

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE BLIDA-1-
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE DES POPULATIONS DES ORGANISMES



Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master
Option : Génomique et Biotechnologie Végétale

Thème

**IMPACT DE DEUX SELS CHLORURE DE MAGNESIUM ET SULFATE
DE MAGNESIUM SUR LE TAUX DE LA PROLINE ET DE LA
CHLOROPHYLLE CHEZ UNE GLYCOPHYTE :
LE HARICOT (*Phaseolus vulgaris* L.) CULTIVEE EN HORS-SOL.**

Présenté par :

M^{elle} BOUKABOUS Radia

M^{elle} DEBIEB Asmaa

Soutenue publiquement le : **15 Juin 2015**, devant le jury:

M^{me} BRADEA. M.S.	Maitre de Conférences A	BLIDA-1	Présidente
M^r SNOUSSI. S.A.	Professeur	BLIDA-1	Promoteur
M^{me} TAKARLI S.	Maitre Assistant A	BLIDA-1	Examinatrice
M^{me} ZERKAOUI A.	Maitre Assistant A	BLIDA-1	Examinatrice

Année Universitaire : 2014/2015

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé au niveau du laboratoire de Biotechnologie des reproductions végétales à l'Université BLIDA-1

Nous tenons à exprimer nos profonds remerciements :

*A notre promoteur, **Pr SNOUSSI S-A**, professeur au département de Biotechnologie Faculté des sciences de la nature et de la vie pour son encadrement, sa confiance, sa patience, sa générosité, ses encouragements, ses suggestions toujours aussi pertinents et son œil critique qui nous a été très précieux, nous le remercions vivement.*

Veillez trouver ici l'expression de notre profonde gratitude.

Toute notre reconnaissance aux membres du jury pour avoir eu l'amabilité d'avoir accepté de lire notre manuscrit et d'apporter les critiques nécessaires à la mise en forme finale de cet ouvrage.

*Nos sincères remerciements à **Mme BRADEA M.S.**, Professeur à l'Université BLIDA-1 pour avoir accepté de présider le jury.*

*Nous remercions également chaleureusement nos chers professeurs **Mme TAKARLI S.** et **Mme ZERKAOUI A.**, professeurs à la faculté des sciences de la nature et de la vie, département de Biologie des Population des Organismes de l'Université BLIDA-1, pour nous avoir fait l'honneur d'examiner notre travail.*

Qu'elles trouvent ici le témoignage de nos sincères remerciements.

*A **HAMIDI Y.**, Doctorant au département de Biotechnologies, Faculté des sciences de la nature et de la vie à l'université de BLIDA-1, pour sa disponibilité tout au long de notre stage, ses conseils et son aide.*

*Nous désirons également remercier toute l'équipe du laboratoire Biotechnologie des reproductions végétales. Ce fut un honneur pour nous d'avoir eu la chance de travailler parmi vous. Un grand merci à **Mr ZOUAOUI A., Mr ABBAD M., Mr SAOUA., et a Mme BEN ZAHRA S.,** pour votre extrême gentillesse et sympathie et votre l'aide incessante.*

Nos sincères remerciements à tous nos enseignants de la Faculté des Sciences de la nature et de la vie de l'Université BLIDA-1, pour la précieuse formation que nous avons reçue de leur part tout au long de notre cursus universitaire, un grand merci.

Dédicaces

*Mon profond gratitude à mes chers parents **MUSTAPHA & SAMIA** pour leur sacrifice, leur soutien inestimable durant toutes mes études, et pour la patience dont ils ont fait preuve tout au long de mon travail« Vous avez tout sacrifié pour vos enfants n'épargnant ni santé ni efforts. Vous nous avez donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance.*

Nous vous sommes redevable d'une éducation dont nous sommes fier».

A mon frère Sid Ahmed et mes très chères sœurs: Leila, Naima, Karima, Linda, Amel et

Farida que je les adore infiniment.

A mes beaux-frères et ma belle-sœur.

Et mes neveux et nièces : Zinelddine, Ayoub, Mustapha, Abdrezzak, Abdrahmen, Ikran, Yasmine, Meriem, Aya Samia, Alaa, Malak, Lina, Lydia, Israa et la petite Darine.

A Walid qui fait mon équilibre par sa présence dans ma vie, pour sa patience et son affection.

A mes chers amies : Lina, Sarra, Selma, Ourida, Imene et Asmaa.

Enfin, A tous mes camarades de la promotion 2014/2015 Génomique et Biotechnologique Végétale, merci pour tous ces moments de partage, de complicité et de rire sans lesquels la pression aurait été insoutenable.

Radia.

Dédicaces

Le premier remerciement est à ALLAH le tout puissant qui m'a donné le courage, la face et la santé pour accomplir ce travail.

Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie, que je dédie mon travail à mes très chers, respectueux et magnifiques parents NESREDDINE & KARIMA qui m'ont soutenue tout au long de ma vie. Puisse dieu, le tout puissant vous préserver et vous accorder santé, longue vie et bonheur.

Pour mes grandes-mères RABEA et ZOUBIDA que dieu vous procure bonne santé et longue vie.

Ainsi, à ma chère sœur WAFIA et mon neveu ABDELRAOUF qui je les adore infiniment.

A mon cher frère MOHAMED je te souhaite la réussite dans ta vie et surtout dans tes études.

Je dédie aussi ce travail pour toi KHADIDJA je te remercie de m'avoir supporté avec gentillesse toute cette période que dieu te garde pour ton petit RAMY que je l'adore.

A ma très chère amie et mon binôme RADIA je te souhaite une vie pleine de réussite, de santé et que dieu te procure tout le bonheur que tu mérites.

J'adresse aussi mes remerciements à YUCEF qui a été présent, encourageant et qui m'a beaucoup aidé pour réaliser ce mémoire.

A toute ma famille et à tous ceux que j'aime.

Asmaa.

RESUME

Le présent travail a porté sur l'étude de l'impact de la correction du potentiel hydrogène à une valeur de 5,5 à 5,8 d'une eau d'irrigation enrichie en $MgCl_2$ (T2), puis en $MgSO_4$ (T3) sur la production de la proline et de la chlorophylle chez une glycophyte cultivée en hydroponie (Haricot variété El Djadida).

La correction du pH de l'eau de Blida de 7,8 à 5,5 a permis d'accroître l'assimilation des éléments minéraux sur la croissance et le développement de la plante.

La correction du potentiel hydrogène d'un milieu nutritif est une obligation en culture hors sol, en raison de l'absence du complexe absorbant qui joue le rôle de régulateur ionique en culture classique, sur sol.

Les résultats obtenus à travers notre expérimentation ont montré que la correction du pH de l'eau de Blida a amélioré de façon significative la majorité des paramètres biométriques, biochimique et physiologique et de productions.

Les variations sont plus importantes chez les plantes irriguées avec les traitements (T2) et (T3) qui sont des milieux nutritifs à pH corrigé à 5,5 au moyen des deux acides (nitrique et phosphorique) dont leur rôle est double à savoir acidification du milieu nutritif et apport d'éléments indispensables tels que les nitrates et les phosphates. Ces deux milieux alimentaires (T2) et (T3) sont enrichis par le $MgCl_2$ et $MgSO_4$ respectivement, où la présence du magnésium est essentielle au développement de la plante. A l'inverse, le traitement (T1) composé de l'eau de Blida à pH 5,5 par les acides précités a présenté les résultats les plus faibles comparativement aux traitements (T2) et (T3), et ce en raison de l'absence de cet élément fort important.

Mots clés : salinité, le potentiel hydrogène, *Phaseolus vulgaris* L., proline, chlorophylle, magnésium.

Summary

This work focused on studying the impact of correction of hydrogen potential at a value of 5,5 to 5,8 of an enriched irrigation water $MgCl_2$, then $MgSO_4$ production of proline and chlorophyll in a glycophyte cultivated hydroponic culture.

Correcting the pH of the water of Blida from 7,8 to 5,5 has increased the assimilation of minerals on the growth and development of the plant.

The correction of the hydrogen potential of a nutrient medium is an obligation in hydroponic due to the absence of absorbing complex that plays the role of regulation in ionic classical culture on soil.

The results obtained through our experiments have shown that correcting the pH of the water to Blida significantly improved the majority of parameters analyzed and measured.

The variations are greater in plants irrigated with (T2) and (T3) treatments that are nutrient media pH adjusted to 5,5 by means of the two acids (nitric and phosphoric) whose role is twofold namely acidification of the nutrient medium and supply of essential items such as nitrate and phosphate. Both (T2) and (T3) food media rich by $MgCl_2$ and $MgSO_4$ respectively, where the presence of magnesium is essential for plant development. Conversely, the processing (T1) consists of water at pH 5,5 of Blida by aformenticened acids presented the lowest scores compared to treatment (T2) and (T3), and because of the absence of the absence of the strong elements important.

Key words: salinity, hydrogen potential, *Phaseolus vulgaris* L., proline, chlorophyll, magnesium.

ملخص

ركز هذا العمل على دراسة تأثير تصحيح درجة حموضة pH من قيمة 5,5 إلى 5,8 في مياه الري على إنتاج برولين و كلوروفيل لنباتات الحساسة للملوحة (الفاصوليا).

إن تصحيح تركيز درجة الحموضة مياه البليدة من 7,8 إلى 5,5 سمح لزيادة الاستيعاب المواد المعدنية لنمو وتطور النباتات لذلك يعتبر التسيير الجيد لدرجة الحموضة ضرورة حتمية في الزراعة خارج التربة. بسبب عدم وجود مجمع امتصاص الذي يعمل كمنظم للأيونات كما هو الحال في التربة.

و قد أظهرت النتائج المتحصل عليها من خلال تجاربنا, إن تصحيح تركيز درجة الحموضة لمياه البليدة اظهر تحسن كبير في غالبية العوامل لتغييرات الاكثر أهمية نجدها لدى النباتات المسقية بالمحلول الثاني والثالث التي تعتبر الأوساط المغذية ذات حموضة معدلة إلى 5,5 باستخدام الحمضين (النتريك و الفوسفوريك) الذي يتمثل دورهما مزدوج في تحييض الوسط المغذي و إضافة مغذيات مثل النترات و الفوسفات و هما وسطين غنيان بالمغنيزيوم. على العكس ذلك، المحلول الأول الذي يحتوي على الماء البليدة درجة حموضته 5,5 إضافة إلى الحمضين (النتريك و الفوسفوريك) مقارنة مع المحلول الثاني والثالث نظرا لغياب هذه العناصر الهامة جدا .

الكلمات المفتاحية : الملوحة, درجة الحموضة , الفاصوليا, برولين, كلوروفيل, المغنيزيوم.

TABLE DES MATERES

INTRODUCTION

Chapitre I : La culture hors-sol

1. Généralités sur la culture hors-sol	1
2. Avantages et inconvénients de la culture hors sol	2
2.1. Avantages	2
2.2. Inconvénients	2
3. Différents systèmes de culture hors sol	2
3.1. Culture aéroponique	2
3.2. Culture hydroponique	2
3.3. Culture sur substrat inerte	2
4. Principales cultures cultivées en hors sol.....	2
5. Composantes du système hors sol	3
5.1. Substrat	3
5.2. Conteneurs	3
5.3. Solution nutritive	4
5.3.1. pH	4
5.3.2. Conductivité électrique (CE).....	5
5.3.3. Equilibre ionique	5
5.4. Préparation de la solution nutritive	5

Chapitre II : La salinité

1. Généralités sur la salinité	8
1.1. Définition	8
1.2. Causes de la salinité.....	8
1.3. Origine de la salinité	8
1.4. Différents types de salinité	9
2. Types de salinisations	10
2.1. Salinisation primaire	10
2.2. Salinisation secondaire	10
3. La salinité dans le monde et en Algérie	10
3.1. La salinité en Algérie	10
3.2. La salinité dans le monde	11
4. Les effets de la salinité sur les plantes	11

4.1. Effets de la salinité sur la croissance des plantes	13
4.2. Effets de la salinité sur les relations hydrique	13
4.3. Effets de salinité sur l'anatomie de la feuille	14
4.4. Effets de la salinité sur la photosynthèse	14
4.5. Effets de la salinité sur les niveaux d'ions et le contenu nutritif	15
5. Tolérance des plantes à la salinité	16
5.1. Interaction entre la salinité et les facteurs environnementaux	17
5.2. La variabilité génotypique et la résistance à la salinité	18
5.3. L'influence du stade de développement sur la résistance à la salinité	18
5.4. Synthèse et accumulation de la proline	19
5.5. Effet de la salinité sur la sécrétion de la chlorophylle	20

Chapitre III : Généralités sur le haricot

1. Histoire et origine de la culture du haricot	21
2. Classification botanique	21
3. Importance du haricot dans le monde et en Algérie	22
4. Description de la plante	23
4.1. Feuilles	23
4.2. Tiges	23
4.3. Racines	23
4.4. Fleurs	24
4.5. Gousses	24
4.6. Graines	24
5. Exigences de la plante	25
5.1. Exigences climatiques	25
5.1.1. Température	25
5.1.2. Lumière	25
5.1.3. Humidité	25
5.2. Exigences édaphiques	25
5.2.1. Sol	25
5.2.2. pH	25
5.2.3. Salinité	26
5.3. Exigences hydriques	26
5.4. Exigences nutritionnelles	26
6. Conduite de culture	27

6.1. Semis	27
6.2. Travaux d'entretien	27
6.2.1. Binage et buttage	27
6.2.2. Désherbage	27
6.2.3. Arrosage	27
6.2.4. Palissage	27
6.3. Récolte	28
7. Principales maladies et ennemis du haricot	28
7.1. Principales maladies	28
8.2. Principaux ennemis nuisibles	29

Chapitre IV : Potentiel hydrique

1. Définition	30
1.1. pH en agriculture	30
1.2. Le pH du sol	31
2. Rôle du pH	32
3. Variation saisonnière du pH	32
4. Effet du pH sur l'assimilation des éléments majeurs et secondaires	32
5. Effet du pH sur l'assimilation des oligo-éléments	33
5.1. Fer	33
5.2. Manganèse	33
5.3. Cuivre	33
5.4. Zinc	33

Chapitre V : Matériel et méthodes

1. Objectif de l'expérimentation	34
2. Matériel végétal testé	34
3. Conditions expérimentales	34
3.1. Lieu de l'expérience	34
3.2. Substrat utilisé	36
3.3. Containers utilisés	36
4. Dispositif expérimental	36
5. Pré-germination et repiquage	38
5.1. Pré-germination	38
5.2. Repiquage des jeunes plants de l'haricot	38
6. Description des différents traitements	39

6.1. Composition de l'eau de Blida en éléments minéraux (meq/l)	39
6.2. Composition et techniques de préparation des différents traitements	39
7. Traitements testés	40
7.1. Reconstitution de l'eau de Blida pH= 5.5 : T1	40
7.2. Elaboration du traitement T2	41
7.3. Elaboration du traitement T3	41
8. Entretien de la culture	42
8.1. Irrigation	42
8.2. Traitements phytosanitaires utilisés	43
8.3. Palissage	43
9. Récolte	43
10. Paramètres biochimiques et physiologiques	43
10.1. Dosage de la chlorophylle	43
10.2. Dosage de la proline	44
10.3. Paramètres biométriques mesurés	45
10.3.1. Vitesse de croissance [cm/j]	45
10.3.2. Hauteur finale des plantes [cm]	45
10.3.3. Nombre des feuilles	45
10.3.4. Diamètre des tiges [mm]	45
10.3.5. Biomasse fraîche produite [g]	45
10.3.6. Biomasse sèche produite [g]	45
10.4. Paramètres de production	46
10.4.1. Taux d'avortement des fleurs	46
10.4.2. Nombre des gousses produites [g]	46
10.4.3. Biomasse fraîche moyen des gousses [g].....	46

Chapitre VI : Résultats et discussions

1. Paramètres de croissance	47
1.1. Aspect général des plantes	47
1.2. Vitesse de croissance des plantes [cm/jour]	48
1.3. Hauteur finale des plantes [cm]	49
1.4. Diamètre des tiges [mm]	50
1.5. Nombre de feuilles par plant	50/51
1.6. Biomasse fraîche des feuilles [g]	51
1.7. Biomasse fraîche des tiges [g]	52

1.8. Biomasse fraîche des racines[g]	52
1.9. Biomasse fraîche totale [g]	53
1.10. Biomasse sèche des feuilles[g]	54
1.11. Biomasse sèche des tiges [g]	55
1.12. Biomasse sèche des racines [g]	55
2. Paramètres biochimiques	57
2.1. Quantité de la chlorophylle (A) et (B) dans la plante [$\mu\text{g/g}$ MF]	57
2.2. Quantité de proline dans la plante [$\mu\text{g/g}$ MF]	59
3. Paramètres de rendements	60
3.1. Précocité	60
3.2. Nombre moyen de fleurs par plant	61
3.3. Nombre de gousses par plant	62
3.4. Biomasse des gousses par plant[g]	62
3.5. Taux d'avortement	63

Chapitre VII : Discussions générale

1. Classement des traitements selon les paramètres biométriques	64
2. Classement des traitements selon les paramètres biochimique et physiologique.....	65
3. Classement des traitements selon les paramètres de production	66

CONCLUSION

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES

Figure N°01 : Structure de la proline.

