998; TAYLOR et *al.*, 1998; POWELL et *al.*, 2000; VARIER et *al.*, 2010).

Chapitre II

Généralité sur le stress salin

1- Notions du stress

Au niveau cellulaire, un stress est causé par la variation d'un paramètre environnemental qui entraîne la mise en place des mécanismes de régulation de l'homéostasie. Les organismes sont généralement soumis à deux types de stress : Les stress biotiques (dus à une agression par un autre organisme) et abiotiques (principalement à des facteurs environnementaux) (VINCENT, 2006).

Il est à noter que, chacun d'entre eux peut provoquer l'augmentation de la teneur en ABA dans la plante: c'est l'hormone principale permettant de réguler la tolérance à ces stress. Un de ses rôles principaux est de maintenir l'homéostasie osmotique des cellules, grâce à la fermeture des stomates et à l'induction de gènes de tolérance au stress hydrique. Lorsque les plantes sont exposées à des stress biotiques et abiotiques, le GA3 est rapidement accumulé (LEHMANN et *al.*, 2000) .

Le stress dans son aspect physique, est une contrainte qui peut se résumer à une ou plusieurs force(s) de déformation appliquée(s) à un corps. Cette contrainte modifie les dimensions et la forme du corps exposé traduisant sa tension intérieure (LEVITT, 1980).

La notion du stress biologique est le changement plus ou moins brusque par rapport aux conditions normales de la plante ou de l'animal, et la réaction sensible de l'individu dont les différents aspects de sa physiologie laquelle change sensiblement avec l'adaptation à la nouvelle situation à la limite de dégradation menant à une issue fatale (LECLERC, 1999).

Les dommages causés par le stress salin à long terme est surtout le déséquilibre ionique et la toxicité provoquées par le Na⁺ plutôt que l'effet du sel sur le potentiel hydrique réduisant la disponibilité en eau (MUNNS, 2002 in BELKHEIRI, 2007).

Selon MAROUF et REYNAUD (2007) le stress est l'ensemble des perturbations physiologiques ou pathologiques provoqués dans un organisme par des agents biotiques (parasites, pathogènes) ou abiotiques (salinité, sécheresse, température, pollution, etc.).

Les organismes sont généralement soumis à deux types de stress:

- Biotique: imposé par d'autres organismes (insectes, herbivores...).
- Abiotique: provoqué par un défaut ou excès de l'environnement physico-chimique comme la sécheresse, les températures extrêmes, la salinité (LEVITT, 1980, ZHU, 2002, VINCENT, 2006).

Les stress abiotiques ou environnementaux affectent la croissance et le rendement des plantes, contrairement aux animaux qui peuvent se déplacer lorsque les conditions de vie ne leur sont plus favorables. Les plantes ont développé des stratégies d'adaptation pour répondre aux chocs chimiques ou physiques, engendrés par l'environnement en contrôlant et en ajustant leur système métabolique.

On peut considérer que la notion de stress implique, d'une part, une déviation plus ou moins brusque par rapport aux conditions normales de la plante ou de l'animal et d'autre part une réaction sensible de l'individu dans les différents aspects de sa physiologie, avec soit une adaptation à la nouvelle situation, soit à la limite dégradation menant à une issue fatale (LACLERC, 1999).

2- Différents Facteurs du stress

2.1 La sécheresse : la sécheresse peut être considérée comme un catalyseur de la désertification car elle affecte la structure du sol et provoque des changements dans la végétation. Le passage contrasté d'épisodes de sécheresse et de pluie diluvienne, fragilise la structure du sol, accélère l'érosion et favorise le processus de désertification (REQUIER-DES JARDINS et CARON, 2005).

2.2 Le Stress hydrique : Le sol est considéré comme un réservoir pour les plantes. Le degré de disponibilité de l'eau pour les plantes définit des valeurs seuils de l'humidité auxquels est associé. La phase de saturation correspond au moment où tous les pores du sol sont remplis d'eau (GUYOT, 1998). Après ressuyage, lorsque l'écoulement gravitaire s'annule, la teneur en eau du sol correspond à sa capacité de rétention appelée aussi capacité au champ (BROCHET et GERBIER, 1978). Cette dernière augmente avec la teneur en argile et en matière organique du sol (MOREL, 1996). Cette phase est considérée comme la limite supérieure de l'eau utile pour les plantes. Lorsque les forces de succion des racines deviennent insuffisantes pour extraire l'eau du sol quelle que soit la demande de l'atmosphère (BROCHET et GERBIER, 1978; DUCROQ, 1990; GUYOT, 1998), le tissu végétal subit des dégradations irréversibles et celui-ci ne peut que difficilement reprendre sa turgescence normale après réhydratation du sol. C'est le point de flétrissement permanent.

2.3 La salinité : en présence de forte concentration de Na Cl, la plupart des plantes exclut le Na⁺ et le Cl⁻ par les racines et l'eau sera captée par le sol (Munns, 2002).

3- Mécanismes de toxicité du chlorure de sodium

3.1 Stress osmotique :

Ce stress peut se produire dans la racine; Les plantes ont besoin de maintenir le potentiel hydrique interne au-dessous de la concentration du milieu pour maintenir la turgescence de leurs cellules et leur alimentation en eau et leur croissance (FLOWERS et *al.*, 1977).

Donc, le stress osmotique dans les racines se produit quand il y a une forte pression osmotique de la solution autour des racines, en menant à une baisse du potentiel hydrique externe, dans ce cas, l'effet du stress hydrique résultant est attribuable aux fortes concentrations de sel à l'extérieur de la plante plutôt que dans la plante elle-même, qui peut inhiber l'alimentation en eau ou même, en causant la déshydratation de la plante et finalement une réduction de la turgescence et la croissance (FLOWERS et *al.*,1977;GREENWAY et MUNNS, 1980; XIONG et *al.*,2002).

3.2 Stress ionique :

Ce composant supplémentaire de stress salin est attribuable au rapport (K⁺) / (Na⁺) échangeable et les concentrations du (Na⁺) qui sont néfastes aux plantes. La toxicité du Na⁺ ionique peut être manifestée dans l'apoplaste cellulaire dû à son déplacement de / ou substitution pour le (Ca²⁺), comme ils ont un rayon ionique semblable de 0.097 nm et 0.099 nm pour (Na⁺) et (Ca²⁺) respectivement (CRAMER, 2002).

Les concentrations du (Na⁺) au-dessus de 100 mM ou un faible rapport (K⁺)/ (Na⁺) peuvent inhiber de telles fonctions à travers la capacité du (Na⁺) de rivaliser avec le (K⁺) pour ses sites de liaison (Na⁺) (GREENWAY et MUNNS, 1980; WYN JONES et *al.*, 1983;TESTER et DAVENPORT, 2003). Les fortes concentrations en (Na⁺) peuvent perturber aussi les fonctions enzymatiques cytosoliques parce que le (K⁺) est un activateur essentiel de plus de 50 enzymes, le (Na⁺) est incapable de remplacer le (K⁺) dans ce rôle. De façon intéressante, les enzymes cytosoliques des halophytes sont aussi inadaptés aux fortes concentrations du sel, et présentent la même sensibilité vis-à-vis du sel comme les enzymes des glycophytes. Le (Na⁺) peut causer aussi l'interruption de composants cytoplasmiques tels que les microtubules, microfibrils, spherosomes et ribosomes (FLOWERS et *al.*, 1977; RAHMOUNE, 2005).

3.3 Stress nutritionnel :

En plus d'imposer des stress osmotiques et ioniques, la forte salinité provoque aussi des stress secondaires. Par exemple, utilisation efficace d'éléments nutritifs nécessaires en particulier le (K⁺) et le (Ca²⁺) qui peuvent être affaiblis dans les sols salins, en causant des déséquilibres tel que la réduction du rapport (K⁺)/ (Na⁺) et la déficience des plantules en (Ca²⁺), donc affecter plus loin leur croissance et leur productivité (GREENWAY et MUNNS, 1980; LEVIGNERON et *al.*, 1995; ZHU et *al.*, 1998; ESSAH, 2000).

De plus, plusieurs rapports ont montré que le stress salin pourrait produire l'accumulation de composés toxiques telle que les espèces réactives de l'oxygène (ROS) dans les plantes (ALLEN, 1995; SMIRNOFF, 1999).

4- Mécanisme d'adaptation des plantes aux stress

La réponse au sel des espèces végétales dépend de l'espèce même, de sa variété, de la concentration en sel, des conditions de culture et du stade de développement de la plante (MALLEK-MAALEJ et *al.*, 1998). La plante peut d'adapter au stress salin de différentes manières:

- L'exclusion

La plante empêche le sel de remonter jusqu'aux feuilles. Une première barrière existe au niveau de l'endoderme, couche interne des cellules de la racine, ainsi que le transport sélectif permet d'adsorber les ions nutritifs utiles et de réexcréter les ions Na⁺ (GENOUX et *al.*, 1991).

- L'inclusion

La plante capte le sel qui parvient aux feuilles au même titre que l'eau par le mouvement ascendant de la sève dans les vaisseaux, le sel est alors stocké dans les vacuoles grâce à des systèmes de "pompes moléculaires" et ainsi le sel est isolé des constituants cellulaires vitaux (BERTHOMIEU et *al.*, 2003).

- L'ajustement osmotique

L'ajustement osmotique du cytoplasme, suite à un stress osmotique provoqué par la présence de Na Cl dans le milieu extérieure est réalisé par l'accumulation de solutés organiques.

Parmi ces composés s'accumulant lors du stress salin, on trouve les acides aminés comme la proline (HASSANI et *al.*, 2008); des sucres (fructose, saccharose) et leur dérivés

alcool (glycérol, mannitol, pinitol) (KELLER et LUDLOW, 1993) et des méthylamines (glycine bétaine) (WERETILNYK et *al.*, 1989).

- **Biosynthèse d'osmoprotectants**

Les gènes impliqués dans la synthèse d'osmoprotectants sont surexprimés sous stress salin (ZHU, 2002). Les osmoprotectants compatibles pour différents solutés sous stress salin protègent les plantes par ajustement osmotique ce qui maintient la turgescence cellulaire, par détoxification des espèces réactives d'oxygène (ROS : Reactive Oxygen Species), et par stabilisation de la structure (quaternaire) des protéines.

- **Contrôle membranaire**

Dans la diffusion facilitée comme dans le transport actif, les protéines membranaires peuvent être très spécifiques de certains solutés. Néanmoins, plusieurs solutés peuvent entrer en compétition par une même protéine de transport (Na^+ et K^+). D'un point quantitatif, la perméabilité membranaire au Na^+ ainsi que l'activité, la quantité et la sensibilité des antiports Na^+/H^+ membranaires évoluent pour s'adapter à un stress salin à long terme (TYERMAN et SKERETT, 1999).

- **Induction des hormones végétales**

La concentration élevée du sel déclenche une augmentation dans les taux des hormones végétales, comme l'ABA et les cytokinines. L'acide abscissique est responsable de l'altération des gènes induits par le stress salin. Les gènes inductibles de l'ABA sont prévus de jouer un rôle important dans le mécanisme de la tolérance au sel chez le riz. Il s'est avéré que l'ABA vient alléger l'effet inhibiteur du Na Cl sur la photosynthèse, la croissance et la translocation des assimilats (PARIDA et DAS, 2005).

L'ABA favorise la fermeture des stomates en changeant le flux des ions dans les cellules de gardes sous les conditions de stress salin (CHEN et *al.*, 2001).

5- Impacte de la salinité sur les plantes

La salinité est une contrainte majeure qui affecte la croissance et le développement des plantes (BOUAOUINA et *al.*, 2000 in ZOUAOUI et al, 2018).

Les effets de la salinité se manifestent au niveau de la plante entière à des degrés variables se traduisant par des changements morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui affectent négativement la croissance de la plante et sa productivité (WANG et *al.*, 2001 in ZOUAOUI et *al.*, 2018).

La salinité constitue l'un des principaux stress abiotiques limitant la croissance des plantes cultivées (MUNNS et TESTER, 2008). Cette salinité peut être naturelle ou induite

par les activités agricoles comme l'irrigation (avec de l'eau de faible qualité) ou l'utilisation de certains types d'engrais (RUBIO et al., 1995). Ainsi, chaque année, près de 10 millions d'hectares de terre cultivables sont perdus dans le monde du fait de l'accumulation, au cours du temps, de petites quantités de sel contenues dans l'eau d'irrigation. L'Algérie est parmi les pays menacés, on compte 3,2 millions d'ha affectés par la salinité (BELKHODJA et BIDAI, 2004).

Basé sur leur capacité à croître sur un milieu salin, les plantes, y compris les espèces cultivées, sont traditionnellement classés en : glycophytes; montrant les effets du sel à des concentrations inférieure à 50 mM, ou halophytes qui peuvent compléter leur cycle de vie à 500 mM (MAAS, 1986). Bien que les glycophytes soient les plus sensibles au stress salin, leur tolérance varie considérablement entre les espèces et les variétés (GREENWAY et MUNNS, 1980).

La conséquence générale de la présence de sels dans les sols est une limitation de la croissance qui provoque une baisse de rendement. Dans les régions semi-arides, la concentration en sel de la solution du sol peut atteindre 100mM, condition qui inhibe la croissance de la quasi-totalité des plantes cultivées (AMTMAM et SANDRES, 1999). Pour les concentrations en sel les plus fortes, même la germination peut devenir impossible. En Algérie, les zones semi-arides et arides couvrent près de 95% du territoire (BENKHELIF et al., 1999). Les sols salés sont très répandus dans les régions arides, représentant environ 25% de la surface (HALITIM, 1988) soit 3,2 millions d'hectares (HAMDY, 1999).

6- Les différents types de salinisation

Salinisation primaire : Près de 80% des terres salinisées ont une origine naturelle, on qualifie alors la salinisation de «primaire». Dans ce cas, celle-ci est due à la formation des sels pendant l'altération des roches ou à des apports naturels externes :

- Dans les régions côtières, intrusion de l'eau salée ou submersion des terres basses.
- Inondation périodique par de l'eau de mauvaise qualité.
- Remontée d'une nappe phréatique salée près de la zone racinaire (MERMOUD, 2006).

Salinisation secondaire : Près de 20% des terres salinisées ont une origine humaine ou anthropique et sont qualifiées de «secondaires». L'irrigation est la principale cause anthropique de la salinisation des sols (IPTRID, 2006).

Dans les aires de grande irrigation s'ajoute l'inadéquation du réseau de drainage des eaux usées souvent insuffisant par sa densité, par la profondeur des drains, par sa pente et son mauvais état (MAINGUET, 2003).

L'irrigation altère le bilan hydrique du sol en générant un apport d'eau supplémentaire. Cet apport est toujours associé à un apport de sels. En effet, même une eau douce de la meilleure qualité contient des sels dissous et, si la quantité de sels apportée par cette eau peut sembler négligeable, les quantités d'eau apportées au fil du temps entraînent un dépôt cumulé de sels dans les sols qui peut s'avérer considérable. Les échanges de cations entre le sol et l'eau d'irrigation sont le début de la salinisation du sol (IPTRID, 2006).

7- Mises en valeur des sols salés

Une bonne utilisation agricole des sols salés nécessite :

- L'élimination des excès en sels (lixiviation) et la suppression de la source de sodium (drainage de la nappe salée).
- Ces pratiques seront d'autant plus aisées que le sol est perméable et que l'eau (pluie, irrigation) est abondante et de bonne qualité.
- L'utilisation des plantes résistantes à la salinité.
- La reconstitution de la fertilité par des amendements qui enrichissent les argiles en calcium échangeable.
- Des pratiques culturales particulières, labour de défoncement, ratissage des sels en surface (GIRARD et *al.*, 2005).

8- Effet de la salinité sur les plantes

Le stress salin a un triple effet: il réduit le potentiel hydrique, cause un déséquilibre ionique ou des perturbations en homéostasie ionique et provoque une toxicité ionique. Cet état hydrique altéré conduit à une croissance réduite et limitation de la productivité végétale. Depuis que le stress salin implique aussi bien le stress osmotique qu'ionique, l'arrêt de la croissance est directement relié à la concentration des sels solubles ou au potentiel osmotique de l'eau du sol. Durant le début et le développement du stress salin à l'intérieur de la plante, tous les processus majeurs tels que : la photosynthèse, la synthèse des protéines, le métabolisme énergétiques... sont affectés. La première réponse est la réduction de la vitesse d'extension de la surface foliaire, suivi par l'arrêt de l'extension avec l'intensification du stress (PARIDA et DAS, 2005).

L'effet de la salinité n'est pas homogène pour tous les organes. Les réponses morphologiques, physiologiques et métaboliques de ces derniers sont différentes (HILAL et SINGH, 1999 in ZOUAOUI et *al.*, 2018). Parfois même opposées entre les stades juvéniles et adultes. (MUNNS et TERMAAT, 1986 in ZOUAOUI et *al.*, 2018).

a- Effet du stress sur la germination

La germination des semences qu'elles soient halophytes ou glycophytes, est affectée par la salinité. Elles répondent de la même manière au stress salin, en réduisant le nombre total des graines germées et en accusant un retard dans l'initiation du processus de la germination (ASKRI, 2007; WENTAO et *al.*, 2009). Parmi les causes de l'inhibition de la germination en présence de sel, la variation de l'équilibre hormonal a été évoquée (DEBEZ et *al.*, 2001). Selon l'espèce, l'effet dépressif peut être de nature osmotique ou toxique. Les effets osmotiques se traduisent par l'inaptitude des graines à absorber des quantités suffisantes en eau pour les ramener à leur seuil critique d'hydratation, nécessaire au déclenchement du processus de germination, par contre, les effets toxiques sont liés à une accumulation cellulaire de sels qui provoquent des perturbations des enzymes impliquées dans la physiologie des graines en germination, empêchent la levée de dormance des embryons et conduisent à une diminution de la capacité de germination (REJILI et *al.*, 2006).

b- Effet de la salinité sur la croissance et le développement

Les effets de la salinité sur la croissance des plantes varient en fonction du type de salinité, de la concentration du sel, de l'espèce, de la variété, de l'organe de la plante, ainsi que de son stade végétatif (LEVIGNERO et *al.*, 1995).

Le stress salin entraîne des modifications morphologiques, mais c'est le poids de la matière végétale sèche et la longueur des tiges qui rendent compte du milieu de la tolérance ou de sensibilité des plantes au sel (BEKHOUCHE, 1992).

Le stress salin résulte aussi dans la diminution de la biomasse sèche et fraîche des feuilles, tiges et racines (CHARTZOULAKI et KAPAKI, 2000). Une réduction de la croissance de la partie aérienne est la première réponse observée des glycophytes à l'augmentation de la salinité au niveau des racines ; il s'agit de l'effet destructif le plus significatif en cas d'une exposition prolongée à la salinité (GARREC et *al.*, 1989).

La réduction de la croissance est en rapport avec la réduction de la teneur relative en eau, la conductance stomatique, la transpiration et la réduction de la photosynthèse nette (BELL, 1999).

Les feuilles sont les tissus les plus sensibles de la plante à une salinité excessive, par contre la croissance des racines s'en trouve faiblement affectée. Ainsi, le chlorure de sodium inhibe la croissance des racines des glycophytes, qu'elles soient réputées très, sensible à la salinité, moyennement sensible ou plutôt tolérantes. Néanmoins, cette inhibition est généralement moins marquée que celles des parties aériennes. (GREENWAY et MUNNS, 1980).

c- Effet de la salinité sur l'eau dans la plante

Le potentiel hydrique et le potentiel osmotique des plantes deviennent de plus en plus négatifs avec l'augmentation de la salinité ainsi que la pression de la turgescence (PARIDA et DAS, 2005). Dans les conditions de concentrations élevées de salinité accrue, le potentiel hydrique de la feuille et la vitesse d'évaporation diminuent significativement chez l'halophyte *S. salsa* alors qu'il n'y a pas de changement dans le contenu relatif en eau (PARIDA et DAS, 2005).

d- Effet de la salinité sur l'anatomie de la feuille

La salinité cause une augmentation de l'épaisseur de l'épiderme, l'épaisseur du mésophyle, la longueur des cellules palissadiques le diamètre des cellules palissadiques dans les feuilles de l'haricot, du coton et de l'atriplex ; La salinité réduit aussi l'espace intercellulaire dans les feuilles. L'épaisseur du mésophyle et de l'épiderme ainsi que l'espace intercellulaire diminuent significativement dans les feuilles traitées avec le Na Cl de la mangrove *B. parviflora* (PARIDA et DAS, 2005).

Le stress salin cause le développement de la vacuolisation et un gonflement partiel du réticulum endoplasmique, le gonflement de la mitochondrie, la vésiculation et la fragmentation du tonoplaste et la dégradation du cytoplasme par le mélange de la matrice cytoplasmique et vacuolaire des feuilles de la patate douce (*Ipomoea batatas*) (PARIDA et DAS, 2005).

e- Effet de la salinité sur les pigments photosynthétiques et les protéines

Le taux de la chlorophylle et des caroténoïdes des feuilles diminue en général sous les conditions de stress salin. Les feuilles les plus âgées commencent à développer une chlorose et finissent par tomber pendant une période prolongée de stress salin (AGASTIAN et *al.*, 2000).

Le contenu des protéines solubles des feuilles diminue en réponse à la salinité (PARIDA et *al.*, 2002). AGASTIAN et *al.*, (2000) ont rapporté que les protéines solubles augmentent à des niveaux bas de salinité et diminuent en hautes concentrations de salinité chez les mûres.

f- Effet de la salinité sur l'ultra structure du chloroplaste

Dans le mésophile de la patate douce (*Ipomoea batatas*), les membranes des thylacoïdes sont gonflées et la plupart sont perdues sous un stress salin sévère (PARIDA et DAS, 2005).

g- Effet de la salinité sur le taux des ions

L'absorption des hautes concentrations de Na Cl engendre une compétition avec l'absorption d'autres ions, spécialement le K⁺, ce qui conduit à une déficience en K⁺. Le traitement accru de NaCl induit une augmentation dans le taux du Na⁺ et Cl⁻ et une diminution dans le taux du Ca²⁺, K⁺ et le Mg²⁺ chez de nombreuses plantes (KHAN et DUKE, 2001 ; HAOUALA et *al.*, 2007).

h- Effet de la salinité sur le comportement biochimique de la plante

Sous les conditions salines il y a un changement dans le modèle d'expression des gènes, et des changements qualitatifs et quantitatifs dans la synthèse des protéines (REYNOLDS et *al.*, 2001). Le stress salin induit une perturbation de la composition lipidique et protéique au niveau de la membrane cellulaire, affectant ainsi sa stabilité (ALEM et AMRI, 2005). La présence du sel en forte concentration inhibe principalement le métabolisme cellulaire et la photosynthèse (TREMBLIN et COUDRET, 1986) par l'imposition d'un stress osmotique (HAYASHI et MURATA, 1998) sur la cellule et par la toxicité du sodium (NIU et *al.*, 1995) et du chlorure dans le cytoplasme.

Chez diverses espèces, plus ou moins résistantes, on a observé une augmentation des sucres totaux résultant d'un blocage de la glycolyse ou du saccharose provenant d'une forte hydrolysée de l'amidon (ASLOUM., 1990).

i- Effet de la salinité sur la plante du haricot

Le haricot est modérément tolérant a la salinité au stade germination, mais il est plus sensible aux stades ultérieurs de la croissance. Si le NaCl exerce un effet inhibiteur sur la croissance des jeunes plantules, cet effet ne détermine pas directement la production de biomasse aux stades ultérieurs (floraison, nouaison). A ces stades, la croissance serait déterminée par l'élimination d'une partie des feuilles suite a une accumulation excessive de sodium et de chlore. Le sel soluble ne change pas le schéma morphogénétique des plantes puisque le nombre de feuilles des plantes cultivées en milieu salé est proche de celui des plantes cultivées en milieu non salé (Snoussi, 2001). En revanche, il agit sur la croissance en diminuant la biomasse de ces organes et en éliminant les feuilles qui atteignent le seuil d'accumulation toxique de sodium. Cette toxicité en sodium accumulé est associée a des rapports Ca^{++} / k^{+} très élevés caractéristiques de l'état de sénescence foliaire (YEO et FLOWERS, 1986).

9- Biosynthèse de solutés compatibles

Pour adapter l'équilibre ionique dans la vacuole, le cytoplasme accumule des composés de petite masse moléculaire nommés solutés compatibles parce qu'ils n'interfèrent pas avec les réactions normales biochimiques, en revanchent ils remplacent l'eau dans les réactions chimiques (PARIDA et DAS, 2005).

Les solutés compatibles, accumulées pendant l'ajustement osmotique, sont des composés très solubles qui ne portent aucune charge nette à pH physiologique, et sont non - toxiques à fortes concentrations intracellulaire et à plus hautes températures. Sous des conditions osmotiques défavorables, les solutés compatibles élèvent la pression osmotique dans le cytoplasme et stabilisent les protéines et les membranes (RASANEN, 2002)

Les plantes peuvent synthétiser trois types de solutés compatibles:

- Bétaines ou composés d'ammonium quaternaire (par exemple la glycine bétaine)
- Polyols et sucres (par exemple tréhalose)

- Acides aminés (par exemple proline) (NIU et *al.*, 1995; HASEGAWA et *al.*, 2000; RASANEN, 2002; RAHMOUNE et *al.*, 2005 ; ASHRAF et FOOLAD, 2007).

Les polyols sont classifiés comme acycliques (mannitol) et cycliques (pinitol). Les polyols agissent en deux manières qui sont difficile à séparer: ce sont l'ajustement osmotique et osmoprotection. Dans l'ajustement osmotique, ils agissent comme des osmolytes pour faciliter la rétention de l'eau dans le cytoplasme et permettant la séquestration du Na Cl à la vacuole ou l'apoplaste.

Les osmolytes, généralement de nature hydrophilique, sont des molécules peu chargées mais polaires et très solubles (SAIRAM et TYAGI, 2004), protègent la structure cellulaire en interagissant avec les membranes, complexes protéiques, ou enzymes. Ces composés ont des caractéristiques de liaisons d'hydrogène qui leurs permettent de protéger des macromolécules des effets néfastes de l'augmentation de la force ionique dans les milieux avoisinant (CROW et *al.*, 1992). Par une association étroite entre les protéines et les composants de la membrane, les polyols compensent la perte de l'eau pendant le stress (PARIDA et DAS, 2005).

Les hydrates de carbones comme les sucres (le glucose, le fructose, le saccharose et le fructane) et l'amidon s'accumulent sous le stress salin (PARIDA et *al.*, 2002). Sous les conditions de salinité, le taux de l'amidon diminue dans les racines du riz mais ne change pas dans la partie aérienne (PARIDA et *al.*, 2002).

La proline s'accumule dans les feuilles, les tiges et les racines de *Pringlea antiscorbutica* et cet osmolytes s'accumule 2 à 3 fois plus dans le cytoplasme que dans la vacuole (PARIDA et DAS, 2005).

10- Facteurs intervenants dans le processus de la salinité

Selon WYN JONES et GOUSTON (1991), la salinisation des sols peut être due à :

- La lixiviation des sels solubles et/ou à l'évaporation, qui déposent leurs sels dans les sols.
- En régime, non saturé, la remontée capillaire entraine un transport des sels par flux de masse vers la surface du sol où ils s'accumulent après évaporation de l'eau (RAJU et *al.*, 1993).

11- Importance de la salinité

La teneur en sel est le critère le plus important pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation. Cette teneur peut être exprimée en termes de conductivité électrique ou en ppm ou meq/l. la concentration totale est plus importante car la plupart des cultures répondent à la concentration ionique totale du milieu de croissance (effet osmotique) plutôt qu'à un ion spécifique. Généralement, une augmentation de la teneur en sel dans l'eau d'irrigation résultera dans une augmentation de la salinité de la solution du sol.

La vitesse et le degré de cette augmentation dépendent de :

- Lessivage, c'est-à-dire la quantité d'eau apportée par irrigation ou par des pluies en besoin de la culture et l'efficacité du lessivage.
- La composition ionique de l'eau d'irrigation et la tendance de quelques ions, tel que Ca^{2+} , HCO_3^- , SO_4 , à précipiter après l'extraction de l'eau du sol.
- Propriété physique du sol tel que l'infiltration, les caractéristiques hydriques et le drainage (ANTIPOLIS, 2003).
- La salinité peut suivant la dose de sel avoir un effet stimulateur sur la croissance et le développement de la plante. Cet effet stimulateur a été démontré par (BIDAI, 2001). La salinité présente des effets bénéfiques sur la germination et la croissance de quelques espèces à des niveaux très faibles (bien que non quantifié par les autres) (ASLOUM, 1990).

12- Mécanismes d'adaptations des plantes à la salinité

a. Compartimentation

Un organisme peut difficilement exclure totalement le Na^+ de ses tissus. Chez les plantes, une des stratégies de tolérance à la salinité les plus connues est la compartimentation des ions (Na^+ , Cl^-) en excès dans les tissus. Cette redistribution contrôlée se fait essentiellement dans les vacuoles (Niu, 1995) et éventuellement à l'échelle de la plante entière, dans les organes les plus vieux ou les moins sensibles (Munns, 1993) sont encore largement inconnus.

b. Ajustement osmotique

Selon El Midaoui et *al.* (2007), l'un des principaux caractères physiologiques est réalisé grâce à une accumulation de composés osmorégulateurs qui peuvent être des ions tels que les K^+ , Na^+ et Cl^- ou des composés organiques tels les sucres solubles (fructose, glucose, tréhalose, raffinose, fructanes) et certains amino-acides (proline, glycine bêtaïne, β -alanine

bétaïne, proline bétaïne) conduisant à une réduction du potentiel osmotique permettant ainsi le maintien du potentiel de turgescence.

c. Régulation de la croissance

D'après Zhu (2001), la réduction de la croissance est une capacité adaptative nécessaire à la survie d'une plante exposée à un stress abiotique. En effet, ce retard de développement permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des ressources pour limiter les effets du stress avant que le déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur de l'organisme n'augmente jusqu'à un seuil où les dommages sont irréversibles.

d. Le contrôle membranaire

L'adaptation au stress salin se met en place également au niveau des membranes cellulaires (membrane plasmique, tonoplaste). La modification qualitative et quantitative des aquaporines (protéines transmembranaires) est par exemple un processus capable de modifier la conductivité hydrique de la plante et de favoriser de restreindre les mouvements d'eau (Yeo, 1998).

13- Restauration et aménagement des sols salins

Les méthodes employées pour récupérer, améliorer et aménager les sols salins sont très nombreuses.

a. Drainage

Le drainage selon la FAO, est une technique de suppression naturelle ou artificielle des excès d'eau souterraine et de surface des sels dissous dans les terres afin d'améliorer la production agricole. Dans le cas du drainage naturel, l'excès d'eau s'évacue des champs jusqu'aux lacs, fleuves et rivières. Dans le système artificiel, l'excès d'eau souterraine ou de surface est éliminé par des canalisations souterraines ou de surface. Le drainage a pour objectif :

1- D'évacuer l'excès d'eau de pluie par les drains de surface qui recueillent essentiellement l'écoulement de surface.

2- De contrôler la profondeur de la nappe et de lessiver les sels dans la rhizosphère.

3- De transporter l'eau récupérée dans les drains secondaires jusqu'au collecteur.

4- De transporter l'eau des collecteurs jusqu'à l'exutoire du système ou au site d'évacuation. (Anonyme, 2006).

b. Lessivage

Le lessivage est une technique qui consiste à dissoudre les sels accumulés dans le sol par des apports d'eau importants et à les entraîner en dessous de la zone racinaire par le mouvement descendant de l'eau (Anonyme, 2006).

c. Réhabilitation par modification des pratiques culturales

La Jachère et travail du sol, l'utilisation des plantes résistantes à la salure (Anonyme, 2006).

La phytoremédiation

D'après Aoun (2009), l'idée d'utiliser des plantes pour extraire les métaux lourds et leurs composantes fut introduite en 1983 bien que le principe soit connu depuis 300 ans. C'est dans les années 1990 que le concept de la remédiation (bio et phytoremédiation) émerge comme une nouvelle technologie qui utilise les plantes vertes et des microorganismes associés (bactéries, champignons) pour le nettoyage d'un environnement pollué. La phytoremédiation comprend plusieurs techniques : la phytoextraction, la phytovolatilisation, la phytostabilisation, la phytodégradation et la rhizofiltration. Plusieurs études ont identifié des espèces végétales hyperaccumulatrices, principalement des halophytes très prometteuses pour le dessalement des sols salins. Cette capacité de dessalement a été principalement estimée par des mesures effectuées en sols salins et des expérimentations consistant à cultiver des halophytes sur ses sol et à établir le bilan de l'exportation du sel par ces plantes. La comparaison de la salure des sols en début et à la fin de l'expérimentation a également montré l'aptitude des halophytes à extraire une quantité appréciable de sel (Abdelly, 2006).

Chapitre III

Généralité sur la technique hydroponique

1- Notions de base sur la culture hors sol ou hydroponique

Pour croître et se développer, une plante a besoin d'eau, de gaz carbonique et de lumière pour utiliser, à mieux ces capacités de photosynthèse grâce auxquelles elle fabrique de la matière organique dont elle a besoin ; mais aussi d'éléments minéraux nécessaires à l'édification de ses constituants. C'est dans le sol que la plante puise sa nutrition minérale mais le sol n'est pas toujours un bon substrat, d'où la recherche actuelle pour alimenter les plantes avec des solutions nutritives.

On peut cultiver des plantes en milieu artificiel sans aucun sol. C'est ce qu'on appelle culture hydroponique (El HOUSSINE, 2006).

C'est l'une des techniques modernes utilisées aujourd'hui en horticulture pour valoriser les terrains qui souffrent de certaines contraintes telles que : sols hydromorphes, sols salés (AIT HOUSSA et *al.*, 2005).

La culture hydroponique est très présente en horticulture et dans la culture forcée de certains légumes sous serre. Cette technique de culture s'est développée pour aboutir aujourd'hui à l'aéroponie et depuis très récemment l'ultraconionie. Elle permet d'accélérer le processus de maturation des fruits grâce à un rythme plus rapide et permet plusieurs récoltes par an (Texier, 2013).