Figure N°02 : Situation du site expérimental (Source personnelle).

Figure N°03 : Schéma du dispositif expérimental adapté.

Figure N°04 : Vue du dispositif expérimental utilisé.

Figure N°05 : Essai de germination des graines du haricot.

Figure N°06 : Levée des plantules du haricot.

Figure N°07 : Aspect général des plantes du haricot alimentées par les différents traitements testés lors de notre expérimentation (T1, T2, T3).

Figure N°08 : Vitesse de croissance des plantes du haricot [cm/jour].

Figure N°09 : Hauteur moyenne des plantes [cm].

Figure N°10: Biomasse fraîche totale [g].

Figure N°11 : Biomasse sèche des feuilles [g].

Figure N°12 : Biomasse sèche des tiges [g].

Figure N°13 : Biomasse sèche des racines [g].

Figure N°14 : Nombre moyen de fleurs par plant.

Figure N°15 : Taux d'avortement.

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau N°01 :** Les symptômes provoqués sur la plante par l'excès ou carence d'éléments.
- Tableau N°02:** Evaluation des sols salins.
- Tableau N°03 :** Superficies affectées par la salinité dans le monde (LASRAM, 1995).
- Tableau N°04:** Production du haricot en Algérie.
- Tableau N°05:** Composition du haricot vert (la teneur est pour 100g).
- Tableau N°06 :** Moyennes des températures par décade en C.
- Tableau N°07 :** Reconstitution de l'eau de Blida pH = 5,5.
- Tableau N°08 :** Elaboration du traitement T2, eau de Blida pH = 5,5 de teneur en MgCl₂.
- Tableau N°09 :** Elaboration du traitement T3, eau de Blida pH = 5,5 de teneur en MgSO₄.
- Tableau N°10 :** Doses et fréquences d'irrigation nécessaire pour la culture du haricot.
- Tableau N°11 :** Programme hebdomadaire des traitements phytosanitaires appliqués à compter du stade croissance.
- Tableau N°12 :** Diamètre des tiges [mm].
- Tableau N°13 :** Nombre de feuilles par plant.
- Tableau N°14 :** Biomasse fraîche des feuilles [g].
- Tableau N°15:** Biomasse fraîche des tiges [g].
- Tableau N°16:** Biomasse fraîche des racines [g].
- Tableau N°17:** Quantité de la chlorophylle (A) et (B) [µg/g MF].
- Tableau N°18:** Quantité de proline [µg/g MF].
- Tableau N°19:** Données nécessaire à l'apparition des principaux stades de développement de la floraison (jours).
- Tableau N°20 :** Nombre des gousses par plant.
- Tableau N°21 :** Biomasse des gousses par plant [g].
- Tableau N°22 :** Classements des traitements selon les paramètres biométriques.
- Tableau N°23:** Classements des traitements selon les paramètres biochimique et physiologique.
- Tableau N°24 :** Classements des traitements selon les paramètres de production.

LISTE DES ABREVIATIONS

- (μg) : Microgramme.
- (m^3) : Mètre cube.
- (m^2) : Mètre carré.
- (ha) : Hectare.
- (U /ha) : Unité par hectare.
- (dS/m) : Deci-Siemence par mètre.
- (MF) : Matière fraîche.
- (MS) : Matière sèche.
- CE : Conductivité électrique.
- Meq: méli équivalent.
- PMG : Poids de mille grains.
- S. C. E : La somme des carrés des écarts.
- DDL : Le degré de liberté.
- C.V : Coefficient de variation.
- ETP : Evapotranspiration potentiel.

INTRODUCTION

Les changements climatiques deviennent de plus en plus contraignants pour la croissance et le développement des plantes notamment dans les zones semi-arides et arides.

Le taux élevé de sel dans les sols et les eaux d'irrigation constitue une préoccupation environnementale majeure et un problème sérieux pour l'agriculture dans les régions arides et semi-arides, du bassin méditerranéen. En effet, l'excès de sel dans le sol affecte la germination, la croissance des plantules et leur vigueur, la phase végétative, la floraison et la fructification à des degrés variables (DELGADO *et al.*, 1994).

La tolérance au sel est habituellement déterminée en termes de croissance ou de rendement (MAAS *et al.*, 1977 ; SHANNON, 1984).

La salinité diminue le potentiel osmotique de la solution du sol et réduit par conséquent l'absorption de l'eau par les racines. La turgescence cellulaire est abaissée ce qui entraîne un phénomène de plasmolyse. Certains végétaux régulent leur pression osmotique interne par la synthèse d'osmoprotecteurs, principalement les acides aminés comme la proline. La synthèse de proline est une mesure adaptative prise par les plantes et sa teneur est corrélée à la tolérance aux sels nocifs (CHEIHK M'HAMED *et al.*, 2008).

À l'échelle cellulaire, le phénomène plasmolyse affecte l'ultra structure des chloroplastes en provoquant des perturbations et la perte de l'enveloppe chloroplastique (BEN KHALED *et al.*, 2003).

Le potentiel hydrogène a un impact bien défini sur la santé des plantes. Un niveau de pH incorrect peut rendre les nutriments indisponibles à la plante, et même causer leur disparition du sol.

La culture hors sol est l'une des technologies modernes utilisées aujourd'hui en horticulture pour valoriser les terrains affectés par la salinité.

Le haricot *Phaseolus vulgaris L.* est une plante sensible à la salinité et une source de protéines diététiques dans beaucoup de pays en développement. Le haricot représente la troisième plus importante récolte des légumineuses dans le monde. (AYDIN *et al.*, 1997).

Notre travail a pour objectif d'identifier et d'évaluer l'impact de la correction du potentiel hydrogène d'une eau d'irrigation tantôt chargée en $MgCl_2$ et tantôt en $MgSO_4$ sur la production de la proline et de la chlorophylle, aussi que sur les paramètres morphologiques et de production chez le haricot (variété El Djadida) cultivée en hydroponie.



Chapitre I
Culture hors-sol

I.1. Généralités sur la culture hors-sol

C'est l'une des technologies 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 hors sol est une nouvelle technique alternative de culture des végétaux qui peut être mise en place, dans des exploitations horticoles de toutes tailles. Pouvant constituer, semble-t-il, au problème d'eau et de pollution que connaît notre planète, être au service des chercheurs qui utilisent cette technologie pour faire des recherches sur les végétaux (ZIEGLER, 2008).

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. Il faut attendre l'année 1860 pour voir deux chercheurs allemands réussir à faire pousser des plantes sur un milieu composé uniquement d'eau et de sels minéraux (THIAULT, 2004).

Ce n'est qu'en 1930 que GERICKE produisit le premier système hydroponique commercial aux États-Unis. Pendant la Seconde Guerre mondiale, des Américains cultivèrent des légumes hydroponiques dans les îles volcaniques du Pacifique pour assurer l'alimentation de ses armées en légumes frais (SHOLTO, 1984).

Le véritable développement commercial des cultures hors sol date de 1980. Depuis, ce système de culture s'est répandu, en horticulture sous serre et abris. Ainsi, près de 120 ans auront été nécessaires pour transférer une technique de laboratoire en un système de culture opérationnel et rentable (MARTINEZ et MORARD, 2000).

Selon MORARD (1995) les cultures hors sol comme des « cultures de végétaux effectuant leur cycle complet de production sans que leur système racinaire ait été en contact avec leur environnement naturel, le sol ».

Selon BENTON JONES (2005), l'hydroponie c'est la science de plantation ou de production des plantes dans une solution nutritive riche ou dans un matériel inerte moite, à la place du sol.

Les raisons de développement de cette technique sont multiples. La principale en est d'ordre pathologique. Elle peut apporter en effet une solution, le plus souvent définitive aux problèmes de fatigue des sols (BLANC, 1987).

I.2. Avantages et inconvénients de la culture hors sol

I.2.1. Avantages

Selon URBAN (1997), la culture hydroponique présente plusieurs avantages :

- ✓ Affranchissement des sols contaminés.
- ✓ La meilleure performance agronomique des cultures hors sol.
- ✓ Efficience de l'eau et des engrais est meilleure dans les systèmes de production hors sol.
- ✓ La suppression des travaux de préparation du sol.
- ✓ L'augmentation de production et de rendement par la présence de tous les éléments minéraux dans la solution.
- ✓ Economie d'eau et d'engrais. Les expériences ont montré que la consommation en eau est beaucoup plus moins importante en hors sol qu'en plein champ.

I.2.2. Inconvénients

D'après MORARD (1995), les inconvénients de la culture hydroponique sont :

- ✓ Cout d'installation et d'entretien important.
- ✓ Utilisation d'une haute technologie (nécessite une technicité élevée).
- ✓ Maitrise incomplète des déchets (rejet de solution nutritive, certains substrats non recyclables).

I.3. Différents systèmes de culture hors sol

D'après URBAN (1997), on distingue trois systèmes de culture hors-sol:

I.3.1. Culture aéroponique

Dans laquelle les racines sont placées dans un brouillard nutritif.

I.3.2. Culture hydroponique

Dans laquelle les racines baignent dans un liquide nutritif, On distingue deux autres types:

- L'aquaculture, dans laquelle les racines sont émergées dans une solution non circulante.
- La NFT (Nutrient Film Technic) qui est un système de culture sur film de solution nutritive circulante.

I.3.3. Culture sur substrat inerte

Qui désigne les cultures hors sol faisant appel à des supports de cultures placées dans des conteneurs tels que des pots, des sacs, des tranches ou des bacs.

I.4. Principales cultures cultivées en hors sol

Pratiquement, toutes les plantes peuvent être conduites en hors sol, mais sont principalement concernés les légumiers et petits fruits. L'espèce majeure est les tomates

suivies de la fraise, du concombre, du poivron et de l'aubergine. Depuis quelques années, sont développés le melon, la courgette et la framboise. Cette technique est utilisée en culture florale pour la rose, l'œillet et le gerbera. Dans un but expérimental, les arbres fruitiers sont conduits de cette manière pour étudier leurs besoins en éléments nutritifs (THIAULT, 2004).

I.5. Composantes du système hors sol

Les composantes qui régissent cette technique forment un ensemble constitué par la plantes, le substrat, le conteneur et la solution nutritive (BLANC, 1987).

I.5.1. Substrat

Le terme substrat en agriculture s'applique à tout matériel naturel ou artificiel qui, placé en conteneurs, pur ou en mélange permet l'ancrage du système racinaire et joue ainsi vis-à-vis de la plante le rôle du support (BLANC, 1987).

Avant d'utiliser le substrat, il est nécessaire d'avoir des connaissances sur les caractéristiques physiques du substrat. Il faut que le substrat soit en compatibilité avec les exigences propres du végétal, et du type de culture (LEMAIRE, 1989).

Selon MORARD (1995), le substrat ne semble jouer aucun rôle nutritionnel. Ce support solide inerte n'est pas indispensable. Le prix d'achat, la mise en place et le renouvellement sont les principales raisons qui limitent l'utilisation des substrats.

I.5.1.1. Critères de choix d'un substrat

Selon ZUANG et MUSARD (1986) les critères de choix des substrats se basent sur les critères économiques et techniques suivants :

- Ne pas se tasser.
- Ne pas se dégrader.
- Ne pas blesser les racines.
- Ne pas contenir d'éléments toxiques pour les racines.
- Être chimiquement inerte.
- Avoir une capacité d'échange nulle ou faible.
- Ne pas renfermer d'organismes pathogènes.
- Être facile à désinfecter.
- Être disponible et pas cher.

I.5.2. Conteneurs

D'après FEVERAU (1976) et ZUANG et MUSARD (1986), ce sont des récipients qui contiennent la plante et le substrat isolement du sol.

FEVERAU (1976), ajoute que, le choix des conteneurs doit se faire en fonction de l'espèce cultivée et de son système racinaire. En général les conteneurs sont en matière plastique chimiquement inerte, étanche, durable et facile à installer.

I.5.3. Solution nutritive

En hors sol, il n'y a pas d'apport d'éléments minéraux par le substrat. Ces derniers doivent donc être fournis par la solution nutritive, en même temps que l'eau et doivent être suffisants pour couvrir à chaque instant les besoins de la plante (URBAN, 1997).

La culture hydroponique est réalisée à l'aide d'une solution d'eau contenant les éléments nutritifs indispensables à la croissance en quantité équivalente (FERNANDEZ, 1995).

Le rôle de la solution nutritive est d'apporter l'eau, les éléments minéraux et les oligo-éléments nécessaires à la culture (ZUANG et MUSARD, 1986).

Une solution nutritive donnée, fabriquée avec des sels chimiques totalement dissociés, renferme un nombre total égal l'équivalent de cations et d'anions (DUTHIL, 1973).

La solution nutritive est caractérisée par trois paramètres à savoir : le potentiel hydrogène (pH), la conductivité électrique (CE) et l'équilibre ionique.

I.5.3.1. pH

Pour obtenir des plantes de qualité, il est important de contrôler le pH de la solution nutritive. En effet, le degré d'acidité ou d'alcalinité d'une solution nutritive joue un rôle essentiel sur la solubilité des sels minéraux et sur leur assimilation par la plante.

Selon RAYMOND (1974) in SNOUSSI (1980), le pH idéal se stabilise de 5.5 à 5.8 et une variation importante de ce dernier peut avoir des répercussions graves sur les cultures.

Le pH joue un grand rôle vis-à-vis de l'assimilabilité des principaux fertilisants et des oligoéléments. 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 (BAIZE, 2004).

Le pH détermine comment les éléments nutritifs comportent dans le sol. A un pH défini, certains éléments nutritifs forment des liaisons différentes que les racines des sont incapable d'absorber. Des symptômes carenciels apparaissent alors.

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 elles, un empoisonnement surgit suite à l'absorption exagérée de ces éléments. D'autres plantes, en revanche, désirent une quantité importante de ces éléments (BAIZE, 2004).

I.5.3.2. Conductivité électrique (CE)

Selon LETARD (1995), la conductivité électrique représente la concentration totale en éléments minéraux contenus dans la solution (salinité).

LETARD et PATRICIA (1995), montrent que si la concentration est faible les racines prélèvent très facilement l'eau et en quantités insuffisantes les éléments minéraux. Lorsque la concentration augmente, l'eau est moins facilement absorbée et par conséquent le potentiel hydrique diminue.

I.5.3.3. Equilibre ionique

Il est possible de réaliser un équilibre entre les ions minéraux correspondant aux besoins végétatifs de la culture telle manière qu'il n'y ait pas excès créant salinité résiduelle. (LESAIN, 1974).

Il existe, entre les éléments minéraux, des interactions qui font que d'un élément est modifiée par la présence d'un autre (HELLER, 1998), il peut y avoir :

- Synergie : La pénétration d'un ion amplifiée par la présence d'un autre. (HELLER et *al.*, 1998).
- Antagonisme : Au contraire la présence d'un ion inhibe l'absorption d'un autre. (HELLER et *al.*, 1998).

L'équilibre ionique de la solution demeure constant tout au long de la culture. Pour y parvenir, il faut faire varier la composition minérale de la solution d'apport en fonction du stade de développement des plantes, de leur état végétatif, et des conditions climatiques (URBAN, 1997).

I.5.4. Préparation de la solution nutritive

MORARD (1995), montre que dans la pratique, la procédure à suivre pour la préparation de solution nutritive est la suivante :

- Choix de la formulation adaptée à la culture.
- Analyse de la composition minérale de l'eau d'irrigation.
- Adaptation de la formulation choisie aux teneurs en éléments minéraux.
- Choix de la nature des sels minéraux.
- Calcul des pesés de sels correspondant à la fabrication du volume de solution nutritive préparée (éventuellement à la qualité d'acide à apporter).
- Fabrication des solutions mères A et B d'oligo-éléments.
- Contrôle de la composition minérale de la solution fille à la sortie des goutteurs.

La carence ou l'excès d'un des éléments minéraux provoque des malformations ou des perturbations physiologiques dont certaines se traduisent par des symptômes caractéristiques

(LAFON et *al.*, 1996). Le tableau N°01 résume les symptômes provoqués par l'insuffisance ou l'excès des principaux éléments.

Tableau N°01 : Les symptômes provoqués sur la plante par l'excès ou carence d'éléments.