2- Historique sur la culture hydroponique ou hors-sol

Selon les historiens, la culture de plantes sur l'eau était pratiquée à l'époque des Aztèques et était utilisée pour les jardins suspendus de Babylone. C'est en 1860 que deux chercheurs allemands ont réussi à faire pousser des plantes sur un milieu composé uniquement d'eau et de sels minéraux. Cette découverte a permis de mieux connaître la physiologie de la nutrition et le rôle des éléments minéraux. La technique du hors sol a été introduite en Europe dans les années 70. La culture hors sol s'est, en effet, développée d'abord dans le nord, en Hollande, pays où elle occupe les plus grandes surfaces, ensuite en Belgique, en Espagne, en France, en Italie et en Grèce (ESSADAoui, 2013).

D'après TITOUNA (2011) et BOUHADJA (2008) plus tard, pendant la seconde guerre mondiale, l'armée des Etats Unis d'Amérique a mis en œuvre ces connaissances en vue de produire des fruits et légumes pour ses soldats dans les îles du Pacifique. Depuis, les techniques de cultures hors sol se sont très largement développées (SNOUSSI, 1984).

Selon CHOUARD (1952). L'Algérie l'intérêt de la culture permet à l'agriculteur de s'installer dans les régions les plus défavorables, là où le sol fait défaut à condition que les substrats inertes soient disponibles, ainsi, les premiers travaux en Algérie ont été réalisés lors de la mise au point des cultures hydroponique au Sahara à Béni-Abbes. Afin de mieux

maitriser cette technique qui semble être avantageuse en région saharienne (économie d'eau et substrat disponible en grande qualité), diverses expérimentations ont été réalisées afin de se familiariser avec cette nouvelle technique de production et de mieux cerner les problèmes rencontrés en vue de son application dans les régions présentant des défauts de production.

3- Définition de la culture hors sol

Selon MORARD (1995), les cultures hydroponiques appelées aussi cultures hors-sol ou cultures sans sol comme des cultures de végétaux effectuant leurs cycles complet de production sans que leur systèmes racinaires ait été en contact avec le sol qui représente leur environnement naturel. Donc le hydroponique s'applique à tout système de culture dont le support n'est pas le sol.

La culture hors sol a été initialement une technique de laboratoire visant à étudier en détail le Fonctionnement des plantes. Elle a été utilisée ensuite chez les producteurs à partir des années 70. Pour s'affranchir des parasites telluriques qui devenaient une menace croissante (TITOUNA, 2011).

4- Avantages et inconvénients des cultures hors-sol

4.1. Avantages : La culture hors sol présente de nombreux avantages qui sont :

- Technologie innovante.
 - Agriculture rurale et urbaine
 - Saine, rentable et respectueuse de l'environnement.
 - Moindre consommation d'eau.
 - Croissance contrôlée et rapide.
 - Moins d'attaques nuisibles du sol.
 - Meilleure maîtrise de la précocité.
 - Intense agriculture à forte production à la récolte.
 - Meilleurs rendements surtout pour la culture de la tomate et autres cultures maraîchères.
- permet de faire pousser des végétaux tout en leur permettant d'exprimer tout leur potentiel génétique. Moins de travail et d'entretien
 - permet également une automatisation de la culture température, éclairage, contrôle du pH et de la concentration en éléments nutritifs du liquide, ventilation. En raison de son potentiel de productivité, elle permet d'obtenir d'excellents résultats tout en faisant des économies d'eau (ANONYME, 2014).

- permet également de modifier l'environnement racinaire pour améliorer un ou plusieurs aspects de la production végétale. Les systèmes hydroponiques sont souvent incorporés dans des environnements de serre. Cela améliore encore la production végétale en donnant un contrôle accru sur l'environnement des plantes et la protection contre les ravageurs, les maladies et les conditions climatiques défavorables.

De nombreux systèmes hydroponiques permettent également de recycler l'eau de ruissellement, ce qui augmente considérablement l'efficacité de l'utilisation de l'eau (ANONYME, 2012).

4.2. Inconvénients :

Selon VINCENT (2008), les inconvénients de la culture hydroponique sont moindres mais importants :

- Installation particulière et un suivi journalier des cultures
- Bonnes connaissances techniques, notamment pour le calcul des solutions nutritives.

TEXIER (2014), ajoute :

- Les plantes n'ont pas de protection en cas d'erreur.
- ne convient pas à toutes les cultures.
- Les systèmes hydroponiques sont onéreux.
- Un pH-mètre mal réglé peut avoir des conséquences dramatiques (5,5 à 5.8).

5- Différentes composante du système hydroponique

Les travaux de TEXIER (2014), ont montré que tous les systèmes hydroponiques sont plus ou moins composés des mêmes éléments : un réservoir, une pompe, un système de support, des tuyaux d'arrivée d'eau, des tuyaux d'évacuation et un conteneur de culture, qu'il s'agisse d'une rigole ou d'un plateau. Néanmoins, il existe de nombreuses façons de concevoir et d'organiser ces différents éléments. C'est pourquoi on trouvera diverses classes et sous-classes de systèmes selon le but et l'efficacité recherchés. Ils peuvent être classifiés en fonction de plusieurs critères : pompe à air ou pompe à eau, à base de substrat ou sans substrat.

5.1- Substrats :

On entend par substrat une substance inerte chimiquement, qui remplace la terre, et qui est utilisé comme support de culture pour les plantes. Il doit protéger les racines de la lumière et leur permettre de respirer. Il véhicule aussi la solution nutritive jusqu'aux racines des plantes. (ESSADAQUI, 2013).

Selon LETARD et al (1995), SERGE et JANICE (2009) ; en culture hors sol, les substrats ont un rôle de support solide. Ils n'ont pas de rôle nutritionnel direct puisque l'intégralité de l'alimentation en eau et de la nutrition minérale est apportée par la solution nutritive.

Le choix d'un substrat se fait donc en fonction de ses propriétés mécaniques, physiques, chimiques et biologiques :

- **Propriétés physiques**

La connaissance des proportions de particules fines et grossières contenues dans chaque mélange de substrat permet de mieux comprendre plusieurs de ses propriétés, comme sa rétention en eau, sa porosité et son aération. La disponibilité de l'eau est fonction des espaces vides entre les particules de sol, appelés les pores, qui peuvent être remplis d'air ou d'eau. La grosseur de ces espaces et leurs connexions modulent la disponibilité de l'eau aux plantes. En effet, les pores de grande dimension (macro pores) vont retenir l'eau beaucoup moins fortement que ceux de faible dimension (micropores) (VALERIE, 2015).

- **Propriétés chimiques**

Elles sont susceptibles d'interférer avec la nutrition minérale. Il faut connaître le pH et la conductivité électrique de départ. Parmi les caractéristiques chimiques, celle pouvant entraîner un échange d'éléments dans les deux sens entre le substrat et la solution racinaires, sont les plus importantes. Elles définissent la « réactivité chimiques du substrat ». On distingue les réactions de dissolution, d'échange et de biodégradation. Elles différencient nettement les catégories de substrats (LETARD et al, 1995).

- **Propriétés biologiques**

Un bon support ne doit pas être contaminé par des pathogènes avant l'emploi ou en cours de culture. C'est une condition essentielle pour le réutiliser à la culture suivante. La désinfection du substrat entre deux cycles est de toute façon nécessaire pour se prémunir des attaques fongiques. Les matières actives utilisées pour le traitement de désinfection sont choisies en se référant à la législation en vigueur (SERGE et JANICE, 2009).

- **Propriétés mécaniques**

Les propriétés mécaniques définissent la stabilité d'un substrat dans le temps : il s'agit de l'élasticité, du tassement, de la dégradation et, en conséquence, de la stabilité (SERGE et JANICE, 2009).

5.2- Types de substrats

Selon VALERIE (2015), en culture hors-sol, une multitude de matériaux sont disponibles afin d'élaborer un substrat de culture. Ils peuvent être de nature inorganique (sable et gravier, perlite, laine de roche), ou organique (tourbes, fibres de coco, écorces).

5.2.1- Conteneurs :

Les récipients qui contiennent le substrat peuvent être choisis en fonction de l'espèce cultivées et de son système racinaire. En général les conteneurs sont en matière plastique, chimiquement inerte, étanches, durables et dont la mise en place doit être facile (FEVEREAU, 1976).

5.2.2- Solution nutritive :

Une solution nutritive est une solution de sels minéraux contenant à l'état dissout tous les éléments minéraux dont la plante a besoin. Ce qui implique que les besoins en eau et les ions minéraux en parallèles. Cette solution nutritive doit être complétée équilibrée « équilibre entre l'eau et chaque un des ions suivant les besoins relatifs de la plante, en plus une égalité équivalente entre anions et cations » (BOUHADJA, 2008). L'équilibre entre les éléments minéraux dans la solution nutritive agit sur leur assimilation par la plante (JEANNEQUIN, 1987).

On distingue deux principales catégories de nutriments :

Les sels minéraux : Azote (N), Phosphore (P), Potassium (K), Calcium (Ca), Chlore (Cl), Magnésium (Mg), Sodium (Na), Soufre(S), etc.

Les Oligo-éléments : Fer (Fe), Cuivre (Cu), Brome (Br), Cobalt (Co), Zinc (Zn), Aluminium (Al), Silicium (Si), Manganèse (Mn), Molybdène (Mo), Iode, Sélénium, Vanadium, etc.

La solution nutritive est caractérisée par trois paramètres principaux qui sont :

a- Le pH :

Un travaux de LOUE (1986), montrent que le pH peut influencer d'une façon très marquée l'assimilabilité et par suite l'absorption des oligo-éléments par les plantes. L'augmentation du pH réduit la solubilité et l'absorption de : AL, Co, Cu, Fe, Zn et plus particulièrement Mn, et augmente celle de Mo.

Le pH joue un grand rôle vis-à-vis de l'assimilabilité des principaux fertilisants et des oligo-éléments. En outre, le pH est universellement reconnu comme un facteur majeur pour la mobilité des éléments traces et leur disponibilité vis-à-vis des êtres vivants, en cas de pH trop bas, d'autres éléments, comme le manganèse, l'aluminium et le fer, sont trop fortement absorbés par les plantes. Pour la plupart d'entre elle un empoisonnement surgit

suite à l'absorption exagéré de ces éléments. D'autres plantes, en revanche, désire une quantité importante de ces éléments (BAIZE, 2004).

b- La Conductivité électrique :

La salinité d'un sol se caractérise par une conductivité électrique élevée. Cette dernière quantifie de manière indirecte et globale la concentration en sels solubles. La conductivité électrique s'exprime en milli-Siemens par centimètre (ms/cm) et elle est en fonction de la température, il est également nécessaire de préciser la valeur de cette dernière (RICHARD et GOUNY, 1965).

c- L'Equilibre ionique :

L'égalité équivalente entre les anions et les cations est obligatoire dans la solution. Les équilibres ioniques pour l'alimentation hydrique et minérale ne sont pas indifférents et pourront être modulés en fonction des stades de développement de la plantes (CHAUX et FOURY, 1994).

d- Traitement de l'eau d'arrosage :

L'eau d'irrigation peut renfermer quelques minéraux (Ca, Mg, NO₃) dans des proportions non négligeables qui doivent être prises en considération (JEANNEQUIN, 1987).

Par rapport au besoins des plantes, les ions NO₃⁻, PO₄⁻⁻⁻, K⁺, NH₄⁺ sont généralement en très petite concentration dans les eaux (naturelles) et , par contre les ions SO₄⁻⁻, CL⁻, Na⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, peuvent se trouver en concentration excessives. Les ions bicarbonates et carbonates sont néfastes pour les plantes, mais il est très facile de les neutralise (COIC et LESAIN, 1975).

L'égalité équivalente entre ions et cation, y compris H⁺, est obligatoire dans la solution, comme elle l'est dans les sels apportés. La proportion entre les ions azotés NO₃⁻ et NH₄⁺ est assurée en fonction des besoins spécifique des plantes de la nécessité de maintenir un certain pH (COIC, 1984).

6- Intérêts et utilisations des cultures hors sol

La culture hors sol a remplacé progressivement la culture traditionnelle d'un certain nombre de légumes dans le monde. Cette technique est appliquée largement à l'horticulture (maraîchage, floriculture et pépinière). L'évolution de surface cultivée est très importante par rapport au début des années 80. En effet, en une vingtaine d'années, les surfaces ont été multipliées par 20. Cette progression est régulière puisque, durant la période 1992-2002, la surface mondiale a presque triplé. La principale raison de ce développement est la

possibilité d'éviter certains problèmes liés au sol comme des agents pathogènes ou des sols non arables (déserts sableux, sols argileux, sols salés...) (JEANNEQUIN et al, 2005).

7- Espèces cultivées en hors-sol

Avec un système hydroponique, on n'est pas vraiment limité dans le type de plantes que l'on souhaite cultiver. Avec un conteneur assez grand, on peut toujours faire pousser un arbre. Il s'agit de vérifier les exigences de la plante elle-même pour assurer un milieu pour la croissance et les niveaux de nutriments appropriés dans la solution utilisée. (MORROW, 2015).

7.1. Cultures légumières sous serres

D'après ALAIN (2003). La tomate est largement cultivée en hors-sol, sur la laine de roche, en fibres de coco, hydroponique, tourbe, bois, pouzzolane, écorce de pin, mousse de polyuréthane, ... sous toutes les latitudes. Le concombre, l'aubergine, le poivron sont cultivés en laine de roche principalement. La laitue sur bandes de laine de roche ou en hydroponique mais de façon très peu développée compte-tenu de la faible rentabilité économique du hors-sol sur cette production (il existe cependant des productions hydroponiques de laitues). Le fraisier, peut être cultivé en laine de roche, en coco ou en conteneurs de terreaux tourbeux.

7.2. Cultures florales

Les premiers essais remontent au début des années 80, d'abord sur œillets (à cause des fusarioses) en sacs de tourbe puis en laine de roche, puis sur gerberas et roses. (ALAIN, 2003).

7.3. Arbres fruitières nains

Les travaux de MORROW, (2015) montrent que l'en peut aussi cultiver des choses plus exotiques comme les orangers nains ou même les citrouilles, à condition de assurer ou la présence d'un bon milieu et les nutriments nécessaires.

8- Différents systèmes de la culture hors-sol

Ces différents systèmes sont :

8.1. Culture aéroponique :

L'aéroponie est un système dans lequel les racines des plantes restent en suspension dans une chambre de croissance fermée, où elles sont pulvérisées avec un brouillard ou une brume de solution nutritive à intervalles rapprochés (généralement toutes les quelques minutes) (ANONYME, 2012).

Dans cette méthode, les racines sont alimentées par un brouillard nutritif dans une enceinte close. Ce système assure une excellente aération. La pulvérisation peut être

continue ou intermittente par cycles d'un quart d'heure ou d'une demi-heure avec des arrêts de quelques minutes pendant la journée, et beaucoup plus long pendant la nuit. Cette culture est coûteuse, et est souvent limitée à la recherche, et surtout aux études relatives au système racinaire (VUTH, 2008).

8.2. Cultures hydroponiques ou N.F.T. (Technique du film nutritif) (Nutrient film technique)

Culture de plantes terrestres réalisée à l'aide de substances nutritives, sans le support d'un sol. Le mot « hydroponique » vient du grec « hydro », qui signifie « eau », et « ponos », qui signifie « Travail » (TEXIER, 2014). Pour l'hydroponie, les racines des plantes sont en contact avec un milieu liquide, la solution nutritive. Si cette dernière est non circulante, on parle d'aquiculture. Cette technique consiste à nourrir les racines des plantes qui se trouvent dans du substrat (laine de roche, par exemple) ou bien dans une solution nutritive (VUTH, 2008).

D'après SOUCY (2016). L'apport en éléments nutritifs provient d'une solution nutritive irriguant le substrat dans le cas des techniques de culture en eau profonde et sur film nutritif. Elle est composée des éléments nécessaires à la croissance de l'espèce cultivée. Cette dernière est composée spécifiquement pour apporter les éléments nécessaires à la croissance de la plante cultivée. Les plantes vont absorber ces éléments via leurs racines qui sont immergées dans la solution.

8.3. Culture sur substrat ou systèmes agrégés :

Les systèmes de substrats ou d'agrégats utilisent un milieu de culture inerte pour supporter et entourer les racines. Les plantes sont cultivées dans des sacs, des pots ou d'autres récipients remplis du substrat ou du milieu de culture, placés en rangées et irrigués avec une solution nutritive à travers le système de fertigation. Les systèmes de substrats offrent le niveau de technologie le plus approprié pour les petits producteurs hydroponiques. Dans ce système, les substrats fournissent l'environnement de la zone racinaire dont les plantes ont besoin pour pousser, ainsi que le support physique dont les plantes ont besoin (ANONYME.2012).

Chapitre IV

Généralité sur le haricot

1- Données générales sur les légumineuses

1.1. Généralités sur les légumineuses

Elles Constituent une immense famille de plantes dont le seul caractère commun et d'avoir un ovaire libre, constitué par seul carpelle qui donne un fruit appelé gousse ou légume. On compte 475 genres et environ 16400 espèces se répartissant en trois familles : *Mimosoideae*, *Caesalpinioideae* et *papilionoideae* Ou Fabacées (Come et *al.*, 2006).

Les légumineuses entretiennent une relation très privilégiée avec la rhizosphère qui entoure leur racine. Elles sont principalement cultivées pour leur capacité à fixer l'azote atmosphérique, et pour rompre les successions céréalières préjudiciables aux rendement et aux productions à travers les assolement (Come et *al.*, 2006).

1.2. Intérêt des légumineuses

a- Intérêt Scientifique

Les légumineuses alimentaires tiennent une part très importante des travaux accomplis dans des domaines aussi divers que l'agronomie, la génétique, l'entomologie, la phytopathologie et la physiologie. Les principaux objectifs de recherche, sur les légumineuses à graines, cherchent à la fois à sécuriser la nodulation, à assurer la complémentarité entre les voies d'assimilation et de fixation d'azote et à assurer une meilleure remobilisation de l'azote des feuilles et des tiges vers les graines. Le point fort des légumineuses est leur cout énergétique faible et leur faible contribution aux gaz à effet de serre, directement liés à l'absence de fertilisation azotée (Baudoin, 2001).

b- Intérêt agronomique

Ils Provient en premier lieu de leur aptitude à la fixation symbiotique de l'azote, qui leur permet de produire en abondance des protéines végétales même en l'absence de fertilisation azotées, d'où leur intérêt également dans le cadre d'une agriculture durable (réduction des intrants, préservation et enrichissement des sols en azote). Elles exercent une influence très favorable sur la fertilité des sols grâce à la symbiose fixatrice d'azote avec les souches de rhizobium. Elles jouent par conséquent un rôle primordial dans la rotation des cultures (Baudoin , 2001).

c- Intérêt écologique

Dans les pays développées, la sur-utilisation des engrais azotés chimiques a conduit à une pollution des sols, des nappes phréatiques et cours d'eau. Aujourd'hui, la pollution par des nitrates est un problème réellement inquiétant, et la réintroduction de légumineuses

s'avère être un bon moyen de limiter la pollution. En effet, la décomposition de la plante ou de ses résidus se fait progressivement, et est mieux adaptée à l'utilisation de l'azote par d'autres plantes, les pertes azotées par lessivage sont donc limitées, et l'apport d'engrais chimique diminué (Baudoin, 2001).

d- Intérêt Alimentaires

De nombreuses espèces cultivées appartiennent à la famille des légumineuses. Elles constituent une source très importante de protéines et des lipides dans l'alimentation humaine et animale. Elles constituent un apport de protéine peu coûteux mais néanmoins important (18% à 30% de la graine sèche) (Baudoin, 2001).

1- Présentation de l'espèce

Le haricot commun (*P. vulgaris*) est l'espèce la plus cultivée (plus de 85 % de la production du haricot) dans le monde (BOGGESS et al., 1976).

Le genre *Phaseolus* est constitué de plantes de la famille des Fabaceae. Il regroupe les espèces de haricots au sens strict. La plus connue est le haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivé comme légume dans toutes les régions tempérées et chaudes du globe. Il en existe d'innombrables variétés à travers le monde, d'une part, les haricots verts dont on consomme les fruits ou les gousses avant maturité des graines (haricots mangetout) et d'autre part, les haricots à écosser, dont on consomme les graines, parfois fraîches, mais la plupart du temps sèches. Le terme «haricot» désigne aussi ces parties consommées, les graines (haricots secs) ou les gousses. De nombreuses autres espèces apparentées sont aussi appelées « haricot », notamment dans le genre *Vigna* (haricot mungo, haricot adzuki) (Pitrat et Foury, 2015).

2- Origine et répartition géographique du haricot commun

L'origine de haricot (*phaseolus vulgaris* L), est l'Amérique Latine et l'Afrique. Il est produit surtout en Amérique centrale et en Afrique centrale et orientale (NYABYENDA, 2005).

Selon PERON(2006) le haricot a été domestiqué il y a plus de 9700 ans en Amérique centrale et en Amérique du sud, puis les graines sont semées en Europe et en Espagne et se diffusa ensuite en France au XVIe siècle.

Le *phaseolus vulgaris* L., est originaire aussi d'Afrique tropicale. Il est surtout apprécié dans les pays francophone qu'anglophone, dans les zones urbaine que rurales, dans les hautes terres que dans les basses terres et en saison fraîche qu'en saison chaude (GENTRY, 1969).

La distribution géographique du haricot est très diversifiée, tant de point de vue climatique que de points de vue pédologique. C'est une culture adéquate pour des systèmes agrocultureaux très variés. On le trouve dans les assolements de systèmes vivriers, extensifs, ou non, des zones d'agriculture marginales, ou cultivé en association avec d'autres cultures (maïs...) ou encore en rotation avec d'autres cultures non légumineuses (maïs, patate douce...) (WOOLLEY et DAVIS, 1991 et BELAY et *al.*, 2009).

3- Caractéristiques de la plante

L'haricot est une plante herbacée, annuelle, qui peut prendre plusieurs types de port selon les variétés. Les racines peuvent atteindre un mètre de profondeur si le sol s'y prête. Elles sont le siège du phénomène de nodulation. Les tiges grimpantes sont peu ramifiées et s'enroulent autour de leur support dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Les feuilles adultes sont pétiolées, alternes et composées, trifoliées, de couleur vert ou pourpre. Les fleurs sont de teinte blanche, rose, violette ou rouge suivant les variétés. Elles sont disposées en grappes lâches, et sont autofertiles.

Le fruit de haricot est une gousse, qui peut être verte, parfois striée de pourpre, où de rouge, jaunes ou violette. Les graines sont au nombre de quatre à douze dans chaque gousse (LAZALI, 2014).

4- Classification botanique

D'après LAUMONNIER (1979), le haricot est une plante annuelle herbacée de cycle de végétation court.

Selon CHAUX et FOURY (1994) la classification de haricot se fait selon le mode de croissance (déterminé ou indéterminé) la forme et la structure des gousses.

Selon GUIGNARD (1998), la position systématique du haricot est la suivante :

Règne : Végétal.

Embranchement : Spermaphytes.

Sous embranchement : Angiospermes.

Classe : Dicotylédones.

Ordre : Fabales.

Famille : Fabacées.

Genre : *Phaseolus*.

Espèce : *Phaseolus vulgaris L.*

5- Haricot dans le monde et en Algérie

Le haricot représente une source de revenus importante pour des millions de personnes notamment dans les milieux ruraux. Il constitue la principale légumineuse alimentaire de plus de 300 millions de personnes en Amérique latine, en Afrique centrale et en Afrique de l'Est (SILUE et al., 2010).

La reproduction mondiale du haricot vert est de 20737 millions kilos avec une superficie totale de 1.53 millions d'hectares, selon les données de FAO stat, organisme de statistiques de l'organisation des nations unies de l'alimentation et de l'agriculture (FAO, 2012).

L'Algérie est considérée comme grand consommateur de légumes secs, alors que, les superficies réservées à cette culture demeurent très restreintes et les importations constituent l'essentiel des disponibilités sur le marché (FAO, 2005).

Selon le Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (MADR), l'Algérie a mis en œuvre un plan d'action visant l'amélioration de la production agricole et ceci par l'extension de la culture des légumineuses, afin de mieux satisfaire les besoins, de réduire les importations et de limiter la dépendance économique vis-à-vis de l'étranger. Le haricot vert et le haricot à écosser restent la forme la plus cultivée en Algérie à savoir le haricot nain mange tout (*Contender, Djedida, Molière*), le haricot nain à écosser (Coco de Prague, Pactole...), le haricot à rames mange tout (Blanc de juillet..) et le haricot à rames à écosser (Coco blanc, Coco de Prague...). En revanche, le haricot sec est très peu cultivé et l'Algérie a recour aux importations pour couvrir la demande du marché. En effet, les importations de haricots secs sont passées de 28548 tonnes en 2010 à 32598 tonnes en 2011(MADR, 2014).

Tableau 3: Superficie, production et rendement de haricots verts et secs en Algérie pour l'année 2014 (MADR).

	Sup (ha)	Prod (qx)	Rdt qx/ha
Haricots verts	185,63	19410	104,6
Haricots secs	1633	13429	8,2

6- Intérêt de la culture de l'haricot

Sur le plan agronomique et en tant que légumineuse ; l'haricot peut s'intégrer dans les systèmes de production biologique qui utilisent la bio-fertilisation. Dans ces systèmes, cette plante est intégrée avec d'autres légumineuses dans des rotations culturales ou associée avec d'autres cultures dans le but de limiter la pollution (LAATATI, 2012).

L'haricot constitue un bon précédent cultural dans les systèmes de cultures grâce à sa capacité à fixer l'azote atmosphérique en symbiose avec des bactéries du sol appelés rhizobia. Il favorise également le développement des mycorhizes qui améliorent la nutrition phosphatée des plantes lors d'une carence en phosphore, et augmente le degré d'infection des autres plantes par ces micros organismes (LAATATI, 2012).

1- Intérêt économique :

Au cours des dix dernières années, la production mondiale de haricots secs a fluctué, mais la tendance est légèrement à la hausse. Pendant cette période, la production a varié d'un plancher de 15,7 millions de tonnes en 1994 – 1995 à un sommet de 18,9 MT en 2002 – 2003 (source F.A.O, 2005).

2- intérêt nutritionnelle :

Selon les travaux de THIRILLY et BOURGEOIS (1999), la graine du haricot est moins riche en protéines que celle du soja (38-40%), mais elle se classe avant le pois et la fève. Le haricot est une source de protéine végétale, reconnue comme étant l'une des meilleurs et des moins coûteuses solutions pour l'alimentation des populations des pays en voie de développement. En effet, les protéines végétales coutent deux fois moins cher que les protéines animales. Les haricots secs ont une teneur en protéine élevée et sont une excellente source de fibres solubles et insolubles, de glucides complexes, de vitamines

(B9) et de minéraux (en particulier le Potassium, le phosphore, le calcium, le magnésium, le cuivre, le fer, le zinc) (GORDON, 2004).

Les graines de légumineuses contiennent 2 à 3 fois plus de protéines que les céréales (SOLTNER, 1990).

Tableau 4: Composition (g/100g de graines) et valeur énergétique (calorie/ 100g) des graines de *Vigna unguiculata*, de *Cicer arietinum* et de *Phaseolus vulgaris* L (ADAMS et al., 1985).

Légumineuses	Proteines	Lipides	glucides	fibres	Matières minérales	eau	Calories
<i>P. vulgaris</i>	20-27	1-2	60-65	04-05	4-5	11	341
<i>C. arietinum</i>	20	01	62	03	2-3	12	362
<i>V. unguiculata</i>	22-26	1-2	60-65	04-05	3-4	11	342

3- intérêt alimentaire :

Le haricot est destiné à la consommation humaine (les gousses ou graines sont consommées à l'état frais ou les graines à l'état sec) et à l'alimentation des animaux (les résidus de cultures : tiges et gousses) (GORDON, 2004; HUIGNARD et al., 2011).

le haricot joue un grand rôle dans la couverture des besoins alimentaires en protéines dans certains pays du tiers monde et compense ainsi le manque de source de protéines animales pour une grande partie de la population. Quant au secteur de culture, le haricot représente la troisième plus importante récolte des légumineuses dans le monde (AYDIN et al., 1997).

7- Description de la plante

La plante du Haricot a un cycle végétatif court compris entre 90 et 120 jours (ORIA ,1969). Elle est composée des organes suivants :

1- Racines :

La racine se forme progressivement après le stade de germination, elle est constituée par une racine principale (pivotante) et des racinelles très fines, l'ensemble fixe la plante au substrat. Le système pivotant ne reste pas longtemps dominant car il est très rapidement

complété de racines latérales de 15 cm de profondeur et plus (dans certains cas un mètre de profondeur), qui dépasseront ainsi la longueur de la racine principale (CHAUX et FOURY, 1994). Les racines sont le siège du phénomène de nodulation par symbiose avec des bactéries du genre *Rhizobium*. Ces bactéries vivent en symbiose avec la plante. Elles reçoivent via la sève des substances carbonées et lui fournissent de l'ammonium synthétisé à partir de l'azote atmosphérique. La nodulation apparaît 15 à 30 jours après le semis (DIAW, 2002).

Le système racinaire est généralement superficiel et de tendance fascicule. Dans sa partie inférieure et moyenne, les racines latérales portent des nodules de 1 à 5 mm de diamètre. Sur le plan architectural, on distingue des plantes d'habitus de croissance déterminé arbustif (Type I), indéterminé arbustif (Type II), indéterminé prostré (Type III) et indéterminé volubile (Type IV) (C.I.A.T, 1987).

2- Tige :

La tige du haricot peut atteindre 3 mètres de hauteur, mais 20 à 40 cm chez les variétés naines, et 4mm de diamètre. Elle est mince, volubile et angulaire chez les variétés à rames, sa couleur est verte ou violacée, vide à l'intérieur (CABURET et LETHEVE, 2002).

La tige du haricot est herbacée, parfois lignifiée à la base. Suivant le port de la tige, on distingue des formes naines et des formes hautes à rames (BEZPALY, 1984).

3- Feuille :

La feuille est trifoliée. Chez les plantes jeunes la feuille est simple, tandis que chez les plantes adultes la feuille est composée (HOPKING, 2003).

Les feuilles sont entières, légèrement pubescentes à nervures bien visibles (3 nervures partant de la base). Cette plante présente deux types de feuilles. Les premières feuilles, au nombre de deux, qui apparaissent immédiatement au-dessus des cotylédons sont simples et opposées. Les suivantes sont formées de trois folioles (trifoliolées) disposées d'une manière alterne, habituellement ovales acuminées de 6 à 15 cm de long sur 3 à 11 cm de large environ, la foliole centrale est symétrique, les folioles latérales sont asymétriques (GALLAIS et BENNERORT, 1992).

4- Fleurs :

L'inflorescence est une grappe principale composée de grappes secondaires. La fleur asymétrique comprend un pédicelle glabre ou partiellement glabre, un calice gamosépale campanule, une corolle pentamère et papilionacée, un androcée de dix amines dont neuf sont soudées à leurs bases, un gynécée avec l'ovaire comprime et le style courbe. Le fruit qui en émerge est une gousse déhiscente généralement ou partiellement glabre. La durée du cycle varie de 60 à 150 jours (ADAMS et *al.*, 1985).

5- Gousses :

Les fruits sont des gousses allongées, généralement droites, plus ou moins longues atteignant 20 cm de long. Leur largeur varie de 8 à 25 mm. La couleur des gousses varie selon les cultivars, du vert pâle ou du jaune au vert foncé, parfois tachetées de couleurs diverses à maturité. Elles renferment 5 à 12 graines exalbuminées, réniformes, arrondies à ovales plus ou moins allongées, de taille et de teinte très variable (blanc, vert, rouge, violet, noir, brun ... ou même bicolores ou tachetées) selon les espèces et variétés (CHAUX et FOURY, 1994).

6- Graine :

Selon (CABURET et LETHEVE, 2002) les graines peuvent être blanche ; roses ; noirs ; marrons ou violettes. Elles sont rondes uniformes, cylindriques ou ovales, Les graines de haricot peuvent présenter des formes, des couleurs et des consistances variables (DORE, 2006).

8- Cycle végétatif

Le haricot est caractérisé par un cycle végétatif très court. Il se déroule durant les périodes les plus chaudes de l'année. La durée des stades de développement varie en fonction de la variété et des conditions environnementales (Adams et *al.*, 1985).

Selon PERON (2006), il peut varier de 90 à 120 jours, Le cycle végétatif complet du *Phaseolus vulgaris* comprend 4 phases:

- **Phase de germination:** Les graines semées germent au bout de 4 à 8 jours selon la température. 1 à 2 jours après l'apparition de l'axe hypocotylé. Les deux cotylédons, soulevés au dessus du sol, s'ouvrent et la première paire de feuille apparaît.

• Phase de croissance:

La croissance commence à 3 à 4 jours après la levée. Les cotylédons commencent à se faner, 5 à 6 jours après la levée apparaissent la première feuille trifoliée. 4 à 5 jours après apparait la deuxième. Au bout de 30 jours, le pied de haricot présente une dizaine de feuilles trifoliées et atteignant ainsi la hauteur définitive selon les variétés.

• Phase de floraison:

Elle commence 28 à 42 jours environ après le semis et elle dure 30 à 45 jours selon les conditions climatiques. Les jeunes gousses mettent une douzaine de jours environ pour atteindre leur taille définitive.

• Phase de maturation:

Les graines se forment en 15 à 20 jours, la maturation des gaines dure 20 à 30 jours.

9- Exigences de la plante :**• Exigences Climatique****1- Température :**

D'après PERON(2006), les haricots verts sont cultivés en zone tempérée comme en zone tropicale. La température optimum pour sa culture est entre 20°C et 25°C. Le zéro végétatif est à 10°C et les fortes chaleurs sont néfastes a la fécondation des fleurs.