Eléments	Carence	Excès
Azote	<ul style="list-style-type: none"> -Feuillage jaunissant de façon uniforme. -Tiges minces. -Végétation insuffisante. -Racines très longues, peu ramifiées, blanches. 	<ul style="list-style-type: none"> -Stimulation de la croissance des feuilles au dépend des fleurs. -tissus tendres à parois minces, dans le cas grave, chlorose des bouts de feuilles jusqu'entre nervures, tendant vers nécrose et dessèchement. -Excès de pression osmotique : flétrissement.
Phosphore	<ul style="list-style-type: none"> -Rougisement de la tige et du pétiole des feuilles : angle des nervures très aigue. -Raccourcissement des entre nœuds. -Nanisme générale de la plante. 	<ul style="list-style-type: none"> -Jaunissement général. -Brunissement des extrémités du bord des feuilles suivi de nécrose. -Nécrose racinaire, faible croissance.
Potassium	<ul style="list-style-type: none"> -Chlorose puis brunissement des bords de limbe des feuilles de base, pouvant s'étendre entre les nervures et évoluant vers la nécrose. -Feuilles jaunes plus ou moins roulées. -Croissance diminuée. 	<ul style="list-style-type: none"> -Pas de symptômes spécifiques sur la partie aérienne. -Action indirecte par antagonisme K/Mg ou K/Ca. -Flétrissement provoqué par excès de pression osmotique. -Nécrose racinaire, faible croissance.
Calcium	<ul style="list-style-type: none"> -Feuilles vert sombre tendant vers chlorose des pointes et bordures des feuilles jeunes, puis inter nervures nécrose possible. -Croissance faible, paroi cellulaire fragile, malformation des feuilles, bourgeons terminaux brunissement. -Racines courtes, très ramifiées renflées du bout, marrons par la pointe. 	<ul style="list-style-type: none"> -Effet sur l'utilisation insuffisante du fer et manganèse, chlore. -Taches nécrotiques, croissance diminuée, lente molle.
Magnésium	<ul style="list-style-type: none"> -Elaboration entravée de la chlorophylle. -Chlorose des feuilles du bas principalement tachesinternervaires irrégulières. -Le reste du limbe reste vert. -Le sommet des feuilles a parfois tendance à s'enrouler. -Racine longue, parfois ramifiée. 	<ul style="list-style-type: none"> -Provoque un déséquilibre par absorption insuffisante de K⁺. -Croissance de tige exagérée. -Floraison diminuée. Dans le cas grave, feuilles vertes sombre, plus petites, jeunes feuilles enroulées. -Extrémité de tige se flétrissent. -Forte croissance des racines.
Soufre	<ul style="list-style-type: none"> -Plante entière chlorotique, surtout les jeunes feuilles. 	<ul style="list-style-type: none"> -Feuilles chlorotiques, plus petites se courbant en dedans, pustules sur le

	<ul style="list-style-type: none"> -Feuilles épaisses et dure. -Tige courte, ligneuse. -Nombreuses racines blanches et ramifiées. 	<ul style="list-style-type: none"> bord, brunissement margina. -Tiges dures, jaunissement de l'extrémité. -Très Nombreuses racines blanches et rameuses.
Fer	<ul style="list-style-type: none"> -Chlorose internervaire évoluant vers jaunissement général du limbe des jeunes feuilles. -Tige mince. 	<ul style="list-style-type: none"> -Excès rare, dans le cas général chlorose générale. -Nécrose racinaire.
Manganèse	<ul style="list-style-type: none"> - Chlorose internervaire des jeunes feuilles évoluant vers des taches nécrotiques brunes, les nervures restent vertes. 	<ul style="list-style-type: none"> -Dans le cas grave : l'aspect chlorotique, feuilles bordures et frisolées.
Zinc	<ul style="list-style-type: none"> -Chlorose mouchetée des feuilles suivie de nécrose et chute des feuilles. -Raccourcissement entier des entre nœuds. 	<ul style="list-style-type: none"> -Chlorose surtout des jeunes feuilles, y compris nervures. Les vieilles ont des nervures rouges ou noires puis se dessèchent. -Les bourgeons terminaux meurent.
Cuivre	<ul style="list-style-type: none"> -Chlorose des jeunes feuilles. -Plantes molles, séchant facilement. 	<ul style="list-style-type: none"> - Chlorose des feuilles avec taches brunes -Les nervures restent vertes.
Bore	<ul style="list-style-type: none"> -Rubéfaction des feuilles, deviennent vert clair. -Souvent les taches brunes sur les tiges : l'apex dépérit, les pousses inférieures se développent. -Racines jaunes ou brunes ridées, pourrissant du collet. 	<ul style="list-style-type: none"> -Jaunissement du bord des feuilles gagnant toute la surface laissant de graves taches brunes sur les bords puis chute des feuilles.



Chapitre II

Salinité

II.1. Généralités sur la salinité

La salinité est un facteur environnemental très important qui limite la croissance et la productivité des plantes (ALLAKHVERDIEV *et al.*, 2000 in PARIDA et DAS, 2005).

Elle est souvent associée à la sécheresse et elle entraîne une réduction des surfaces cultivables (MARCUM, 2006) et menace l'équilibre alimentaire mondiale (KINET *et al.*, 1999).

Dans un pays aride du désert et des steppes, la salinité du sol est toujours plus élevée. Les sels cristallisés se déposent à la surface du sol (point de contact entre l'air et la terre) l'eau remontant à la surface pour ensuite s'évaporer dans l'atmosphère. (CARDEN, 2009).

II.1.1. Définition

D'après IMALET (1979), la salinité du sol peut être définie comme étant la quantité globale des sels contenus dans la solution du sol, c'est-à-dire la concentration saline de l'eau qui circule sans distinction ni la nature, ni la quantité des divers sels présents.

Selon LEGOUPIL (1974), la salinisation se produit par accumulation de sels solubles dans le sol sous l'action de l'eau. Et trois facteurs interviennent dans la salinisation à savoir : le climat, le drainage et l'irrigation.

La salinisation est le processus par lequel les sels solubles s'accumulent dans le sol. Elle a été identifiée comme un processus majeur de la dégradation des terres. Les causes techniques les plus importantes à l'origine de la diminution de la production sur de nombreux périmètres irrigués, particulièrement dans les zones arides et semi-aride (LEKAMA et TOMINI, 2006).

II.1.2. Causes de la salinité

Selon (HARTANI *et al.*, 2008), les rares précipitations, l'évaporation élevée, l'irrigation avec de l'eau saline et les pratiques culturelles sont parmi les facteurs principaux qui contribuent à la salinité croissante.

SAXENA (2006), ajoute que les principales causes de salinité sont la présence des eaux salines natives, l'irrigation par une eau saline, la remonté d'eau et l'absence de drainage, la limite des ressources en eau dans les zones arides et le manque des eaux douces pour recouvrir les besoins.

II.1.3. Origine de la salinité

Le matériau géologique, par le biais de l'altération, peut libérer les éléments nécessaires à la formation des sels solubles (altération de minéraux primaires riches en sodium, de roches volcaniques, des produits de l'hydrothermalisme riches en soufre et en chlore, ou encore dissolution des évaporâtes, qui sont des accumulations salines anciennes).

L'eau de mer est, bien entendu, une source principale de sel en milieu côtier. La salinisation peut alors être un phénomène permanent lié aux marées (salinisation marine), ou encore due à la présence de lentilles d'eau sur-salées lorsque les zones basses sont isolées de la mer par un colmatage alluvial (BOUALLA et *al.*, 2012).

Une nappe phréatique, d'origine continentale et salée par héritage géologique, peut contaminer le sol par ascension capillaire.

L'eau d'irrigation, on parle alors de salinisation anthropique. Elle peut être très rapide et se manifester à l'échelle de l'année, de la dizaine d'année ou de quelques siècles. Ce type de salinisation est la conséquence de pratiques agricoles dû à la mauvaise combinaison d'une forte évaporation et d'un apport inadapté d'eau d'irrigation en relation avec son contenu en sels dissous. La remontée de la nappe phréatique peut atteindre plusieurs dizaines de mètres (BOUALLA et *al.*, 2012).

II.1.4. Différents types de salinité

On distingue deux types de salinité des sols salins (solontchaks) et les sols alcalins (solonetz).

Les sols salins (solontchaks) ont comme principale caractéristique leur richesse en sels solubles notamment des chlorures et sulfates de sodium, de magnésium, de potassium, etc. Ces sols sont généralement dominants dans les régions arides et semi-arides.

Les sols alcalin (Solontez), ce sont des sols présentant des teneurs en sels alcalins (carbonates et bicarbonates) élevées et un pH est supérieur à 8,8 ce qui empêche la croissance de la plus part des plantes. Le sodium échangeable représente moins de 15% du complexe d'échange (LOZER et MATHIEU, 1990).

Tableau N°02: Evaluation des sols salins.

Conductivité électrique (CE) en dS/m	Evaluation des sols
CE < 2 2 < CE ≤ 4 4 < CE ≤ 8 CE > 8	Sols ne sont pas salés Sols sont faiblement salés Sols sont moyennement salés Sols sont halomorphes

(INSID, 2008)

II.2. Types de salinisations

II.2.1. Salinisation primaire

On parle de salinisation primaire lorsque le sel trouvé dans le sol provient de l'altération insitu de roche des roches salifiées, primaire (HARTANI et MERABET, 2003).

Selon ANONYME (2006) in SAOU (2012), 80% des terres salinisées ont une origine naturelle. On parle alors de salinisation primaire, due aux sels se formant lors de l'altération des roches ou à des apports naturels externes.

II.2.2. Salinisation secondaire

Elle est induite par l'activité humaine et fréquemment liée à des pratiques agricoles (MERMOURD, 2006).

La salinité secondaire due à des processus de salinisation liés à des activités anthropiques, en particulier à l'irrigation mal conduite dans certaines zones agricoles (ANTIPOLIS, 2003), La salinisation est dite "secondaire" lorsqu'elle est produite par des activités anthropiques (agricoles, industrielles...) telles que l'irrigation, l'exploitation minière, le salage des routes ou le rejet d'eaux usées domestiques. Dans la nature, la plupart des cas de salinité sont dus aux sels de sodium et surtout au NaCl (TANJI, 1996 in DEROUICHE, 2012).

II.3. Salinité dans le monde et en Algérie

II.3.1. Salinité en Algérie

Les dommages de la salinité sont connus dans les pays du Maghreb, à cause de la mauvaise gestion des eaux d'irrigation.

En Algérie, les périmètres irrigués, surtout au sud où les apports en eau sont importants à cause du déficit hydrique (ETP : +200 mm / an), sont largement affectés par la salinisation secondaire, cette dernière participe aux chutes des rendements agricoles. La rareté de la pluie (<100 mm/an) a contraint les agriculteurs à utiliser les eaux des nappes phréatiques qui sont fortement minéralisées (DEKHINAT et *al.*, 2010).

D'après SZABALOCS (1989), 3,2 millions d'ha subissent à des degrés de sévérité variable, le phénomène de salinisation dont une bonne partie se trouve localisée dans les régions steppiques où le processus de salinisation est plus marqué du fait des températures élevées durant presque toute l'année, du manque d'exutoire et de l'absence de drainage efficient.

Le phénomène de salinisation est observé dans les plaines et vallées de l'Ouest du pays (Mina, Cheliff, HabraSig, Maghnia), dans les hautes plaines de l'Est (Constantine, Sétif, Bordj Bou Arreridj, Oum El Bouagui), aux abords des chotts et de sebkha et dans le grand sud (dans les oasis, le long des oueds, etc....) (INSID, 2008).

II.3.2. Salinité dans le monde

La zone aride occupe environ le 1/3 de la surface terrestre et se trouve surtout concentrée en Afrique, en Asie et en Australie. En Afrique, 55% de la superficie est constituée de désert ou des régions désertiques à divers degrés (HALITIM, 1988).

Selon LEKAMA et TOMINI (2006), IPTRID est estimé que 10% à 15% des zones irriguées souffrent de la salinité et 0,5% à 1% des cultures sont délaissées chaque année, et à long terme la moitié de ces périmètres seront affectés par la salinité.

Les terres émergées représentent 3,5 milliard d'ha. Mais quand on a retiré les déserts, les hautes montagnes, le Groenland, il reste 03 milliards d'ha cultivables, soit 22% du total. La salinisation des terres est un problème majeur à l'échelle du globe, selon les estimations.

Les plus récentes, elle affecte déjà au moins 400 millions d'ha et en menace gravement une surface équivalente (LEGROS, 2009).

Tableau N°03 : Superficies affectées par la salinité dans le monde (LASRAM, 1995).

Régions	Superficie affectée En million d'ha	régions	Superficie affectée En million d'ha
Afrique	80,5	Australie	357,3
Europe	50,8	Mexique et Amérique centrale	2,0
Amérique du nord	15,7	Asie centrale et du nord	211,7
Amérique du sud	129,2	Asie du d sud-est	20,0
Asie du nord	87,6	-	-
Total		954,8	

II.4. Effets de la salinité sur les plantes

Selon DUBEY (1997) et YEO (1998), la salinité provoque à la fois un stress ionique et un stress osmotique sur les plantes et les réponses les plus connus des plantes à la salinité sont liées à ces effets.

La réponse des plantes stressées à la salinité se traduit par une réduction de leur croissance (PAPDI et *al.*,2008). L'effet initial et primaire de la salinité, pour des concentrations faibles à modérées, est dû à ses effets osmotique (OMAMI,2005).

Les effets osmotiques des sels sur les plantes sont le résultat de l'abaissement du potentiel hydrique du sol dû à l'augmentation des concentrations des solutés dans le profil racinaire des plantes. Aux potentiels hydrique du sol très faible, cette condition interfère avec

la capacité des plantes à extraire l'eau à partir du sol et à maintenir leur turgescence (RUBIO et *al.*, 2008).

Ainsi, chez quelques espèces le stress salin ressemble au déficit hydrique. Cependant, à des concentrations faibles ou modérées en sels (potentiel hydrique du sol élevés), les plantes s'ajustent osmotiquement en accumulant des solutés afin de maintenir un potentiel interne suffisant pour l'afflux de l'eau (GUERRIER, 1996, GHOULAM et *al.*, 2002).

La croissance des plantes peut être modérée dans de telles conditions, mais à la différence au déficit hydrique, les plantes stressées ne sont pas déficientes en eau (SHANNON, 1984).

Les concentrations ioniques élevées peuvent désorganiser l'intégrité et la fonction membranaire, elles interfèrent avec la balance interne les solutés et l'absorption de nutriments (GRATTAN et GRIEVE, 1999).

Le sodium et le chlorure, habituellement les ions les plus répons dans les sols salins, expliquent la plupart des effets délétères qui peuvent être liées aux toxicités spécifiques des ions (LEVITT, 1980).

Le degré auquel la croissance est réduite par la salinité diffère considérablement avec l'espèce et à un moindre degré avec les variétés (BOLARIN et *al.*, 1991; GHOULAM et *al.*, 2002).

La sévérité de la réponse à la salinité est également influencée par les facteurs environnementaux tels que l'humidité relative, la température, le rayonnement et la pollution atmosphérique (SHANNON et *al.*, 1994).

L'accumulation des sels dans les feuilles cause la sénescence prématurée, la réduction de l'approvisionnement en assimilés dans les zones de croissance et de ce fait, elle altère la croissance des plantes (MUNNS et *al.*, 1995). Dans les variétés sensibles, l'accumulation des sels est plus rapide, et les cellules ne peuvent pas compartimenter les sels dans les vacuoles au même degré que les variétés tolérantes, les feuilles périssent (MUNNS, 1993). NEUMANN (1997) a considéré que l'inhibition de la croissance des feuilles par les sels diminue le volume des nouveaux tissus foliaire dans lesquels les sels peuvent être accumulés excessivement. Le stress salin affecte tous les principaux processus tels que la croissance, les relations hydriques, la photosynthèse et l'absorption des minéraux.

II.4.1. Effets de la salinité sur la croissance des plantes

Plusieurs recherches ont montré la réduction de croissance de plantes en raison du stress salin, chez la tomate (ROMERO-ARANDA et *al.*, 2001), le coton (MELONI et *al.*, 2001) et la betterave à sucre (GHOULAM et *al.*, 2002). Cependant, des différences dans la tolérance à la

salinité sont notées entre les espèces et les variétés ainsi parmi les différents paramètres de la croissance de plantes mesurés.

AZIZ et KHAN (2001), ont constaté que la croissance optimale de *Rhizophora mucronata* a été obtenue après l'irrigation par 50% de l'eau de mer ; la croissance diminue avec la concentration de la salinité tandis que chez la légumineuse *Albati pseudoalbagi*, le poids frais de la plante s'accroît sous une faible salinité (50 meq.l⁻¹ NaCl) mais il diminue à des doses élevées (100 et 200 meq.l⁻¹NaCl) (KURBAN et al., 1999).

Chez la betterave à sucre, la masse fraîche et sèche des feuilles et des racines a été nettement réduite à 200 meq.l⁻¹NaCl, mais le nombre de feuilles était moins affecté (GHOULAM et al., 2002). (FISARAKIS et al., 2001), ont enregistré une grande réduction d'accumulation de la matière sèche dans les feuilles que dans les racines de la vigne, en particulier à des concentrations élevées en NaCl, indiquant une répartition des photosynthés en faveur dans les racines. Ils ont proposé que les résultats puissent être dus à de plus grandes capacités d'ajustement osmotique sous stress par les racines.

II.4.2. Effets de la salinité sur les relations hydrique

La cause principale de la réduction de croissance des plantes peut résulter des effets de la salinité sur le status hydrique. Selon (SOHAN et al., 1999) et (ROMERO-ARANDA et al., 2001) l'accumulation des sels dans le profil racinaire peut mener à une diminution du potentiel hydrique foliaire et, par conséquent, peut affecter plusieurs processus vitaux.

Les effets osmotiques des sels sur les plantes sont en raison d'un abaissement du potentiel hydrique du sol très bas, cette condition interfère la capacité des plantes d'extraire l'eau du sol et de maintenir leur turgescence (SOHAN et al., 1999).

Ainsi, dans quelques aspects, le stress salin peut ressembler au stress hydrique cependant, à la concentrations en sels basse ou modérées, l'épaisseur épidermique et mésophyllienne et les espaces intercellulaires ont diminué de manière significative dans les feuilles de *Brugueira parviflora* traitées par NaCl (PARIDA et al., 2004). Dans les feuilles des épinards, la salinité s'est avérée pour réduire les espaces intercellulaires (DELFINE et al., 1998) tandis que chez la tomate, une réduction de densité stomatique s'est produite (ROMERO-ARANDA et al., 2001).

II.4.3. Effets de salinité sur l'anatomie de la feuille

La salinité provoque de nombreux changements anatomiques de la feuille chez un certain nombre de plantes. Les feuilles du haricot, le coton et l'Atriplex discernent une augmentation de l'épaisseur épidermique, l'épaisseur mésophyllienne, la longueur de cellules

palissadiques, les diamètres du palissade et des cellules spongieuses suite à l'augmentation de la salinité (LONGSTRETH et NOBLE,1979). En revanche, l'épaisseur épidermique et mésophyllienne et les espaces intercellulaire ont diminué sensiblement dans les feuilles de *Brugueira parviflora* traitées par NaCl (PARIDA et al.,2004). La salinité réduit les espaces intercellulaires chez les feuilles des épinards (DELFINE et al.,1998) tandis que chez les plantes de tomate, une réduction de la densité stomatique s'est produite (ROMERO-ARANDA et al.,2001).

II.4.4. Effets de la salinité sur la photosynthèse

La croissance des plantes dépend de la photosynthèse et, en conséquence, les stress environnementaux affectant la croissance affectent également la photosynthèse (TAIZ et ZEIGER,2002). Les études entreprises sur différentes espèces végétales ont prouvé que la capacité photosynthétique est déprimée par la salinité (PARIDA et al.,2004).

IYENGAR et REDDY (1996), ont attribué des diminutions du taux d'assimilations photosynthétique en raison de la salinité à un certain nombre de facteurs sont :

- La déshydratation des membranes cellulaires qui ramènent leur perméabilité au CO₂ suite à la diminution du potentiel hydrique interne qui inactive réversiblement le transport des électrons lors de la photosynthèse par l'intermédiaire du rétrécissement des espaces intercellulaires.
- La toxicité provoquée en particulier par les ions Na⁺ et Cl⁻ et la réduction de l'absorption du NO₃⁻ combinée avec le stress osmotique peuvent expliquer l'effet inhibiteur de la salinité sur la photosynthèse.
- La réduction de l'approvisionnement en CO₂ en raison de la fermeture des stomates.

D'autres causes réduisent le taux d'assimilation photosynthétique sous l'effet de la contrainte saline ont été identifiées comme la sénescence induite par la salinité et les changements de l'activité enzymatique induits par les changements de la structure cytoplasmique.

Les plantes manifestent plusieurs modifications afin de tolérer les conditions salines défavorable et pour maintenir l'activité photosynthétique, une compréhension de ces mécanismes facilitera l'amélioration de la croissance et du rendement et fournira les outils utiles pour l'amélioration génétique (OMAMI,2005).

II.4.5. Effets de la salinité sur les niveaux d'ions et le contenu nutritif

Une concentration élevées en sels (NaCl) concurrence l'absorption des autres ions nutritifs, comme le K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , N et P ayant pour résultat un désordre alimentaire et éventuellement, un rendement et une qualité réduits (GRATTAN et GRIEVE,1999).

La concentration élevées en NaCl induisent un accroissement des teneurs en Na^+ et en Cl^- et une diminution accrue des niveaux de Ca^{2+} , de K^+ et de Mg^{2+} chez un certain nombre de plantes (PEREZ-ALFOCEA et al.,1996, KHAN et al.,2000, BAYUELO-JIMENEZ et al.,2003, CHADLI et al.,2007).

(GHOULAM et al.,2002) ont observé une augmentation du contenu en Na^+ et Cl^- dans les feuilles et les racines de *Beta vulgaris* à l'égard de l'augmentation de la concentration en NaCl dans le profil racinaire. Le contenu des feuilles en K^+ diminue en réponse au NaCl, mais celui des racines n'est pas affecté par le traitement salin. Une augmentation significative du contenu en Na^+ et Cl^- des feuilles, de la tige et de la racine de *Brugueira parviflora* est apportée sans aucun changement significatif du niveau endogène de K^+ et de Fe^{2+} dans les feuilles (PARIDA et al.,2004). Des diminutions de la teneur en Ca^{2+} et en Mg^{2+} des feuilles ont également été rapportées chez cette espèce. Sous les conditions salines, l'absorption de N_2 par les plantes est généralement affectée et certaines études ont prouvés que la salinité peut réduire l'accumulation de N_2 dans les plantes (FEIGIN et al.,1991, PARDOSSI et al.,1999, SILVEIRA et al.,2001). Une augmentation de l'absorption en Cl^- est observée et accompagnée d'une diminution des concentrations de NO_3^- chez l'aubergine (SAVVAS et LENZ,1996) et la vigne (FISARAKIS et al.,2001). Les auteurs ont attribué cette réduction à l'antagonisme entre le Cl^- et le NO_3^- (BAR et al.,1997) tandis que d'autres attribuaient cette réponse à l'absorption réduite de l'eau par la plante (LEA-COX et SYVERTSEN,1993).

L'effet de la salinité sur la concentration du phosphore est rapporté par GRATTAN et GRIEVE (1994) pour être fortement dépendant de l'espèce végétale, du stade de développement de la plante, de la composition et le niveau de la salinité, et de la concentration du phosphore dans le substrat de culture. Dans la plupart des cas, la salinité réduit la concentration du phosphore dans les tissus du végétale (SONNEVELD et De KREIJ,1999; KAYA et al.,2001), mais les résultats de quelques études indiquent que la salinité accroît son taux ou elle n'a aucun effet sur son absorption par la plante (ANSARI,1990). La réduction de la disponibilité du phosphore dans les sols salins est suggérée par (SHARPLEY et al.,1992) pour être un résultat des effets des concentrations ionique qui réduisent l'activité du phosphate, le contrôle serré des concentrations du phosphore par les processus de l'absorption et par la faible solubilité de ces minéraux.

Selon (VILLORA *et al.*,1997) et GRATTAN et GRIEVE (1999) le déséquilibre nutritif peut résulter de l'effet de la salinité sur la disponibilité des nutriments, l'absorption concurrentielle, le transport ou la répartition au sein de la plante, ou peut être provoqué par une inactivation physiologique d'un élément donné ayant pour résultat une augmentation des besoins internes des plantes pour cet élément essentiel.

II.5. Tolérance des plantes à la salinité

La résistance des plantes à la salinité est définie par SHANNON et GRIEVE (1999) comme étant la capacité inhérente des plantes à résister aux effets des concentrations élevées en sels dans le profil racinaire sur les feuilles sans subir des effets nuisibles significatifs.

SACHER et STAPLES (1984) ont défini la tolérance à la salinité comme étant la capacité des plantes d'accroître et d'accomplir son cycle de vie sur un substrat qui contient des concentrations élevées en sels solubles. Dans cet habitat la plante doit répondre à deux exigences : l'adaptation osmotique et l'acquisition des éléments minéraux dont elle a besoin pour la croissance et le fonctionnement du métabolisme.

LEVITT (1980) et (SHANNON *et al.*,1994) ont classifié les plantes en halophytes et en glycophytes selon leur sensibilité à la salinité. Les halophytes sont des plantes qui peuvent se développer en présence des concentrations élevées de sels et ont un avantage concurrentiel par rapport aux plantes non-halophytes dans cet environnement. Les glycophytes sont les plantes sensibles aux concentrations relativement faibles en sels. Presque toutes les espèces principales cultivées aussi bien que la plupart des espèces sauvages sont des glycophytes. Bien que les différentes réponses à la salinité élevée puissent différer, plusieurs études suggèrent que toutes les plantes voient les mêmes mécanismes régulateurs de tolérance aux sels, et que les différences entre les espèces halophytes et glycophytes sont à caractère quantitatif plutôt que qualitatif (GREENWAY et MUNNS, 1980, ZHU,2001). La sensibilité des plantes à la salinité des sols est également fortement dépendante des facteurs environnementaux (SHANNON *et al.*,1994), de l'espèce végétale, des cultivars au sein de la même espèce (ASHRAF,2001), aussi bien que du stade de développement de la plante (VICENTE *et al.*,2004).

Pour décrire la réponse d'une plante exposée à un stress salin MUNNS et TERMAAT (1986) puis MUNNS (1993 et 2005) ont défini un modèle bi-phasique :

a- Phase de dominance du stress osmotique : La concentration en sels augmente, et donc le potentiel osmotique de la solution du sol diminue. Dans cette phase, le stress physiologique est causé par l'excès d'ion à l'extérieur de la plante et est similaire à un stress hydrique. Un stress osmotique est provoqué dans un milieu où le potentiel hydrique de l'eau

est, au moins, réduit de 0,5 à 1,0 bar suite à l'accumulation de sels (LEVITT,1980). Ce stress hyperosmotique entraîne immédiatement une réduction de la pression de turgescence et de façon subséquente de la croissance. Néanmoins, l'essentiel de l'inhibition de la croissance sur l'ensemble de la période de stress est régulé par les signaux hormonaux en provenance des racines exposées (MUNNS et TERMAAT,1986 ; MUNNS,1993,2002,2005 ; HASEGAWA et *al.*,2000 ; MULHOLLAND et *al.*,2003).

b- Phase de dominance du stress ionique : Pour résorber la sécheresse physiologique par l'ajustement osmotique, la plante accumule éventuellement les osmolytes et en particulier les ions minéraux en excès dans les tissus lorsqu'ils atteignent des concentrations toxiques pour le métabolisme (LEVITT, 1980).

De nombreuses stratégies de réponse peuvent être adoptées de ce modèle synthétique selon les potentialités des plantes. Il s'agit également de considérer que selon la réponse de la plante à la sécheresse physiologique définissant la 1^{ère} phase on observera ou non une réponse typique de la 2^{ème} phase et une plante qui exclut les sels en excès de ses tissus devrait en principe montrer essentiellement une réponse à la dessiccation. Une plante favorisant l'absorption des sels dans ses tissus montrera également une réponse au stress ionique (MUNNS et TERMAAT,1986). Il est important de noter à ce point qu'un stress salin, osmotique et ionique, fait référence à un excès et n'inclut pas les stress indirectement causés par les carences minérales (LEVITT,1980).

II.5.1. Interaction entre la salinité et les facteurs environnementaux

La capacité des plantes à tolérer la salinité dépend de l'interaction entre la salinité et les facteurs environnementaux tels que le sol, l'eau, et les conditions climatiques (SHANNON et *al.*,1994). Plusieurs espèces sont moins tolérantes à la salinité une fois développées dans des conditions chaudes et sèches que dans les conditions fraîches et humides (SCHULZE et *al.*,2005). Dans les conditions chaudes et sèches le rendement diminuera plus rapidement avec l'augmentation de la salinité comparée à la réduction de rendement dans des conditions fraîches et humides. C'est principalement dû à l'accumulation réduite d'ions et/ou aux relations hydriques améliorées dans les dernières conditions, par conséquent, une compréhension de base de ces interactions est nécessaire pour une évaluation précise de la tolérance aux sels (OMAMI,2005).

II.5.2. Variabilité génotypique et la résistance à la salinité

Le rendement des plantes diminue nettement avec l'augmentation de la concentration en sels, mais le seuil auquel s'établissent ces diminutions varie avec l'espèce. Il y a des

différences interspécifiques marquées dans la tolérance des plantes à la salinité et dans les écotypes d'une espèce qui peuvent tolérer des concentrations élevées en sels que les populations normales (HESTER et *al.*,2001).

Le genre *Phaseolus*, inclut importantes espèces cultivées et des espèces sauvages avec des adaptations écologiques diverses. L'analyse de (BAYUELO-JIMENEZ et *al.*,2002) divulgue des variations intraspécifiques et interspécifiques substantielles importantes de la tolérance à la salinité. Les espèces sauvages sont généralement avérées plus tolérantes aux sels que les espèces cultivées, et beaucoup d'accessions tolérantes des zones arides, cotières, ou salines (OMAMI,2005).

II.5.3. Influence du stade de développement sur la résistance à la salinité

La réponse des plantes à la salinité varie avec le stade de développement auquel la salinisation est initiée (SCHULZE et *al.*,2005). Cependant, les informations sur la tolérance aux sels des plantes aux différents stades de leur croissance sont limitées ; un cultivar donné peut être tolérant à un stade et sensible aux autres et les données disponibles conviennent généralement que le stade de croissance jeune est le plus sensible pour la plupart des plantes (VICENTE et *al.*,2004). Des associations significatives et non significatives entre la tolérance au stade de germination et la croissance et le développement des plantes adultes ont été indiquées (BAYUELO-JIMENEZ et *al.*,2002). Bien que la salinité retarde la germination et l'apparition des cotylédones, la plupart des plantes sont capables de germer sous des conditions de salinité élevée qu'elles toléreraient normalement au stade végétatif ou reproducteur de la croissance (BELKHODJA et BIDAI,2004 ; LUHUA et *al.*,2008).

La sélection des plantes tolérantes à la salinité au stade de germination, au stade jeune plante ou au stade de croissance végétative précoce peut ne pas produire des plantes adultes tolérantes (KINGSBURY et EPSTEIN,1984). En revanche, la tolérance des jeunes plantes aux conditions salines est considérée fortement prédictive de la réponse des plantes adultes à la salinité (AZHAR et MCNEILLY,1987).

(ASHRAF et *al.*,1986) ont évalué des jeunes plantes d'orge, de blé et de sept herbes fourragères et ont démontré une tolérance considérable à la salinité au stade adulte. De même, les études entreprises par (BAYUELO-JIMENEZ et *al.*, 2002) sur cinq accessions de *Phaseolus filiformis* précédemment identifiés en tant que tolérants au stade de croissance végétative une fois exposées à 180 meq.l⁻¹ NaCl. Cette tolérance observée peut ou ne peut être exprimée pendant la reproduction. Néanmoins, la tolérance manifestée pendant les différents stades de croissance détermine la performance de l'espèce (SHANNON,1984).

II.5.4. Synthèse et accumulation de la proline

➤ Définition de la proline :

La proline ou acide pyrrolidine 2-carboxylique est l'un des vingt principaux acides aminés qui entrent dans la composition des protéines. Sa masse moléculaire est égale à 61.14 Dalton.

➤ Structure de la proline :

La structure de la proline est un peu particulière puisqu'il s'agit du seul acide aminé cyclique. En effet, sa chaîne latérale constituée de deux CH₂ rejoint le NH impliqué dans la liaison peptidique.

La proline est le seul acide aminé dont la fonction amine soit secondaire.

Le radical de la proline comprend donc 3 carbones saturés. Le tout forme un noyau pyrrole (4 carbones et 1 azote).

La présence d'une proline dans la structure primaire d'une protéine empêche la constitution des liaisons hydrogènes de la structure secondaire.

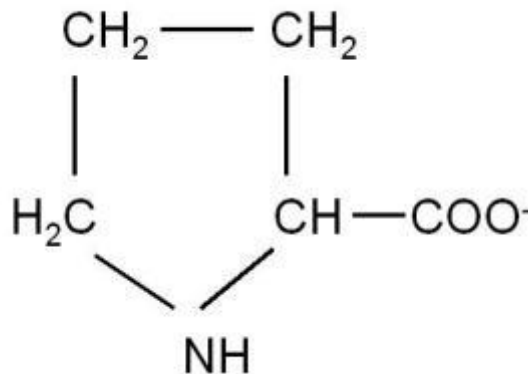


Figure N°01 : Structure de la proline.

L'accumulation des solutés compatibles induit une diminution du potentiel hydrique et permet l'absorption de l'eau de l'environnement (Kumara et *al.*, 2003 in Messedi et *al.*, 2006).

La proline désigné généralement sous le nom de soluté compatible chez les eubactéries, les algues, et les plantes supérieures. L'accumulation de la proline est due principalement à la synthèse de novo, et deuxièmement à un taux réduit du catabolisme, et finalement aux systèmes de transport spécifiques qui diffusent la proline aux endroits de besoin. Deux voies possibles de la synthèse de proline ont été démontrées chez les plantes. La première utilisant le glutamate et la deuxième emploie l'ornithine comme précurseur. La dégradation de proline chez les plantes a lieu dans des mitochondries et est catalysée par la proline déshydrogénase

(ProDH), également appelée proline oxydase. On a démontré que la dégradation de la proline est inhibée sous le stress hydrique et salin. Une diminution dans le niveau de ProDH ARN m et de l'activité de ProDH a pour conséquence l'accumulation de la proline. (Messedi et *al.*,2006).