Le Haricot est une plante de climat chaud, nécessite donc des températures assez élevées, sa germination n'est normale qu'en dessus de 14 à 15°C (CHAUX, 1972).

2- Lumière :

La plante présente une forte sensibilité à l'intensité lumineuse, notamment au moment de la floraison. Une insuffisance à la lumière entraine l'avortement des fleurs (PERON, 2006).

Le haricot est considéré comme étant une plante de jours long (SUMMERFIELD et *al.*, 1979).

3- Humidité :

Le haricot exige autant en humidité de l'air que du sol pendant sa végétation (KOLEV, 1976).

D'après (GUILLAUME, 2004), le haricot supporte très mal les pluies en tours de végétation. Son cycle court et sa relative tolérance aux déficits hydriques permettent d'envisager sa culture en premières pluies (Avril) et récolter en (Juillet)

• Exigences édaphiques

Un travail de MAS, 1983 et VOINEA et MAIER, 1976 suggèrent que la culture peut se développer sur plusieurs types de sol. Un sol aère avec un bon drainage est mieux pour une fixation optimale d'azote par les nodules des racines, fertiles a PH compris entre 6.5 et 7.5 (VOINEA et MAIER, 1976).

1- salinité :

Certains précédents culturaux sont à éviter; la betterave par exemple, en raison des apports importants de chlorure de potassium et de bore qui lui sont nécessaires, ce qui augmente sensiblement le taux de la salinité des sols (LAUMONIER, 1979).

La sensibilité du haricot à la salinité par rapport aux espèces tolérantes se manifeste par une faible résistance des tissus à la déshydratation initiale (diminution de la capacité de l'absorption de l'eau) (HAMZA, 1980).

2- pH :

Le PH optimum se situe entre 6 et 7,5 cette fourchette correspond à l'optimum pour le développement de *rhizobium phaseoli*, bactérie fixatrice de l'azote de l'air pour le haricot (PERON, 2006).

• Exigences hydriques

Les travaux de BESAPLAY(1984), ont montré que pendant la floraison et la formation des gousses, le haricot exige beaucoup d'eau. L'insuffisance de l'humidité au cours de cette phase de développement, diminue considérablement le rendement. L'excès d'eau, allonge la période de fructification et favorise l'attaque des maladies fongique telle que l'anthracnose (STANTON, 1970).

• Exigences nutritionnelles

Parmi les éléments minéraux essentiels, on peut citer :

Les éléments majeurs : l'azote(N), le phosphore(P), le potassium(K), le soufre(S), le calcium(Ca) et le magnésium(Mg). Les trois premiers, N, P, K, sont les éléments minéraux dont la plante a besoin en plus grandes quantités. C'est pourquoi ces trois éléments sont intégrés dans la composition de la majorité des engrais chimiques (F.A.O, 2004).

Les éléments mineurs ou oligoéléments, sont également nécessaires en quantité moindre : le fer, le zinc, le cuivre, le bore, le manganèse, le silicium, le molybdène, le sodium, le cobalt et le chlore (F.A.O, 2004).

10- Conduite de culture :

La culture du haricot pose moins de problèmes liés aux restrictions environnementales dont l'essentiel du système de culture repose sur la défriche brûlée, sur des parcelles étendues et au sol fertile. La production du haricot demande tout d'abord moins d'espace car elle contribue dans une moindre mesure à la satisfaction des besoins alimentaires des familles. De plus, les critères de choix de la parcelle sont moins stricts en ce qui concerne la qualité du sol et l'humidité. Aussi, il est plus commun de trouver des champs de haricot en plaine, même si la population préfère trouver des parcelles bénéficiant de friches pins longues, situées sur des versants peu élevés (DUSSERT et *al.*, 2002).

1- Le semis :

Le cycle du haricot est de 90 à 100 jours. La culture peut être bisannuelle, avec des semis en mars et en août et des récoltes en juin et en novembre. Cependant, plus de la moitié des agriculteurs réalise une seule culture par an et privilégie celle qui va d'août à novembre car elle est plus productive (DUSSERT et *al.*, 2002).

La première période est en effet plus sujette aux gelées hivernales et aux basses températures qui réduisent considérablement la production. La seconde période est de ce fait plus favorable à la plantation de l'haricot car s'initie le redoux et le début de l'époque pluvieuse propice au développement des plantes (DUSSERT et *al.*, 2002).

2- Travaux d'entretien :

Le haricot commun cultivé est extrêmement sensible aux maladies et aux ravageurs, ainsi qu'aux contraintes édaphiques particulièrement dans les régions tropicales, et on estime que plus de 50% de la production est perdue chaque année en Afrique tropicale (CABUSLAY et *al.*, 2002).

Face à toutes ces contraintes biotiques et abiotiques de production du haricot commun cultivé, les chercheurs tentent depuis longtemps d'améliorer cette culture par l'introduction de gènes contrôlant la résistance et la tolérance (HELLER *et al.*, 2004).

L'intérêt de ces travaux est de favoriser la levée des plants, d'ameublir le sol et détruire les mauvaises herbes et enfin d'éviter les maladies cryptogamiques et les parasites :

1- Binage : le binage sert à aérer le sol et lutter contre les mauvaises herbes et se fait à la binette ou à la serfouette. Il consiste à remuer la surface du sol pour émietter la croûte de terre sur quelques cm de profondeur. Le premier binage se fait juste après la levée et il doit s'effectuer d'une façon superficielle (CHAUX, 1972).

2- Buttage : consiste à ramener la terre autour du pied des plantes. Il est nécessaire pour garantir un bon niveau de rendement pour les légumes tubéreux, à racine et à bulbe. Il se fait à la serfouette, il est effectué un peu avant la floraison (INDREA *et al.*, 1983).

3- Désherbage : le désherbage chimique du haricot est possible mais il demande de la prudence et de l'expérience, car le comportement des variétés est aussi les saisons de mise en culture sont très variables (LAUMONIER, 1979).

4- Arrosage : les arrosages distribués par aspersion sont à exécuter le soir pour écarter tout risque de grillage du feuillage (LAUMONNIER, 1979).

5- Tuteurage : les haricots à rames ont besoin d'être tuteurs pour le soutien des pousses qui atteignent 1,80m. Les bambous, piquets, ficelles, fil de fer, grillage sont utilisés pour le tuteurage (DOOREMBOS, 1980).

6- Aération : Elle a pour objectif de renouveler la serre, d'abaisser la température et le degré hygrométrique quand cela est nécessaire. Ceci permettra d'éliminer les excès d'humidité et de chaleurs qui favorisent le développement des maladies cryptogamiques (SNOUSSI, 2010).

3- Récolte : Au moment des cueillettes, il faut faire attention pour ne pas arracher les plantes en tirant la gousse. Il faut d'abord la couper par l'ongle. La meilleure qualité demande des passages fréquents (parfois 2 fois /jour de cueillette). La fine (6-8 mm de diamètre de section de la gousse) se vend à un prix plus faible (F.A.O, 2006).

11- Contraintes liées à la culture et à la productivité du haricot commun

Le haricot commun cultivé est extrêmement sensible aux maladies et aux ravageurs, ainsi qu'aux contraintes édaphiques particulièrement dans les régions tropicales (sols pauvres, températures et humidités relatives trop élevées, favorisant le développement des

agents pathogènes) et on estime que plus de 50% de la production est perdue chaque année en Afrique tropicale. Ces maladies et ravageurs sont extrêmement variés :

1- Les maladies

• **La maladie des taches anguleuses** : des feuilles causées par *Phaeoisariopsis griseola* (Sacc.) Ferraris. Elle est très présente dans les régions tropicales et subtropicales d'Amérique Centrale et du Sud, et en Afrique de l'Est et du Centre. C'est la plus importante et la plus répandue des contraintes biotiques qui affectent la production du haricot en Afrique (Wortmann, 1998). Des espèces résistantes ont été identifiées dans la collection de *P. vulgaris* du CIAT et aussi à l'intérieur des espèces *P. coccineus* et *P. polyanthus* qui appartiennent au pool génique secondaire (SCHWARTZ *et al.*, 1982 et MAHUKU, 2004).

• **L'antracnose du haricot** : c'est une maladie fongique des semences du haricot commun causée par *Colletotrichum lindemuthianum* Sacc et Magn que l'on retrouve sur toutes les aires de culture de *P. vulgaris* (MELOTTO, 2000).

• **La pourriture racinaire** : elle est causée par un complexe d'agents pathogènes véhiculés par le sol et qui appartiennent aux genres *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Pythium*, *Macrophomina*, *Thielaviopsis* et *Aphanomyces* (ABAWI, 1990). La pourriture des racines est économiquement importante dans la plupart des régions de cultures du haricot, et surtout dans des régions caractérisées par une faible fertilité des sols (SNAPP, 2003).

• **La bactériose à halo** : elle est causée par *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolica*. Elle est rencontrée surtout en zone de hautes altitudes. Elle est favorisée par des basses températures et des pluies abondantes (NYABYENDA, 2005).

2- Les ravageurs

• **Les mouches du haricot** : (*Ophiomyia phaseoli* Tryon et *O. spencerella* Greathead) sont des insectes très dommageables du haricot en Afrique et en Asie (HILLOCKS, 2006). Les larves creusent des galeries au niveau des feuilles et des tiges. Les cicadelles (*Empoasca* spp.) sont des parasites qui se nourrissent des tissus du phloème, transmettent des maladies virales et provoquent des retards de croissance au niveau de la plante (KORNEGEY, 1989).

• **Les thrips** : Ce sont des ravageurs qui peuvent causer de graves dommages aux plantes non seulement par l'alimentation des larves et des adultes, mais aussi grâce à leur capacité à transmettre des virus de maladies (RENDON, 2001).

3- Les contraintes abiotiques

Le terme « stress abiotiques » est un terme général qui comprend de multiples contraintes telles que la chaleur, le froid, la sécheresse, l'excès de lumière, le rayonnement UV-B (rayonnement Ultra-violet de longueur d'onde moyenne entre 315 et 280 nm), l'excès d'eau, la salinité, les blessures occasionnées par les ravageurs et les pratiques culturales, l'exposition à l'ozone, et le choc osmotique . On estime que 90% des terres arables sont soumises aux stress abiotiques (DITA, 2006). Certaines de ces contraintes, telles que la sécheresse, les températures extrêmes et la haute salinité limiteraient fortement la productivité des cultures :

- **La sécheresse** : Elle est l'une des principaux facteurs limitant la productivité des cultures dans le monde (SHARMA, 2002), et les variétés ayant une forte tolérance à cette contrainte sont importantes pour le maintien d'un bon rendement dans les régions où les saisons sèches sont fréquentes.

- **La salinité du sol** : Elle peut inhiber la croissance et le rendement du haricot à cause d'une toxicité et d'un déséquilibre ionique, et d'une réduction du potentiel hydrique de la plante (ASHRAF, 1997).Le haricot commun est extrêmement sensible à la salinité et on estime qu'environ 5 à 30% des zones de production du haricot sont affectées par la salinité du sol (CIAT, 1992).

- **Les hautes températures** : Les températures ($> 30^{\circ}\text{C}$ le jour et $> 20^{\circ}\text{C}$ la nuit) entraînent une réduction du rendement chez le haricot commun à cause d'une transpiration excessive de la plante (PERON, 2006).

Partie pratique

Chapitre I

Matériels et méthodes.

1- Objectif de l'expérience

Notre travail a pour objectif, de l'impact de la technique du priming sur le pouvoir germinatif des graines du haricot « *Phaseolus vulgaris* L. variété El Djidida » et aussi sur le développement de ces dernières en milieu salin comparativement a un milieu nutritif standard en culture hydroponique.

2- Matériel végétal utilisé

Nous avons entrepris un travail avec des semences du haricot *Phaseolus vulgaris* L, variété de El Jadida. C'est une variété très cultivée en Algérie. Elle a été ramenée de l'ITCMI –Institut Technique des cultures Maraichères et Industrielles- de Staoueli, avec une faculté germinative de 95%. Elle est de type mange-tout, variété naine. Notre travail a porté sur cette variété en raison de sa sensibilité à la salinité qui est de l'ordre de 0.5 à 2g/l d'une part et, sa bonne vigueur de l'autre part.

Cette plante herbacée, a croissance déterminée, avec un cycle de végétation court -90 à 120 jours. Elle possède des feuilles longues de couleur vert clair, à fleurs blanches et portant des gousses de couleur vert foncé et son fil dont chacune contient sept graines. Son appareil reproducteur est constitué par le fruit et la fleur.

3- Conditions expérimentales

3.1- lieu de l'expérimentation

Notre expérience s'est déroulée au niveau de la station expérimentale du département des biotechnologies de l'université de Blida 1. Notre essai a été réalisé dans une serre en polycarbonate. Elle est destinée à protéger du froid les plantes et à favoriser la croissance des cultures en créant des conditions climatiques plus favorables que le climat externe. L'orientation de cette serre est Nord-Sud. Elle est aérée grâce à des fenêtres placées latéralement de part et d'autre et chauffée en hiver grâce à des radiateurs à eau chaude.

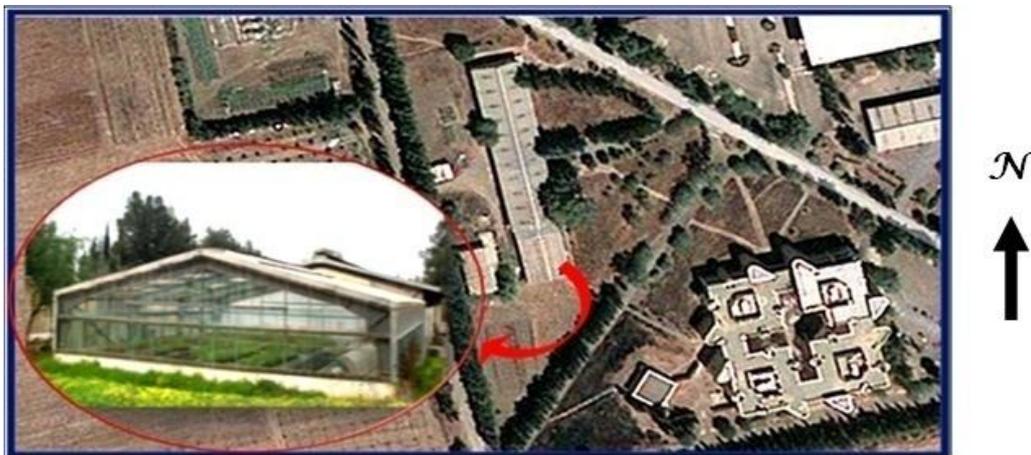


Figure n°1 : Localisation du lieu de l'expérimentation.

3.2- Substrat

Durant cette expérience, nous avons utilisé du gravier roulé de rivière de diamètre de 3 à 8 mm venant de la carrière de Chebli sise à 25 Km d'Alger.

Ce substrat est qualifié comme étant le meilleur pour assurer une bonne aération aux racines des plantes grâce à sa porosité. Ce gravier a subi une désinfection afin d'éviter tous risques de contamination et ce par :

- Elimination des particules terreuses et des résidus organiques présents dans le gravier par un lavage à l'eau abondant ;
- Remplissage des pots par le gravier lavé ;
- Désinfection du gravier avec l'hypochlorite de sodium dilué ;
- Rinçage abondant à l'eau afin d'éliminer toute trace d'hypochlorite de sodium jugée est très nuisible pour les jeunes plantules de haricot.

3.3- Conteneurs

Les conteneurs utilisés pour la plantation sont des pots en plastique de couleur marron sombre évitant ainsi la formation des algues. La section est ronde et de capacité (1litre). Des trous de drainage sont percés dans le fond, afin d'évacuer l'eau d'arrosage excédentaire et d'éviter la pourriture des racines.

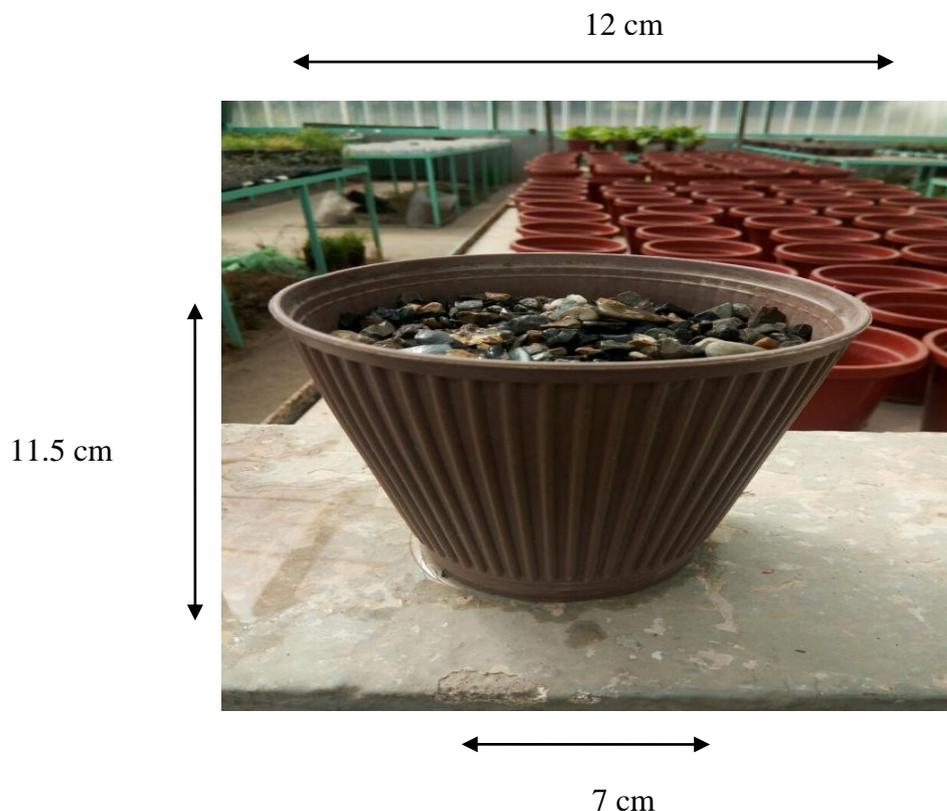


Figure n° 2 : Aspect général des conteneurs.

3.4- Description des traitements

T0 : Témoin.

T1 : Trempage des graines de haricot dans l'eau du robinet pendant 6H, 9H, 12H, 24H.

T2 : Trempage des graines de haricot dans le KCl 45 mmol (1%) pendant 6H, 9H, 12H, 24H.

T3 : Trempage des graines de haricot dans le CaCl₂ 45 mmol (0.5%) pendant 6H, 9H, 12H, 24H.

T4 : Trempage des graines de haricot dans le ZnSO₄ 45 mmol (0.73%) pendant 6H, 9H, 12H, 24H.

T5 : Trempage des graines de haricot dans le PEG₆₀₀₀ 10 KPA pendant 6H, 9H, 12H, 24H.

Tableau n°5: Composition de l'eau de Blida et teneur des éléments minéraux (meq/l).

Elément	K ⁺	Ca ⁺⁺	Na ⁺	Mg ⁺⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	Total
Teneur en mg/l	00	56,00	29,90	21,60	21,70	38,40	21	248,88	433,90
Teneur en meq/l	00	2,80	1,30	1,80	0,35	0,80	0,60	4,08	11,73

(SNOUSSI, 2001)

4- Essai de priming

4.1- Essai sur les graines récentes (2014)

Le priming des graines récentes a été réalisé pour la première fois le 29/11/2018. Ce dernier consiste en un trempage des graines dans des traitements qui ont été cités à différentes durées à savoir (6h, 9h, 12h, 24h). Pour chaque traitement, 60 graines ont été utilisées et mises dans des locaux en plastique.

Les graines ont été mises à l'abri (séchage) jusqu'à la stabilité du poids sec.



Figure n°3: Application du priming par les différents traitements.

4.2 - Mise en germination dans l'étuve des graines récentes

La mise en germination a été effectuée le 15/12/2018 pour celles qui ont été imbibées par l'eau de Blida dans une étuve à 25°C, tandis que les autres l'ont subi le 29/12/2018 et qui ont été imbibées par une solution saline. Les boîtes de Pétri en plastique contenant du papier buvard avaient un diamètre de 9 mm.

Chaque boîte de 10 graines devait subir 3 répétitions pour chaque traitement, y compris le témoin, ce qui représente 30 graines par traitement soit 150 graines au total par semi d'expérience, il est rappelé que deux semis d'expérience ont été réalisées à savoir la série eau saline naturelle et la série solution nutritive équilibrée.

Un comptage quotidien du taux de germination était réalisé pendant une durée de 8 jours.



Figure n°4 : Germination des graines du haricot

4.3- Essai sur les graines de longévité dépassée (âgées) (2011)

Nous avons renouvelé l'expérience dans les mêmes conditions le 15/12/2018 à l'exception du nombre de graine qui n'était plus le même : 90 graines au lieu de 60 graines.



Figure n°5: Mise en germination des graines âgées.

Après 8 jours dans l'étuve il n'y a pas eu de germination par conséquent ces dernières ont été écartées.

4.4- Paramètres mesurés avant l'application définitive du priming

4.4.1- Taux de germination

Ce paramètre a été mesuré quotidiennement après la mise en germination dans l'étuve en calculant le nombre de graines germées par rapport au nombre total des graines dans chaque boîte.

4.4.2- Poids frais des plantules

Après la phase de germination, le poids frais de jeunes plantules a été mesuré à l'aide d'une balance de précision en gramme, 10 plantules par traitement selon 3 répétitions, y compris le témoin.



Figure n°6: Mesure du poids frais des jeunes plantules (g).

4.4.3- Poids sec des jeunes plantules

Un séchage était effectué dans une étuve à 75°C jusqu'à stabilité du poids sec et il a été calculé grâce à une balance de précision.

4.4.4- Longueur des racines

Nous avons mesuré la longueur des racines grâce au logiciel « Digimizer », sur un lot de 10 jeunes plantules par traitement et ce à raison de trois répétitions.

5- Analyses statistiques relatives aux temps de priming

Les résultats ont été traités par un logiciel Statgraphics-Centurion XVI (version 16.1.18) et les moyennes significativement différentes ont été séparées par le test de Fisher (LSD) au seuil de probabilité de 5%.

Pour déterminer les meilleurs temps du priming et ce pour son application.

Les périodes testées pour chaque traitement sont les suivantes :

Tableau n°6: Périodes testées de priming pour chaque traitement.

traitements	Avec stress	Sans stress
T0	Témoin	Témoin
T1	Eau du robinet pendant 12H.	Eau du robinet pendant 6H.
T2	KCl 45 mmol (1%) pendant 12H.	KCl 45 mmol (1%) pendant 6H.
T3	CaCl ₂ 45 mmol (0.5%) pendant 24H	CaCl ₂ 45 mmol (0.5%) pendant 12H.

T4	ZnSO ₄ 45 mmol (0.73%) pendant 6H	ZnSO ₄ 45 mmol (0.73%) pendant 6H.
T5	PEG ₆₀₀₀ 10 KPA pendant 12H.	PEG ₆₀₀₀ 10 KPA pendant 12H.

6- Application du priming

Après avoir identifié les meilleurs temps pour chaque traitement, nous avons réalisé le priming définitif le 04/03/2019 à raison de 24 graines pour chaque traitement y compris le témoin et ce pour les deux séries, à savoir « avec stress et sans stress ».



Figure n°7: Application définitive du priming.

7- Mise en germination définitive dans l'étuve

Après que les graines soient bien séchées, la mise en germination définitive a été effectuée le 13/03/2019 dans une étuve à 25°C. Les boîtes de Pétri en plastique contenant du papier buvard imbibée, contenant chacune 12 graines, nous avons répéter deux fois l'opération pour chaque traitement.

L'imbibition des graines a été faite d'une part avec l'eau de Blida et d'autres part avec une solution saline pendant 5 jours jusqu'au repiquage.



Figure n°8: Mise en germination définitive dans l'étuve.

8- Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental adopté est un plan sans contrôle d'hétérogénéité, c'est-à-dire à randomisation totale. L'affectation des traitements a été faite de manière aléatoire selon la table de permutation des nombre aléatoire de 1 à 10.

Le dispositif expérimental est un dispositif à trois facteurs étudiés (facteur temps du priming sur les graines, facteur stress salin, facteur solution nutritive).

L'ensemble du dispositif expérimental est composé de 6 traitements avec 4 périodes différentes (6h, 9h, 12h et 24h) dont un témoin n'ayant pas subi de priming.

Pour chaque traitement, nous avons 8 observations pour chacune des deux séries, a savoir série solution saline et séries solution nutritive soit $8 \times 2 \times 6 = 96$ pots au total.

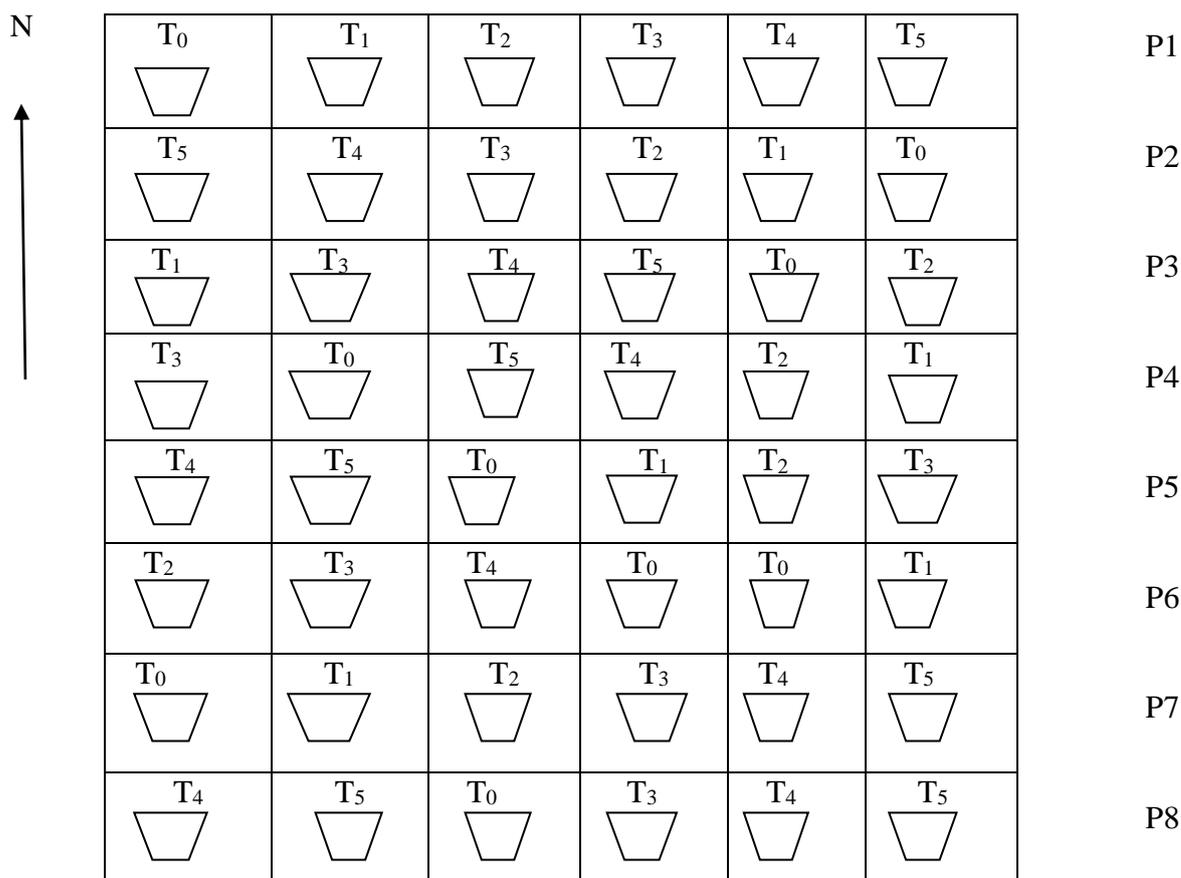


Figure n° 9: Présentation du dispositif expérimental.

T₁, T₂, T₃, T₄, T₅ et T₆ : traitements.

P₁, P₂, P₃, P₄, P₅, P₆, P₇, et P₈ : nombre de répétition.

Le même dispositif a été adopté pour les deux séries de culture (sans stress et avec stress).



Figure n°10: Vue générale du dispositif expérimental.

9- Description de la solution d'irrigation

L'irrigation des plantules de haricot a été faite selon la série adoptée à savoir avec une solution saline et avec une solution nutritive.

Pour la préparation de la solution saline, on a reconstitué l'eau de Oued Cheliff qui est naturellement saline avec l'eau de Blida et qui renferme des teneurs supérieures aux besoins de certaines espèces. On a apporté des éléments manquants afin d'avoir un total anion et cation le plus proche possible de l'analyse initiale, tout en prenant en compte les éléments minéraux déjà présents dans l'eau de Blida.

Tableau n°7: Eau d'Oued Cheliff naturelle reconstituée avec l'eau de Blida (pH=7,52).

Eau de oued Cheliff / eau de Blida	NO_3^- 0.35	PO_4^{3-} 0	SO_4^{2-} 0.80	Cl 0.60	Total
K^+ 0				0.35	0.35
Na^+ 1.30			1.14	7.46	9.90
Ca^{++} 2.80				6.45	9.25
Mg^{2++} 1.80			7.40		9.20
NH_4^+ 00					
HCO_3^- 4.08					4.08
Total	0.35	0	9.35	14.86	

Tableau n°8 : Besoin en éléments minéraux pour la préparation de la solution nutritive.

Composition de la solution nutritive	Concentration de la solution mère g/l	1/2 strength Hoagland soln. mL Solution mère/1L
Macronutriments		
KNO ₃	101.10	3
Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	236.16	2
NH ₄ H ₂ PO ₄	115.08	1
MgSO ₄ .7H ₂ O	246.48	0.5
Micronutriments		
H ₃ BO ₃	0.773	1
MnSO ₄ .H ₂ O	0.169	1
ZnSO ₄ .H ₂ O	0.288	1
CuSO ₄ .H ₂ O	0.062	1
H ₂ MoO ₄	0.04	1
Fe-EDTA	22.74	3
KCl	1.864	1

10- Repiquage

Un repiquage des germes en place définitif dans des pots remplis de gravier a été réalisé le 19/03/2019 après que les graines du haricot aient germé, à raison de 3 germes par pot, soit 06 jours après la mise à l'étuve.

L'irrigation des pots a été réalisée selon les deux séries d'expériences retenues par une solution saline et par une solution nutritive.

**Figure n°11** : Repiquage des germes en place définitive dans les conteneurs.

11- Entretien de la culture

11.1 Irrigation

L'irrigation des pots a commencé à la même date que le repiquage le 19/03/2019. Le système utilisé est celui de la percolation à circuit ouvert dans le but d'évacuation l'eau en excès. La fréquence d'irrigation s'est faite en fonction du cycle végétatif de la plante, et les conditions microclimatique ambiantes notamment la température.

Les doses d'irrigation administrées étaient de 20ml à 150ml à raison de 2 à 4 fois par jours.

Tableau n°9: Les différentes doses d'irrigation nécessaire pour la culture du haricot

Dates	Différents stades	Dose d'irrigation	Fréquence	Apport journalier
19/03/2019- 09/04/2019	germination au stade six feuilles	20ml	2 fois / jour	40ml / jour
09/04/2019- 18/04/2019	Stade six feuilles au stade floraison	60ml	3 fois / jour	180ml / jour
18/04/2019- 25/04/2019	Stade floraison au stade nouaison	100ml	3 fois / jour	300ml / jour
30/04/2019	Formation des fruits	150ml	4 fois / jour	600ml / jour

11.2 Lessivage

Lors de notre expérimentation, un lessivage abondant avec l'eau du robinet a été pratiqué chaque fin de semaine afin d'éviter l'accumulation des sels au fond des pots et d'éviter aussi de fausser la concentration de départ.

12- Paramètres mesurés

Tout au long de l'expérimentation des paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques ont été mesurés lors de chaque coupe.

Le tableau suivant représente les périodes de réalisation des coupes et analyses.

Tableau n°10: Périodes de coupes effectuées sur les plantes de haricot.

Dates	Différentes coupes
16/04/2019	Première coupe : Elimination de deux répétitions ont été enlevées de chaque traitement pour tout le dispositif expérimental ; voir 28 jours après repiquage.

01/05/2019	Deuxième coupe : Elimination des plantes ayant subi un stress salin ; voir 43 jours après repiquage.
05/05/2019	Deuxième coupe : Elimination de deux répétitions pour les plantes n'ayant pas subi de stress salin ; voir 48 jours après repiquage.
12/05/2019	Coupe finale : Elimination de tous les plants ; voir 60 jours après repiquage.

12.1- Paramètres morphologiques ou biométriques

12.1.1- la hauteur des plants

La mesure de la longueur des tiges a été réalisée tous les 4 jours à l'aide d'une règle graduée en centimètre (cm) du collet jusqu'à l'apex et ce dès l'apparition des vraies feuilles, c'est-à-dire à compter du 01/04/2019. Les mesures ont été faites sur tous les plants expérimentés stressés et non stressés afin de voir le rythme de croissance des plantules.

12.1.2- Hauteur finale des plants et longueur des racines

Les mesures des hauteurs finales des tiges et des racines ont été mesurées au moment de chaque coupe à l'aide d'une règle graduée, il faut rappeler que les racines ont été soigneusement dégagées du substrat.

12.1.3- Surface foliaire

La surface foliaire a été mesurée à l'aide d'un logiciel Digimizer au moment de chaque coupe. Une feuille par plant a été prise, et ce à raison de trois répétitions pour tout le dispositif expérimental.



Figure n° 12 : Mesure de la surface foliaire.

12.1.4- Diamètre des tiges

Lors de chaque coupe le diamètre a été mesuré grâce à un pied à coulisse en centimètre (cm) pour chaque traitement du dispositif expérimental, et ce au niveau de tous les plants expérimentés.

12.1.5- Biomasse fraîche produite

Ce paramètre consiste à peser les différents organes de la plante en gramme au niveau de chaque traitement et ce pour tous les plants stressés et non stressés, à l'aide d'une balance. Les pesées ont porté sur le poids frais des feuilles, des tiges et des racines au moment de chaque coupe.