La proline et les sucres solubles se sont significativement accumulés dans les feuilles sous l'effet du sel. Ils participeraient aux phénomènes d'ajustement osmotique. Le transport ou/et l'utilisation de l'amidon ont été perturbés causant son accumulation dans les chloroplastes. Le stress salin a provoqué aussi une désorganisation des membranes thylakoïdiennes et une accumulation de globules lipidiques au niveau du stroma. (Ben Khaled et *al.*,2003).

II.5.5. Effet de la salinité sur la sécrétion de la chlorophylle

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).



Chapitre III

Le haricot

III.1. Histoire et origine de la culture du haricot

Le Haricot est l'une des légumineuses alimentaires qui a suscité un débat controversé sur son éthologie et son origine dans l'histoire (CHAUX et FOURY, 1994). Le terme *Phaseolus* était utilisé par les anciens grecs puis, dans les langues romaines, cette plante fut appelée fasiolo, fugol, fesol, fasole (GIBAULT, 1896).

Le Haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L.) appartient donc à la famille des Légumineuses appelée aujourd'hui Fabacée. Il est le plus cultivé en Amérique centrale et en Amérique du sud. Il a été découvert par Christophe Colomb sur l'île de Cuba il y a environ 7000 ans. Il était déjà cultivé par les habitants du Mexique et du Pérou (EVANS, 1976). Ensuite, il a peu à peu conquis toute l'Amérique du Sud (LAMBOLEY, 2001).

III.2. Classification botanique

Le Haricot, *P vulgaris* L., appartient à la tribu des *Phaeolus* dont le nombre chromosomique est $2n = 22$ (CHAUX et FOURY, 1994).

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.

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

D'après (PITRAT et FOURY, 2003), selon les variétés cultivées on peut classer le haricot en cinq types :

- 1- Croissance indéterminée :
 - ✓ Grimpants ou à rames à tiges simples ou peu ramifiées.
 - ✓ Semi-grimpants à entre nœuds courts.
 - ✓ Ramifié à la base, port buissonnant.
- 2- Croissance déterminée :
 - ✓ Multi-étage à port dressé, nain
 - ✓ A entre nœuds courts buissonnant nain.

III.3. Importance du haricot dans le monde et en Algérie

A l'époque actuelle, le Haricot est un des légumes les plus répandus dans le monde. Il est largement consommé en sec et en frais ou sous forme de différentes conserves durant toute l'année (KOLEV, 1976) du fait de sa teneur élevée en protéines et en micronutriments comme le fer et l'acide folique, il représente l'une des composantes les plus importantes de l'alimentation humaine dans de nombreux pays en voie de développement tels l'Amérique latine et l'Afrique (G. FOUILLOUX et H. BANNEROT, 2003).

En Amérique latine, cette culture a une grande importance économique car elle procure une source de revenus aux petits fermiers (PACHICO, 1989). (Baudouin et *al.*, 2001) estiment qu'il est de l'ordre de 0,2 à 0,5 t/ha dans les systèmes culturaux traditionnels et de 3 à 6 t/ha en stations expérimentales ou en cultures modernes. La consommation du haricot se répandit d'abord dans différents pays méditerranéens. Quant aux Français, ils le découvrent en Algérie et apprécient surtout le Haricot « beurre » qu'ils baptisent « haricot d'Alger ».

Selon l'ensemble de la communauté économique européenne le Haricot vert fin (type French bean) tient une place non négligeable. La production européenne porte essentiellement sur des types de mangetout classiques à cosse ronde récoltés dans les calibres moyens à gros (type Bobby) ou à cosse plate. Une part importante est destinée à l'industrie.

L'Égypte est considérée comme étant la première source d'approvisionnement de l'Europe en Haricots verts de type mangetout (Bobby). Néanmoins l'Afrique occidentale assure divers types de production, privilégiant les haricots de type filet destinés pour la France. Le premier pays exportateur de produits de haute valeur (frais, primeurs ou tardifs) est l'Espagne.

Selon KOLEV(1976), la culture du Haricot en sec et en frais est plus ou moins répandue dans toutes les régions de l'Algérie. C'est un légume bien apprécié et recherché pendant toute l'année.

D'après LAUMONNIER (1979), la culture de cette légumineuse occupe une très grande importance dans l'alimentation humaine, elle est cultivée sur une grande échelle pour l'approvisionnement des conserveries (HADJ-MESSAOUD, 1991).

Tableau N°04: Production du Haricot en Algérie.

	Haricot vert			Haricot sec		
	superficie	production	rendement	superficie	production	Rendement
2002	6400	297500	46.5	1190	8640	7.3
2003	6730	406810	60.4	1560	10960	7.0
2004	7534	411000	54.6	1992	15810	7.9
2005	6928	332650	48.0	1206	6660	5.5
2006	7766	355076	45.7	1496	9145	6.1
2007	8532	413220	48.4	1394	9170	6.6
2008	8622	401208	46.5	1040	5441	5.02
2009	8918	450964	50.6	1616	11588	7.2
2010	9599	534874	55.7	1214	8449	7.0
2011	9197	545812	59.3	1218	9525	7.8
2012	10707	607867	56.8	1573	10240	6.5

(MADR,2013) **III.4. Description de la plante**

III.4.1. Feuilles

Les deux premières feuilles présentent des limbes simples et cordiformes. Celles qui suivent sont très trifoliées, pointues à leurs extrémités et arrondies à la base, disposées de façon alternées (CHAUX, 1972 ; BEZPALY, 1984).

III.4.2. Tiges

La tige du Haricot est herbacée parfois lignifiée à la base. Généralement elle est angulaire mince, volubile chez les variétés à rames avec une longueur différente d'après la variété : 30 à 50cm pour les variétés naines et jusqu'à 02m (même plus) pour les variétés à rames (KOLEV, 1976).

III.4.3. Racines

La racine principale n'est pas dominante et sa croissance peut être facilement stoppée par les obstacles du sol. Les racines latérales sont nombreuses et ont un développement qui dépasse par la suite en longueur celui de la racine principale. En conditions moyennes, les racines atteignent 15 cm de profondeur au stade de la 3ème feuille trifoliolée et dépassent 30cm au début de floraison (CHAUX et FOURY, 1994)

III.4.4 Fleurs

Les fleurs sont autogames de types cinq (10 étamines dont 9 soudées et une libre). A l'aisselle des feuilles apparaissent les fleurs groupées en inflorescences de 4 à 10 fleurs (KOLEV, 1976).

Selon PERON (2006), la floraison est terminale que ce soit sur la tige ou sur les rameaux, la fleur de couleur blanche ou violette produit des gousses allongés, plates ou plus ou moins arrondies.

III.4.5. Gousses

Elles peuvent être :

- A fil et parchemin, soit courte et plate pour les cultivars de Haricots grains, soit longue et ronde pour les cultivars de haricots filets.
- Sans fil ou avec pu de parchemin pour les cultivars mangetouts, plus ou moins longue et verte ou jeune (haricot beurre) (PITRAT et FOURY, 2003).

III.4.6Graines

Les gousses renferment 5 à 8 graines par gousse, dont la dimension, la forme et la coloration sont très variables suivant les variétés. L'albumen de la graine est riche en protéines (25 à 30 % de la graine sèche) et en glucides (58 à 63%) (PERON, 2006).

La composition du Haricot vert est représentée dans le tableau suivant :

Tableau N°05: Composition du Haricot vert (la teneur est pour 100g).

Energie	19 Kcal	Calcium	43 mg	Provitamine A	260 µg
Eau	92 g	Fer	1.6 mg	Vitamine B1	0.02 mg
Protéines	1.3 g	Magnésium	13 mg	Vitamine B2	0.05 mg
Glucides	3.1 g	Phosphore	22 mg	Vitamine B5	0.06 mg
Lipides	0.1 g	Potassium	107 mg	Vitamine B6	0.51 mg
Fibres	2.5 g	Sodium	307 mg	Vitamine B9	42 mg
				Vitamine C	2 mg
				Vitamine E	0.16 mg
				Vitamine PP	0.2 mg

(TIRILLY et BOURGEOIS, 1999)

Le poids de mille grains de haricot « PMG » est de 140 à 800g et le volume 730 à 850 graines / litre (CHAUX et FOURY, 1994).

III.5. Exigences de la plante

III.5.1. Exigences climatiques

III.5.1.1. Température

Selon CHAUX 1972, étant une plante de climats chauds, le Haricot nécessite des températures assez élevées, sa germination n'est normale qu'au-dessus de 14 à 15°C, alors que sa végétation est stoppée aux environs de 10 C°.

La culture du Haricot ne peut être entreprise qu'en dehors des époques ou le refroidissement est à craindre.

III.5.1.2. Lumière

En ce qui concerne la luminosité, le haricot est très exigeant, surtout pendant les premières étapes de son développement (KOLEV, 1976). Si la luminosité n'est pas suffisante, les plantes s'allongent et diminuent beaucoup leur rendement.

III.5.1.3. Humidité

Selon KOLEV (1976), le haricot exige autant en humidité de l'aire que du sol pendant sa végétation. Une très grande humidité est défavorable, de sorte que l'on sème de flore de terre (DEVIGNEN, 1986).

III.5.2. Exigences édaphiques

III.5.2.1. Sol

Selon LAUMONIER (1976), le choix des sols joue considérablement sur les rendements et la qualité des produits.

Les sols destinés à la culture du Haricot doivent présenter des caractéristiques générales de perméabilité, de bon état sanitaire et de richesse relative. Le haricot réussit bien sur les sols alluviaux, riches en potasse et réussit mal dans les terres halomorphes et fortement acides ainsi que dans les sols lourds-argileux (BEZPLAY, 1984).

L'idéal pour le Haricot serait un pH légèrement acide, favorable à l'assimilation des éléments nutritifs du sol (GROS, 1987).

KOLEV (1976), notes que pour le Haricot, le pH doit osciller entre 5,3 et 6 et que la salinité diminue considérablement les rendements.

III.5.2.2. pH

Le pH optimal se situe entre 6 et 7,5. Cette fourchette qui correspond à l'optimum pour le développement de *rhizobium phaseoli*, bactérie fixatrice de l'azote de l'aire pour le Haricot (PYRON, 2006).

Sur des sols trop acides, le Haricot végète lentement, se chlorose et n'assure que des productions de fermes et résistantes à la cuisson (LAUMONNIER, 1979).

III.5.2.3. Salinité

Selon CHAUX et FOURY (1994), le Haricot est classé parmi les espèces très sensibles à la salinité.

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, la turgescence s'annule et les feuilles se fanent) (HAMZA, 1982).

III.5.3. Exigences hydriques

Le Haricot a besoin d'une alimentation hydrique régulière principalement à la levée, à la floraison et lors de la fructification des filets. L'eau doit être apportée en dehors des heures chaudes de la journée.

Les besoins en eau sont estimés à 400 m³/ha. Une récolte en sec exige un supplément de 500 m³/ha (MOUHOUCHE, 1991).

Selon STANTON (1970), le Haricot ne supporte pas l'excès d'eau qui provoque l'asphyxie racinaire, allonge la période de fructification et favorise l'attaque des maladies fongiques ou cryptogamiques.

III.5.4. Exigences nutritionnelles

Le végétal comme tous les êtres vivants, a un besoin absolu en éléments minéraux qui participent à ses structures et contribuent à ses activités (HELLER, 1977).

Le Haricot vert, comme toutes les légumineuses, dispose de deux voies d'alimentation azotée : par l'assimilation des nitrates du sol ou des engrais et par la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique. Tout programme de fertilisation de cette culture ne peut être réussi que lorsqu'il prend en considération cette caractéristique des légumineuses (SKIREDJ, 2007).

Le Haricot apprécie un apport de potasse et de phosphore, qui doit être fait sous forme rapidement assimilable (superphosphate, sulfate de potasse), étant donné la brièveté du cycle de culture (LAUMONNIER, 1979).

D'après ZUANG (1982), le Haricot sensible à toute carence alimentaire surtout au moment de floraison. Dans un sol bien pourvu, on conseille les apports suivants :

- N : 30-50 U/ha.
- P₂O₅ : 60 U/ha.
- K₂O : 150 U/ha.

Il faut bien mélanger les engrais au sol, car les fortes concentrations affectent le bon fonctionnement des plantes.

III.6. Conduite de culture

III.6.1. Semis

Selon DEVIGNES (1986), pour faciliter la germination, il est recommandé de faire tremper les graines pour amollir l'enveloppe pendant la nuit qui précède le semis.

Le Haricot exige un labour profond (25-35 cm) ce qui permet au sol de garder une fraîcheur suffisante jusqu'au temps de semis (KOLEV, 1976).

D'après PERON (2006), le semis du Haricot se réalise par deux méthodes. Soit manuel en poquet de 5 à 6 graines tous les 25 cm avec 60 à 70 cm entre les lignes, soit mécanisé de précision (semoir pneumatique) avec 60 à 70 cm entre les lignes, et 10 à 20 cm entre les rangs.

III.6.2. Travaux d'entretien

III.6.2.1. Binage et buttage

Avant la levée il est bon de prévoir un hersage ou un ameublissement fait à la main en vue de détruire la croute formée à la surface du sol (BIZPALY, 1984).

Deux binages sont pratiqués, le 1^{er} est réalisé quelques jours après la levée et l'autre avant la floraison (PERON, 2006).

III.6.2.2. Désherbage

Le désherbage est nécessaire et de préférence de pratiquer un désherbage manuel. L'utilisation des produits chimiques pour le désherbage reste valable mais demande la prudence et de l'expérience (LAUMONNIER, 1979).

III.6.2.3. Arrosage

Selon KOLEV(1976), le Haricot supporte assez mal l'excès d'eau. Il s'agit donc d'irriguer fréquemment mais avec des faibles doses et éviter de toucher les feuilles par l'eau pour minimiser les risques des maladies fongiques.

Les besoins en eau correspondant à une production maximale d'une culture de 60 à 120 jours varient entre 300 et 500 mm (DOREMBOS et *al.*, 1980).

III.6.2.4. Palissage

Le palissage concerne seulement les variétés à rames et consiste à placer une ficelle par poquet ou placer des roseaux sous forme de chapelle ou en faisceau. Au départ de la pousse du Haricot, montrez-lui le chemin à suivre en enroulant la tige sur le support.

Les faisceaux de roseaux peuvent conduire à un manque d'aération et à une difficulté dans la cueillette (POLESE, 2006).

III.6.3. Récolte

D'après MAPPA (2010), la récolte des Haricots verts peut être réalisé manuellement ou par opération mécanisée.

➤ Récolte manuelle :

-Pour le calibre « extra fin » (gousse de 12 à 15 cm de long), la récolte se fait par passage tous les deux à trois jours sur une période de quinze jours environ.

-Pour la catégorie « mange-tout » (gousse de 18 à 20 cm de long) dans laquelle on distingue deux calibres très fin et fin, la récolte se fait en deux passages sur un temps variable suivant les variétés utilisées.

On considère que le rendement moyen par cueilleur pour la récolte de Haricots verts est de 8 à 10 kg/ha.

➤ Récolte mécanique :

Elle est employée pour la conserverie. On utilise deux types de machines : les cueilleuses longitudinales et les cueilleuses frontales.

III.7. Principales maladies et ennemis du haricot

III.7.1. Principales maladies

Selon POLESE (2006), par rapport aux autres cultures maraichères, les maladies du Haricot sont peu nombreuses.

- Anthracnose du haricot :

La maladie est provoquée par un champignon qui se perpétue dans les résidus végétaux et dans le sol. Elle se manifeste par des taches brunes, ou noires, sur les feuilles et par des taches rosâtres sur les gousses.

Le traitement est seulement préventif. Il faut ne pas semer les Haricots pendant deux années consécutives au même endroit, ni semer des graines de plants contaminés.

- Graisses bactériennes du Haricot :

Ce sont des taches d'abord translucides puis nécrotiques sur les feuilles, lésions graisseuses sur les gousses, ne seront à redouter qu'en année exceptionnellement pluvieuse en Mai-Juin, et sur des variétés très sensibles.

Pour essayer de stopper une invasion déclarée, des traitements à base de cuivre sont conseillés (pas plus de 2 gde cuivre-métal par litre de bouillie) (MASSIAEN, 2009).

- Maladies sclérotés (*Sclerotiniasclerotiorum*) :

C'est une maladie pathogène cause la pourriture blanche, pour le Haricot une situation d'humidité persistante au niveau des tiges et une température située entre 15 et 20C° favorisent la propagation de la maladie.

Quatre fongicides peuvent être appliqués pour lutter contre le Sclerotinia : SWITCH (Cyprodinil 37,5% et Fludioxonil 25%), PICTOR PRO (Boscalid 50%), TOPSIN 500 SC (Thiophanate-méthyl 500 g/l) et ROVRA. AF (Iprodione 500g/kg) (HASCOET, 2012).

- Rouille du Haricot :

La rouille du Haricot est largement répandue dans le monde. Elle fait son apparition et se développe dans des régions très humides et à des températures de 18 à 25C°.

Les symptômes apparaissent sur les faces supérieures et inférieures de la feuille sous forme de taches chlorotiques ou blanches. Une infection grave entraîne la défoliation prématurée de la plante. La rouille ne transmet pas aux graines (ALLEN et *al.*, 1987).

- Virus de la mosaïque commune du Haricot (BCMV) :

Appelé aussi le virus nécrotique de la mosaïque commune du Haricot. Le virus cause deux symptômes différents selon le cultivar et la souche du virus. Les symptômes typiques sur feuilles sont des nervures vert-foncé accompagnées d'un recroquevillément des bords des feuilles.

L'agent vecteur du virus c'est le puceron et la lutte par l'utilisation des variétés résistantes par hypersensibilité (ALLEN et *al.*, 1996).

III.7.2. Principaux ennemis nuisibles

- Les pucerons :

Ce sont les premiers responsables à la transmission des viroses chez le Haricot, on peut lutter avec du pyrimicarbe, en une seule pulvérisation dès l'apparition des premiers pucerons, à condition que la floraison n'ait pas encore débutée (MESSIAEN, 2009).

- La mouche des semis :

Elle provoque la destruction des plantules au semis. La lutte est préventive par le traitement des semences ou le traitement des sols (PERON, 2006).



Chapitre IV
Potentiel hydrogène

IV.1. Définition

Le pH est une notion chimique assez importante dans divers domaines de la science. Son importance est liée au rôle qu'il joue dans les réactions que l'on rencontre dans ces domaines. Il est, en effet, clé dans l'obtention d'un comportement précis ou dans la survie des organismes vivants tant sur le plan de leur fonctionnement interne que sur celui de leur survie dans un milieu de vie donné (MBEY, 2007).

Le pH est la mesure de la concentration en ions hydrogènes de la solution (H^+). Il est représenté par une expression logarithmique, c'est donc dire que la concentration en H^+ , à pH 6,0 est 10 fois plus grande que celle à pH 7,0 et 100 fois plus grande que celle à pH 8,0. Plus la concentration en ions hydrogènes est élevée, plus le pH est bas et plus c'est acide (COUTURE, 2006).

Le pH vient du potentiel Hydrogène, c'est la mesure du niveau d'acidité ou d'alcalinité de l'eau.

Le pH a des effets surtout indirects sur la croissance des plantes. Une saine gestion du sol commence par la correction des problèmes de pH. De façon générale, les plantes absorbent les nutriments du sol si ces derniers sont dissous dans l'eau. De façon générale, les plantes absorbent les nutriments du sol si ces derniers sont dissous dans l'eau. Le pH du sol, quant à lui, influe sur la solubilité des nutriments et sur l'activité des organismes qui sont responsables de la transformation de la matière organique et de la fixation de l'azote (ANONYME, 2003).

Le pH varie sous l'influence de différents facteurs : les pluies, l'irrigation, l'utilisation d'engrais, les techniques d'entretien du sol, l'activité racinaire ... (HUNTZ et ROQUES-CARMES, 1980).

IV.1.1. pH en agriculture

Le pH du sol est un facteur important pour la survie de la plante qui y vit. Comme l'on contrôle la température d'un animal, il faut contrôler le pH du sol pour la plante. En d'autres termes, contrôler le pH du sol c'est contrôler l'état de santé de la plante qui y pousse. Lorsque le pH est adéquat, la plante peut se nourrir convenablement. Le pH idéal dépend de l'espèce végétale. C'est pourquoi l'on regroupe les plantes en diverses catégories :

- Plantes acidophiles : se développent mieux sur des sols acides.
- Plantes alcalinophiles : s'adaptent mieux sur des sols basiques.
- Plantes neutrophiles : ont une prédilection pour les sols neutre.

Les plantes acidophiles croissent de manière optimale sur un sol acide, c'est-à-dire sur un sol dont le pH est compris entre 4,0 et 6,5. En effet, à ces valeurs de pH, certains champignons et certaines bactéries nuisibles à la croissance de ces plantes ne peuvent croître et les mauvaises herbes ne peuvent s'installer en milieu acide, ce qui laisse toute la place aux plantes acidophiles. De plus, les plantes acidophiles ont besoin d'une quantité importante de certains éléments nutritifs, comme le manganèse, l'aluminium et le fer qui sont fortement absorbés pour de faibles valeurs de pH. A l'inverse, les plantes basophiles consomment une quantité importante d'éléments nutritifs comme le calcium et le magnésium qui sont fortement absorbés à des valeurs de pH plus élevées et supérieures à 7. (DINON et GERSTMANS, 2008).

Connaître le pH du sol devient donc important pour l'agriculteur. Il peut alors choisir avec convenance quel type de culture il va effectuer ou procéder à la modification de pH nécessaire pour l'adaptation de la plante qu'il désire produire. (MBEY, 2007).

IV.1.2. Le pH du sol

Le pH des sols est une caractéristique très importante et facilement mesurable. Le pH du sol, quant à lui, influe sur la solubilité des nutriments et sur l'activité des organismes qui sont responsables de la transformation de la matière organique et de la fixation de l'azote (VINSON, 2003).

Le pH des sols est très variable mais il est habituellement situé entre 4 et 8. Il convient de rappeler que les sols à pH inférieur à 7 sont acides, ceux à pH supérieur à 7 sont alcalins et la neutralité est atteinte lorsque le pH est égal à 7. Le meilleur pH se situe souvent entre 5,5 et 6,5 ce qui est équivalent à un sol légèrement acide. Ce pH est donc considéré comme le pH dans lequel le plus grand nombre de nutriments sont avantageusement accessibles aux plantes. (ANONYME, 2003).

Le pH d'un sol est un indicateur de la quantité d'ions hydronium (H^+) présents dans l'eau de ce sol. Plus l'eau du sol est chargée en ions H^+ , plus elle est dite acide et plus son pH est bas. A l'inverse, un sol pauvre en ions H^+ est dit alcalin. Ce pH est un facteur très important pour le bon développement des végétaux. Lorsqu'il est adéquat, la plante peut se nourrir convenablement. De plus, à chaque plante correspond un pH optimum, même si en moyenne les plantes préfèrent un pH compris entre 6,5 et 7,5 (VINSON, 2003).

Le pH optimal du sol varie selon l'espèce cultivée. Il convient donc de mesurer le pH du sol avant de se procurer les plantes. Si le sol est trop acide, le pH peut être augmenté à l'aide d'amendements à base de chaux ou de magnésium. Ces amendements s'utilisent de préférence de la fin de l'automne jusqu'au début du printemps. Par contre, si le sol est trop basique, le pH

peut-être diminue en ajoutant à la terre de la tourbe ou de l'humus. Ces amendements peuvent se pratiquer toute l'année avec une préférence pour la période estivale. L'idéal est d'épandre la quantité nécessaire de l'amendement en l'intégrant de manière uniforme dans les 25 premiers centimètres du sol, au moment de la préparation du sol pour les plantes. (DINON et GERSTMANS, 2008).

IV.2. Rôle du pH

- Le pH est considéré comme une variable de ressource puisqu'il détermine l'assimilation des plantes en minéraux (DUCHAUFOR, 1989)
- Mais il peut aussi être considéré comme variable directe puisqu'il a un effet physiologique sur la croissance des plantes (AUSTIN, 1980). Une saine gestion du sol commence par la correction des problèmes de pH. (ANONYME, 2003)
- Le pH détermine également la concentration du sol en métaux lourds, l'activité des microorganismes et de la faune du sol ainsi que la forme d'humus (CASYTIGNAO *et al.*, 2011).
- Par conséquent, certaines espèces végétales étant plutôt calcicoles ou acidophiles, la teneur en protons mesurée par le pH du sol semble un déterminant important de la distribution de ces espèces. (DUCHAUFOR, 1989).

IV.3. Variation saisonnière du pH

Sous climat tempéré, le pH a tendance à baisser en été et à augmenter en hiver. Ces fluctuations que l'on observe assez régulièrement chaque année s'expliquent (LAHMAR *et al.*, 1986).

En hiver : par la dilution des ions H⁺ dans la solution du sol sous l'effet des pluies.

En été : par la production d'acides (nitrique, humique, carbonique..) due à l'activité biologique qui est maximale à cette période.

L'écart atteint, en général, quelques dixièmes d'unités pH, mais peut atteindre 0.5 ou même l'unité pH dans les sols calcaires.

Il est préférable d'éviter les périodes estivales très sèches pour effectuer des prélèvements d'échantillons de terre.

IV.4. Effet du pH sur l'assimilation des éléments majeurs et secondaires

Les éléments nutritifs à pH inférieur à 6, deviennent moins assimilables avec risque de carence : Azote, Phosphore, Potassium, Soufre, Magnésium. En particulier, en sol très acide, la présence de fer et l'aluminium à l'état ionique conduit au phosphate pratiquement insoluble (LAHMAR *et al.*, 1986).

A pH supérieur à 7 et essentiellement en terrain calcaire, se forment des phosphates de moins en moins solubles jusqu'au type apatitique insoluble. Cette rétrogradation s'effectue d'autant plus rapidement que le sol est plus riche en calcaire actif (LAHMAR et *al.*, 1986).

Entre pH 6 et 7, la plupart des éléments sont à leur maximum d'assimilabilité, sauf le magnésium.

IV.5. Effet du pH sur l'assimilation des oligo-éléments

IV.5.1. Fer

La solubilité des oxydes de fer, très bonne en milieu acide, diminue au-dessus de pH 6 et peut devenir si faible vers pH 8 des chloroses apparaissent chez les plantes. Ce danger n'existe qu'en sol naturellement calcaire (LAHMAR et *al.*, 1986).

IV.5.2. Manganèse

Le phénomène va dans le même sens pour le manganèse mais il est beaucoup plus accentué puisque des carences graves peuvent survenir sur céréales après relèvement du pH de sols acides jusqu'à 6.2 _ 6.3 seulement (LAHMAR et *al.*, 1986).

IV.5.3. Cuivre

La solubilité de tous les éléments métalliques, d'une façon générale, décroît avec l'élévation du pH, donc avec la quantité de chaux apportée. Le cuivre n'échappe pas à cette règle (LAHMAR et *al.*, 1986).

IV.5.4. Zinc

L'assimilation dans le sol peut atteindre un point critique pour des pH supérieur à 6.5 (LAHMAR et *al.*, 1986).

A decorative graphic of a scroll with a black outline and rounded corners. The scroll is partially unrolled, with the top and bottom edges curving upwards. The text is centered within the scroll.

Chapitre V

Matériel & méthodes

V.1. Objectif de l'expérimentation

L'objectifs de notre travail est de voir l'impact de la correction du potentiel hydrogène d'une eau d'irrigation chargée d'une part de $MgCl_2$ et d'autre part de $MgSO_4$ sur la nutrition minérale d'une glycophyte cultivée : le Haricot.

V.2. Matériel végétal testé

Le Haricot vert est une espèce à développement rapide, mais qui est sensible à la salinité. Sa tolérance aux sels est de l'ordre de 0,5 à 2 g/l.

La variété testée est Djadida. C'est une variété très cultivée en Algérie qui possèdent les caractéristiques suivantes :

- Type mangetout.
- Variété naine.
- Bonne vigueur.
- Feuilles longues de couleur verte claire.
- Fleurs blanches.
- Gousses de longueurs moyennes (16 cm), et de diamètre de (10 mm).
- couleur verte foncée sans fil.
- Nombre de graines par gousse 7.
- Forme de la graine est subcéniforme de couleur marron noirâtre.
- PMG = 199 g.
- Résistance : BCMV, mildiou poudreux.

V.3. Conditions expérimentales

V.3.1. Lieu de l'expérience

Notre expérimentation s'est déroulée au niveau de la station expérimentale du département de Biotechnologies de Blida située dans la plaine de la Mitidja, dans une serre en polycarbonate 382,5 m² de surface dont l'orientation est nord-sud. L'aération est assurée par des fenêtres placées latéralement de part et d'autres de la serre.



Figure N°02 : Situation du site expérimental.

Pour suivre l'évolution de la température, nous avons installé un thermomètre positionné au centre de la serre. Des relevés quotidiens de températures ont été effectués à trois moments de la journée : 9h00, 12h00 et 15h00. Le tableau ci-dessous montre les moyennes par décade des températures diurnes au niveau de la serre.

Tableau N°06 : Moyennes des températures par décade en C°.

Périodes	Température		
	9 ^h 00	12 ^h 00	15 ^h 00
27/11/2014 au 06/12/2014	18	22	21,15
07/12/2014 au 16/12/2014	13,35	18,95	18,9
17/12/2014 au 26/12/2014	19,35	25,95	24,6
27/12/2014 au 05/01/2015	17,3	25,2	22,85
06/01/2015 au 15/01/2015	15,65	26,2	23,9
16/01/2015 au 25/01/2015	12	19,35	18,9
26/01/2015 au 04/02/2015	17,6	22,75	21,9
05/02/2015 au 16/02/2015	13,83	22,37	23,33

D'après les données de tableau N°06, nous constatons que durant les matinées, les températures moyennes étaient favorables à la croissance du haricot et ce par rapport aux données préconisées par CHAUX et FOURY (1994) qui est de l'ordre de 15 C°. A partir de 12h, les températures moyennes deviennent encore plus favorables à la croissance et au développement de l'espèce testée.

Pour stimuler la croissance, on a créé un microclimat par l'utilisation d'un abri plastique sous forme de tunnel afin d'augmenter la température autour des plantes durant l'expérimentation, et ce compte tenu le manque de chauffage dans la serre.

V.3.2. Substrat utilisé

Le substrat utilisé dans notre expérimentation est le gravier de rivière dont le diamètre est de 3 à 8mm provenant de la carrière de CHEBLI située à 25 Km d'Alger. Ce substrat constitue un milieu défavorable pour le développement de micro-organismes. Grâce à sa porosité, il assure une meilleure aération pour les racines des plantes. A fin d'éliminer tous les risques de contamination par les maladies parasitaires une procédure de désinfection de substrat a été effectuée comme suit :

- Nettoyage des pots.
- Elimination des particules terreuses et les débris végétaux par un lavage abondant et répété du gravier à l'eau courante.
- Remplissage des pots avec le substrat lavé.
- Désinfection du substrat avec une solution d'hypochlorite de sodium diluée.
- Rinçage abondant des pots à l'eau de robinet pour éliminer toute trace d'hypochlorite de sodium fortement nocive pour les racines des jeunes plantules du Haricot.

V.3.3. Conteneurs utilisés

Les containers utilisés sont des pots en polyéthylène de couleur sombre ayant une capacité de 3,5litreset présentant des orifices de drainage à leur base afin de permettre l'évacuation de la solution nutritive excédentaire.

V.4. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental adopté est un plan sans contrôle d'hétérogénéité (randomisation totale), dont l'affectation des traitements s'est faite d'une manière aléatoire selon la table des permutations des nombres aléatoires de 01 à 10.

Le dispositif expérimental est un dispositif à un facteur : (facteur solution à 03 niveaux). Chaque traitement comporte 09 observations, soit 27 unités expérimentales au total.

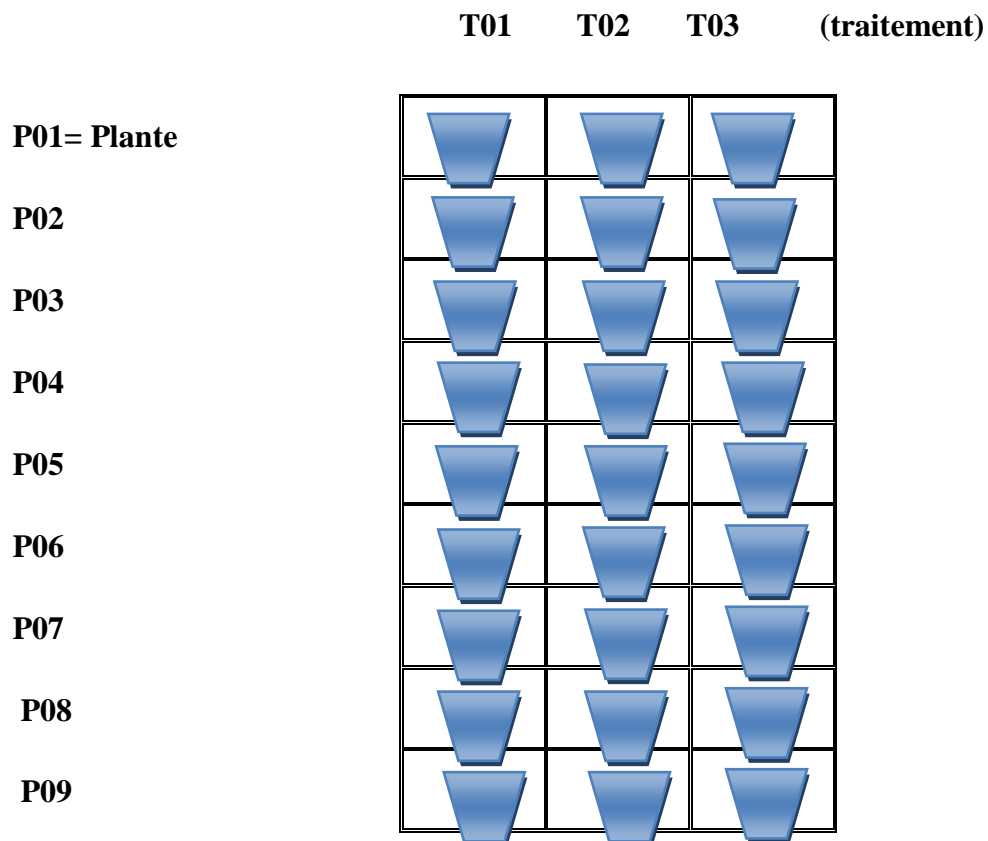



Figure N°03 : Schéma du dispositif expérimental adapté.