- Poids frais des feuilles en g.
- Poids frais des tiges en g.
- Poids frais des racines en g.
- Poids frais des gousses en g.



Figure n°13 : Poids frais des différents organes du haricot.

12.1.6- Biomasse sèche produite

La biomasse sèche a été mesurée après le dessèchement dans une étuve à 75°C jusqu'à stabilité du poids sec des feuilles, des tiges, et des racines à l'aide d'une balance de précision en gramme. Le paramètres mesuré a été fait au niveau de chaque traitement et pour tous les plants du dispositif expérimental.

- Poids sec des feuilles en g.
- Poids sec des tiges en g.
- Poids sec des racines en g.
- Poids sec des gousses en g.

12.1.7- Nombre de fleurs, gousses et feuilles

Le nombre de fleurs, gousses et feuilles a été calculé après chaque coupe pour chaque traitement du dispositif expérimental, et ce au niveau de tous les plants expérimenté.

12.2- Paramètres physiologiques effectués

12.2.1- Teneur relative en eau (RWC)

La teneur relative en eau a été mesurée au niveau des plants stressés et non stressés durant le stade végétatif, la floraison et le stade final, sur les feuilles du haricot, en utilisant 3 répétitions pour chaque traitement afin d'évaluer l'état de l'eau de la plante.

L'opération a porté sur 0,1 g d'échantillon de feuille qui a été coupé en morceaux. L'échantillon de feuille a été mis dans 5ml de l'eau distillée pendant 5 heures et pesé par la suite pour déterminer le poids complètement turgescent. L'échantillon de feuille a été séché à l'étuve à 80°C jusqu'à stabilité du poids sec, et mesuré à l'aide d'une balance de précision.

La teneur relative en eau (RWC) a été déterminée à l'aide de la formule suivante (Turner 1981):

$$RWC = [(FW - DW) / (TW - DW)] \times 100$$

FW = Poids frais.

DW = Poids sec.

TW = poids turgescent

12.2.2- Fuite des électrolytes (EL)

La fuite des électrolytes a été mesurée selon Nyayar et al. (2005) pour les plants stressés et non stressés à différents stades. La prise 1cm d'échantillon de feuille de chaque traitement a été lavé avec de l'eau distillée pour éliminer les électrolytes adhérents à la surface, puis placé dans un flacon fermé contenant 20 ml d'eau distillée et incubé à 25 ° C dans un agitateur rotatif pendant 24 heures. Enfin, la conductivité électrique de la solution (L1) a été déterminée. Les échantillons de feuilles ont ensuite été autoclavés à 120 ° C pendant 20 minutes et la conductivité électrique finale (L2) a été obtenue à l'équilibre à 25 ° C. La fuite d'électrolyte est définie comme suit:

$$EL (\%) = (L1 / L2) \cdot 100$$



Figure n°14 : Incubation des flacons dans un agitateur rotatif.

12.2.3- Dosage de l'anthocyanine

L'anthocyanine des feuilles a été mesurée pour les plants stressés et non stressés durant les 3 stades végétatifs, l'opération consiste à placer 50mg d'échantillon de feuille dans des tubes contenant 5 ml de méthanol acidifié (méthanol: HCl 1,0 N, 85: 15, v/v), et mis à l'obscurité pendant 48 heures. L'absorbance a été mesurée à 535 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.

La détermination de la teneur de l'anthocyanine est réalisée selon la formule :

$$C = A \times 288.21 \text{ mg/kg}$$

12.3- Paramètre biochimique

12.3.1- Dosage de la chlorophylle a et b

La chlorophylle a et b a été déterminée durant les différents stades végétatifs pour les plants stressés et non stressés, la prise de 0,1 g d'échantillon de feuille de chaque traitement a été extraite et plongé dans 10 ml d'acétone pur. La teneur totale en chlorophylle a été déterminée par spectrophotométrie à 645 et 663 nm (Arnon, 1949). La détermination des teneurs est réalisée selon les formules :

- $\text{Chl a } (\mu\text{g/g MF}) = 12,7 \times \text{DO}_{(663)} - 2,59 \times \text{DO}_{(645)} \times V / (1000 \times W).$
- $\text{Chl b } (\mu\text{g/g MF}) = 22,9 \times \text{DO}_{(645)} - 4,68 \times \text{DO}_{(663)} \times V / (1000 \times W).$

V : volume de la solution extraite et W : le poids de la matière fraîche de l'échantillon.

12.3.2- Dosage de la proline

La proline a été dosée selon la technique utilisée par TROLL et LINDSLES, et simplifiée par MONNEVEUX et NEMMAR (1986).

Le principe est la quantification de la réaction proline-ninhydrine par mesure spectrophotométrique. La proline se couple avec la ninhydrine en formant un complexe coloré. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de proline dans l'échantillon, la méthode consiste à :

- Mettre 100 mg de matière fraîche végétale dans des tubes à essai.
- Ajouter 2 ml de Méthanol à 40 %.
- Les tubes couverts (pour éviter la volatilisation de l'alcool) sont portés à l'ébullition au bain-marie à 85°C pendant 60 min.

Après refroidissement

- Prélever 1 ml de la solution de chaque tube.
- Mettre dans de nouveaux tubes.
- Ajouter 1 ml d'acide acétique + 25 mg de ninhydrine. + 1 ml d'un mélange contenant : 120 ml d'eau distillée, 300 ml d'acide acétique, 80 ml d'acide ortho phosphorique.
- Porter les tubes à essai à ébullition au bain marie durant 30 min.

Après refroidissement des solutions :

- Ajouter 5 ml de toluène dans chaque tube.
- Après agitation au vortex deux phases apparaissent.
- Prélever la phase supérieure.
- Ajouter 5 mg du sulfate de sodium, laisser au repos pendant 48h.
- Procéder à la lecture de la densité optique des échantillons avec le spectrophotomètre à la longueur d'onde de 528 nm.

La détermination de la teneur de la proline est réalisée selon la formule:

$$\text{Proline } (\mu\text{g/g MF}) = \text{DO}_{528} * 0.62$$



Figure n°15: Agitation au vortex des différents tubes.

13- Analyses des données

Les résultats obtenues ont été traités par analyse de la variance à deux facteurs avec le logiciel Statgraphics-Centurion XVI (version 16.1.18) et les moyennes significativement différentes ont été séparées par le test de Fisher (LSD) au seuil de probabilité de 5%.

Chapitre II

Résultats et discussions.

1- Aspect général des plantes de haricot

L'effet du priming et des différents traitements des deux séries (solution saline et solution nutritive) sur les plantes du haricot *Phaseolus vulgaris* L, variété El djadida était bien remarquable durant notre expérimentation et cela tout au long des trois stades.



Figure n°16: Aspect général des plantes du haricot.

La différence entre les deux séries a été nette, une observation globale des plantes nous a permis de tirer les résultats suivants :

- Les plantes n'ayant pas subi de stress salin prétraitées par les traitements T5 et T1 sont les plus vigoureux.
- les plantes issues de la solution saline prétraitées par les traitements T4 et le témoin sont les moins vigoureux.

2- Paramètres morphologiques mesurés

2.1- Longueur moyenne des racines(cm)

Les résultats relatifs à la longueur des racines des plantes de haricot sont représentés dans la figure suivante.

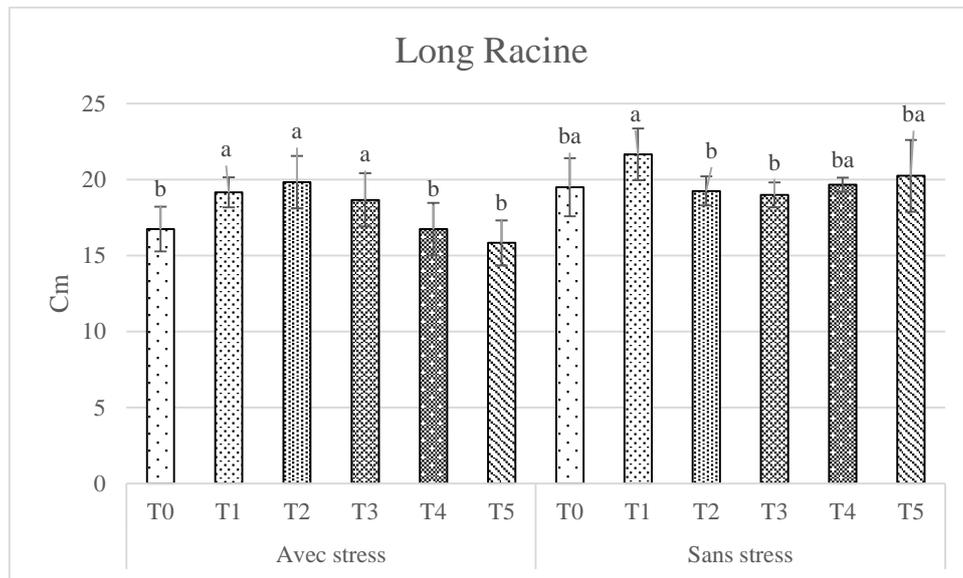


Figure n°17 : Longueur moyenne des racines du haricot en (cm)

L'analyse de la variance de la série solution nutritive montre qu'il n'y a pas une différence significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré ($p < 0.05$).

Les valeurs représentées dans la figure, montrent la variation de la longueur des racines par traitement. La plus grande valeur est obtenue dans le traitement (T1) sans stress hydrique de moyenne (21.66cm), et la plus petite valeur et celle de T3 avec (19cm).

L'analyse de la variance de la série solution saline montre qu'il y a une différence hautement significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré ($p < 0.05$).

Selon la méthode de LSD (95.0%) les traitements testés sont classés en deux groupes homogènes (a) et (b), dont les traitements T2, T1, T3, appartenant au groupe homogène (a) présentent une longueur la plus élevée de (19.83-18.66cm), et les traitements T4, T5 et T0 appartenant au groupe homogène (b) présentent des valeurs minimale de (16.75-15.83cm).

Une étude réalisée par Kaymakanova (2009) sur la croissance des plantules d'haricot a montré une diminution de la croissance due aux différents types de sels, la plante était incapable de

faire un ajustement osmotique, comme cela peut être dû à l'effet toxique des ions Cl^- et Na^+ selon le même auteur.

2.2- Biomasse fraîche moyenne des racines (g)

Les résultats relatifs à la biomasse fraîche des racines des plantes de haricot sont représentés dans la figure.

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence hautement significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré ($p < 0.05$).

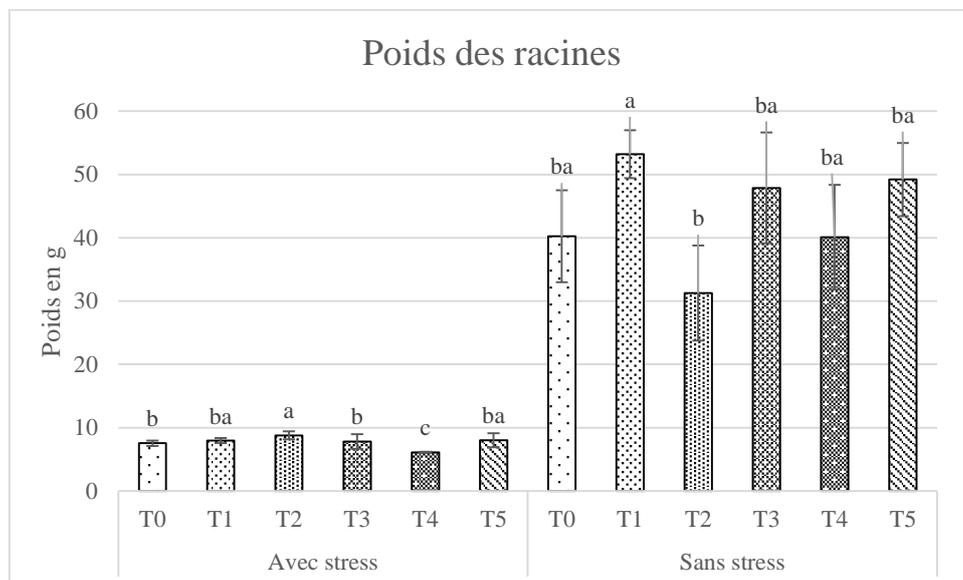


Figure n° 18: Biomasse fraîche moyenne des racines du haricot (g).

La matière fraîche moyenne des racines produite par nos plantes diminue en fonction de la présence de sel.

Chez les plantes non stressées nous avons enregistré une biomasse fraîche maximale de (53.22g) du traitement T1, et une biomasse fraîche minimale de (31.24g) du traitement T2 par rapport aux autres traitements T3, T4, T0 et T5 qui ont eu une biomasse moyenne de (49.20-40.09g).

Le traitement T2 qui appartient au groupe homogène (a) a donné un meilleur effet sur la biomasse fraîche des racines chez les plantes stressées par rapport aux autres traitements avec une valeur maximale de (8.79g), suivi par T5 et T1 appartenant au groupe homogène (ba) avec une valeur de (8.03-7.96g). Les traitements T0 et T3 du groupe homogène (b) ont des

valeurs moyennes de (7.83-7.55g), et enfin le traitement T4 enregistre une valeur minimale de (6.11g).

Nos résultats sont confirmés aussi par Zahran et al. (1986), ils ont montré que chez les légumineuses, un stress salin de 50 à 200 mM de NaCl limite significativement la productivité. Cependant, plusieurs autres études ont montré que les matières fraîches et sèches racinaires sont affectées négativement et même positivement par la salinité.

2.3- Hauteur finale des plantes (cm)

Les résultats relatifs à la hauteur finale des plantes de haricot sont représentés dans la figure.

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence hautement significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré ($p < 0.05$).

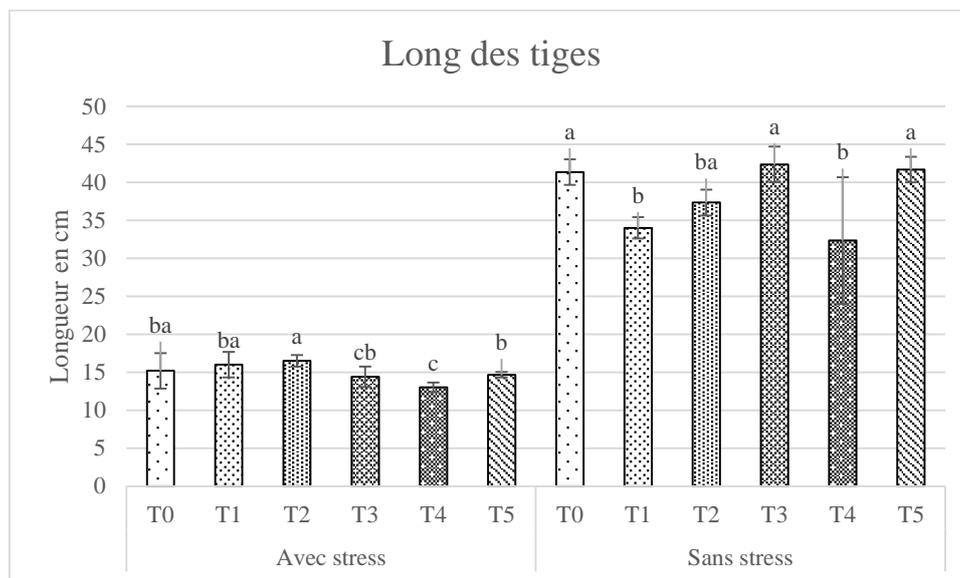


Figure n°19 :Hauteur finale des plantes du haricot en (cm).

Il faut noter que la hauteur finale des plantes du haricot ayant subi un déficit hydrique était plus faible par rapport aux plantes non stressés. Ceci est dû à l'effet du stress salin sur la croissance des plantes.

Chez la série solution nutritive les résultats montrent que la hauteur finale du Témoin et des traitements T3 et T5 appartenant au groupe homogène (a) présentent des valeurs maximale de (42.33-41.33cm) suivi du traitement T2 du groupe homogène (ba) avec (37.33cm), et enfin T1 et T4 du groupe homogène (b) présentent des hauteurs varient entre (34-32.33cm).

Chez la série solution saline, la méthode de LSD (95.0%) les traitements testés sont classé en 5 groupes homogènes (a), (ba), (b), (cb), et (c) respectivement. La valeur maximale est celle du T2 de hauteur (16.5cm), suivi de T1 et le témoin de hauteur varie entre (16-15.17cm), le traitement T5 présente une hauteur moyenne de (14.66cm), et enfin le traitement T3 et T4 (14.4-13cm).

Huq et Larher (1984) ont montré qu'en présence d'une concentration de 50M de NaCl à une conductivité électrique de moins de 2dS/m, la croissance est réduite à 50%. Dans une autre étude, des graines d'haricot ont tolérer jusqu'à 100mM de NaCl (avec une CE moins de 12dS/m) sans aucun symptôme de toxicité par le sel (Subbaro et *al.*, 1991).

2.4- Biomasse fraîche des tiges en (g)

Les résultats relatifs à la biomasse fraîche des tiges des plantes de haricot sont représentés dans la figure.

L'analyse de la variance montre qu'il a une différence hautement significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré ($p < 0.05$).

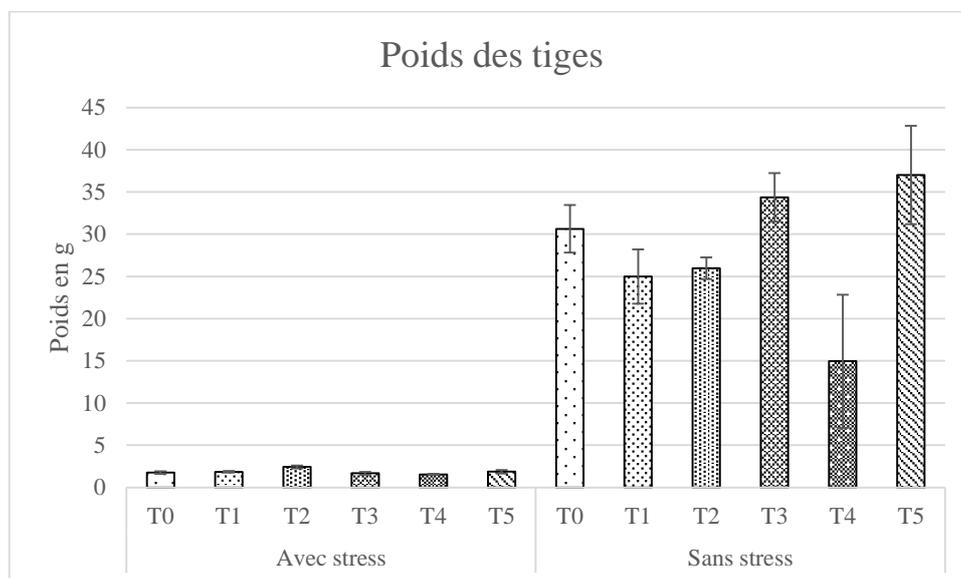


Figure n° 20: Biomasse fraîche des tiges des plantes du haricot en (g).

La biomasse fraîche des tiges des plantes de haricot montrent une différence nettement visible entre les résultats de la série solution saline et la série solution nutritive, dont les valeurs de la série solution saline sont basse par rapport aux plantes n'ayant pas subi un stress salin.

Chez la série solution nutritive, selon la méthode de LSD (95.0%) les traitements testés sont classés en 4 groupes homogènes (a), (ba), (b) et (c). Les traitements T3 et T5 présentent les valeurs les plus élevés avec (37-34.36g), suivi par les autres traitements qui ont des valeurs variant entre 30.62-24.98g), et une valeur minimale du traitement T4 avec (14.95g).

Lorsque les plantes sont stressées, selon la méthode de LSD (95.0%) les traitements testés sont classés en 3 groupes homogènes (a), (ba) et (b). Les traitements T2 et T5 présentent les valeurs les plus élevés avec (2.42-1.86g), suivi par les autres traitements qui ont des valeurs variant entre (1.85-1.67g), et une valeur minimale du traitement T4 avec (1.54g).

2.5- Diamètre moyen des tiges (mm)

Les résultats relatifs au diamètre des tiges des plantes de haricot sont représentés dans la figure.

L'analyse de la variance montre qu'il n'y a pas une différence significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré pour les deux séries solution saline et nutritive ($p < 0.05$).

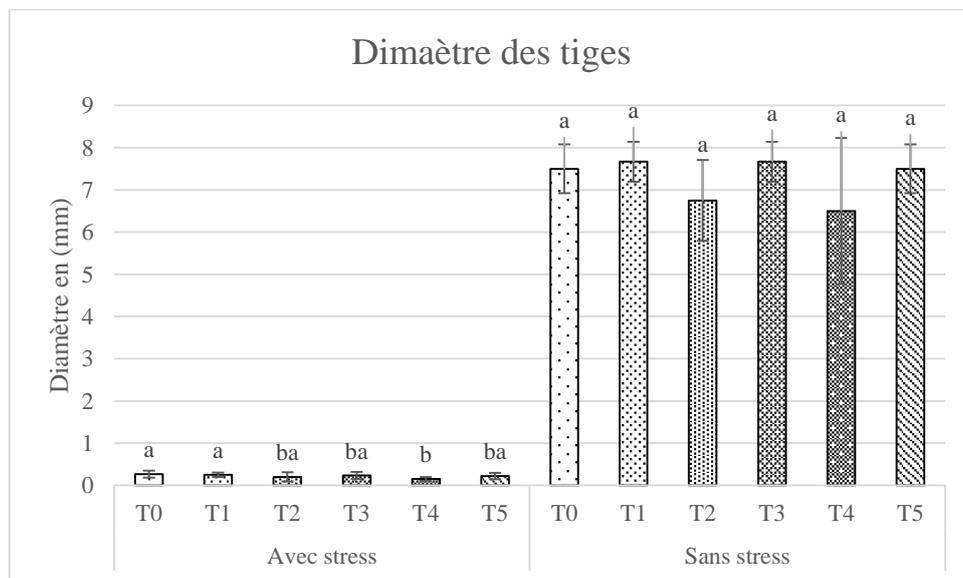


Figure n° 21: Diamètre moyen des tiges des plantes du haricot en (mm).

Il semble que selon la méthode de LSD (95.0%) les traitements testés sont classés en un seul groupe homogène (a), tous les traitements présentent presque les mêmes valeurs de diamètre qui varie entre 7.66 et 6.50 mm pour la série solution nutritive. Et pour la série solution saline nous avons enregistré des valeurs comprises entre 0.26mm et 0.15mm pour tous les traitements y compris le témoin appartenant tous au groupe homogène (a), (ba) et (b).

2.6- Nombre de feuilles des plantes

Les résultats relatifs de nombre de feuilles des plantes de haricot sont représentés dans la figure.

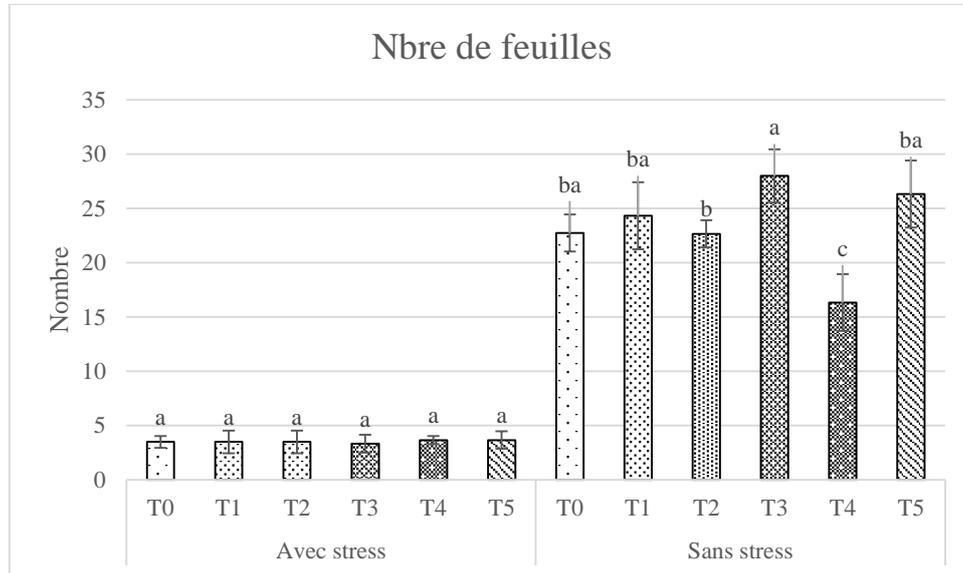


Figure n° 22: Nombre de feuilles des plantes du haricot.

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré chez les plantes non stressés ($p < 0.05$).

Selon la méthode de LSD (95.0%) les traitements testés sont classés en 4 groupes homogènes (a), (ba), (b), (c) respectivement, le traitement T3 avec une valeur maximale de (28 feuilles) et le traitement T4 avec une valeur minimale de (16.33 feuilles).

L'analyse de la variance montre qu'il n'y a pas une différence significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré de la série solution saline ($p < 0.05$), Selon la méthode de LSD (95.0%) les traitements testés sont tous classés dans un seul groupe homogène (a), dont on a une moyenne de trois feuille par plantes.

L'inhibition de la croissance foliaire chez les plantes sensibles est la première réponse à l'excès de sel dans le milieu selon les travaux de (Munns, 1983).

2.7- Biomasse fraîche des feuilles des plantes

Les résultats relatifs de biomasse fraîche des feuilles des plantes de haricot sont représentés dans la figure.

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré pour les deux séries solution saline et nutritive ($p < 0.05$).

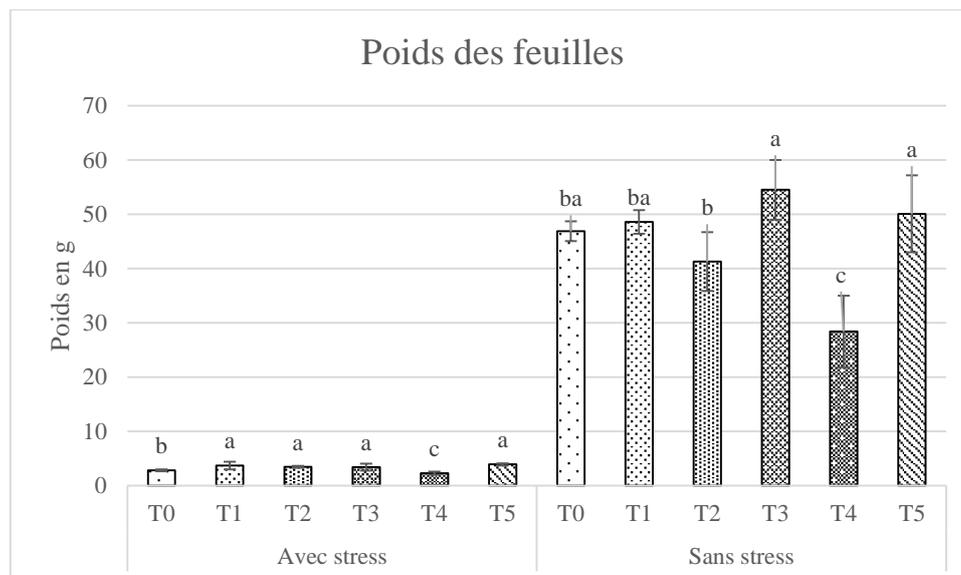


Figure n° 23: Biomasse fraîche des feuilles des plantes du haricot en (g).

Les résultats obtenus chez les plantes stressés ont été moins performants que ceux de la série solution nutritive. Ceci à cause de l'effet du stress salin sur les performances des plantes de haricot.

On note que selon la méthode de LSD (95.0%) les traitements testés sont classés en 4 groupes homogènes (a), (ba), (b), (c) respectivement. On a enregistré une valeur maximale de (54.51g) au niveau du traitement T3, et une valeur minimale de (28.39g) au niveau du traitement T4.

Concernant la série solution saline, selon la méthode de LSD (95.0%) les traitements testés sont classés en 3 groupes homogènes (a), (b), (c) respectivement, une nette performance est enregistré au niveau des traitements T5, T1 et T2 avec (3.91-3.48g), suivi du témoin avec une valeur plus basse (2.8g) et enfin le traitement T4 avec une valeur de valeur (2.28g).

En cas de stress induit par la salinité, et lorsque les niveaux de Na^+ et de Cl^- augmentent dans les tissus foliaires, les performances photosynthétiques diminuent simultanément (Munns, 2008).

2.8- Nombre de fleur des plantes

Les résultats relatifs de nombre de fleurs des plantes de haricot sont représentés dans la figure suivante.

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré ($p < 0.05$).

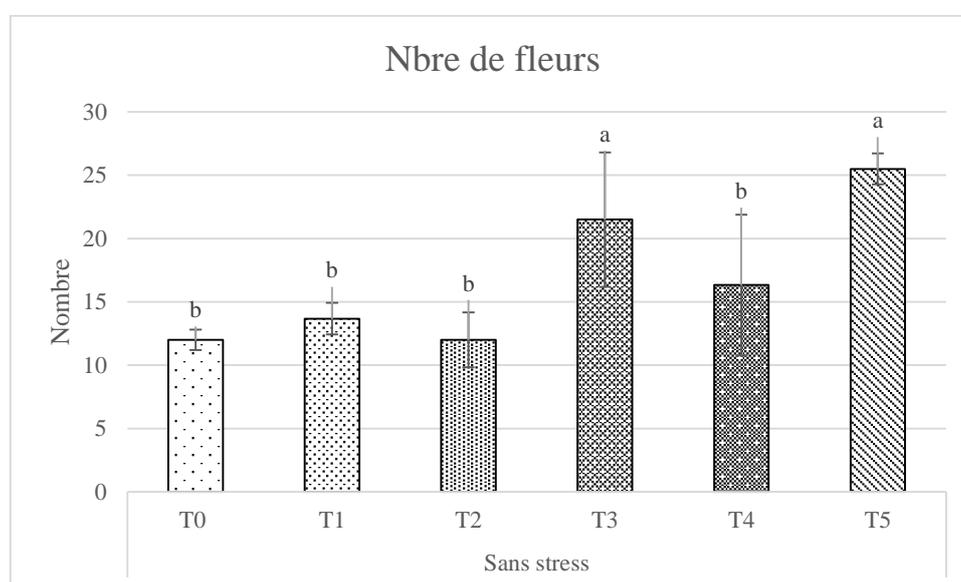


Figure n° 24: Nombre de fleurs des plantes du haricot.

Pour la série solution nutritive on constate que les traitements sont classés en deux groupes homogènes selon la méthode de LSD (95.0%).

Les meilleures performances sont enregistrées pour les traitements T5 et T3 qui appartiennent au groupe homogène (a) avec des valeurs maximales de (25.5) et (21.5) respectivement, suivi par les autres traitements T4, T1 T0 et T2 dont la moyenne varie de (16.33 à 12.0).

2.9- Nombre de gousses des plantes

Les résultats relatifs de nombre de gousses des plantes de haricot sont représentés dans la figure suivante.

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré ($p < 0.05$).

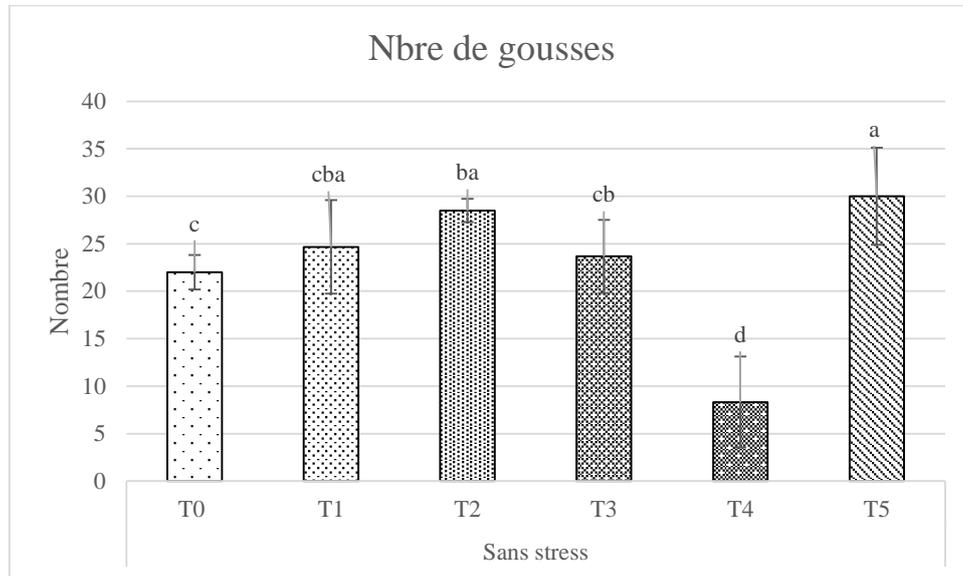


Figure n° 25: Nombre de gousses des plantes du haricot.

On note que le nombre de gousse a été enregistré que pour la série solution nutritive, la méthode de LSD (95.0%) classe les traitements testés en 6 groupes homogènes (a), (ba), (cba), (cb), (cd), (c) respectivement.

On constate que les traitements T5 et T2 appartenant au groupes homogènes (a) et (ba) ont eu un effet remarquable sur les gousses de haricot avec une moyenne de (30.0-28.5) respectivement, suivi par les traitements T1, T3, T0 appartenant aux groupes homogènes (cba), (cb) et (cd) avec une moyenne de (24.66-23.66-22.0) respectivement et par la suite le traitement T4 qui appartient au groupe homogène (c) avec une faible performance (8.33).

2.10- Biomasse fraîche des gousses des plantes

Les résultats relatifs de la biomasse fraîche des gousses des plantes de haricot sont représentés dans la figure.

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré ($p < 0.05$).