 : Les observations.

T1, T2, T3 : les traitements étudiés.



Figure N°04 : Vue du dispositif expérimental utilisé.

V.5. Pré-germination et repiquage

V.5.1. Pré-germination

La pré-germination a été réalisée au laboratoire le : 17/11/2014 dans une étuve à une température de 25C°. Les graines sont mises dans des boîtes de pétri sur du papier imbibé d'eau distillée. Après dix jours de germination la faculté germinative était de 85%.

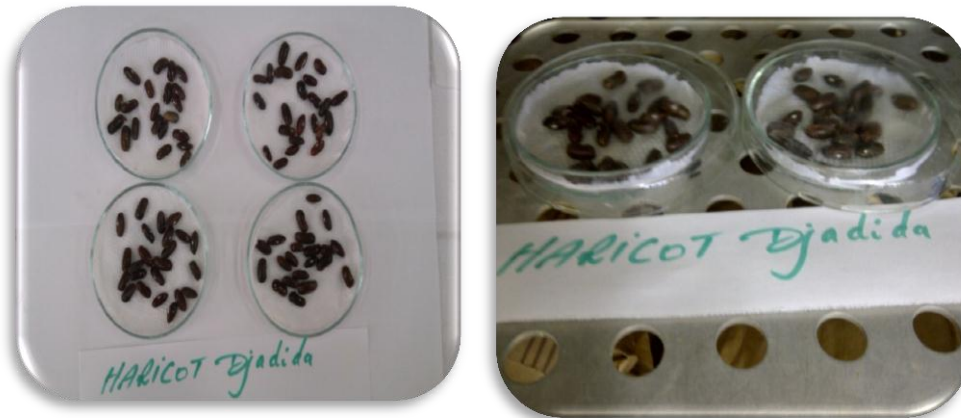


Figure N°05 :Essai de germination des graines du haricot.

V.5.2. Repiquage des jeunes plants de l'Haricot

Le repiquage des plants en place définitive a été réalisé le 27/11/2014 à raison de trois germes par pot, soit dix jours après germination.

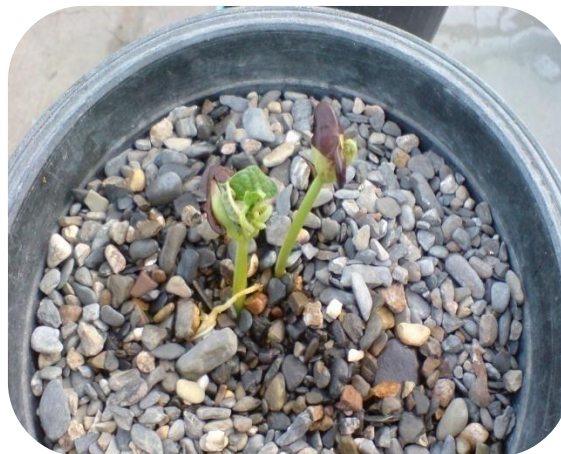


Figure N°06 : Levée des plantules du haricot.

Les jeunes plantules ont été arrosées de manière homogène avec l'eau de robinet de Blida tiède, jusqu'à l'apparition des feuilles cotylédonaire et ce pour durée comprise entre le 30/11/2014 et le 05/12/2014.

A partir du 06/12/2014, nous avons procédé à l'application de la solution nutritive standard (complète et équilibrée), et ce juste pour avoir un matériel végétal vigoureux et homogène et ceci jusqu'au 22//12/2014 à raison de deux dose de 20ml/jour.

A la date du 23/12/2014 soit 27 jours après le semis, nous avons commencé l'application des trois différents traitements.

V.6. Description des différents traitements

Les besoins en eau croissants des plantes, on a décidé de préparer tous les traitements avec de l'eau de Blida à pH égal à 7,3 et dont la concentration en sels totaux égale à 0,49g/l. Les analyses chimiques sont indispensables puisque sa concentration globale en sels a dépassé 0.2g/l (norme indiquée par PENNEINGSFELD et KURZMAN (1969) in MALLIN (1997)).

V.6.1. Composition de l'eau de Blida en éléments minéraux (meq/l) (SNOUSSI, 2001).

- K = 0 mg/l \longrightarrow 0 meq/l.
- Ca = 56 mg/l \longrightarrow $56/20=2,8$ meq/l.
- Na = 29,0 mg/l \longrightarrow $29,9/23= 1,3$ meq/l.
- Mg =21,60 mg/l \longrightarrow $21,60/12 = 1,8$ meq/l.
- NO₃ = 21,70 mg/l \longrightarrow $21,70/62= 0,35$ meq/l.
- SO₄ = 38,40 mg/l \longrightarrow $38,40/48 = 0,80$ meq/l.
- Cl = 21 mg/l \longrightarrow $21/35 = 0,60$ meq/l.
- HCO₃ = 248,88 mg/l \longrightarrow $248,88/61=4,08$ meq/l.

La correction de pH de l'eau consiste donc à utiliser des acides pour détruire partiellement les bicarbonates et ramener le pH = 5,5, le plus favorable pour le développement et la croissance des plantes.

Deux types d'acides ont été utilisés à savoir, l'acide nitrique (HNO₃) et l'acide phosphorique (H₃PO₄). Ces deux acides permettent d'une part l'abaissement du pH et l'apport des éléments utiles tels que les nitrates et les phosphates.

La quantité d'acide à apporter est calculée selon la formule suivante:

$$Q = (\text{meq/l}) = (\text{quantité HCO}_3 \text{ dans l'eau en meq/l}) \times 0,833.$$

$$Q = 4,08 \times 0,833 = 3,39 \text{ meq/l d'acide.}$$

Cette quantité d'acides sera partagée entre:

H₃PO₄ = 1,1 meq/l (correspondant aux besoins des végétaux qui sont de 3,3meq/l de phosphore) compte tenu que le H₃PO₄ est trivalent.

$$\text{HNO}_3 = 3,3 - 1,1 = 2,2 \text{ meq/l (besoin partiel en nitrates).}$$

V.6.2. Composition et techniques de préparation des différents traitements

Durant notre expérimentation nous avons utilisé trois solutions nutritives composées comme suite:

- Solution nutritive standard: Eau de Blida transformée en solution nutritive. Elle a été utilisée afin d'obtenir un matériel végétal résistant et homogène pendant un mois.
- **T1**: Eau de Blida, à qui on a corrigé le pH de 7,8 à pH= 5,5 par l'acide nitrique et l'acide phosphorique.
- **T2** : Eau de Blida, à qui on a corrigé le pH de 7,8 à pH= 5,5 par l'acide nitrique et l'acide phosphorique et ou le Mg est lié au Cl.
- **T3** : Eau de Blida, à qui on a corrigé le pH de 7,8 à pH= 5,5 par l'acide nitrique et l'acide phosphorique et ou le Mg est lié au SO₄.

V.7. Traitements testés

V.7.1. Reconstitution de l'eau de Blida pH= 5,5 : T1

Nous avons réalisé la reconstitution avec l'eau de Blida, en prenant compte des éléments minéraux déjà présents dans cette eau naturelle, en apportant les éléments manquants afin d'avoir un total anion et cation le proche possible de l'analyse initiale.

Le traitement T1 a subi une correction du pH par l'utilisation de l'acide phosphorique et l'acide nitrique pour abaisser le pH de 7,8 à 5,5.

Tableau N°07 : Reconstitution de l'eau de Blida pH = 5,5.

Eau de Blida	NO ₃ ⁻ 0,35	PO ₄ ³⁻ 00	SO ₄ ²⁻ 0,80	Cl ⁻ 0,60	Total
K ⁺ 00					0
Na ⁺ 1,30					1,30
Ca ⁺⁺ 2,80					2,08
Mg ²⁺⁺ 1,80					1,8
NH ₄ ⁺ 00					00
H ⁺	2,20	1,1			3,3
Total	2,55	3,3	0,80	0,60	

$$\left. \begin{array}{l} \text{HNO}_3 = 2,20 \times 63 = 138,61 \text{ mg/l.} \\ \text{H}_3\text{PO}_4 = 1,10 \times 98 = 107,80 \text{ mg/l.} \\ \text{H}_2\text{O} = 490 \text{ mg/l.} \end{array} \right\} \text{Total} = 736,41 \text{ mg/l.}$$

V.7.2. Elaboration du traitement T2

Tableau N°08 : Elaboration du traitement T2, eau de Blida pH = 5,5 de teneur en MgCl₂.

Eau de Blida	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Total
0,35	0,35	0,00	0,80	0,60	
K ⁺ 0,00					0
Na ⁺ 01,30					1,30
Ca ⁺⁺ 02,80					2,80
Mg ²⁺⁺ 01,80				5,45	7,25
NH ₄ ⁺ 00					00
H ⁺	2,20	1,10			3,30
Total	2,55	3,3	0,8	6,05	

➤ **Calcul la quantité de MgCl₂ :**

$$\left. \begin{array}{l} \text{HNO}_3 = 2,20 \times 63 = 138,61 \text{ mg/l.} \\ \text{H}_3\text{PO}_4 = 1,10 \times 98 = 107,80 \text{ mg/l.} \\ \text{MgCl}_2 = 5,45 \times 101,65 = 553,99 \text{ mg/l.} \end{array} \right\} \text{Total} = 800,4 \text{ mg/l.}$$

V.7.3. Elaboration du traitement T3

Tableau N°09 : Elaboration du traitement T3, eau de Blida pH = 5,5 de teneur en MgSO₄.

Eau de Blida	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Total
0,35	0,35	0,00	0,80	0,60	
K ⁺ 0,00					0
Na ⁺ 01,30					1,30
Ca ⁺⁺ 02,80					2,80
Mg ²⁺⁺ 01,80			5,45		7,25
NH ₄ ⁺ 00					00
H ⁺	2,20	1,10			3,3
Total	2,55	3,3	6,25	0,60	

➤ **Calcule la quantité de MgSO₄ :**

$$\text{HNO}_3 = 2,20 \times 63 = 138,61 \text{ mg/l.}$$

$$\text{H}_3\text{PO}_4 = 1,10 \times 98 = 107,80 \text{ mg/l.}$$

$$\text{MgSO}_4 = 123 \times 5,45 = 670,35 \text{ mg/l.}$$

$$\text{Total} = 916,76 \text{ mg/l.}$$

V.8. Entretien de la culture

V.8.1. Irrigation

Le système d'irrigation adopté est celui de la percolation à circuit ouvert permettant l'évacuation de la solution d'irrigation en excédentaire.

Il est important dans la culture hors sol de connaître les besoins journaliers en eau des cultures, pour pouvoir rationaliser les besoins selon les stades de développement du végétal et ce pour éviter les déficits et les éventuels excès de solution nutritive.

La dose et les fréquences des arrosages varient selon le cycle de développement de la plante et les conditions microclimatiques telle que la température.

Tableau N°10 : Doses et fréquences d'irrigation nécessaire pour la culture du haricot.

Dates	Stade végétatif	La dose d'irrigation	La fréquence	Les besoins
16/12/2014 au 22/12/2014	Germination au stade trois feuilles	20ml	3fois / jours	60 ml /jour
05/01/2015 au 13/01/2015	Stade trois feuilles au début floraison	40ml	3fois / jours	120ml/jours
14/01/2015 au 20/01/2015	Début floraison à la formation des fruits (gousses)	60ml	3fois / jours	180ml/jours
21/01/2015 au 16/02/2015	Formation des fruits à la récolte	80ml	4fois / jours	320ml/jours

V.8.2. Traitements phytosanitaires utilisés

Au cours de l'expérimentation, nous avons effectué des traitements préventifs pour écarter toute attaque cryptogamique ou celle d'insectes nuisibles contre les plantes selon le modèle suivant :

Tableau N°11 : Programme hebdomadaire des traitements phytosanitaires appliqués à compter du stade croissance.

Date	Produit	Matière active	Désignation	Dose	Fréquence du traitement
03/02/2015	Duresban	Chorpyriphos-éthyle (50g/kg)	Traitement préventif contre les insectes	3g/l	1 fois/Semaine
13/02/2015	Methomyl	Mancozeb 64% Metaloxyl 8%	Traitement préventif contre les maladies cryptogamiques	3 g /l	1 fois/ semaine

V.8.3. Palissage

Malgré que la variété du haricot utilisée dans notre expérimentation est une variété naine, on a remarqué à un moment donné que les plantes avaient tendance à se recourber, ce qui nous a permis de placer des ficelles, permettant de maintenir les plantes dressées.

V.9. Récolte

Nous avons effectué une seule récolte durant notre expérimentation. Les gousses récoltées sont de type haricot mangetout.

La récolte a été faite le 16/02/2015 c'est-à-dire 82 jours après semis.

V.10. Paramètres biochimiques et physiologiques

V.10.1. Dosage de la chlorophylle

L'extraction de la chlorophylle (A) et (B) a été réalisée selon la méthode de FRANCIS et al (1970). La méthode d'extraction consiste :

- Une macération des feuilles (0.1g) dans 10 ml du mélange de l'acétone et de l'éthanol (75 % et 25%) de volume et de (80% et 40%) de concentration.
- Les feuilles sont coupées en petits morceaux et mises dans les boîtes noires (pour éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière),
- 48h plus tard, on procède à la lecture des densités optiques des solutions avec un spectrophotomètre (UV), à trois longueurs d'ondes : (470, 645 et 663 nm).
- La détermination des teneurs réalisée selon les formules

- Chl A ($\mu\text{g/g MF}$) = $12,7 \times \text{DO}_{(663)} - 2,59 \times \text{DO}_{(645)} \times V / (1000 \times W)$;
- 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 solution extraite et W le poids de matière fraîche de l'échantillon.

V.10.2. Dosage de la proline

La proline est dosée selon la technique utilisée par TROLL et LINDESLY (1955) simplifiée et mise au point par DREIER et GORING (1974) et modifiée 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 :

- Mettre 100 mg de matière fraîche végétale dans des tubes à essai.
- On ajoute 2 ml de Méthanol à 40 %. Les tubes pour éviter la volatilisation de l'alcool ensuite sont portés à l'ébullition au bain-marie à 85°C pendant 60 min.
- Après refroidissement, on prélève 1 ml de la solution dans chaque tube.
- Mettre dans de nouveaux tubes auxquels.
- Ajouter 1 ml d'acide acétique et 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, ajoute 5 ml de toluène dans chaque tube.
- Après agitation au vortex deux phases apparaissent.
- Prélèver la phase supérieure
- Ajouter 5 mg du sulfate de sodium, puis on les laisse au repos pendant 48h.
- On procède à la lecture de la densité optique des échantillons avec le spectrophotomètre (UV) à la longueur d'onde de 528 nm.
- La détermination de la teneur de la proline est réalisée selon la formule:

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

V.10.3. Paramètres biométriques mesurés

V.10.3.1. Vitesse de croissance [cm/j]

Afin d'évaluer la vitesse de la croissance, nous avons mesuré périodiquement les hauteurs des plantes en centimètre du collet jusqu'à l'apex.

V.10.3.2. Hauteur finale des plantes [cm]

Cette mesure a été effectuée au moment de la coupe à l'aide d'une règle graduée.

10.3.3. Nombre des feuilles

Ce paramètre a été réalisé au moment de la coupe, le principe consiste à faire un comptage des feuilles pour chaque plant de chaque traitement.

V.10.3.4. Diamètre des tiges [mm]

La mesure de diamètre finale des tiges de chaque plant a été effectuée à l'aide d'un pied à coulisse au moment de la coupe au niveau de chaque plante et sur chacun des traitements.

V.10.3.5. Biomasse fraîche produite [g]

Au moment de la coupe, nous avons pesé les différents organes de la plante (feuilles, tiges, racines) en gramme à l'aide d'une balance. L'opération a été réalisée comme suite :

- Poids frais total (feuilles + tiges) de chaque plante.
- Poids frais des feuilles de chaque plante.
- Poids frais de la tige de chaque plante.
- Poids frais de la racine de chaque plante.
- Poids frais d'un échantillon moyen des feuilles.
- Poids frais d'un échantillon moyen des tiges.
- Poids frais d'un échantillon moyen des racines.

V.10.3.6. Biomasse sèche produite [g]

La matière sèche a été mesurée après le séchage de la matière fraîche dans une étuve à 70C° jusqu'à stabilité du poids sec, nous avons pesé :

- Poids sec de l'échantillon moyen des feuilles.
- Poids sec de l'échantillon moyen des tiges.
- Poids de l'échantillon moyen des racines.

V.10.4. Paramètres de production

V.10.4.1. Taux d'avortement des fleurs

Le taux d'avortement est exprimé par la différence entre le nombre total des fleurs apparues et le nombre total des fleurs nouées ou transformées en gousses.

V.10.4.2. Nombre des gousses produites [g]

Nous avons compté toutes les gousses produites par les plantes de chacun des traitements.