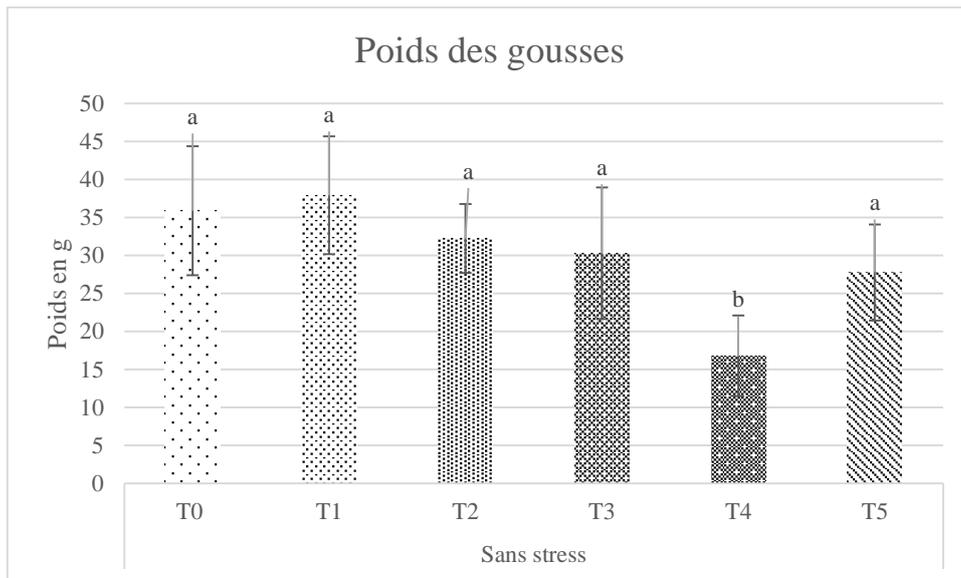


Figure n° 26: Biomasse fraîche des gousses des plantes du haricot en (g).

Les différents traitements testés sont classés en deux groupes homogènes (a) et (b) selon la méthode de LSD (59.0%).

Les cinq traitements T1, T0 T2, T3 et T5 appartiennent au groupe homogène (a) enregistrent des moyennes maximales qui varient de (37.92g à 27.76g), contrairement au traitement T4 dont la moyenne est de (16.77g).

2.11- Biomasse sèche des racines en (g)

Les résultats relatifs de la biomasse sèche des racines des plantes de haricot sont représentés dans la figure.

L’analyse de la variance montre qu’il y a une différence significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré ($p < 0.05$).

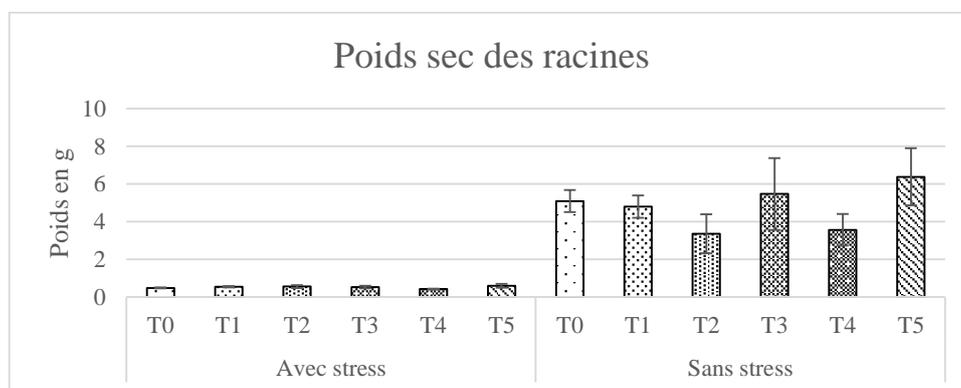


Figure n° 27: Biomasse sèche des racines des plantes du haricot(g).

Les résultats montrent qu'il y a une nette différence entre le taux de matière sèche des racines pour la série solution nutritive et la série solution saline.

Les meilleurs résultats ont été enregistrés pour la série solution nutritive dont la valeur maximale était de (6.37g) pour le traitement T5 suivi par le traitement T3 avec une moyenne de (5.46g) et qui appartiennent au même groupe homogène (a), en deuxième lieu on a les traitements T0 et T1 qui appartiennent au groupe homogène (ba) avec une valeur de (5.09g-4.79g) respectivement, et enfin les traitements T4 et T2 ont enregistré une moyenne minimale (3.56g-3.35g) respectivement.

Concernant la série solution saline une moindre performance a été enregistrée avec des moyennes plus basses par rapport à la série précédente et cela est due au stress salin que les plantes de haricot ont subi durant l'expérimentation et qui a eu un effet sur les racines ; la méthode de LSD (95.0%) classe les traitements testés en quatre groupes homogènes à savoir : (a) pour les traitements T5 et T2 (0.59g-0.54g), (ba) pour les traitements T1 et T3 (0.54g-0.52), suivi par (cb) pour le traitement T0 (0.47g) et enfin (c) pour le traitement T4 (0.42g).

Des résultats similaires ont été rapportés par Dubey et Singh (1999). Cette résistance du système racinaire du trèfle au stress salin peut être due à une diminution de l'allocation du carbone pour la croissance foliaire au profit de la croissance racinaire (BRUNGNOLI et BJORKMAN, 1992). La réduction de la croissance peut être aussi liée à des perturbations des taux des régulateurs de croissance (acide abscissique et cytokinines) induites par le sel (KUIPER et *al.*, 1990). Parfois à une réduction de la capacité photosynthétique suite à une diminution de la conductance stomatique de CO₂ sous la contrainte saline (SANTIAGO et *al.*, 2000).

2.12- Biomasse sèche des tiges en (g)

Les résultats relatifs de la biomasse sèche des tiges des plantes de haricot sont représentés dans la figure.

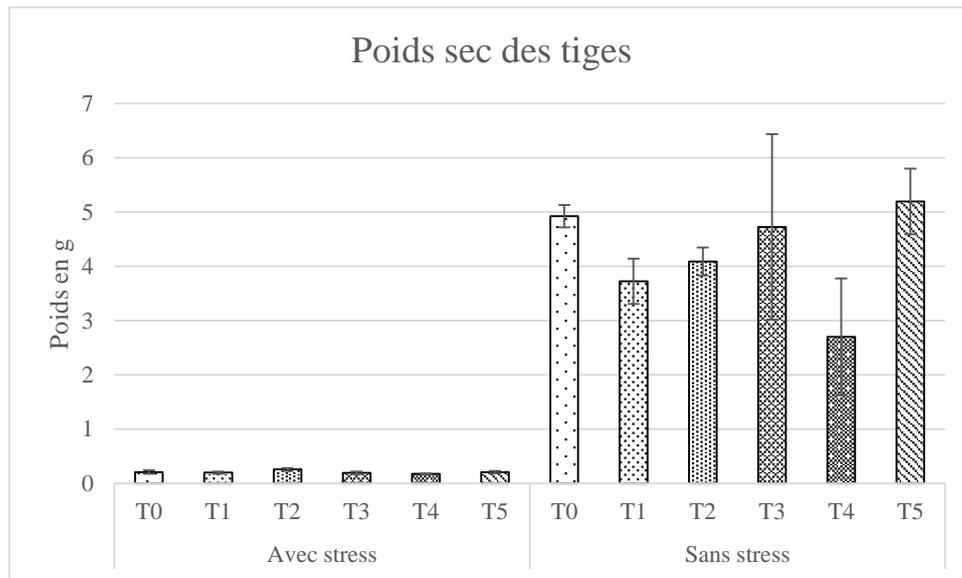


Figure n° 28: Biomasse sèche des tiges des plantes du haricot (g).

Pour la série solution nutritive l'analyse de la variance montre qu'il y a une différence significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré ($p < 0.05$).

La méthode de LSD classe les traitements testés en trois groupes homogènes à savoir : (a) pour les traitements T5, T0 et T3 (5.19g-4.92g-4.72g) respectivement, (ba) pour les traitements T2 et T1 (4.09g-3.72g) et en dernier lieu le traitement (b) pour le traitement T4 (2.7g).

Contrairement à la série solution saline une moindre performance a été noté par rapport à la série solution nutritive.

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré ($p < 0.05$).

La méthode de LSD classe les traitements testés en quatre groupes homogènes, (a), (b), (cb) et (c), la valeur maximale a été enregistrée pour le traitement T2 (0.25g) et la valeur minimale a été enregistrée pour le traitement T4 (0.17g).

Des concentrations faibles en NaCl (2 g·l⁻¹) dans le milieu a conduit à une stimulation de la production de la matière fraîche et sèche des organes aériens du trèfle. Une réponse analogue a été signalée chez la luzerne (HUSSAIN *et al.*, 1995).

2.13- Biomasse sèche des feuilles en (g)

Les résultats relatifs de la biomasse sèche des feuilles des plantes de haricot sont représentés dans la figure.

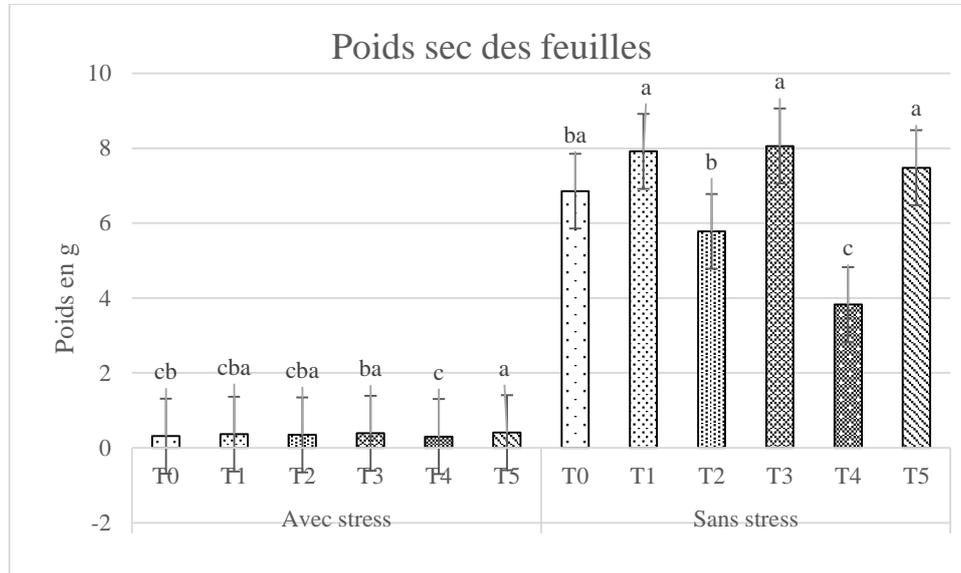


Figure n° 29: Biomasse sèche des feuilles des plantes du haricot(g).

Pour la série solution nutritive l'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré ($p < 0.05$).

Une nette performance est apparente au niveau des plantes n'ayant pas subi de stress salin, les meilleurs traitements sont T3, T1 et T5 appartenant au groupe homogène (a) avec des valeurs de (8.06g, 7.91g, 7.48g) suivi par le traitement T0 qui appartient au groupe homogène (ba), ensuite le traitement T2 qui appartient au groupe homogène (b), et en dernier le traitement T4 qui appartient au groupe homogène (c) avec une valeur basse de (3.82g).

Puis des résultats de moins en moins performants sont notés au niveau de la série solution saline, l'analyse de la variance montre qu'il y a une différence significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré ($p < 0.05$).

La méthode de LSD classe les traitements testés en cinq groupes homogènes (a), (ba), (cba), (cb) et (c).

Le traitement T5 appartenant au groupe homogène (a) enregistre une valeur maximale de (0.40g), et le traitement T4 enregistre une valeur minimale de (0.30g).

L'effet de la salinité n'est pas homogène pour tous les organes. Les réponses morphologiques, physiologiques et métaboliques de ces derniers sont différentes (HILAL *et al.*, 1998).

2.14- Biomasse sèche des gousses en (g)

Les résultats relatifs de la biomasse sèche des gousses des plantes de haricot sont représentés dans la figure.

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré ($p < 0.05$).

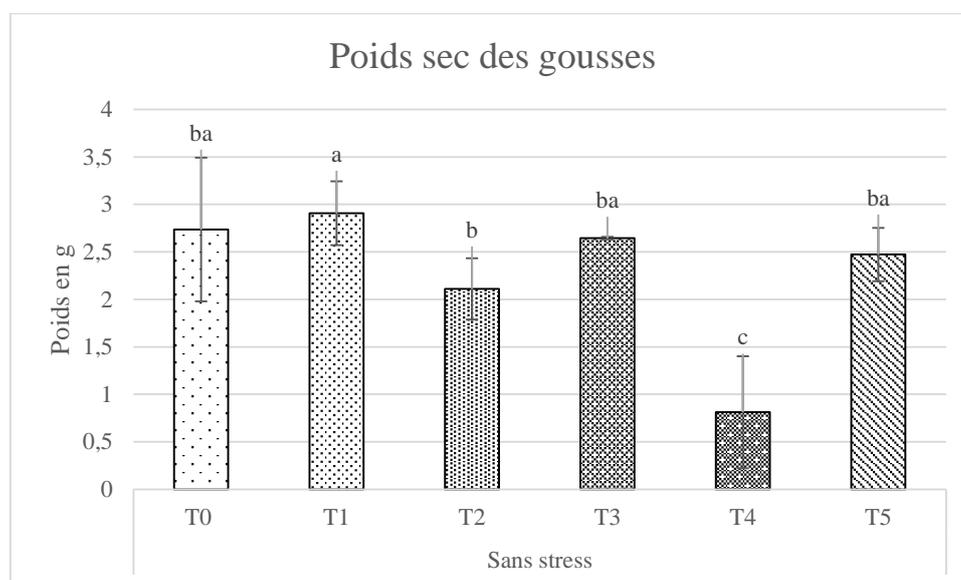


Figure n° 30: Biomasse sèche des gousses des plantes du haricot en (g).

La moyenne maximale a été enregistrée pour le traitement T1 qui appartient au groupe homogène (a) et qui est de (2.90g), suivi par les traitements T0, T3, T5 appartenant au groupe homogène (ba), le traitement T2 appartenant au groupe homogène (b) enregistre une moindre performance avec une moyenne de (2.11g) et en dernier lieu le traitement T4 appartenant au groupe homogène (c) enregistre une valeur minimale de (0.81g).

3- Paramètres physiologiques mesurés

3.1- La teneur relative en eau en %

Les résultats relatifs de la teneur relative en eau des feuilles de haricot sont présentés dans les figures suivantes.

L'analyse de la variance des trois stades montre qu'il y a une différence très hautement significatif du facteur traitement sur le paramètre mesuré ($p < 0.001$).

Stade1 :

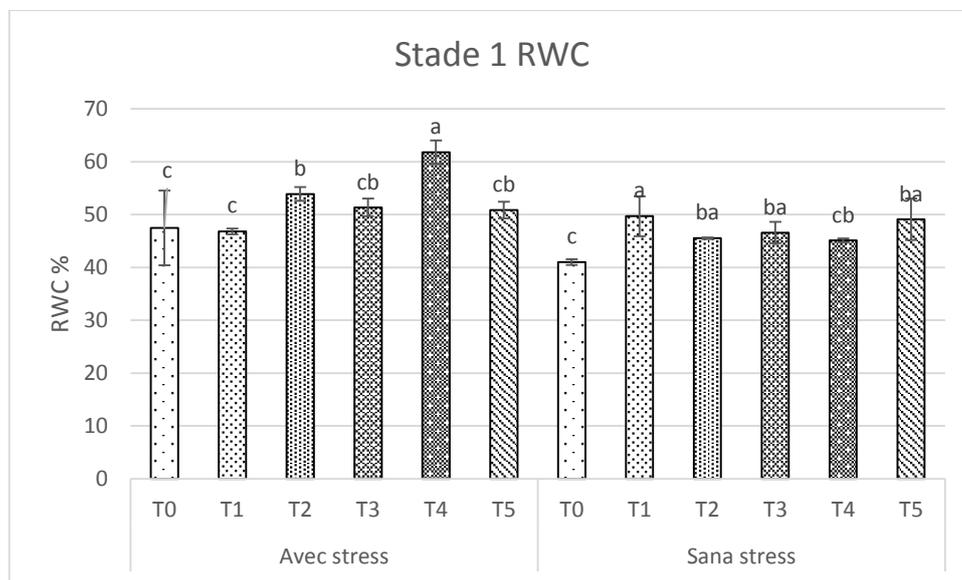


Figure n°31 : Teneur relative en eau stade 1 chez les plantes de haricot (%).

La figure représente la teneur relative en eau des plantes d'haricot stressé et non stressé, elle indique que la turgescence de feuilles est proportionnelle à la concentration des sels.

Chez les plantes stressées la méthode de LSD (95.0%) classe les traitements testés en quatre groupes homogènes (a), (b), (cb) et (c) respectivement.

Les niveaux en eau les plus élevés sont notés au traitement T4 appartenant au groupe homogène (a) avec une valeur maximale de l'ordre de 61.82% et une valeur minimale du traitement T1 appartenant au groupe homogène (c) de l'ordre de 46.83%.

Les autres traitements présentent des valeurs comprises entre 53.91% et 47.46%.

Pour la série solution nutritive la méthode de LSD (95.0%) classe les traitements testés en quatre groupes homogènes (a), (ba), (cb) et (c) respectivement.

Au niveau du traitement T1 la valeur maximale de la teneur relative en eau est affichée de l'ordre de 49.68% et la valeur minimale est donnée par le témoin appartenant au groupe homogène (c) de valeur 41.01%.

Stades2 :

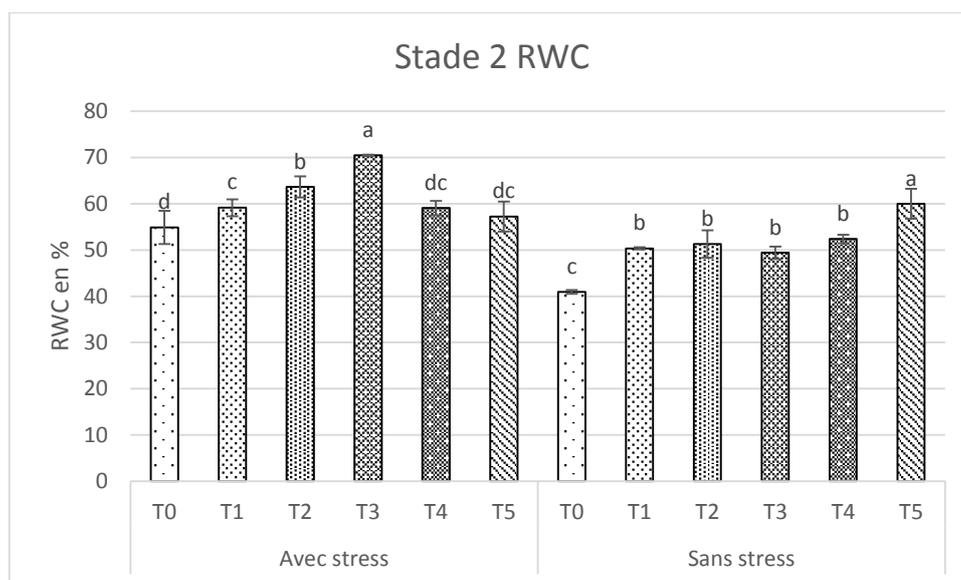


Figure n° 32: Teneur relative en eau stade 2 chez les plantes de haricot (%).

Pour la série solution saline nous observons que le traitement T3 appartenant au groupe homogène (a) présente une teneur en eau maximale de 70.46%, suivi par T2 qui appartient au groupe homogène (b) avec une valeur de 63.66%, suivi par le traitement T1 appartenant au groupe homogène (c) avec une valeur de 59.15%, une moindre performance a été noté pour les traitements T4 et T5 qui appartiennent au groupe homogène (dc) avec une valeur de 59.09% et 59.26% respectivement. Et enfin le témoin enregistre une valeur minimale de 54.88%.

Concernant la série solution nutritive la méthode de LSD (95.0%) classe les traitements testés en trois groupes homogènes (a), (b), (c) respectivement.

Le traitement T5 présente une teneur maximale en eau avec une valeur de 59.98% et le témoin présente une valeur minimale de 40.93%.

Stade3 :

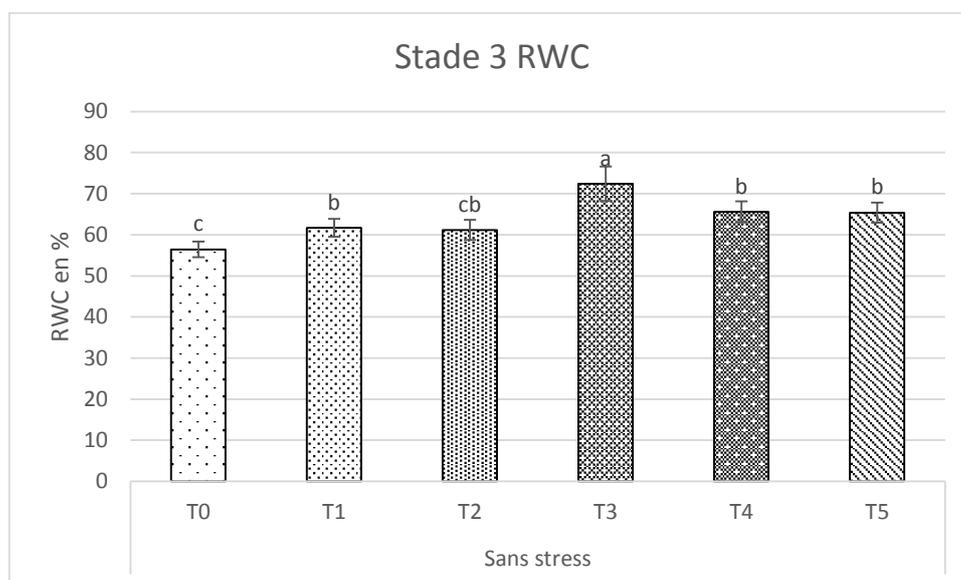


Figure n° 33: Teneur relative en eau stade 3 chez les plantes de haricot (%).

Les résultats montrent qu'il y a quatre groupes homogènes T3 qui appartient au groupe (a), T4, T5 et T1 appartiennent au groupe (b), T2 appartient au groupe (cb) et le témoin appartient au groupe (c).

Après avoir observé les résultats, la teneur relative en eau du témoin était toujours faible par rapport aux autres traitements durant les trois stades, donc l'effet du priming était nettement visible sur les plantes de haricot. L'effet des traitements T3 (CaCl_2) et T4 (ZnSO_4) était le plus efficace sur la teneur relative en eau des feuilles de haricot durant les trois stades.

En comparant les deux séries saline et nutritive on constate que la teneur relative en eau augmente progressivement en fonction de la concentration en sel.

On remarque que le stade final présente une teneur relative en eau des feuilles de haricot plus élevé par rapport aux deux premiers stades.

En revanche d'autres auteurs ont trouvés que La turgescence varie inversement avec le taux de salinité ; lorsque la salinité du milieu augmente, la teneur relative en eau diminue. Cette variation est importante chez *Atriplexhalimus* par rapport à *Atriplexcanescens*. *A. halimus* est caractérisé par une forte capacité d'absorption et une accumulation préférentielle du chlore et

du sodium dans les feuilles. La contribution de ces ions peut rendre compte de la presque totalité de l'abaissement du potentiel osmotique. (ALBOUCHI *et al.*, 2003).

Le stress salin induit des changements au niveau du statut hydrique de la plante (HASEGAWA, 2000), réduit le contenu relatif en eau des feuilles (ALBOUCHI *et al.*, 2003), diminue la transpiration (RENGASAMY, 2006) et l'absorption hydrique par les racines (SNOUSSI *et al.*, 2004). Ce fait a été établi chez des plantes de résistance différentes comme *Zygophyllum album* et *Atriplex verrucifera*.

3.2- Mesure de la fuite des électrolytes

Les résultats relatifs de la fuite des électrolytes des feuilles de haricot sont présentés dans les figures suivantes.

Stade1 :

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré ($p < 0.001$).

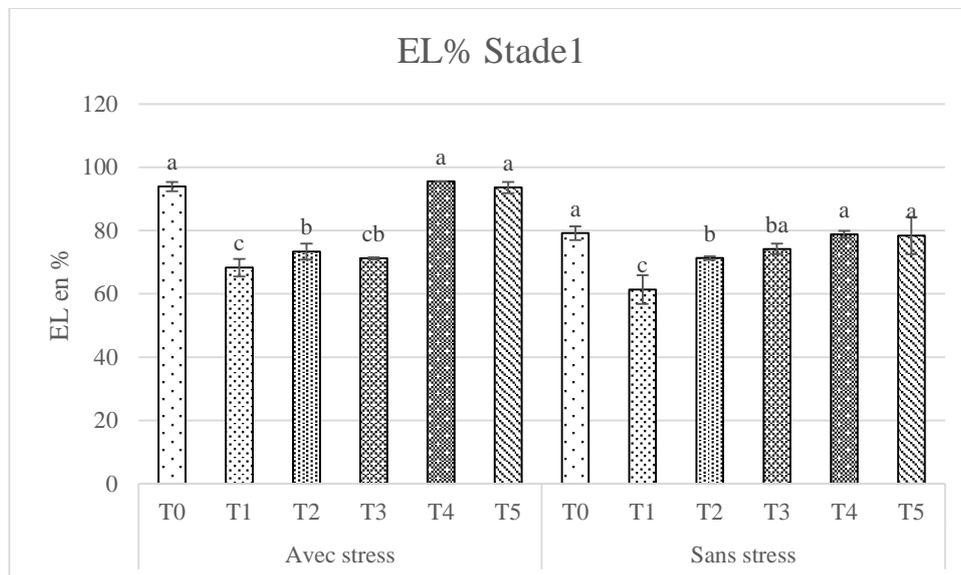


Figure n°34 : fuite des électrolytes stade 1 chez les plantes de haricot (%).

Pour la série solution saline la fuite des électrolytes était plus remarquable par rapport à la série solution nutritive et cela est dû à l'effet du stress salin sur les plantes de haricot.

Au niveau de la série solution nutritive, selon la méthode de LSD (95.0%) les traitements testés sont classé en 4 groupes homogènes, le premier groupe (a) représente le traitement T5, T4 et le témoin avec des moyennes (79.17-78.41%), alors que le deuxième groupe (ba) renferme le traitement T3 avec une moyenne de (74.21%), suivi du groupe (b) du traitement T2 avec une moyenne de (71.33%), et le dernier groupe (c) du traitement T1 avec une moyenne de (61.33%).

Chez les plantes stressés, selon la méthode de LSD (95.0%) les traitements testés sont classé en 4 groupes homogènes, le premier groupe (a) représente le traitement T5, T4 et le témoin avec des moyennes (95.52-93.60%), alors que le deuxième groupe (b) renferme le traitement T2 avec une moyenne de (73.34%), suivi du groupe (cb) du traitement T3 avec une moyenne de (71.21%), et le dernier groupe (c) du traitement T1 avec une moyenne de (61.27%).

Stade2 :

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré ($p < 0.001$).

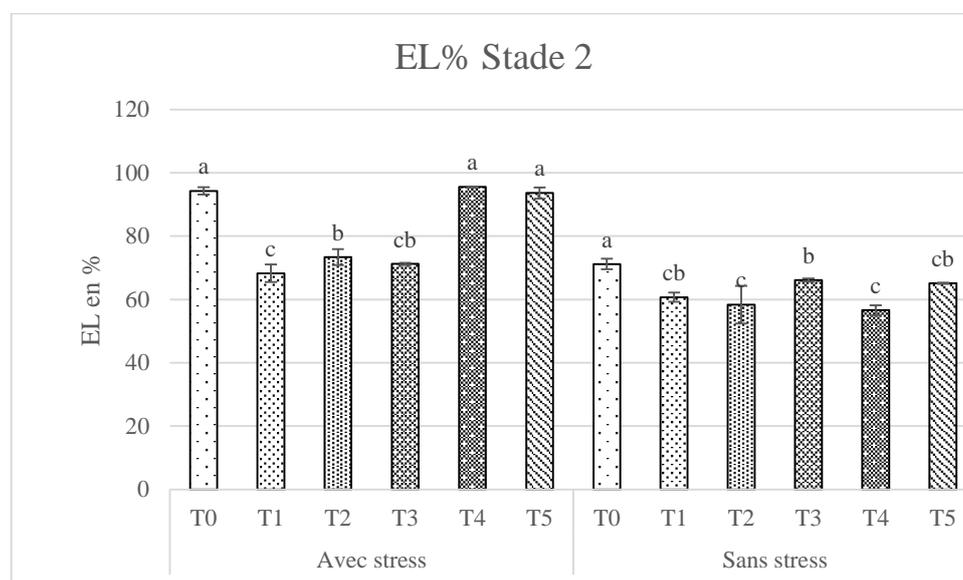


Figure n°35 : fuite des électrolytes stade 2 chez les plantes de haricot (%).

Là aussi on note une fois de plus que l'effet du stress salin était nettement visible, car on a remarqué que les résultats obtenus pour la série solution saline étaient plus élevés par rapport à la série solution nutritive et qui est un point déjà souligné au préalable.

Le priming n'a pas donné un effet sur le traitement T4 contrairement aux autres traitements pour les deux séries.

Selon la méthode de LSD (95.0%) les traitements testés de la série solution nutritive et solution saline sont classé en 4 groupes homogènes (a), (b), (cb), (c) respectivement.

Stade3 :

L'analyse de la variance qu'il y a une différence hautement significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré ($p < 0.001$).

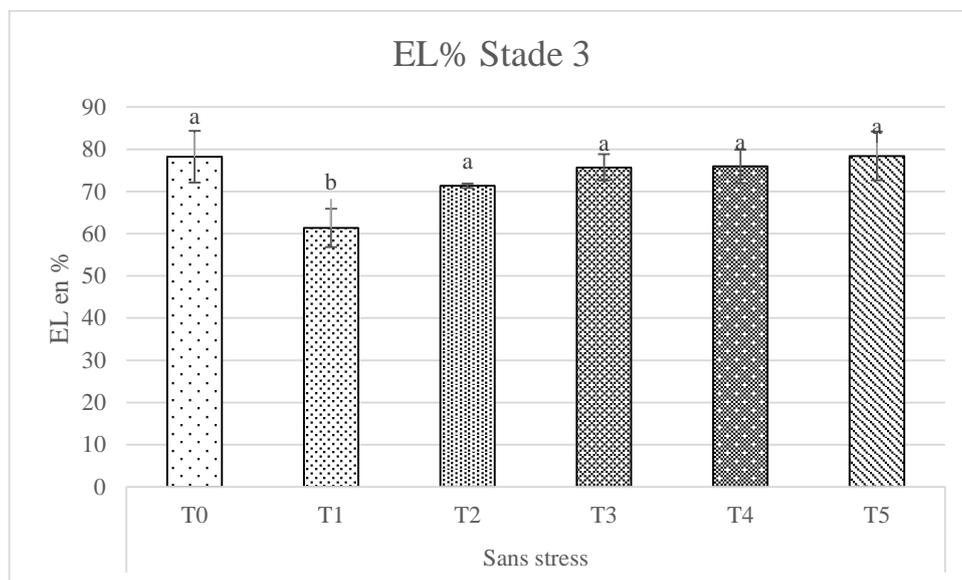


Figure n°36 : fuite des électrolytes stade 3 chez les plantes de haricot (%).

Selon la méthode de LSD (95.0%) les traitements testés de la série solution nutritive sont classé en 2 groupes homogènes (a) et (b), dont les traitements T5, T4, T3, T2 et le témoin présentent les valeurs les plus élevées, et la valeur minimale est enregistrée pour le traitement T1.

En utilisant la méthode de la fuite d'électrolyte, nous avons démontré que le maintien de l'intégrité de la membrane dans les segments de feuille sous stress osmotique est en corrélation avec la tolérance à la sécheresse chez le blé dur estimée sur la base de la croissance de plantes entières (LAURIANO et al. 2000; SENARATNA et al. 1987).

Les membranes cellulaires peuvent constituer l'une des premières cibles affectées par le stress chez les plantes, d'où la grande importance de la notion de stabilité membranaire, le degré de dommage membranaire peut être estimé indirectement en mesurant le taux d'électrolytes cellulaires, celui-ci se trouve être inversement proportionnel à la stabilité ou l'intégrité membranaire d'où une corrélation négative entre eux, La variation des taux d'électrolytes sous différents stress, apporte une information complémentaire sur le comportement des variétés vis-à-vis ces contraintes (Bentahar, 2017).

3.3- Taux d'Anthocyanine dans les feuilles de haricot en %

Les résultats relatifs du taux d'anthocyanine des feuilles de haricot sont présentés dans les figures suivantes.

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré ($p < 0.001$).

Stade 1 :

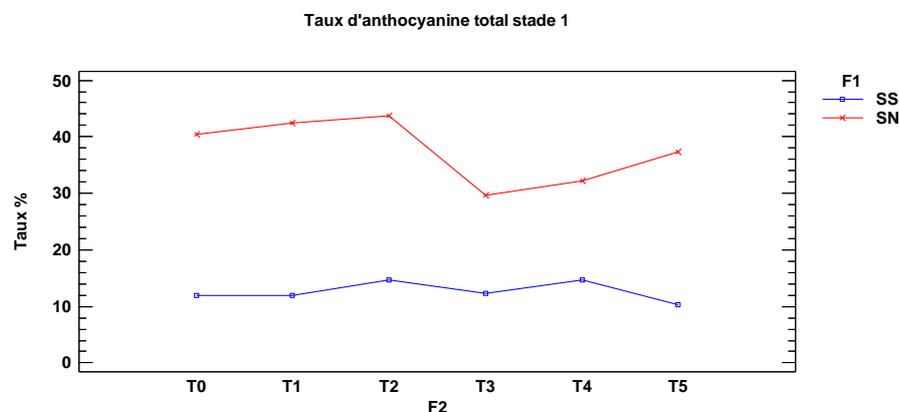


Figure n°37 : Taux d'anthocyanine total stade 1 chez les plantes de haricot (%) (Graphique).

Les résultats de la figure montrent que le taux d'anthocyanine chez les plantes non stressées est nettement plus élevé par rapport aux plantes qui ont subi un stress salin, ceci en raison de l'effet salinité qui a inhibé la production d'anthocyanine chez le haricot.

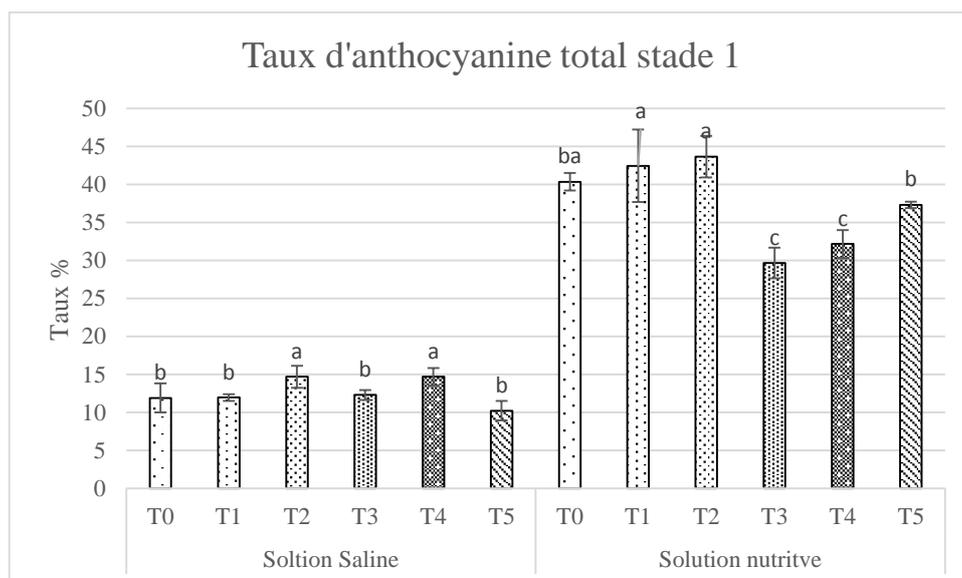


Figure n° 38: Taux d’anthocyanine total stade 1 chez les plantes de haricot (%).

Les traitements T2 et T4 de la série solutions salines qui appartiennent aux même groupe homogène (a) présentent un taux d’anthocyanine élevé (15%) par rapport aux autres traitements testés dont le taux d’anthocyanine se révèle être faible (10-15 %). Ces résultats sont comparés au témoin dont le taux d’anthocyanine trouvé est de (12%).

Les traitements T1 et T2 de la série solutions nutritives présentent un taux d’anthocyanine plus élevé (42-45%) comparativement aux autres traitements de la série solutions nutritives qui appartiennent à différents groupes homogènes et au témoin qui est de (40%).

Stade 2 :

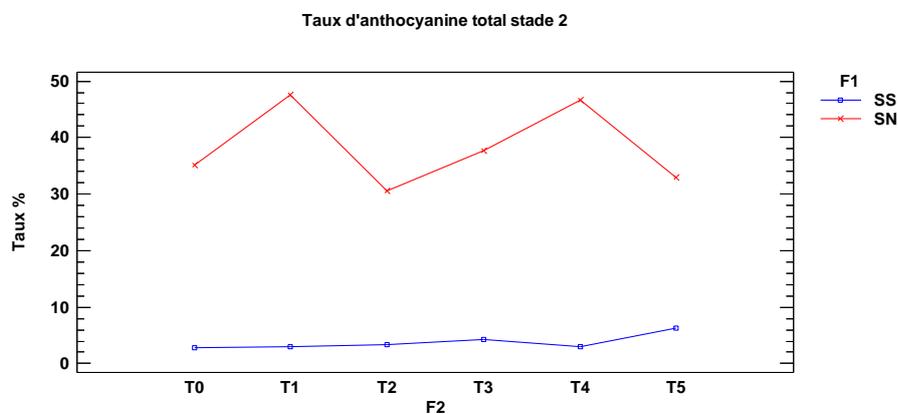


Figure n° 39: Taux d’anthocyanine total stade 2 chez les plantes de haricot (%) (Graphique).

On remarque toujours que le taux d'anthocyanine issu de sériesolutions salines est plus faible par rapport à celui issu de la solution nutritive qui est beaucoup plus élevé.

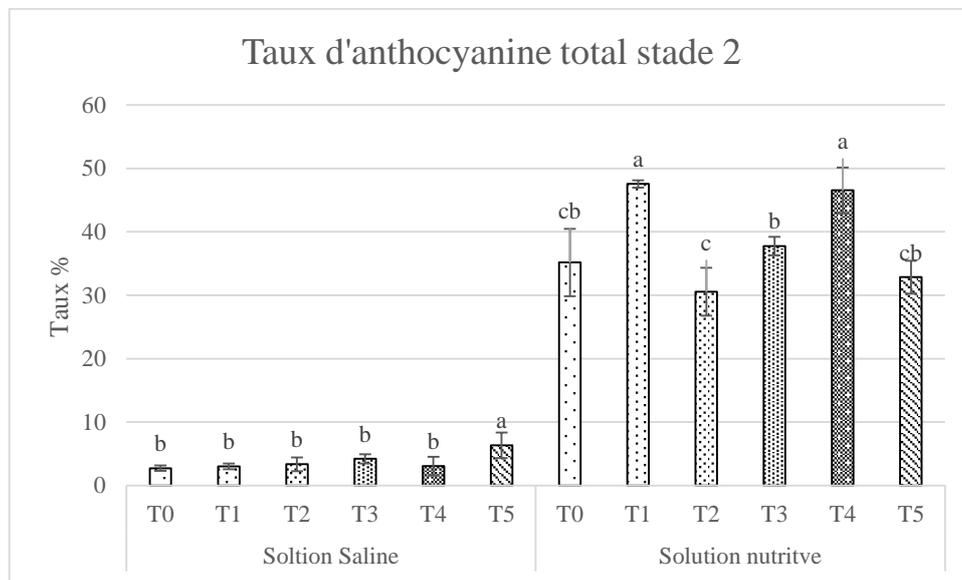


Figure n° 40: Taux d'anthocyanine total stade 2 chez les plantes de haricot (%).

La méthode de LSD (95.0%), classe les traitements testés en deux groupes homogènes (a) et (b) pour la sériesolution saline.

A ce stade le traitement T5 révèle un taux d'anthocyanine de (8%) dépassant les autres traitements avoisinant les (2-5 %) et le témoin (2%).

On constate que la méthode de LSD (95.0 %), classe les traitements testés en quatre groupes homogènes (a), (b), (cb) et (c) respectivement pour la sériesolution nutritive.

Les traitements T4 et T1 qui appartiennent au groupe homogène (a) présentent un taux d'anthocyanine élevé (45%) par rapport au T3 qui est dans le groupe homogène (b) et qui est de (39%) suivi par T5 et T0 qui sont dans le même groupe homogène (cb) avec un taux de (35%) suivi par le T2, avec un taux d'anthocyanine de 30%.

Stade 3 :

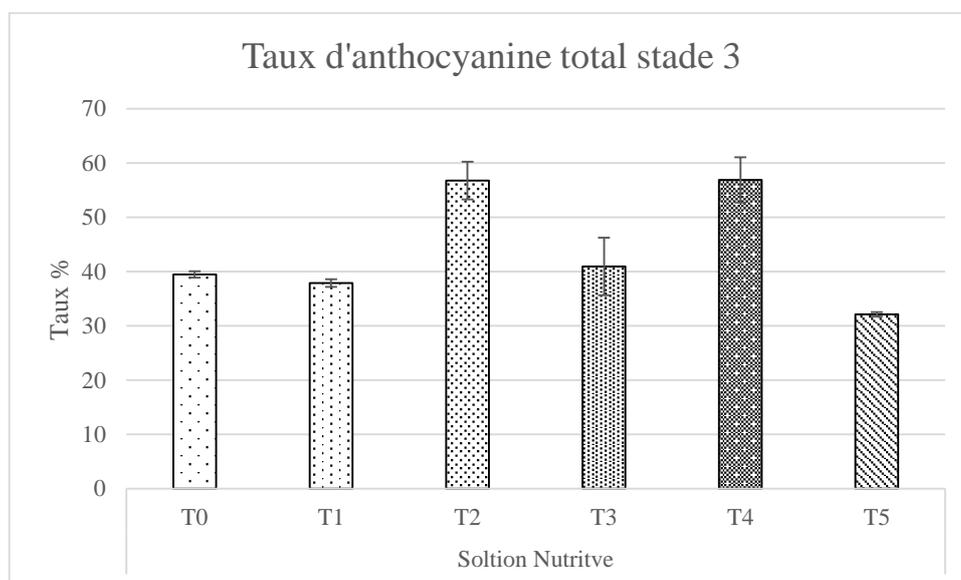


Figure n°41 : Taux d'anthocyanine total stade 3 de la solution nutritive chez les plantes de haricot (%).

Selon la méthode de LSD (95.0%) les traitements testés sont classés en trois groupes homogènes (a), (b) et (c) pour la solution nutritive.

La valeur maximale du taux d'anthocyanine est enregistrée aux niveaux des deux traitements T2 et T4 (56%) suivi par les traitements T0, T1, T3 (40%) et enfin la valeur minimale est enregistrée au niveau du traitement T5 avec (31%).

On peut en déduire que les anthocyanines présents dans les plantes agissent comme des accepteurs de radicaux libres et les protègent des stress oxydatifs. De plus, l'amorçage avec l'acide salicylique et l'acide ascorbique induit une diminution des effets de stress abiotiques et biotiques.

L'acide salicylique et l'acide ascorbique jouent un rôle important dans la croissance et le développement des plantes. Selon les résultats obtenus, on peut conclure que l'amorçage des semences à l'aide de l'acide salicylique et l'acide ascorbique a des effets positifs sur les chlorophylles, les caroténoïdes et la teneur en anthocyanes. Des travaux similaires ont été trouvés par (Farshad et Rogaieh, 2014) sur *Matricaria aurea* L. en période de sécheresse.

Cela met en évidence l'intérêt et l'effet positif du priming sur les graines du haricot, mais aussi il est à noter que l'effet de l'amorçage dépend ainsi des solutions d'irrigations et la

concentration de la solution saline qui a montré des résultats faibles par rapport à la solution nutritive. Ceci probablement en raison du bon développement physiologique des plants de haricots dans le milieu favorable qu'est la solution nutritive équilibré en macro et micro éléments indispensable à la croissance et au développement des plants.

Conclusion

Conclusion

Notre travail de recherche a permis de conclure que le priming des semences pourrait représenter une méthode très efficace pour l'amélioration de la production végétale notamment chez (*Phaseolus vulgaris L*) et en particulier dans des conditions de stress salin.

Les paramètres biométriques, physiologiques et biochimiques mesurés en cours de l'expérience ont révélé que les techniques du priming des semences effectuées avaient un rôle prépondérant de ce dernier au point de vue croissance et développement des plantes de haricot cultivés en système hors sol.

Il a été constaté que la teneur relative en eau du témoin était toujours faible par rapport aux autres traitements en cours de cycle de développement des plantes. Aussi, il y a lieu de noter que les traitements T3 (CaCl₂) et T4 (ZnSO₄) étaient les plus chargées en eau.

Aussi, Il est constaté, que le priming n'a pas eu un effet visible sur les plantes en début de culture, en revanche, la production de proline a augmenté chez les plantes stressés, ceci en raison de l'adaptation des plantes en milieu salin, et qui montre bien que la production de proline est une réponse de défense essentielle pour maintenir la pression osmotique dans une cellule, ce qui est rapporté dans les cultivars tolérants et sensibles au sel chez de nombreuses plantes cultivées.

En ce qui concerne la mesure des paramètres biométriques, il y a lieu de noter que la hauteur finale des plantes du haricot cultivées en milieu salin était plus faible par rapport aux plantes non stressés, se traduisant ainsi par une réduction de la hauteur des plantes du à l'effet néfaste du sel sur la croissance des plantes de haricot. Aussi, il est important de noter que les plantes issues du milieu nutritif enrichi de ZnSO₄ manifestent la croissance et le développement les plus perturbés et donc les plus faibles.

Annexe

Annexe 1 : les paramètres biométriques

Série solution nutritive

Tableau1 : Analyse de variance pour la longueur finale des racines par Traitements

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	18,7593	5	3,75185		1,61	0,2069
Intra-groupes	41,8333	18	2,32407			
Total (Corr.)	60,5926	23		8,16085%		

Tableau1.1 : Tests des étendues multiples de la longueur finales des racines par Traitements

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T3	4	19,0	b
T2	4	19,25	b
T0	4	19,5	ba
T4	4	19,6667	ba
T5	4	20,25	ba
T1	4	21,6667	a

Tableau 2 : Analyse de variance pour le poids final des racines par Traitements

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	1273,09	5	254,618		5,06	0,0045
Intra-groupes	905,128	18	50,2849			
Total (Corr.)	2178,22	23		22,2945%		

Tableau 2.1 : Tests des étendues multiples du poids final des racines par Traitements

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T2	4	31,2467	b
T4	4	40,09	ba
T0	4	40,2675	ba
T3	4	47,87	ba
T5	4	49,205	ba
T1	4	53,2233	a

Tableau 3 : Analyse de variance de la hauteur finale des plants par Traitements

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	366,923	5	73,3847		5,13	0,0042
Intra-groupes	257,333	18	14,2963			
Total (Corr.)	624,257	23		13,6501%		

Tableau 3.1 : Tests des étendues multiples de la hauteur finale des plants par traitements

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T4	4	32,3325	b
T1	4	34,0	b
T2	4	37,3333	ba
T0	4	41,3333	a
T5	4	41,6675	a
T3	4	42,3325	a

Tableau 4 : Analyse de variance de la biomasse fraiche des tiges par Traitements

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	1247,77	5	249,554		12,07	0,0000
Intra-groupes	372,144	18	20,6747			
Total (Corr.)	1619,91	23		15,7142%		

Tableau : 4.1 Tests des étendues multiples pour biomasse fraiche des tiges par Traitements

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T4	4	14,95	c
T1	4	24,9867	b
T2	4	25,9633	b
T0	4	30,6275	ba
T3	4	34,36	a
T5	4	37,0033	a

Tableau : 5 Analyse de variance pour le diamètre des tiges par Traitements

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	5,13426	5	1,02685		1,23	0,3377
Intra-groupes	15,0833	18	0,837963			
Total (Corr.)	20,2176	23		12,9072%		

Tableau : 5.1 Tests des étendues multiples pour le diamètre des tiges par Traitements

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T4	4	6,5	a
T2	4	6,75	a
T5	4	7,5	a
T0	4	7,5	a
T3	4	7,66667	a
T1	4	7,66667	a

Tableau : 6 Analyse de variance pour le nombre de feuilles par Traitements

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	326,151	5	65,2302		10,73	0,0001
Intra-groupes	109,417	18	6,07871			
Total (Corr.)	435,567	23		18,5952%		

Tableau : 6.1 Tests des étendues multiples pour le nombre de feuilles par Traitements

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T4	4	16,3325	c
T2	4	22,6675	b
T0	4	22,75	ba
T1	4	24,3325	ba
T5	4	26,3325	ba
T3	4	28,0	a

Tableau : 7 Analyse de variance pour la biomasse fraiche des feuilles par Traitements

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	1690,11	5	338,022		12,56	0,0000
Intra-groupes	484,317	18	26,9065			
Total (Corr.)	2174,43	23		14,108%		

Tableau : 7.1 Tests des étendues multiples pour la biomasse fraiche des feuilles par Traitements

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T4	4	28,3933	c
T2	4	41,29	b
T0	4	46,8767	ba
T1	4	48,6	ba
T5	4	50,0933	a
T3	4	54,5167	a

Tableau : 8 Analyse de variance pour le nombre de fleurs par Traitements

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	615,559	5	123,112		10,95	0,0001
Intra-groupes	202,333	18	11,2407			
Total (Corr.)	817,892	23		25,4256%		

Tableau : 8.1 Tests des étendues multiples pour le nombre de fleurs par Traitements

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T2	4	12,0	b
T0	4	12,0	b
T1	4	13,6667	b
T4	4	16,3325	b
T3	4	21,5	a
T5	4	25,5	a

Tableau : 9 Analyse de variance pour le nombre de gousses par Traitements

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	1193,98	5	238,797		15,43	0,0000
Intra-groupes	278,5	18	15,4722			
Total (Corr.)	1472,48	23		16,9967%		

Tableau : 9.1 Tests des étendues multiples pour le nombre de gousses par Traitements

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T4	4	8,3325	d
T0	4	22,0	c
T3	4	23,6675	cb
T1	4	24,6675	cba
T2	4	28,5	ba
T5	4	30,0	a

Tableau : 10 Analyse de variance pour la biomasse fraîche des gousses par Traitements

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	1129,76	5	225,952		4,58	0,0072
Intra-groupes	888,464	18	49,3591			
Total (Corr.)	2018,22	23		22,7549%		

Tableau : 10.1 Tests des étendues multiples pour biomasse fraîche des gousses par Traitements

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T4	4	16,775	b
T5	4	27,7675	a
T3	4	30,2925	a
T2	4	32,2375	a
T0	4	35,895	a
T1	4	37,9275	a

Tableau : 11 Analyse de variance pour la biomasse sèche des tiges par Traitements

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	17,0921	5	3,41843		2,24	0,0943
Intra-groupes	27,4267	18	1,52371			
Total (Corr.)	44,5188	23		11,6686%		

Tableau : 11.1 Tests des étendues multiples pour la biomasse sèche des tiges par Traitements

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T4	4	2,7	b
T1	4	3,7225	ba
T2	4	4,09	ba
T3	4	4,7275	a
T0	4	4,9225	a
T5	4	5,19333	a

Tableau : 12 Analyse de variance pour la biomasse sèche des racines par Traitements

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	26,5599	5	5,31198		3,79	0,0160
Intra-groupes	25,1972	18	1,39984			
Total (Corr.)	51,7571	23		23,7264%		

Tableau : 12.1 Tests des étendues multiples pour la biomasse sèche des racines par Traitements

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T2	4	3,35	b
T4	4	3,56333	b
T1	4	4,79	ba
T0	4	5,09	ba
T3	4	5,46333	a
T5	4	6,3775	a

Tableau : 13 Analyse de variance pour la matière sèche des feuilles par Traitements

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	52,1846	5	10,4369		10,75	0,0001
Intra-groupes	17,4738	18	0,970767			
Total (Corr.)	69,6584	23		26,1584%		

Tableau : 13.1 Tests des étendues multiples pour la matière sèche des feuilles par Traitements

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T4	4	3,8275	c
T2	4	5,78	b
T0	4	6,85333	ba
T5	4	7,48	a
T1	4	7,91667	a
T3	4	8,06	a

Tableau : 14 Analyse de variance pour la matière sèche des gousses par Traitements

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	11,8239	5	2,36477		11,67	0,0000
Intra-groupes	3,64827	18	0,202681			
Total (Corr.)	15,4721	23		15,2447%		

Tableau : 14.1 Tests des étendues multiples pour la matière sèche des gousses par Traitements

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T4	4	0,811667	c
T2	4	2,11	b
T5	4	2,4725	ba
T3	4	2,645	ba
T0	4	2,735	ba
T1	4	2,9075	a

Série solution saline

Tableau : 15 Analyse de variance pour la longueur finale des racines par Traitements

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	76,9167	5	15,3833		6,47	0,0003
Intra-groupes	71,3333	30	2,37778			
Total (Corr.)	148,25	35		11,5407%		

Tableau : 15.1 Tests des étendues multiples pour la longueur finale des racines par Traitements

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T5	6	15,8333	a
T0	6	16,75	a
T4	6	16,75	a
T3	6	18,6667	a
T1	6	19,1667	a
T2	6	19,8333	a

Tableau : 16 Analyse de variance pour le poids final des racines par Traitements

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	23,509	5	4,70181		8,51	0,0000
Intra-groupes	16,572	30	0,552401			
Total (Corr.)	40,0811	35		13,8732%		

Tableau : 16.1 Tests des étendues multiples pour le poids final des racines par Traitements

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T4	6	6,115	c
T0	6	7,55	b
T3	6	7,83167	b
T1	6	7,965	ba
T5	6	8,03	ba
T2	6	8,79	a

Tableau : 17 Analyse de variance pour la hauteur finale des plants par Traitements

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	46,4379	5	9,28758		4,95	0,0020
Intra-groupes	56,2342	30	1,87447			
Total (Corr.)	102,672	35		11,4509%		

Tableau : 17.1 Tests des étendues multiples pour la hauteur finale des plants par Traitements

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T4	6	13,0	c
T3	6	14,4	cb
T5	6	14,6683	b
T0	6	15,175	ba
T1	6	16,0	ba
T2	6	16,5	a

Tableau : 18 Analyse de variance pour la biomasse fraiche des tiges par Traitements

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	2,7724	5	0,55448		22,70	0,0000
Intra-groupes	0,73275	30	0,024425			
Total (Corr.)	3,50515	35		17,0906%		

Tableau : 18.1 Tests des étendues multiples pour la biomasse fraiche des tiges par Traitements

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T4	6	1,545	b
T3	6	1,67333	ba
T0	6	1,755	ba
T1	6	1,85333	ba
T5	6	1,86	a
T2	6	2,42333	a

Tableau : 19 Analyse de variance pour le diamètre des tiges par Traitements

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	0,0513889	5	0,0102778		1,71	0,1621
Intra-groupes	0,18	30	0,006			
Total (Corr.)	0,231389	35		37,0521%		

Tableau : 19.1 Tests des étendues multiples pour le diamètre des tiges par Traitements

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T4	6	0,15	b
T2	6	0,2	ba
T5	6	0,216667	ba
T3	6	0,233333	ba
T1	6	0,25	a
T0	6	0,266667	a

Tableau : 20 Analyse de variance pour le nombre de feuilles par Traitements

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	0,472222	5	0,0944444		0,14	0,9807
Intra-groupes	19,8333	30	0,661111			
Total (Corr.)	20,3056	35		21,591%		

Tableau : 20.1 Tests des étendues multiples pour le nombre de feuilles par Traitements

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T3	6	3,33333	a
T2	6	3,5	a
T0	6	3,5	a
T1	6	3,5	a
T5	6	3,66667	a
T4	6	3,66667	a

Tableau : 21 Analyse de variance pour la biomasse fraiche des feuilles par Traitements

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	11,0605	5	2,21209		12,46	0,0000
Intra-groupes	5,32796	30	0,177599			
Total (Corr.)	16,3884	35		20,9166%		

Tableau : 21.1 Tests des étendues multiples pour la biomasse fraiche des feuilles par Traitements

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T4	6	2,28	c
T0	6	2,8275	b
T3	6	3,42333	a
T2	6	3,48667	a
T1	6	3,698	a
T5	6	3,91333	a

Tableau : 22 Analyse de variance pour la biomasse sèche des tiges par Traitements

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	0,0227735	5	0,00455469		8,30	0,0001
Intra-groupes	0,0164592	30	0,000548639			
Total (Corr.)	0,0392326	35		16,2504%		

Tableau : 22.1 Tests des étendues multiples pour la biomasse sèche des tiges par Traitements

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T4	6	0,175	c
T3	6	0,193333	cb
T1	6	0,1975	cb
T0	6	0,206667	b
T5	6	0,206667	b
T2	6	0,257	a

Tableau : 22 Analyse de variance pour la biomasse sèche des racines par Traitements

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	0,103122	5	0,0206244		5,46	0,0011
Intra-groupes	0,113267	30	0,00377556			
Total (Corr.)	0,216389	35		15,2267%		

Tableau : 22.1 Tests des étendues multiples pour la biomasse sèche des racines par Traitements

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T4	6	0,425	c
T0	6	0,473333	cb
T3	6	0,5225	ba
T1	6	0,54	ba
T2	6	0,5475	a
T5	6	0,59	a

Tableau : 23 Analyse de variance pour la biomasse sèche des feuilles par Traitements

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	0,0535835	5	0,0107167		4,57	0,0032
Intra-groupes	0,0703617	30	0,00234539			
Total (Corr.)	0,123945	35		16,8408%		

Tableau : 23.1 Tests des étendues multiples pour la biomasse sèche des feuilles par Traitements

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T4	6	0,3	c
T0	6	0,3125	cb
T2	6	0,345	cba
T1	6	0,366	cba
T3	6	0,39	ba
T5	6	0,406667	a

Annexe 2 : les paramètres physiologiques.

Tableau : 1 Analyse de variance pour Anthocyanine Stade 1 série solution saline - Somme des carrés de type III

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>cv</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
EFFETS PRINCIPAUX						
A:F2	261,114	5	52,2228		12,93	0,0000
B:F1	5614,44	1	5614,44		1390,43	0,0000
INTERACTIONS						
AB	264,768	5	52,9536		13,11	0,0000
RESIDU	96,9098	24	4,03791			
TOTAL (CORRIGE)	6237,24	35		15.23		

Tableau : 1.1 Test des étendus multiples pour Anthocyanine Stade 1

Méthode: 95,0 % LSD

<i>F2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne MC</i>	<i>Ecart-type MC</i>	<i>Groupe homogène</i>
T3	6	20,9913	0,820356	e
T4	6	23,4411	0,820356	d
T5	6	23,7773	0,820356	dc
T0	6	26,131	0,820356	cb
T1	6	27,2118	0,820356	ba
T2	6	29,1763	0,820356	a

Tableau : 2 Analyse de variance pour Anthocyanine Stade 2 - Somme des carrés de type

III

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>cv</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
EFFETS PRINCIPAUX						
A:F2	332,307	5	66,4613		10,98	0,0000
B:F1	10780,2	1	10780,2		1780,35	0,0000
INTERACTIONS						
AB	455,201	5	91,0403		15,04	0,0000
RESIDU	145,322	24	6,05509			
TOTAL (CORRIGE)	11713,0	35		18.83		

Tableau : 2.1 Tests des étendues multiples pour Anthocyanine Stade 2 par F2

Méthode: 95,0 % LSD

<i>F2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne MC</i>	<i>Ecart-type MC</i>	<i>Groupe homogène</i>
T2	6	16,9564	1,00458	c
T0	6	18,9498	1,00458	cb
T5	6	19,5983	1,00458	cb
T3	6	20,9913	1,00458	b
T4	6	24,8101	1,00458	a
T1	6	25,2904	1,00458	a

Tableau: 3 Analyse de variance pour Anthocyanine Stade 3 par F2

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>cv</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	1613,62	5	322,723		33,03	0,0000
Intra-groupes	117,258	12	9,77152			
Total (Corr.)	1730,88	17		22.91		

Tableau : 3.1 Tests des étendues multiples pour Anthocyanine Stade 3 par F2

Méthode: 95,0 % LSD

<i>F2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T5	3	32,1354	c
T1	3	37,8996	b
T0	3	39,4848	b
T3	3	40,9535	b
T2	3	56,7774	a
T4	3	56,9215	a

Tableau 4 : Analyse de variance de la teneur relative en eau stade 1 avec stress par Traitement

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	447,359	5	89,4719	11,1408%	8,65	0,0011
Intra-groupes	124,148	12	10,3456			
Total (Corr.)	571,507	17				

Tableau 4.1 : Tests des étendues multiples pour la teneur relative en eau stade 1 avec stress par Traitement

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitement</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T1	3	46,8314	c
T0	3	47,4699	c
T5	3	50,8667	cb
T3	3	51,3583	cb
T2	3	53,9102	b
T4	3	61,826	a

Tableau 5 : Analyse de variance pour la teneur relative en eau stade 1 sans stress par Traitement

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	147,68	5	29,5361	7,72672%	5,16	0,0093
Intra-groupes	68,6994	12	5,72495			
Total (Corr.)	216,38	17				

Tableau 5.1 : Tests des étendues multiples pour la teneur relative en eau stade 1 sans stress par Traitement

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitement</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T0	3	41,0126	c
T4	3	45,1356	cb
T2	3	45,5184	ba
T3	3	46,5842	ba
T5	3	49,098	ba
T1	3	49,6897	a

Tableau 6: Analyse de variance pour la teneur relative en eau stade 2 avec stress par Traitement

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	464,483	5	92,8966	9,22048%	16,16	0,0001
Intra-groupes	68,9814	12	5,74845			
Total (Corr.)	533,464	17				

Tableau 6.1 : Tests des étendues multiples pour la teneur relative en eau stade 2 avec stress par Traitement

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitement</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T0	3	54,8843	d
T5	3	57,2617	dc
T4	3	59,09	dc
T1	3	59,1527	c
T2	3	63,6677	b
T3	3	70,4676	a

Tableau 7 : Analyse de variance pour la teneur relative en eau stade 2 sans stress par Traitement

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	559,168	5	111,834	11,7502%	29,97	0,0000
Intra-groupes	44,7833	12	3,73194			
Total (Corr.)	603,951	17				

Tableau 7.1 : Tests des étendues multiples pour la teneur relative en eau stade 2 sans stress

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitement</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T0	3	40,9398	c
T3	3	49,4031	b
T1	3	50,3557	b
T2	3	51,2954	b
T4	3	52,3801	b
T5	3	59,9819	a

Tableau 8: Analyse de variance pour la teneur relative en eau stade 3 sans stress par Traitement

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	435,126	5	87,0252	8,70286%	11,77	0,0003
Intra-groupes	88,7022	12	7,39185			
Total (Corr.)	523,828	17				

Tableau 8.1 : Tests des étendues multiples pour la teneur relative en eau stade 3 sans stress par Traitement

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitement</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T0	3	56,4391	c
T2	3	61,1845	cb
T1	3	61,6941	b
T5	3	65,3784	b
T4	3	65,6136	b
T3	3	72,3909	a

Annexe 3 : les paramètres biochimiques

Stade 1 avec stress

Tableau 1 : Analyse de variance de la quantité de chlorophylle a Stade 1 par Traitements

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	0,0096722	5	0,00193444		12,41	0,0002
Intra-groupes	0,00187035	12	0,000155862			

Total (Corr.)	0,0115426	17		20,2009%		
------------------	-----------	----	--	----------	--	--

Tableau 1.1 : Tests des étendues multiples de la chlorophylle a Stade 1 par Traitements

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T1	3	0,0181855	b
T0	3	0,0280573	b
T2	3	0,0310945	b
T4	3	0,035647	b
T3	3	0,039554	b
T5	3	0,0900825	a

Tableau 2: Analyse de variance de la quantité de chlorophylle b Stade 1 par Traitements

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	0,0321463	5	0,00642925		25,28	0,0000
Intra-groupes	0,00305231	12	0,000254359			
Total (Corr.)	0,0351986	17		24,951%		

Tableau 2.1: Tests des étendues multiples de la chlorophylle b Stade 1 par Traitements

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T3	3	0,0146713	b
T5	3	0,014839	b
T1	3	0,038287	b
T0	3	0,038446	b
T2	3	0,038914	b
T4	3	0,138772	a

Tableau 3: Analyse de variance de la quantité de chlorophylle a Stade 2 par Traitements

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	0,00421498	5	0,000842997		4,45	0,0159
Intra-groupes	0,00227477	12	0,000189564			
Total (Corr.)	0,00648976	17		16,5574%		

Tableau 3.1: Tests des étendues multiples de la chlorophylle a Stade 2 par Traitements

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T0	3	0,0396547	c
T4	3	0,057376	cb
T5	3	0,0646283	b
T3	3	0,065397	b
T2	3	0,071385	ba
T1	3	0,090759	a

Tableau 4: Analyse de variance de la quantité de chlorophylle b Stade 2 par Traitements

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>cv</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	0,00212547	5	0,000425094		1,78	0,1913
Intra-groupes	0,00286452	12	0,00023871			
Total (Corr.)	0,00498999	17		15,9358%		

Tableau 4.1: Tests des étendues multiples de la chlorophylle b Stade 2 par Traitements

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T3	3	0,035154	b
T4	3	0,046888	ba
T0	3	0,04871	ba
T2	3	0,050825	ba
T5	3	0,058263	ba
T1	3	0,070642	a

Stade 1 sans stress**Tableau 5: Analyse de variance de la quantité de chlorophylle a Stade 1 par Traitements**

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	0,16581	5	0,033162		6,32	0,0043
Intra-groupes	0,0629368	12	0,00524473			
Total (Corr.)	0,228747	17		8,47409%		

Tableau 5.1: Tests des étendues multiples de la chlorophylle a Stade 1 par Traitements

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T4	3	1,26466	c
T1	3	1,27127	c
T5	3	1,34197	cb
T0	3	1,3618	cb
T3	3	1,43051	ba
T2	3	1,54297	a

Tableau 6: Analyse de variance de la quantité de chlorophylle b Stade 1 par Traitements

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	0,0385013	5	0,00770026		10,29	0,0005
Intra-groupes	0,00898007	12	0,000748339			
Total (Corr.)	0,0474814	17		9,84375%		

Tableau 6.1: Tests des étendues multiples de la chlorophylle b Stade 1 par Traitements

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T1	3	0,505822	b
T0	3	0,50848	b
T5	3	0,511833	b
T4	3	0,518417	b
T3	3	0,539406	b
T2	3	0,637319	a

Tableau 7: Analyse de variance de la quantité de chlorophylle a Stade 2 par Traitements

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	0,430009	5	0,0860018		10,43	0,0005
Intra-groupes	0,0989174	12	0,00824312			
Total (Corr.)	0,528927	17		10,4578%		

Tableau 7.1: Tests des étendues multiples de la chlorophylle a Stade 2 par Traitements

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T0	3	1,46814	d
T2	3	1,55506	dc
T3	3	1,64121	c
T4	3	1,70032	cb
T5	3	1,83878	ba
T1	3	1,91661	a

Tableau 8: Analyse de variance de la quantité de chlorophylle b Stade 2 par Traitements

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	0,117964	5	0,0235929		4,16	0,0201
Intra-groupes	0,0681177	12	0,00567648			
Total (Corr.)	0,186082	17		14,0372%		

Tableau 8.1: Tests des étendues multiples de la chlorophylle b Stade 2 par Traitements

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T0	3	0,620569	c
T2	3	0,661731	cb
T4	3	0,747218	cba
T1	3	0,780991	ba
T3	3	0,80945	a
T5	3	0,85201	a

Stade final sans stress

Tableau 9: Analyse de variance de la quantité de chlorophylle a Stade final par Traitements

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	1,02542	5	0,205084		28,42	0,0000
Intra-groupes	0,0866025	12	0,00721688			
Total (Corr.)	1,11202	17		14,9409%		

Tableau 9.1: Tests des étendues multiples de la chlorophylle a Stade final par Traitements

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T1	3	1,43842	c
T3	3	1,56522	cb
T0	3	1,5848	cb
T5	3	1,6026	b
T4	3	2,00672	a
T2	3	2,07313	a

Tableau 10: Analyse de variance de la quantité de chlorophylle b Stade final par Traitements

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	0,812903	5	0,162581		24,60	0,0000
Intra-groupes	0,0793223	12	0,00661019			
Total (Corr.)	0,892226	17		27,197%		

Tableau 10.1: Tests des étendues multiples de la chlorophylle b Stade final par Traitements

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T1	3	0,605503	d
T5	3	0,696543	dc
T4	3	0,738299	dc
T0	3	0,765509	c
T2	3	1,029	b
T3	3	1,21924	a

Stade 1 sans stress

Tableau 11: Analyse de variance de la quantité de proline Stade 1 par Traitements

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	0,0957711	5	0,0191542	17,1696%	73,02	0,0000
Intra-groupes	0,00314785	12	0,0002623			
Total (Corr.)	0,098919	17				

Tableau 11.1: Tests des étendues multiples de la proline Stade1 par Traitements

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T4	3	0,0562133	c
T2	3	0,0568333	c
T1	3	0,0673733	c
T3	3	0,06975	c
T0	3	0,12555	b
T5	3	0,2604	a

Stade 1 avec stress

Tableau 12: Analyse de variance de la quantité de proline Stade 1 par Traitements

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	CV	F	Probabilité
Inter-groupes	0,00765832	5	0,00153166	15,3952	35,80	0,0000
Intra-groupes	0,00051343	12	0,0000427859			
Total (Corr.)	0,00817175	17				

Tableau 12.1: Tests des étendues multiples de la proline Stade1 par Traitements

Méthode: 95,0 % LSD

Traitements	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
T4	3	0,02728	c
T5	3	0,02852	c
T3	3	0,02914	c
T0	3	0,04371	b
T2	3	0,04495	b
T1	3	0,0865933	a

Stade 2 sans stress

Tableau 13: Analyse de variance de la quantité de proline Stade 2 par Traitements

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	CV	F	Probabilité
Inter-groupes	0,0106048	5	0,00212097	16,129%	37,90	0,0000
Intra-groupes	0,000671547	12	0,0000559622			
Total (Corr.)	0,0112764	17				

Tableau 13.1: Tests des étendues multiples de la proline Stade 2 par Traitements

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T4	3	0,03038	c
T3	3	0,03348	c
T1	3	0,0341	c
T5	3	0,04185	c
T2	3	0,07099	b
T0	3	0,0961	a

Stade 2 avec stress**Tableau 14: Analyse de variance de la quantité de proline Stade 2 par Traitements**

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	0,0192313	5	0,00384626	22,67%	40,12	0,0000
Intra-groupes	0,00115032	12	0,000095859			
Total (Corr.)	0,0203816	17				

Tableau 14.1: Tests des étendues multiples de la proline Stade 2 par Traitements

Méthode: 95,0 % LSD

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T2	3	0,0419533	da
T3	3	0,05642	dc
T5	3	0,0584867	dcb
T1	3	0,0622067	cb
T4	3	0,07409	b
T0	3	0,1426	a

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. **ABAWI, G.S., PASTOR CORRALES, M.A.,1990.** "Root rots of beans in Latin America and Africa: diagnosis, research methodologies and management strategies". CIAT, C27ali, Colombia 114p.
2. **ABDELLY C., 2006.** Caractérisation des halophytes pour le dessalement des sols salins et le traitement des eaux salines. Rapport d'activités 2007. Centre de biotechnologie à la techno pole de Borj-Cedria, Tunisie, pp.28-31.
3. **ABEBE A.T., MODI A.T., 2009.** Hydro-priming of seed in dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Res. J. Seed Sci., 2(2):23-31.
4. **ADAMS N.W.; COYNE D.P.; DAVIS J.H.C.; GRAHAIVI P.M. and FRANCIS C.A., 1985:** Common bean (*Phaseolus vulgaris* . L) Insummerfield, grain legume crop, collins, London. 433-476 PP.
5. **AGASTIAN P.; KINGSLEY S.J.; VIVEKANANDAN M., 2000-**Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes. *Photosynthetica* 38, 287–290.
6. **AIT HOUSSA A., 2005-**Fertigation de la tomate hors sol dans la région de Douiet (Maroc).Ecole nationale d'agriculture de Meknes, domaine agricole de Douiet. pp1-15.
7. **ALAIN V., 2003 :** Fondements & principes du hors-sol : Doc V 3.1 HRS 12 Ind. 10P.
8. **Albouchi A., Bejaoui Z., etHedi El Aouni M., 2003 –** Influence d'un stress hydrique modéré sévère sur la croissance de jeunes plants de *Casuarinaglauca* Sieb. Edit. Science et changements planétaires. Sécheresse. Vol. 14, (3), pp137-142.
9. **ALEM C.etAMRI A., 2005-** Importance de la stabilité des membranes cellulaires dans la tolérance à la salinité chez l'orge. *Reviews in Biology and Biotechnology*, Vol. 4, N°1. Pp: 20-31.
10. **ALLEN R., 1995-** Dissection of oxidative stress tolerance using transgenic plants. *Plant Physiol.* 107: 1049 - 1054.
11. **AMTMANN A et SANDERS D., 1999 -** Mechanisms of Na⁺ uptake by plant cells. *Advances Botanical Research Incorporating Advances in Plant Pathology.* 29: 75-112.
12. **ANDREA, 1983-** Guide pratique pour les cultures légumières-, Cluj et Napoca pp : 55-58.

13. **ANONYME, 2006.** Institut techniques de grande culture. « ITGC »Guide des Principales variétés de céréales à paille en Algérie, pp.121-129.
14. **ANONYME, 2012 :**Hydroponicsmanual, Abu Dhabi Farmers' Services Centre. TechnicalDevelopment Section, Protected Agriculture Unit. 55P.
15. **ANONYME, 2014 :** L'agriculture hors sol. Pour une agriculture saine, rentable et respectueuse de l'environnement. Coco sol. 64P.
16. **ANONYME., 2006.**Extension de la salinisation et Stratégies de prévention et Réhabilitation. Conférence électronique sur la salinisation : Organisée et coordonnée par: IPTRID du 6 février au 6 Mars 2006, p20.
17. **ANTIPOLIS., 2003-** Les cahiers du plan bleu 2. Les menaces sur les sols dans les pays méditerranéens. Etude bibliographique. 71p.
18. **ASHRAF M., FOOLAD M. R., 2005.** Pre-sowing seed treatment– a shotgun approach to improve germination, plant growth, and crop yield under saline and non-saline conditions. Adv. Agron., 88: 223-227.
19. **ASHRAF M., FOOLAD M. R., 2007 -**Role of glycine betaine and protein in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and Experimental Botany. 59. pp 206-216.
20. **ASHRAF, M., 1997.** "Improvement of salt tolerance in some native pulse crops". In: Jaiwal, P.K., Singh, R.P., Gulati, A., eds. "Strategies for improvement of salt tolerance in higher plants". New Delhi, India: Oxford and IBH Publishing .Co. Pvt. Ltd, 413-434.
21. **ASKRI H; REJEB S; JEBARI H; NAHDI H et REJEB M., 2007-** Effet du chlorure de sodium sur la germination des graines de trois variétés de pastèque (*Citrulluslanatus* L.) Science et changements planétaires / Sécheresse. Volume 18, N°1,51-5.
22. **ASLOUM H., 1990-** Elaboration d'un système de production maraîchère (Tomate, *Lycopersicumesculentum*L.) en culture hors sol pour les régions sahariennes. Utilisation de substrats sableux et d'eaux saumâtres. Thèse de doctorat, développement et amélioration des végétaux, Université de Nice Sophia -Antipolis: 24-32.
23. **Aspinall D., Paleg L.D., 1981.**Proline accumulation.Physiological aspects.In Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants.Eds. LD Paleg and D Aspinall.pp: 206–240. Academic Press, Sydney.

24. **AUBERT G., 1982** .les sols sodiques en Afrique du nord .Cahier O.R.S.T.O.M Service Pédologie, p 194.
25. **AUBERT G et BOULAINÉJ., 1980.** Pédologie. Ed. I.P.V de France.25-35.
26. **AYDIN A., TUSAN M., SeEZEN Y., 1997.**Effect of sodium salt on growth and nutrient uptake of spinach (*Spinaceaoleracea*) and bean (*Phaseolus vulgaris*). Available online from: <http://www.toprak.org.tr/isd/isd95.html>.
27. **BAILLY C., BENAMAR A., CORBINEAU F., COME D., 1997.** Changes in superoxide dismutase, catalase and glutathione reductase activities in sunflower sees during accelerated aging and subsequent priming. Dans Basic and Applied Aspects of Seed Biology, Ellis R.H., Black M., Murdoch A.J., Hong T.D. (eds) Kluwer Academic Publishers., Dordrecht, Boston, Londres, pp. 665-672.
28. **BAIZE D., 2004 :** Petit lexique de pédologie. INRA, Paris. 288p.
29. **BASRA S.M.A., AFZAL I., ANWAR S., ANWAR-UL-HAQ M., SHAFQ M., Majeed K., 2006.** Alleviation of salinity stress by seed invigoration techniques in wheat (*Triticumaestivum L.*), *Seed Technology.*, 28: 36-46.
30. **BASRA S.M.A., PANNU I.A., AFZAL I.,2003.** Evaluation of seedling vigor of hydro and matriprimed wheat (*Triticumaestivum L.*) seeds. *Int. J. Agric. Biol.*, 5(2): 121-123.
31. **BASRA S.M.A., ZIA. M.N., MEHEMOOD T., AFZAL I. and KHALIQ A., 2002** – comparaison of different invigoration techniques in wheat (*Triticumaestivum L.*) seeds. *Pakistan Journal of Arid Agriculture*, 5, 11-16.
32. **BAUDOIN J.P., 2001** .contribution des ressources phylogénétiques à la sélection variétale de légumineuses alimentaires tropicales. *Biotechnologyagronomy society Environment.* (4) :221-230.
33. **BAYARD P., 1991.** Etude de la germination des semences de six espèces herbacées en fonction du régime hydrique, DEA d'agrochimie, Université de Grenoble I, 28 p.
34. **BEKHOUCHE H., 1992**-Etude de la germination de quelques lignées de pois chiche soumis à la salinité, croissance, anatomie des racines. Thèse D.E.S. Biol. Université d'Oran. 68p.
35. **BELKHODJA M et BIDAI Y., 2004** - Réponse de la germination des graines d'*Atriplexhalimus L.* sous stress salin. *Revue Sécheresse*, N°4, vol.15 p 331-335.
36. **BELL D. T., 1999**- Australian trees for the rehabilitation of waterlogged and salinity-damaged landscapes. *Aust.J. Bot.* (47): 697-716.

- 37. BEN FREDJ M., ZHANI K., HANNACHI C., MEHWACHI T., 2013.** Effect of NaCl priming on seed germination of four coriander cultivars (*Coriandrum sativum*). *Eurasia J Biosci.*, 7: 21-29.
- 38. BENKHELIF M; ARBAOUI M et BELKHODJA M., 1999** -Effets combinés de la salinité et de la bentonite sur la densité racinaire d'une culture de tomate cultivée sur un substrat sableux. Séminaire National sur la Salinisation des terres Agricoles en Algérie, Chlef: 101- 108.
- 39. Bentahar S., 2017** .Efficiencie de l'utilisation de l'eau chez le blé dur :Etude des mécanismes physiologiques et moléculaires (Protéines Aquaporines) : Définition d'idéotype. Thèse de doctorat. Université des frères mentouri. Constantine.
- 40. BERTHOMIEU P; CONEJERO G; NUBLAT A; BRACKENBURY W. J; LABERT C; SAVIO C; UOZUMIN; OIKI S; YAMADA K; CELLIER F; GOSTI F; SIMONNEAU T; ESSAH P. A, TESTER M; VERY A.A; SENTENAC H et CASSE F., 2003** - Functional analysis of AtHKT1 in *Arabidopsis* shows that Na⁺ recirculation by the phloem is crucial for salt tolerance. *Embo Journal* 22: 2004-2014.
- 41. BESAPLAY D., 1984** : Les plantes cultivées en Afrique occidentale-Macou. Ed Mir.Moscou. 179p.
- 42. BEZPALY, I.,1984** "Les plantes cultivées en Afrique occidentale" .Ed. MIR. Moscou, 104.
- 43. BIDAI Y., 2001**-Le métabolisme de la proline chez l'*Atriplex halimus* L. stressée à la salinité. Mémoire de Magister en physiologie végétale, Université d'Oran, pp. 69-71.
- 44. BISMILLAH KHAN M., HUSSAIN M., RAZA A., FAROOQ S, JABRAN K., 2015.** Seed priming with CaCl₂ and ridge planting for improved drought resistance in maize. *Turk J Agric For.*, 39: 1405-1416.
- 45. BOGGESS S.F.; ASPINALL D. et PALEG L.G., 1976:** Stress metabolism. IX. The significance of endproduct inhibition of proline synthesis and of compartmentation in relation to stress-induced proline accumulation. *Aust.J.Plant Physiol.* (3) 513-52.
- 46. BOLEK Y., NAS M.N., ÇOKKIZGIN H.,2013.** Hydropriming and hot water-induced heat shock increase cotton seed germination and seedling emergence at low temperature. *Turk. J. Agric For.*, 37: 300-306.

47. **Bouaouina S., Zid E., et Hajji M., 2000.** Tolérance à la salinité, transports ioniques et fluorescence chlorophyllienne chez le blé dur (*Triticum turgidum* L.) .CIHEAM - Options Méditerranéennes. pp. 239-2.
48. **BOUCELHA L., DJEBBAR R., 2019.** Synthèse sur le Priming des Graines. Université des Science et de Technologie Houari Boumediene (USTHB). P6.
49. **BOUHADJ H, 2008 :** Amélioration et stimulation de la croissance végétative par le procédé fert-irrigation en arido- culture. Thèse de magistère INA (El-Harrach), ALGER. 40P.
50. **BOUTEYRE G.et LOYER Y., 2003** -Sols salés eaux saumâtre des régions arides tropicales et méditerranéennes in l'aridité, une contrainte au développement. ORSTOM,Paris, pp. 77-82.
51. **BRADFORD K.J., 1986.** Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. Hort Science., 21: 1105-1112.
52. **Bradford K.J., 1986.** Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions.Hort Science., 21: 1105-1112.
53. **BRAY C.M., DAVISON P.A., ASHRAF M., TAYLOR R.M., 1989.** Biochemical processes during the osmopriming of seeds. Department of Biochemistry and Molecular Biology, University of Manchester, Oxford Road, Annals of Botany., 63: 185-193.
54. **BROCHET P. et GERBIER N., 1978.** L'évapotranspiration. Aspect agrométéorologique.
55. **BRUCE T.J.A., MATTHES M.C., NAPIER J.A., PICKETT J.A.,2007.** Stressful "memories" of plants: evidence and possible mechanisms. Plant Science., 173: 603-608.
56. **Brungnoli E., Bjorkman O.,1992,** Growth of cotton under continuous salinity stress: Influence on allocation pattern, stomatal and non stomatal components of photosynthesis and dissipation of excess light energy, Planta 187, 335–347.
57. **CABURET et LETHEVE ; 2002 :** Agriculture spéciale. Les plantes à autre usage : les plantes médicinales, cosmétique, parfum, et a huiles. Montpellier : CIRAD, pp.1203-1222.
58. **CABUSLAY G.S. et ALEJAR A.A.,2002:** Physiological evaluation of responses of rice (*Oryza sativa* L.) to water deficit, Plant Sci. (163) 815–827.
59. **CALVET R., 2003-** Le sol, propriété et fonction, phénomènes physiques et chimiques.Tome 2. Ed. France. Agricole, 511 P.

60. **CHANG S.M., J.M. SUNG., 1998.** Deteriorative changes in primed sweet corn seeds during storage. *SeedSci. Technol.*, 26: 613-626.
61. **CHARTZOULAKI et KAPAKI., 2000-**Response of two green house pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages.*Sci. Hortic.* 86,247–260.
62. **CHAUX C., 1972 :** « Production légumière », Ed.J.B.Baillière, 424p.
63. **CHAUX C., et FOURY Y C., 1994 :** production légumière. Ed. JB. Baillière.414p.
64. **CheikhM’hamed H., Abdellaoui R., Kadri K., Ben naceur M. etBelhadj S., 2008.** Evaluation de la tolérance au stress salin de quelques accessions d’orge (*Hordiumvulgare L.*) cultivés en Tunisie. *Sciences &Technologie*, 28: 30-37.
65. **Chen C.T., Li C.C., Kao C.H., 1991.** Senescence of rice leaves. XXXI changes of chlorophyll, protein and polyamine contents and ethylene production during senescence of a chlorophylldeficient mutant. *Journal of Plant Growth Regulation*, 10: 201-205.
66. **CHEN J.C.F et TZEN, J.T.C., 2001 -** An in vitro System to Examine the Effective Phospholipids and Structural Domain for Protein Targeting to Seed Oil Bodies. *Plant and CellPhysiology* 42, 1245-1252.
67. **CHERBUY B., 1991-** Les sols salés et leur réhabilitation étude bibliographique. Cemagraf, école. Nat. Renne, 170p.
68. **CHOUARD P, 1952 :** Les cultures sans sol. Ed maison rustique. Paris 200P.
69. **CIAT., 1987 :** Morphologie de la plante du haricot commun (*Phaseolusvulgaris L.*); cahier d'etude servant de complement a l'unite audiotutorielle sur le meme sujet . Centro Internacionalde Agricultura Tropical. cali, colombie . 64 PP.
70. **CIAT., 1992.** "Constraints to and opportunities for improving bean production". A planning document 1993–98. An achievement document 1987–92, CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical), Cali, Colombia.
71. **COIC et LESAINTE C.,1975 :** Nutrition en eau et ions des cultures horticoles avancées. Conférence de Varsovie.1974.
72. **COICY.,1984 :** les cultures sans sol. *Rev.Sciences et vie.* Hors serie,N°146,pp68-75.
73. **COME D., FRANCOISE C., 2006.** Dictionnaire de la biologie des semences et des plantes, Edition tec et doc. Lavoisier .contribution à l’étude de quelques mécanismes d’adaptation a la salinité chez le tournesol cultivé (*Helianthusannus L.*) ,136: 29-34.

- 74. CONACHER A.J., SALA M., 1998**-Land degradation in Mediterranean environment of the world: Nature and extent, causes and solutions. New York – Wiley, p.491.
- 75. CORBINEAU F., OZBINGOL N., VINELAND D., COME D., 2000.** Improvement of tomato seed germination by osmopriming as related to energy metabolism. In Black M, Bradford KJ, Vasquez-Ramos J (Eds). Seed Biology Advances and Applications: Proceedings of the Sixth International Workshop on Seeds, Mérida, Mexico, 1999. New York, NY : CABI. 467-474.
- 76. COWE J.H.; HOEKSTRA F.A; CROWE L.M., 1992**-Anhydrobiosis. Ann. Rev. Physiol. 54, 579-599.
- 77. CRAMER G.R., 2002**- Sodium - calcium interactions under salinity stress. In: “Salinity. Environment-Plants-Molecules”. Eds. A. Läuchli and U. Lüttge. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 205-227.
- 78. DASTANNPOOR N., FAHIMI H., SHARIATI M., DAVAZDAHEMAMI S., MODARRES HASHEMI S.M., 2013.** Effects of hydropriming on seed germination and seedling growth in sage (*Salvia officinalis* L.). African Journal of Biotechnology., 12: 1223-1228.
- 79. DE CASTRO R.D., VAN LAMMEREN A.A.M., GROOT S.P.C., BINO R.J., HILHORST H.W.M., 2000.** Cell division and subsequent radicle protrusion in tomato seeds are inhibited by osmotic stress but DNA synthesis and formation of microtubular cytoskeleton are not. Plant Physiol., 122: 327-335.
- 80. DE CASTRO R.D., ZHENG X., BERGERVOET J.H.W., RIC DE VOS C.H., BINO R.J., 1995.** β -Tubulin accumulation and DNA replication in imbibing tomato seeds. Plant Physiol., 109: 499-504.
- 81. DEBEZ A; CHAIBI W et BOUZID S., 2001** -Effet du NaCl et de régulateurs de croissance sur la germination d'*Atriplex halimus* L. Agriculture. Vol. 10, n°2, pp. 8-135.
- 82. Delauney, A. J. et Verma, D. P. S. 1993.** Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. Plant J. 4: 215–223.
- 83. Demiral, T. and İ. Türkan. 2005.** Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance. Environ. Exp. Bot., 53: 247-257.

- 84. DEZFULI P.M., SHARIF-ZADEH F., JANMOHAMMADI M., 2008.** Influence of priming techniques on seed germination behavior of Maize inbred lines (*Zea mays* L.). *Journal of Agricultural and Biological Science.*, 3(3): 1990-6145.
- 85. DIAW N.F., 2002.** Utilisation des inoculum de rhizobium pour la culture du haricot (*Phaseolus vulgaris*) au Sénégal. Thèse doctorat. Université Cheikh Anta Diop, Dakar, 97 p.
- 86. DITA, M.A., RISPAIL, N., PRATS, E., RUBIALES, D., SINGH, K.B., 2006.** "Biotechnology approaches to overcome biotic and abiotic stress constraints in legumes". *Euphytica* 147, 1-24.
- 87. DOOREMBOS G., 1980-** réponse de rendement l'eau -Bull.F.A.O. Irri. Drai. N°33. 42, 111pp.
- 88. DORE, C., Varoquaux, F., 2006.-** "Histoires et amélioration de cinquante plantes cultivées", Ed INRA, Paris. 812p.
- 89. DOUAOUI A. et HARTANI T., 2008-** Impact de l'irrigation par les eaux souterraines sur la dégradation des sols de la plaine du Bas Chellif. *Scientificcommons*. Vol. 2, no3, p. 9.
- 90. Doudech N., Mhamdi M., Bettaieb T., Denden M., 2008.** Tolérance à la salinité d'une graminée à gazon. *Tropicultura*, 26. 3: 182-185.
- 91. Dubey R.S., Singh A.K., 1999-** Salinity induces accumulation of soluble sugars and alters the activity of sugar metabolising enzymes in rice plants, *Biol. Plant.* 42 1999 233–2
- 92. DUCHAUFOR P., MAURICE B ET BERNARDS S., 1979.** *Pédologie 2. Constituant et propriétés des sols* ; Ed. Masson ; Paris. 665p.
- 93. DUCROQ M., 1990.** Les bases de l'irrigation. *Techniques agricoles méditerranéennes*. Ed. Tec et Doc. Paris ; ESU. Liban. 470p.
- 94. DUSSERT S. ; CHABRILLANGE N. et ENGELMANN F., 2002 :** *Cryoconservation ; Biotechnologies végétale : Techniques de laboratoire : Europe média duplication S.A ; Edition TEC et DOC France.* 304p.
- 95. DUTUIT P., 1999-** étude de la diversité biologique de l'*Atriplex halimus* pour le repérage in vitro et in vivo d'individus résistants à des conditions extrêmes de milieu et constitution de clones. Univ. Paris –Sud. P138.
- 96. EL HOUSSINE Z, 2006 :** Complément de cours de physiologie végétale. 11P.

- 97. EL MIDAOUI M., Benbella M., Aït Houssa A., IBRIZ M., Talouizte A., 2007.**
Contribution à l'étude de quelques mécanismes d'adaptation à la salinité chez le tournesol cultivé (*Helianthus annuus* L.) Revue HTE 136. pp. 29.
- 98. EI-LKLIL Y., KARROU M., MRABET R., BENICHOU M., 2000-** Effet du stress salin sur la variation de ceratins et de métabolites chez *Lycopersicon esculentum* et *Lycopersicon sheshanense*. Faculté des sciences Semlalia. Univ. Cadi Ayyad Marrakech Maroc. 8p. *Environnements. Biol. Fertil. Soils* 25: 211-223.
- Munns R., 1983.** Halotolérance chez les eucaryotes. In *Physiological Plant Ecology*. III. Responses
- 99. ESMAEILI M.A, HEIDARZADE A., 2012.** Investigation of different osmopriming techniques on seed and seedling properties of rice (*Oryza sativa*) genotypes. *Int. Res. J. Appl. Basic Sci.*, 3(2): 242-246.
- 100. ESSADAOUI M, 2013 :** Industrie Agroalimentaire, Bulletin édité par l'Institut Marocain de l'Information scientifique et technique IMIST, N° 25. 34P.
Evaluation pratique de l'évapotranspiration potentielle. Monographie n°65 de la météorologie nationale. S.M.M. Climatologie. Paris. 95P.
- **F.A.O., 2002.** Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas. par Tanji, K. K., Kielen, N. C. Food and Agriculture Organisation. Italy, p204.
 - **F.A.O., 2005:** Global Network on Integrated Soil Management for Sustainable Use of Salt affected Soils. Rome, Italy: FAO Land and Plant Nutrition Management Service. 415p.
 - **F.A.O., 2004** Perspectives de l'alimentation n°2. une production mondiale, Département économique et social, 8p.
- 101. F.A.O. 2006 –** la production mondiale de haricots verts ,9p .
- 102. FABUNMI T.O., GBADAMOSI B. K., ADIGBOS.O., 2012.** Seed Hydro-Priming and Early Moisture Stress Impact on Biomass Production and Grain Yield of Cowpea. *J. Applied Science and Technology.*, 2(10): 112-122.
- 103. FARSHAD K. B., ROGAIEH H., 2014-** Effects of seed priming with salicylic acid and ascorbic acid on chlorophyll, carotenoids and anthocyanin content in *Matricaria aurea* L. under drought stress. *in European Journal of Experimental Biology* 4(3):595-599.
- 104. FEVEREAU J, 1976 :** Culture en containers, Revue horticole. N°14. Pp 68-75. o Haricot (*Phaseolus vulgaris*)-Rhizobium Performantes Pour La Fixation Symbiotique

De L'Azote Sous Déficit En Phosphore. Thèse doctorat ;Univ Marrakech, Maroc.163P.

- 105.FLOWERSI T.J.; TRKE P.F.and YEO A.R., 1977-The mechanism of salt tolerance in halophytes. Annual Review of Plant Physiology 28: 89-21.
- 106.FU J.R., LU X.H., CHEN R.Z., ZHANG B.Z., LIU Z.S., CAI D.Y., 1988. Osmoconditioning of peanut (*Arachis hypogaea* L.) seeds with PEG to improve vigour and some biochemical activities. SeedSci. Technol., 16: 197- 212.
- 107.GALLAIS A., BENNERORT H., 1992.Amélioration des espèces végétales cultivées. Objectifs et critères de la selection. INRA Editions, Versailles, 768 p.
- 108.GALLARDO K., JOB C., GROOT S.P.C., PUYPE M., DEMOL H., VANDEKERCKHOVE J., JOB D., 2001. Proteomic analysis of Arabidopsis seed germination and priming. Plant Physiol., 126: 835-848.
- 109.GAMA P.B.S., INANAGA S., TANAKA K., NAKAZAWA R., 2007- Physiological response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings to salinity stress. African Journal of Biotechnology Vol.6 (2), pp. 079-088.
- 110.GARREC J.P. et PEULON V., 1989 -Traitement, entretien et gestion des arbres en villes. Rev. For. Fr.XLI-n0 sp.
- 111.GELORMINI G., 1995. Optimisation des propriétés germinatives des graines de colza par initialisation: aspects méthodologiques et fondamentaux, Thèse nouveau doctorat, 171 p.
- 112.GENOUX C; PUTZOLA F; MAURIN G; 1991 - Thème général: la lagune méditerranéenne. T PE : les plantes halophytes.
- 113.GENTRY H.S., 1969.Origin of the common bean, *phaseolus vulgaris* L. Economic Botany.23P P55-69.
- 114.GEPTS P., DEBROUCK D., 1991. Origin, domestication, and evolution of the commun bean (*phaselus vulgaris*) .in: communbeans:research for crop improvement (vanschoonhovenA,voysestO.e ds). C.A.B.I., Wallingford, UKandCIAT ,cali, Colombia.pp.7-53
115. GHASSEMI-GOLEZANI K., CHADORDOOZ-JEDDI A., NASRULLAHZADEH S., MOGHADDAM M., 2010. Influence of hydro-priming duration on field performance of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. African Journal of Agricultural Researc., 5(9): 893-897.

116. **GHASSEMI-GOLEZANI K., HASSAN POUR-BOURKHEILI S., ABRIZ S.F., 2014.** Relationship of grain filling with grain yield of mung-bean affected by hydro-priming duration and water supply. *Int. J. Plt. An. Env. Sci.*, 4(3): 199- 203.
117. **GHASSEMI-GOLEZANI K., HOSSEINZADEH-MAHOOTCHY A., ZEHTAB-SALMASI, S., TOURCHI M., 2013.** Influence of seed invigoration and water supply on morpho-physiological traits of chickpea. *Intl J Agron Plant Prod.*, 4: 782- 786.
118. **GHASSEMI-GOLEZANI K., SHEIKHZADEH-MOSADDEGH P., VALIZADEH M., 2008.** Effects of hydro-priming duration and limited irrigation on field performance of chickpea. *Res. J. SeedSci.*, 1: 34-40.
119. **GIRARD P.;PROST J.; BASSEREAU P., 2005-** Passive or Active Fluctuations in Membranes Containing Proteins *Phys. Rev. Lett.* 94, 088102: 60-64.
120. **GORDON M., 2004-**Haricots secs : Situations et perspectives et Agroalimentaire, Canada, 7p.
121. **Gordon M.M.,2004.** Haricots secs: Situation et perspectives et Agroalimentaire. Canada, 7p.
122. **GOUST J., 2003-** « le haricot, l'encyclopédie du potager, Actes Sud ».944p.
123. **GREENWAY H. et MUNNS R., 1980-**Mechanism of salt tolerance in non halophytes. *Annual Review of Plant Physiology.* Vol. 3, pp. 149-190.
124. **Grote D., Claussen W., 2001.** Severity of root rot on tomato plants caused by *Phytophthoranicotianae* under nutrient and light stress conditions. *Plant Pathol.* 50: 702 707.
125. **Guerrier, G. 1998.**Proline accumulation in salt-treated tomato: different proline precursors in *Lycopersiconesculentum* and *Lycopersiconpennillii*. *J. Plant Nutr.* 21: 505–513.
126. **GUIGNARD J.L., 1998.** Botanique, Ed. Masson, 159P.
127. **GUILLAUME C.,2004** :l'eau, le sol et les plantes, Master 1 sciences végétales, spectrosciences, 273 p.
- 128.**GUYOT G., 1998.** Climatologie de l'environnement. Cours et exercices corrigés .Ed. DUNOD. Paris. 525P.
- 129.**HABDAS H., SZAFIROWSKA A., SOKOLOWSKA A., 2000.** Cytological and physiological effects of matriconditioning on low viable cucumber seed germination. *A ctaHorticulturae.*, 517: 113-120.
- 130.**HALITIM A., 1988–** Sols des régions arides d'Algérie. O.P.U.Alger.384p.

131. **HAMDY A., 1999**– Saline irrigation and management for a sustainable use. Advanced Short Course on Saline Irrigation Proceeding, Agadir (Morocco). 152-227.
132. **HAMLAT A., BELKADI A, 2000**. Endurcissement des grains de blé tendre par traitement au PEG et par redéshydratation: effets sur la germination, la croissance et l'activité alpha-amylasique. Memoire de D.E.S, USTHB, Alger, Algérie.
133. **HAMZA M., 1980** : Réponse des végétaux à la salinité, Physiologie végétale, pp 69-81.
134. **HAOUALA F.; FERJANI H.; BEN EI HADJ S., 2007**- Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na⁺, K⁺ et Ca²⁺) et du chlore (Cl⁻) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais du chiendent. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 11(3).235-244.
135. **Harris D, Joshi A, Khan PA, Gothkar P, Sodhi PS., 1999**. On-farmseed priming in semi-arid agriculture: development and evaluation in maize, rice and chickpea in Indiausingparticipatorymethods. Exp. Agric. 35: 15-29.
136. **HARRIS D., RASHID A., HOLLINGTON P.A., JASI L., RICHES C., 2002**. Prospects of improving maize yields with 'on-farm' seed priming: In: Rajbhandari, N.P., Ransom J.K., Adikhari K., Palmer A.F.E. (Eds.). Sustainable Maize production systems for Nepal. NARC and CIMMYT, Kathmandu. 180-185.
137. **Hasegawa P.M., Bressan RA., Zhu JK., and Bohnert HJ., 2000** – plant cellular and molecular responses to high salinity. Edit. Plant MolBiol Vol. 51, pp 463-499.
138. **HASEGAWA P.M.; BRESSAN R.A.; ZHU J.K.; BOHNERT H.J., 2000** - Plant cellular and molecular responses to high salinity. Plant Mol. Biol. Vol. 54: 463-499.
139. **HASSANI A; DELLAL A; BELKHODJA M et KAID- HARCHE M., 2008**- Effet de la salinite sur l'eau et certains osmolytes chez l'orge (HordeumVulgare).European Journal of ScientificResearch. ISSN 1450-216X Vol.23 No.1, pp.61-69 .
140. **HAYASHI H., MURATA N., 1998** - Genetically engineered enhancement of salt tolerance in higher plants. In: Sato Murata N, (Ed.), Stress Response of Photosynthetic Organisms: Molecular Mechanisms and Molecular Regulation. Elsevier, Amsterdam: 133-148
141. **HEBRARD C., 2012**. Contrôleépigénétique de l'induction et de la tolérance à la montaison chez la betterave sucrière. Thèse de doctorat, Université d'Orléans. France. 285 p.

142. **HELLER R. ; ROBERT E. et CLAUDE L.,2004** : la physiologie végétale (tome 1- Nutrition) 6^o édition de l'Abrégé Saint-Jean de Braye 323p.
143. **HEYDECKER W., 1978**. Primed seeds for better crop establishment, Span 21: 12-14.
144. **HEYDECKER W., HIGGINS J., GULLIVER R. L., 1973**. Accelerated germination by osmotic seed treatment. Natur., 246: 42-44.
145. **Hilal M., Zenoff A.M., Ponessa G., Moreno H., Massa E.D., 1998**- Saline stress alters the temporal patterns of xylem differentiation and alternative oxidative expression in developing soybean roots, Plant Physiol. 117, 695–701.
146. **Hilal R.S and Singh A.K., 1999**. Salinity induces accumulation of soluble sugars and alters the activity of sugar metabolising enzymes in rice plants, Biol. Plant. 42: 233– 239.
147. **HILLOCKS, R.J., MADATA, C.S., CHIRWA, R., MINJA, E.M., MSOLLA, S.,2006**. "Phaseolus bean improvement in Tanzania", 1959–2005. Euphytica 150, 215 – 231. DOI: 10.1007/s10681-006-9112-9.
148. **HOPKING.W., 2003** : Physiologie végétale,2^{ème} édition, Ed de boeck et Larciens.a, Bruxelles, 514.
149. **HOPKINS W.G., 2003**- Physiologie végétale. Ed. De Boeck. Paris. 495p.
150. **HOSEINZADEH-MAHOOTCHI A., GHASEMI-GOLEANI K., ZEHTAB-SALMASI S., TOURCHI M.,2013**. Influence of seed invigoration and water supply on morpho- physiological traits of chickpea. Intl. J. Agron. Plant. Prod., 4(4):782-786.
151. **Hsiao, T. C. 1973**. Plant responses to water stress. Ann. Rev. Plant Physiol. 24: 519–570.
152. **Huer, B. 1993**. Osmoregulatory role of proline in water and salt stressed plants. Pages 363–381 dans M. Pessaraki, ed. Handbook of plant and crop stress. Marcel Dekker, Inc., New York, NY.
153. **HUIGNARD J., GLITHO I., MONGE J., REGNAULT- ROGER I., 2011**. Insectes ravageurs des graines de légumineuses. Biologie des Bruchinae et lutte raisonnée en Afrique. Ed. Quae, France, 146 p.
154. **Hussain G., Al-Jaloud A.A., Al-Shammary S.F., Karimulla S., 1995**, Effect of saline irrigation on the biomass yield, and the protein, nitrogen and phosphorus, and potassium composition of alfalfa in a pot experiment, J. Plant Nutr. 18 (1995) 2289–2408.

155. **IPTRID., 2006** - conférence électronique sur la salinisation. Extension de la salinisation et stratégie de prévention et réhabilitation. p 2, 11.
156. **JANMOHAMMADI M., MORADI DEZFULI P., SHARIFZADEH F., 2008.** Seedinvigoration techniques to improve germination and early growth of inbred line of maize under salinity and drought stress. *Gen. Appl. Plant Phys. Special Issue.*, 34(3-4): 215-226.
157. **JEANNEQUIN B, 1987** : Les cultures hors sol. Ed J.B INRA. 20P.
158. **JEANNEQUIN B., 1987** : Conduite de fertilisation des cultures hors-sol en maraichage. *Ph.M, revue horticole N°275,1987.*,pp19-27.
159. **JEANNEQUIN B., DOSBA F., AMIOT-CARLIN M. J, 2005** : Fruits et légumes, caractéristiques et Principaux enjeux. Publié par l'Institut National de la Recherche Agronomique, 147, rue de L'Université, 75338 Paris Cedex 07, 114p.
160. **JOWKAR M., GHANBARIA., MORADI F., HEIDARI M., 2012.** Alterations in seed vigor and antioxidant enzymes activities in *Silybummarianum* under seed priming with KNO₃. *J. Med. Plants Res.*, 6(7): 1176-11804.
161. **KAHLON P.S., DHALIWAL H.S., SHARMA S.K. and RANDAWA A.S., 1992** –effect of pre-sowing seed soaking on yield of wheat (*Triticumaestivum*) under late sown irrigated conditions. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 62, 276-277.
162. **KELLER F et LUDLOW M.M., 1993** -Carbohydrate metabolism in drought –stressed leaves of pigeonpea (*Cajanuscajan*). *J exp Bot* (44) 1351-1359.
163. **KESSIRAN M.M., 2003**-Gestion de l'irrigation dans le milieu salin. Recueil des communications des journées techniques et scientifiques sur la qualité des eaux du Sud. Volume III, El-Oued les 19 et 20 mai 2003.
164. **KESTER S.T., GENEVE R.L., HOUTZ R.L., 1997.** Priming and accelerated ageing affect Lisoaspartylmethyltransferase activity in tomato (*Lycopersiconesculentum* Mill.) seed. *J. Exp. Bot.*, 48(309): 94- 949.
165. **KHAN M.A. et DUKE N.C., 2001**- Halophytes- A resource for the future. *Wetlands Ecolo. Manag.* 6: 455 -456.
166. **KHAN, AA, TAOKL, KNYPL JS, BORKOWSKA B, POWELL LE.,1978.** Osmotic conditioning of seed: physiological and biochemical changes. *Acta Horticulturae* 83: 267-278.
167. **KHEDDACHE A., 2005.** Endurcissement des graines de (*CedrusaltanticaManetti*) en vue de sa régénération par semis en conditions de stress hydrique. Thèse de magister, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 85 p.

168. **KOLEV.N ; 1976** : Les cultures maraichères en Algérie Tome 1 légumes et fruits
Ed. Ministère de l'agriculture et de la réforme agraire .Pp :145-161.
169. **KORNEGAY, J., CARDONA C., VAN ESCH, J., ALVARADO, M., 1989.**
"Identification of common bean lines with ovipositional resistance to
Empoasca kraemer (Homoptera: Cicadellidae)". *J Econ Entomol* 82, 649–654.
170. **KOUASSI S, 2009** : Culture hydroponique de la tomate, Fiche Technico-
économique. Génie Agro. BEREP.11P.
171. **KRAINART C., SIRI B., VICHITPHAN K.,2015.** Effects of accelerated aging
and subsequent priming on seed quality and biochemical change of hybrid cucumber
(*Cucumis sativa* L.) seeds. *J. Agricultural Technology.*, 11(1): 165-179.
172. **Kuiper D., Schuit J., Kuiper P.J.C.,1990.** Actual cytokinin concentrations in plant
tissue as indicator for salt resistance in cereals, in: El Bassam N. et al. (Eds.),
Genetic Aspects of Plant Mineral Nutrition, pp. 307–314
173. **LAATATI M., 2012.** Adaptation de la symbiose légumineuse haricot –rizobium à
la déficience en phosphore. Thèse magistère. Université d'Alger.p 68.
174. **LACLERC J.C., 1999-** Ecophysiologie végétale. Publication de l'université
SAINT ETIENNE : 188-235.
175. **LAUMONIER R., 1979** : Cultures légumières et maraichères, Tome 3, Ed. JB.
Baillièr. 1276p.
176. **Lauriano J.A., Lidon F.C., Carvalho C.A., Campos P.S. and Matos M.D.**
2000.Drought effects on membrane lipids and photosynthetic activity in different
peanut cultivars.*Photosynthetica* 38: 7–12.
177. **LAZALI M., 2014.** Études des mécanismes agro physiologiques et moléculaires
d'adaptation à la déficience en phosphore chez la symbiose rhizobienne du haricot
(*Phaseolus vulgaris* l.). Thèse doctorat .université d'Alger, pp. 1-2.
178. **LECLERC J.C., 1999-** Ecophysiologie végétale- publication univ. Saint Etienne
p188-235.
179. **LEHMANN M; KOSTREWA D; WYSS M; BRUGGER R; D'ARCY a;**
PASAMONTES L et VAN LOON A.P.G.M., 2000 –From DNA sequence to
improved functionality: using protein sequence comparisons to rapidly design a
thermostable consensus phytase.*Protein Eng.*, 13, 49-57.
180. **LETARD M, ERARD P et JEANNEQUIN B., 1995** : maîtrise de l'irrigation
fertilisante (tomate sous abris).Ed.CTIFL. 220P.

181. **LEVIGNERON .; LOPEZ F.; VANSUYT G.; BERTHOMIEU P.;FOURCROY P.;CASSE-DELBART F., 1995**-Les plantes face au stress salin. Cahiers Agricultures.4 (4) : 263-273.
182. **LEVITT J., 1980**- Responses of plants to environmental stresses. Water radiation, salt and others stresses. Academic Press, New York, Vol. 2: 365-406.
183. **LEVITT J., 1980**. Responses of plants to environmental stresses in water radiation, salt and other stresses.282.
184. **LOUE.A., 1986** : les oligo-éléments en agriculture. Ed. Agri-Nathan International. Paris. 339p.
185. **MAAS E.V., 1986** - Salt tolerance of plants. Appl. Agric. Res. 1, 12-26.
186. **MADR, 2013**-Ministère de l’agriculture et du Développement Rural. Statistique agricole. Alger.
187. **MAHUKU, G., MONTOYA, C., HENRIQUEZ, M.A., JARA, C., TERAN, H., BEEBE, S.,2004** "Inheritance and characterization of angular leaf spot resistance gene present in common bean accession G 10474 and identification of an AFLP marker linked to the resistance gene". Crop Sci 44, 1817-1824.
188. **MAILLARD J., 2001**- Le point sur l’Irrigation et la salinité des sols en zone sahélienne. Risques et recommandations. Handicap International. Novembre 2001, 34 p.
189. **MAINGUET M., 2003** -Les pays secs environnement et développement. Ellipses,Paris:27-28.
190. **MALLEK-MAALEJ L; BOULASNEM F et BENSALEM M., 1998** - Effet de la salinité sur germination de graines de céréales cultivées en Tunisie. Cahiers Agricultures, (2) 153-6.
191. **Mansour, M.M.F., K.H.A. Salama, F.Z.M. Ali, and A.F.A.Hadid. 2005**. Cell and plant responses to NaCl in Zea mays L. cultivars differing in salt tolerance. Gen. Appl. Plant Physiol., 31: 29-41. Maxwell, K. and G.N. Johnson. 2000. Chlorophyll fluorescence – a practical guide. J. Exp. Bot., 51: 659-668. Misra, N. and A.K.
192. **MAROUF A. et REYNAUD J., 2007**-La botanique de A à Z. 1662 définitions. Ed Dunod : P.286.
193. **MAROUFI K., FARAHANI.H.A., MORADI O., 2011**. Increasing of seedling vigor by hydro priming method in cowpea (*Vignasinensis* L.) Advanc. Int. Environ. Bio., 5(11): 3668-3671.

194. **MAS Y., 1983:** World vegetation. Principles, production and nutritives values. 704p.
195. **Mazliak P., 1982.** Croissance et développement. Physiologie végétale II. Hermann éd., Paris, Collection Méthodes, 465p.
196. **MCDONALD M.B., 2000.** Seed priming. In Black M and Bewley J.D. (eds.), Seed technology and its biological basis. Sheffield Academic Press Ltd, Sheffield, England, pp. 287-325.
197. **MEHRI S., 2015.** Effect of Seed Priming on Yield and Yield Components of Soybean. Am-Euras. J. Agric. Environ. Sci., 15 (3): 399-403.
198. **MELOTTO, M., BALARDIN, R.S., KELLY, J.D., 2000.** "Host-pathogen interaction and variability of *Colletotrichum lindemuthianum*". In: Prusky, D., Freeman, S., Dickman, M.B., eds, "Colletotrichum host specificity, pathology, and host-pathogen interaction". St. Paul, Minnesota, USA: APS Press, 346-361.
199. **MERMOUD A., 2006** -Cours de physique du sol : Maîtrise de la salinité des sols. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 23 p.
200. **MOHOUCHE B et BOULASSEL A., 1999-** Contribution à une meilleure maîtrise des pertes en eau d'irrigation et de la salinisation des sols en zones arides. Recherches Agronomiques. 15-23. I.N.R.A. Alger.
201. **MOOSAVI A., TAVAKKOL-AFSHARI R., SHARIF-Zadeh F., AYNEHBAND A., 2009.** Effect of seed priming on germination characteristics, polyphenoloxidase, and peroxidase activities of four amaranth cultivars. Journal of Food, Agriculture and Environment., 7 (3-4): 353-358.
202. **MORARD P., 1995 :** les cultures végétales hors sol. Ed. Publications agricoles Agen. Paris 304p.
203. **MOREL. R., 1996.** Les sols cultivés. Ed. Tec et Doc. LAVOISIER. Paris. 389P.
204. **MORROW E., 2015:** Hydroponics for Beginners: Essential Hydroponic Gardening Guide. Copyright, First Published. Printed in the United States of America. 16P.
205. **MUNNS R et TESTER M., 2008** - Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology, 59, 651-81.
206. **Munns R. and Termaat A., 1986.** Whole plant responses to salinity, Aust. J. Plant Physiol. 13: 143-160.
207. **MUNNS R., 1993.** Physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypotheses. Plant Cell and Environmental .pp 15-24.

- 208. MUNNS R., 2002** – Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell and Environment*, Vol.25: 239-250.
- 209. Munns R., 2008.** Sodium excluding genes from durum wheat and sea barley grass Improves sodium exclusion of bread wheat. 2nd International Salinity Forum Salinity, water and society-global issues.
- 210. NAGAR R.P., DADLANI M., and SHARMA S.P., 1998** –Effect of hydropriming on field emergence and crop growth of maize genotypes. *Seed Science and Technology*, 26, 1-5.
- 211. NEAMATOLLAHI E., BANNAYAN M., HAYDARI A.M., AHMADIAN A., 2009.** Does Hydro and Osmo-Priming Improve Fennel (*Foeniculumvulgare*) Seeds Germination and Seedlings Growth. *Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj.*, 37(2): 190-194.
- 212. NIU X., 1995.** Ion homeostasis in NaCl stress environments. *Plant physiology*. 735 742.
- 213. NIU X., RSESSAN R A., HASEGAWA P. M., PARDO J. M., 1995-** Ionhomeostasis in NaCl stress environments. *Plant Physiology*. 109 (3): 735-742.
- 214. NYABYENDAP., 2005.** Les plante cultivées en régions tropicales d'altitude d'Afrique .Ed.Tec et Doc, les presses agronomique de Gembloux. P38-42.
- 215. ORIA ; 1969** :<<Biologie<< Ed Hatier, Paris, 191p.
- 216. ÔZBINGOL N., CORBINEAU F., COME D., 1998.** Responses of tomato seeds to osmoconditioning as related to temperature and oxygen. *Seed Science Research.*, 8: 377-384.
- 217. PARIDA A.; DAS A.B.; DAS P., 2002-**NaCl stress causes changes in photosynthetic pigments, proteins and other metabolic components in the leaves of a true mangrove, *Bruguieraarviflora*, in hydroponic cultures.*J. Plant Biol.* 45, 28–36.
- 218. PARIDA A.K et DAS A.B., 2005-** Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and EnvironmentalSafety* 60, 324-349.
- 219. Perez-Alfocea, F., Estan, M. T., Caro, M. etGuerrier, G. 1993.** Osmotic adjustment in *Lycopersiconesculentum*and*Lycopersiconpennillii* under NaCl and polyethylene glycol 6000 isosmotic stress. *Plant Physiol* 87: 493–498.
- 220. PERON J.Y., 2006.**Production légumières.2éme édition.Lavoisier.389p.
- 221. PERON, J.Y.,2006.** "Référence, productions légumières", 2eme édition, Ed Lavoisier, 613 p.

- 222. PILL WG, NECKER AD., 2001.** The effects of seed treatments on germination and establishment of Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.). *Seed Sci. Technol.* 29: 65-72.
- 223. PITRAT M., FOURY C., 2015.** *Histoires de légumes: Des origines à l'orée du XXI^e siècle*, 1^{ère} édition 2003, 410p.
- 224. PPWELL A.A., YULE L.J., JING H., GROOT S.P.C., BINO R.J., PRITCHARD H.W., 2000.** The influence of aerated hydration seed treatment on seed longevity as assessed by the viability equations. *Journal of Experimental Botany.*, 51: 2031-2043.
- 225. RAFIQ S, IQBAL T, HAMEED A, RAFIQI ZA, RAFIQ N. 2006.** Morphobiochemical analysis of salinity stress response of wheat. *Pak. J. Bot.* 38 1759-1767.
- 226. RAHMOUNE C.; ZAIMECHE S.; WATHELET B.; BEN NACEUR M., 2005 -** Rôle des acides aminés comme bio indicateurs de stress métalliques chez les végétaux aquatiques. 1^{er} Colloque Euroméditerranéen de Biologie Végétale et Environnement, Annaba 28-30 novembre 2005.
- 227. RAJU K.P.; DESAI J.N.; CHANDRASEKHAR T.; ASHOK N.M., 1993 -** Precursors, arginine, ornithine, or methionine in ameliorating the inhibitory effect of NaCl on wheat plant. *Egyptian J. Biotechnol.* 9: 328 -340.
- 228. RASANEN L., 2002 -** Biotic and abiotic factors influencing the development of N₂-fixing symbioses between rhizobia and the woody legumes *Acacia* and *Prosopis*. Thèse de doctorat de l'université de Helsinki. Finland. 99p.
- 229. REDDY P., 2012.** Bio-priming of Seeds. In: *Recent advances in crop protection.* Springer, New Delhi. 978-81-322-0723-8.
- 230. REJILI M, VADEL AM, et NEFFATI M., 2006 -** Comportements germinatifs de deux populations de *Lotus creticus* (L.) en présence du NaCl. *Revue des Régions Arides*, 17: 65-78.
- 231. RENDON, F., CARDONA, M.C., BUENO, J.M., 2001.** "Losses caused by *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae) and *Trialeurodes palmi* (Thysanoptera: Thripidae) on snap beans in the Cauca Valley of Colombia". *Revista Colombiana de Entomología* 27 (1- 2), 39-43.
- 232. Rengasamy P., 2006 -** World salinization with emphasis on Australia. *Journal of Experimental Botany.* 57, (5), p. 1017-1023.

- 233. REQUIER-DES JARDINS M.ET CARON P., 2005-** la lutte contre la désertification : un bien public mondial environnemental, des éléments de réponse. CSFD/Dossier/1.P4.
- 234. REYNOLDS M.P., ORTIZ-MONASTERIO J.I., MCNAB A., 2001-**Application of Physiology in Wheat Breeding.Mexico, D.F.: CIMMYT: 101-111.
- 235. Rhodes, D. etHanda, S. 1989.** Amino acid metabolism in relation to osmotic adjustment in plant cells. Pages 41–62 dans J. H. Cherry, ed. Environmental stress in plants, biochemical and physiological mechanisms. Springer-Verlag, New York, NY.
- 236. RICHARD M. et GOUNY P., 1965.** Contrôle de la salinité des sols, Ann. Agron., 16, 625-635.
- 237. ROBERT M., 1996 -** Le sol : interface dans l'environnement ressource pour le développement. Ed. MASSON, Paris. 96 P.
- 238. ROUHI H.R., ABOUTALEBIAN M.A., MOOSAVI S.A., KARIMI F.A., KARIMI F., SAMAN M., SAMADI M., 2012.** Change in several antioxidant enzymes activity of Berseem clover (*Trifoliumalexandrinum* L.) by priming. International Journal of Agri. Science., 2(3): 237-243.
- 239. RUBIO F; GASSMANN W et SCHROEDER J.I., 1995 -** Sodium driven potassium uptake by the plant potassium transporter HKT1 and mutations conferring salt tolerance. Science 270:1660-1663.
- 240. SADEGHI H., KHAZAEI F., YARI L., SHEIDAEI S., 2011.** Effect of seed osmopriming on seed germination behavior and vigor of soyeBean (*Oglycin max* L.). APKN journal of Agricultural and Biological science., 6(1): 39-43.
- 241. SAIRAM R. K and TYAGI A., 2004 -**Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. Review article. Current science 86 (3): 407.
- 242. Santiago L.S., Lau T.S., Melcher P.J., 2000-** Steele O.C., Goldstein G., Morphological and physiological responses of hawaiian *Hibiscus tiliaceus* populations to light and salinity, Int. J. Plant Sci. 161, 99–106.
- 243. SCHWARTZ, H.F., PASTOR-CORRALES, M.A., SINGH, S.P.,1982.**"New sources of resistance to anthracnose and angular leaf spot of beans (*Phaseolus vulgaris* L.)". Euphytica 31, 741- 754.
- 244. Sell, G. D. etKoepp, D. E. 1981.** Oxidation of proline by mitochondri isolated from water stressed maize shoots. Plant Physiol 68: 1058–1063.

- 245. Senaratna T., McKersie B.D. and Borochoy A. 1987.** Desiccation and free radical mediated changes in plant membranes. *J. Exp. Bot.* 38: 2005–2014.
- 246. SERGE S et JANICE M., 2009 :** Guide de la tomate hors sol à La Réunion, CIDAR. La Réunion, France.188P : www.cirad.fr/reunion.
- 247. SHARAF, A., LABIB, S. et EI-MASSARY, R. 1990.** Effect of kinetin on the biochemical constituents of tomato plants under different levels of salinity. *Zagazig Journal of Agricultural Research (Egypt)*. 12: 417–441.
- 248. SHARMA, K.K., LAVANYA, M.,2002.** "Recent developments in transgenics for abiotic stress in legumes of the semi-arid tropics". JIRCAS Working Report 23, 61-73.
- 249. SILUE S., JACQUEMIN J. et BAUDOIN J., 2010.** Utilisation des mutations induites pour l'étude de l'embryogenèse chez le haricot *P. vulgaris* L. et deux plantes modèles, *Arabidopsisthaliana* (L.) Heynth. Et *Zeamays*L. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* PP195-205.
- 250. SIRI B., VICHITPHAN K., KAEWNAREE P., VICHITPHAN S., KLANRIT P., 2013.** Improvement of quality, membrane integrity and antioxidant systems in sweet pepper (*Capsicum annum* Linn.) seeds affected by osmopriming. *A.J.C.S.*, 13: 2068-2073.
- 251. SIRIWITAYAWAN G., DUTT M., KESTER S., DOWNIE B., GENEVE R., 2003.** Ageing in tomato reduces the capacity of seeds to produce ethylene, while priming increases ethylene evolution during germination. *The biology of seeds: Recent Research Advances.*, CAB International. pp. 441- 446.
- 252. SIVTSEV, M. 1973.** Photochemical activity of chloroplast and bound strength complex in cultured plants during action of salinization and biologically active compounds *Fizol. Rast.* 20: 1176–1181.
- 253. SMIRNOFF.,1999-** The role of active oxygene in the response of plants to water deficit and desiccation. *New phytol* 125: 27-58.
- 254. SNAPP, S., KIRK, W., ROMAN-AVILES, B., KELLY, J.,2003.** "Root traits play a role in integrated management of *Fusarium* root rot in snap beans". *Hortscience* 38, 187-191.
- 255. SNOUSSI S.A., 2011 –** Valorisation des eauxsalines pour la nutrition des plantescultivées, thèse de doctorat, INA El-Harrach. 152p.
- 256. Snoussi S.A., Halitim A., etValles V., 2004 -** Absorption hydrique en milieu salin chez la tomate et le haricot. *Agriculture*, 13, (3), p.283-287.

- 257. SOEDA Y., KONINGS M.C.J.M., VORST O., VAN -HOUWELINGEN A.M.M.L., STOOPEN G.M., MALIEPAARD C.A., KODDE J., BINO R.J., GROOT S.P.C., VAN-DER-GEEST A.H.M., 2005.** Gene Expression Programs during Brassica oléacea Seed Maturation, Osmopriming, and Germination Are Indicators of Progression of the Germination Process and the Stress Tolerance Level. *Plant Physiology.*, 137: 354-368.
- 258. SOEDA Y., KONINGS M.C.J.M., VORST O., VAN -HOUWELINGEN A.M.M.L., STOOPEN G.M., MALIEPAARD C.A., KODDE J., BINO R.J., GROOT S.P.C., VAN-DER-GEEST A.H.M., 2005.** Gene Expression Programs during Brassica oléacea Seed Maturation, Osmopriming, and Germination Are Indicators of Progression of the Germination Process and the Stress Tolerance Level. *Plant Physiology.*, 137: 354-368.
- 259. SOLTNER D., 1990-** « les bases de la reproduction végétale. Sol, climat, plante », Ed. Lavoisier, 464p.
- 260. SOUCY A, 2016 :** Système de surveillance du statut nutritionnel des plants de tomates utilisant la vision numérique proche infrarouge. Thèse d'ingénierie ; Univ Québec, Chicoutimi. 104P.
- 261. STANTON., 1970 :**Les légumineuses à graines en Afrique, Rome : organisation des nations unies pour l'amélioration et l'agriculture.37,38,172pp.
- 262. STILL D.W., BRADFORD K.J., 1997.** Endo-mannanase activity from individual tomato endosperm caps and radicle tips in relation to germination rates. *Plant Physiology.*, 113: 21-29.
- 263. SUMMERFIELD R.J., MINCHIN F.R., ROBERTS E.H. et HADLEY P.,1979-** the effects of photoperiode and air température on growth and yield of chickpea (*Cicerarietium L*).proceedings international workshop on chickpea improvement. Ed. I.C.R.I.S.A.T(international center for agricultural research in the dry areas). 144p.
- 264. SUNG J. M., CHANG Y. H., 1993.** Biochemical activities associated with priming of sweet corn seeds to improve vigor. *SeedSci. Technology.*, 21: 97-105.
- 265. SUZUKI H, KHAN AA., 2001.** Effective temperatures and duration for seed humidification in snapbean (*Phaseolus vulgaris L.*). *Seed Sci. Technol.* 28 381-389.
- 266. SZOBOLCS I., 1989** –salt affected soils CRP. Press. Boca Raton FI.p.49-56.

- 267. TAYLOR A.G., ALLEN P.S., BENNETT M.A., BRADFORD K.J., BURRIS J.S., MISRA M.K. (1998).** Seed enhancements. *Seed Science Research.*, 8: 245-256.
- 268. Taylor A.G., Allen P.S., Bennett M.A., Bradford K.J., Burris J.S., Misra M.K., 1998.**Seed enhancements. *Seed Science Research.*, 8: 245-256.
- 269. TAYLOR A.G., HARMAN G.E., 1990.** Concepts and technologies of selected seed treatments. *Ann. Rev. Phytopathol.*, 28: 321-339.
- 270. TESTER M.; DAVENPORT R., 2003-**Sodium tolerance and Na⁺ transport in higher plants.*Ann. Bot.* 91, 503-527.
- 271. TEWARI, T. N. et SINGH, B. B. 1991.** Stress studies in lentil (*Lens esculenta* M.) II. Sodicity induced changes in chlorophyll, nitrate and nitrate reductase, nucleic acid, proline, yield and yield components in lentil. *Plant Soil* 136: 225–230.
- 272. TEXIER W., 2013 :** - L'hydroponie pour tous. Mama editions, 7 rue Pétiou, 75011 Paris France. 13-20.
- 273. TEXIER W., 2014 :** L'Hydroponie pour tous (Tout sur l'HORTICULTURE à la maison), 307-311. Mama Editions, 7 rue Pétiou, 75011 Paris (France) 52.
- 274. THIRILLY et BOURGEOIS, 1999-** « Technologie des légumes », Ed. Tec et Doc Lavoisier, Paris, 588p.
- 275. TILAHUN-TADESSE F., NIGUSSIE-DECHASSA R., BAYU W., GEBEYEHU S., 2013.** Effect of hydro-priming and pregerminating rice seed on the yield and terminal moisture stress mitigation of rain-fed lowland rice. *Agriculture, Forestry and Fisheries.*, 2: 89-97.
- 276. TITOUNA D, 2011 :** Etude numérique de la solution nutritive dans un milieu poreux : cas de la laine de roche floriculture et expert. Thèse doctorat ès Sci ; Univ EL HADJ LAKHDAR BATNA. 106P.
- 277. TOOROP P.E., VAN-AELST A.C., HILHORST H.W.M., 1998.** Endosperm cap weakening and endo-p-mannanase activity during priming of tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. Moneymaker) seeds are initiated upon crossing threshold water potential. *Seed Science Research.*, 8: 483-491.
- 278. TREMBLIN G. et COUDRET A., 1986 -** Salinité, transpiration et échanges de CO₂ chez *Halimolobos laetifolia* (Vahl.) Ung. *Oecol. Plant.* 7 (21) : 417-431.
- 279. TYERMAN S.D et SKERETT I.M., 1999** –Root ion channels and salinity. *Scientia Horticulturae* 78: 175-235.

- 280. VALERIE P., 2015 :** Irrigation, substrats et fertilisation dans la culture hors-sol du fraisier, des enjeux pour une production optimisée, mémoire Maître ès sciences (M. Sc.), Univ Québec, Canada. 67P.
- 281. VAN PILEN G.J., GROOT S.P.C., KRAAK H.L., BERGERVOET J.H.W., BINO R.J., 1996.** Effects of prestorage hydration treatments on germination performance, moisture content, DNA synthesis and controlled deterioration tolerance of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seeds. *Seed Science Research.*, 6: 57-63.
- 282. VAN-HOORN J.W., 1995.** Développement of soil salinity in the root zone N°2 séance spécialisée du 22 mars. *Barz. J. Plant Physiol.*, 15 N° 2. p 65-66.
- 283. VARIER A., VARI A.K., DADLANI M., 2010.** The subcellular basis of seed priming. The authors are in the Indian Agricultural Research Institute. *Current Science.*, 99(4-25): 450-456.
- 284. VINCENT G, 2008 :** Adaptation des techniques hors-sol pour la production de fruits et légumes sur substrat en Valais. Office maraîcher valaisan-Châteauneuf. 16P.
- 285. VINCENT R., 2006 -** Recherche et étude de marqueurs moléculaires de la réponse au stress chez l'algue brune *Laminaria digitata*. Thèse de Doctorat. Biologie. Université de Rennes 1. 237p.
- 286. VOINEA M. et MAIER L., 1976 :** culture legumilortumpuri et cimp. Ed. CERES. Bugaresti. 129p.
- 287. VUTH D, 2008 :** Effets de l'environnement sur la croissance et l'accumulation de métabolites secondaires chez *Datura innoxia* Mill. Cultivé en condition hors sol ; impact des facteurs biotiques et abiotique. Thèse doctorat de l'INPL, science agronomie. Univ lorraine. 237P.
- 288. Wang W.X., Vinocur B., Shoseyov O. and Altman A., 2001.** Biotechnology of plant osmotic stress tolerance: physiological and molecular considerations. *Acta Hort* 560: 285-292.
- 289. WATTANAKULPAKIN P., PHOTCHANACHAI S., RATANAKHANOKCHAI K., KYU K.L., RITTHICHAI P., MIYAGAWA S., 2012.** Hydropriming effects on carbohydrate metabolism, antioxidant enzyme activity and seed vigor of maize (*Zea mays* L.). *Afr. J. Biotechnol.*, 11(15): 3537-3547.
- 290. WELBAUM G.E., SHEN Z., OLUOCH M.O., JETT L.W., 1998.** The evolution and effects of priming vegetable seeds. *Seed Technol.*, 20: 209-235.

291. **WENTAO Z; SHEILA D.S; CHIWOCHA R; TRISCHUK L et GUSTA V., 2009** -Profile of Plant Hormones and their Metabolites in Germinated Ungerminated Canola (*Brassica napus*) Seeds Imbibed at 8°C in either GA4+7, ABA, or a Saline Solution. *J Plant GrowthRegul* 29:91–105.
292. **WERETILNYK E.A; BEDNAREK S; MC CUE K.F; RHODES D et HANSON A.D., 1989** - Comparative biochemical and immunological studies of betaine synthesis pathway in diverser families of dicotyledons. *Planta*. (178) 342-352.
293. **WORTMANN, C.S, KIRKBY, R.A., ELEDU, C.A., ALLEN, D.J., 1998.** Atlas of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Africa. CIAT, Cali, Colombia. 131p.
294. **WYN JONES G. et GOUSTON H., 1991** - Completent a ryor conflicting approaches to Salinity DDU.Bulletin N° 23: 7 -9.
295. **XIONG L.; SCHUMAKER K.S; ZHU J.K., 2002-** Cell signaling during cold, drought and salt stress. *Plant Cell*. 14 Suppl: S165-83.
296. **YARI L., AGHAALIKANI M., KHAZAEI F., 2010.** Effect of seed priming duration and temperature on seed germination behavior of bread wheat (*TriticumAestivum* L.). *Journal of Agricultural and Biological Science.*, 5(1): 1-6.
297. **YEO A., 1998.** Molecular biology of salt tolerance in the context of whole-plant physiology. *Journal of ExperimentalBotany*. pp915-929.
298. **YEO A.R., FLOWERS T.J.,1986** – salinity resistance in rice and pyramiding approach to breeding varieties for saline soils – aust – *J. Plant. Phisiol.* 13 –p.163-173.
299. **Zahran, H.H. 1986** . Diversity, adaptation and activity of the bacterial flora in saline
300. **ZHU B.; SU J.; CHANG M.C.; VERMA D.P.S.; FAN Y.L.et WU R.,1998-** Overexpression of a pyrroline -5- carboxylate synthetase gene and analysis of tolerance to water and salt stress in transgenic rice . *Plant Sci.*139:41-48 **ESSAH P.A., 2000-** Sodium Transport in *Arabidopsis thaliana*. Master of Philosophy. Department of Plant Sciences and Pembroke College, Cambridge. 80Pp.
301. **ZHU J.K., 2001.** Plant salt tolerance. *Trends in Plant Science.*: 66-71.
302. **ZHU J.K., 2002-** Salt and drought stress signal transduction in plants.*Annu. Rev.Plant Biol.*53:247–273.