V.10.4.3.Poids frais moyen des gousses [g]

Nous avons pesé chaque gousse récoltée par plante puis nous avons calculé le poids moyen des gousses par plantes, parce que la récolte est échelonnée.

A decorative graphic of a scroll with a black outline and grey shading on the rolled-up ends. The text is centered within the scroll.

Chapitre VI

Résultats & discussions

1. Paramètres de croissance

1.1. Aspect général des plantes

L'effet traitement sur les plantes du haricot variété Djadida était bien visible durant notre expérimentation.

Une observation globale de l'ensemble des plantes a permis de tirer les remarques suivantes sur les plantes du haricot selon les différents traitements testés :

- Les plantes irriguées avec l'eau de Blida, à qui on a corrigé le pH de 7,8 à pH= 5,5 (T1) et les plantes irriguées avec l'eau de Blida, à qui on a corrigé le pH de 7,8 à pH= 5,5 avec un apport de $MgCl_2$ (T2), sont chétives, de couleur verte jaunâtre avec un nombre réduit de feuilles.
- Les plantes irriguées avec l'eau de Blida, à qui on a corrigé le pH de 7,8 à pH= 5,5 avec un apport de $MgSO_4$ (T3) présentent un aspect vigoureux de couleur verte foncée avec un nombre élevé de feuilles.



Figure N°07 : Aspect général des plantes du haricot alimentées par les différents traitements testés lors de notre expérimentation (T1, T2, T3).

1.2. Vitesse de croissance des plantes [cm/jour]

La courbe suivante montre l'évolution de la vitesse de croissance des plantes du haricot des trois traitements testés. Les mesures ont été faites chaque semaine.

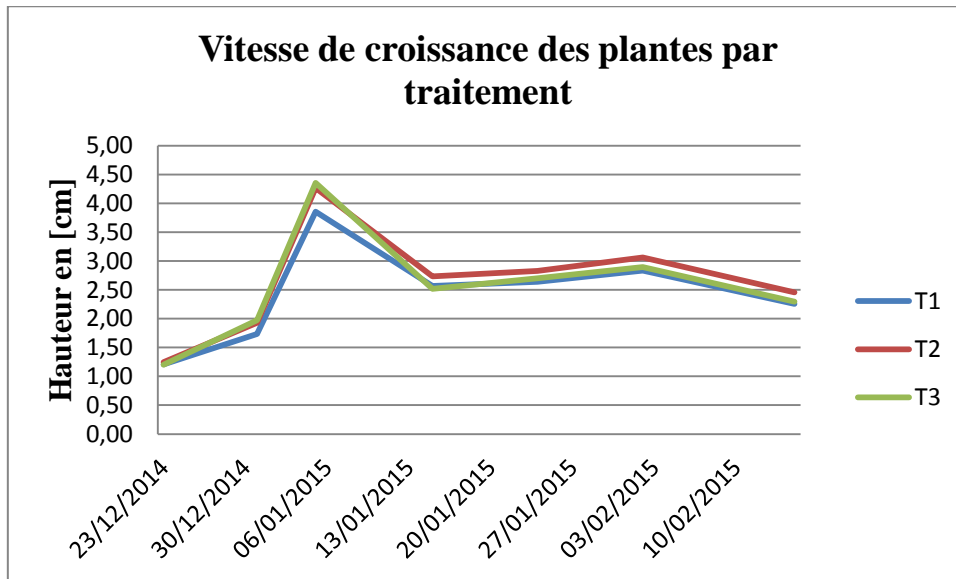


Figure N°08 : Vitesse de croissance des plantes du haricot [cm/jour].

La figure ci-dessus montre que la vitesse de croissance était presque homogène durant toutes les périodes de mesure pour les trois traitements.

La croissance des plantes a commencé assez lentement pour les plantes irriguées par l'eau de Blida corrigé (T1), par rapport à celles irriguées par l'eau de Blida corrigé à pH=5,5 enrichies en $MgCl_2$ (T2) et $MgSO_4$ (T3).

Dès le 06/01/2015 soit deux semaines après l'application des traitements, la vitesse de croissance s'accélère quelque soit les traitements testés (T1), (T2) et (T3). Ce qui signifie que l'action des eaux corrigées influe de façon significative sur la vitesse de la croissance des plantes. Ceci peut être expliqué par la correction du pH de ces solutions nutritives qui est considéré comme étant le facteur déterminant dans l'absorption hydrominérale des plantes.

Par contre, selon DEROUICH (2012), les traitements salins naturels non corrigés présentent une vitesse de croissance moins importante que celle observée chez les traitements salins corrigés.

Dés la troisième semaine de l'application des traitements c'est-à-dire le 13/01/2015 la vitesse de croissance diminue brusquement pour les trois traitements, mais la vitesse du premier traitement (T1) reste faible par rapport aux traitements (T2) et (T3).

Dés le 20/01/2015 jusqu'à la fin du cycle de développement, on remarque que la vitesse de croissance est plus ou moins stable pour les trois traitements testés, puis a tendance à s'abaisser progressivement.

1.3. Hauteur finale des plantes [cm]

La hauteur des tiges a été mesurée au moment de la coupe finale. Les résultats relatifs aux paramètres mesurés sont mentionnés dans la figure N°09.

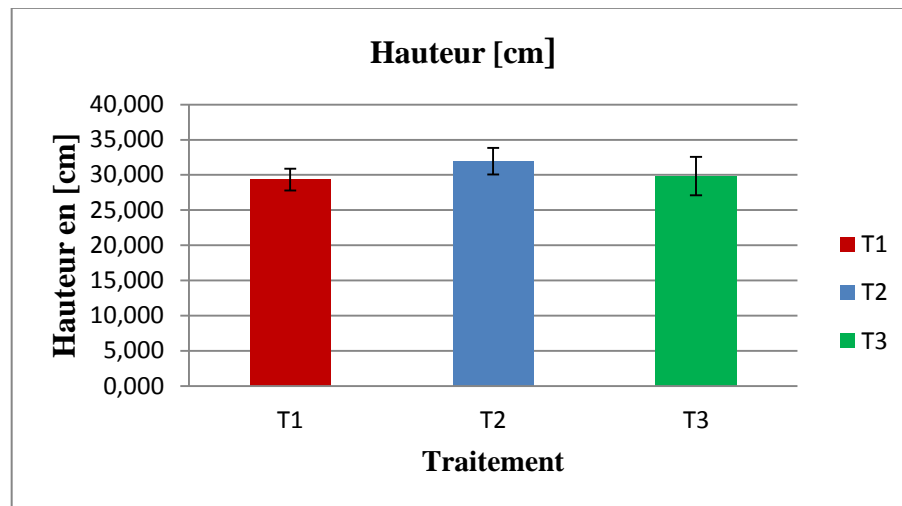


Figure N°09: Hauteur moyenne des plantes en [cm].

L'analyse de la variance nous montre une différence hautement significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré. Les résultats obtenus durant la coupe finale révèlent qu'il y a une augmentation de la hauteur des plants au niveau des solutions corrigées enrichies en $MgCl_2$ (T2) et $MgSO_4$ (T3) par rapport à la solution corrigée (T1).

Le test de Newman et Keuls ($\alpha = 5\%$) classe les traitements testés en trois groupes à savoir le groupe (a), (ab) et (b). Les plantes irriguées par l'eau de Blida corrigée (T1) ont présenté les hauteurs faibles par rapport aux plantes irriguées par l'eau de Blida corrigée et enrichie en $MgCl_2$ (T2) et en $MgSO_4$ (T3).

Il y a bien de noter que la vigueur et la bonne croissance des traitements corrigés (T1), (T2) et (T3) se justifient par la richesse de ces solutions en phosphores et en nitrates. La correction de ces milieux nutritives à un pH égal à 5.5 permet aux plantes de s'alimenter avec des nutriments contenus dans ces milieux alimentaires.

Les plantes arrosées par la solution (T1) ont présenté des hauteurs finales de plantes les plus faibles bien que le pH soit corrigé à 5,5 avec l'acide phosphorique et l'acide nitrique seulement. Ceci en raison de l'absence de l'élément Mg^+ quelque soit sa forme d'apport et ce par rapport aux autres traitements (T2) et (T3).

(TCHAD et *al.*,2006) indiquent que la correction du pH permet l'assimilation de magnésium par la plante. Ce dernier joue un rôle majeur dans :

- Formation de la chlorophylle.
- Synthèse des acides aminés et protéines cellulaires.
- Assimilation et migration du phosphore dans la plante.
- Teneur en vitamine A et C et la résistance aux facteurs défavorables.

1.4. Diamètre des tiges [mm]

Les diamètres des tiges ont été mesurés à l'aide d'un pied à coulisse au niveau du collet de chaque plant au moment de la coupe finale. Les résultats sont mentionnés dans le tableau N°12.

Tableau N°12 : Diamètre des tiges [mm].

T1	T2	T3
4,22	4,00	4,22
±	±	±
0,363	0,250	0,363
(a)	(a)	(a)

La figure montre qu'il y'a différence non significative entre les trois traitements.

Le teste de Newman et Keuls ($\alpha = 5\%$) classe les traitements testés en un seul groupe homogènes.

En comparant les différents résultats cités dans le tableau, nous pouvons constater que les plantes irriguées par l'eau de Blida à pH corrigé (T1) n'ont pas de différence avec celles alimentées par l'eau de Blida corrigé et enrichi en $MgCl_2$ (T2) et enrichi en $MgSO_4$ (T3).

On constate que les diamètres obtenus sont homogènes pour les trois traitements, donc on peut dire que les deux sels $MgCl_2$ et $MgSO_4$ n'ont pas d'influence sur les diamètres des tiges.

1.5. Nombre de feuilles par plant

Le nombre de feuilles est calculé au moment de la coupe finale, les résultats obtenus sont illustrés dans le tableau N°13.

Tableau N°13 : Nombre de feuilles par plant.

T1	T2	T3
8,87	8,22	8.56
±	±	±
2,242	1,500	1,014
(a)	(a)	(a)

L'analyse de la variance a révélé une différence non significative du facteur traitement mesuré sur le nombre de feuilles par plant.

Le teste de Newman et Keuls ($\alpha = 5\%$) classe les traitements en un seul groupe homogène.

Selon les résultats obtenus, le nombre de feuilles par plant le plus élevé est obtenu chez les plantes irriguées avec l'eau de Blida corrigé (T1), suivi par le traitement (T3), ensuite le traitement (T2). On remarque que les trois traitements présentes un nombre de feuilles proche et sont classés dans le même groupe homogène.

1.6. Biomasse fraîche des feuilles [g]

Les poids frais des feuilles obtenues au moment de la coupe finale sont mentionnés dans le tableau N°14.

Tableau N°14 : Biomasse fraîche des feuilles [g].

T1	T2	T3
11,69	13,18	12,65
±	±	±
1,316	1,425	1,057
(b)	(a)	(a)

Selon les résultats qui sont enregistrés dans le tableau, on remarque que les traitements testés (T1, T2 et T3) dans notre expérimentation exercent un effet significatif sur la biomasse fraîche des feuilles.

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative de l'effet du traitement sur le poids frais des feuilles entre les plantes alimentées par l'eau de Blida corrigé (T1) et les plantes alimentées par l'eau de Blida corrigé et enrichi en $MgCl_2$ (T2). Ainsi, une différence significative entre le traitement (T1) et le traitement (T3). Par contre, il n'y a pas une différence significative entre les deux traitements corrigés (T2) et (T3).

L'effet de l'équilibre nutritionnel présenté par les deux traitements corrigés (T2) et (T3) où la combinaison des ions magnésium (Mg^{+}) sont liés aux chlorures (Cl^{-}) et aux sulfates (SO_4^{+2}) a conduit à l'obtention du poids frais le plus élevé, résultante d'une bonne absorption hydrominérale.

En effet, le teste de Newman et Keuls au seuil ($\alpha = 5\%$) classe ces deux traitements dans le premier groupe homogène (a).

1.7. Biomasse fraîche des tiges [g]

Le poids frais des tiges est pesé au niveau de chaque plant au moment de la coupe finale. Les résultats sont mentionnés dans le tableau N°15

Tableau N°15:Biomasse fraîche des tiges [g].

T1	T2	T3
4,37	4,53	4,32
±	±	±
0,625	0,910	0,723
(a)	(a)	(a)

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence non significative entre les différentes moyennes mesurées de la biomasse fraîche des tiges. Ce qui met en évidence qu'il n'y a pas de différence entre les trois traitements donc il n'y a pas d'influence des différents traitements dans les solutions d'irrigation testées sur la biomasse fraîche des tiges.

Le test de Newman-Keuls ($\alpha = 5\%$) classe les traitements testés en un seul groupe homogène (a). Les mesures effectuées ont montré que la correction du pH par l'acide nitrique (HNO_3) et l'acide phosphorique (H_3PO_4) se traduit par une meilleure structure physiologique des plantes alimentées par ces solutions.

1.8. Biomasse fraîche des racines [g]

La mesure de la biomasse fraîche des racines a été effectuée au moment de la coupe finale, les résultats obtenus sont illustrés dans le tableau N°16.

Tableau N°16:Biomasse fraîche des racines [g].

T1	T2	T3
27,81	33,20	37,44
±	±	±
3,645	2,448	3,754
(c)	(b)	(a)

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative entre les différents traitements.

Le test de Newman et Keuls ($\alpha = 5\%$) classe les traitements en trois groupes homogènes (a), (b) et (c). Le groupe (a) dominant est représenté par le traitement (T3) avec une valeur la plus élevée de 37,44g, suivie par le groupe (b) représenté par le traitement (T2) avec une valeur de 33,20g, enfin le groupe (c) relatif au poids des racines qui est le plus faible est obtenu au niveau du traitement (T1) avec une valeur de 27,81g.

Donc l'équilibre ionique parfait dans l'eau de Blida à pH corrigé et enrichi en magnésium qui est à l'origine de leur dominance.

1.9. Biomasse fraîche totale [g]

Les résultats relatifs à la biomasse fraîche totale sont mentionnés dans la figure N°10.

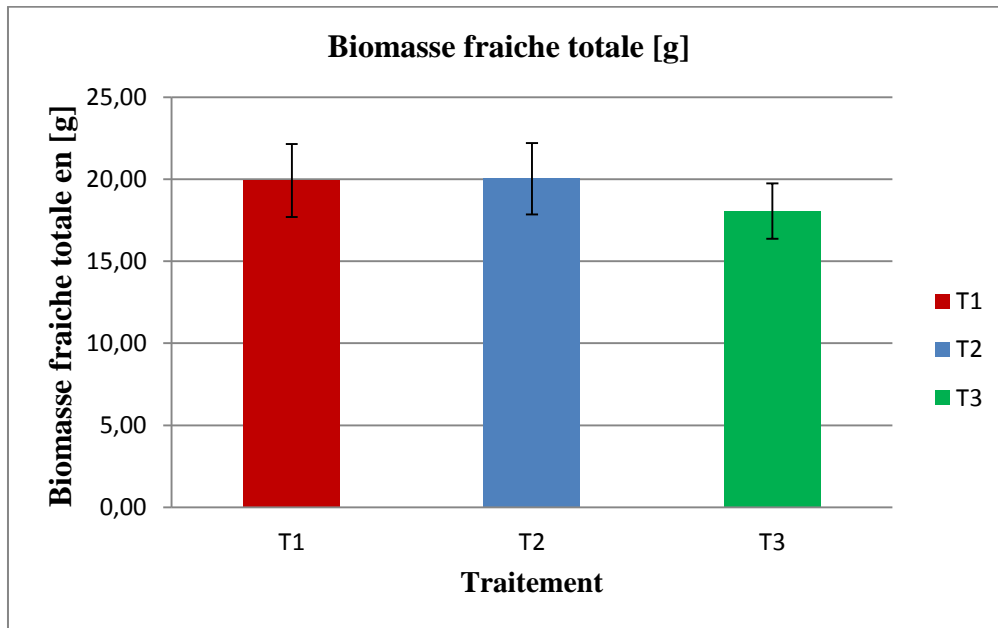


Figure N°10: Biomasse fraîche totale [g].

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative du facteur traitement mesuré.

Le test de Newman et Keuls ($\alpha = 5\%$) classe les traitements testés en deux groupes (a) et (b). Le groupe (a) correspond aux plantes alimentées par l'eau de Blida corrigé et enrichi en $MgCl_2$ (T2) et par l'eau de Blida à pH corrigé uniquement (T1) avec des valeurs de 20,03g et 19,92g respectivement. Ensuite, le groupe (b) qui correspond aux plantes alimentées par l'eau de Blida corrigé et enrichi en $MgSO_4$ avec une valeur de 18,05g.

En effet, la correction de l'eau de Blida à un effet bénéfique sur la croissance de l'espèce étudiée, parce qu'elle fournit tous les éléments nécessaires aux besoins des plantes à des proportions convenables.

1.10. Biomasse sèche des feuilles[g]

Ce paramètre est réalisé après séchage des feuilles dans un étuve à 70°C jusqu'à la stabilité du poids sec de cet organe, les résultats obtenus sont illustrés dans la figure N°11.

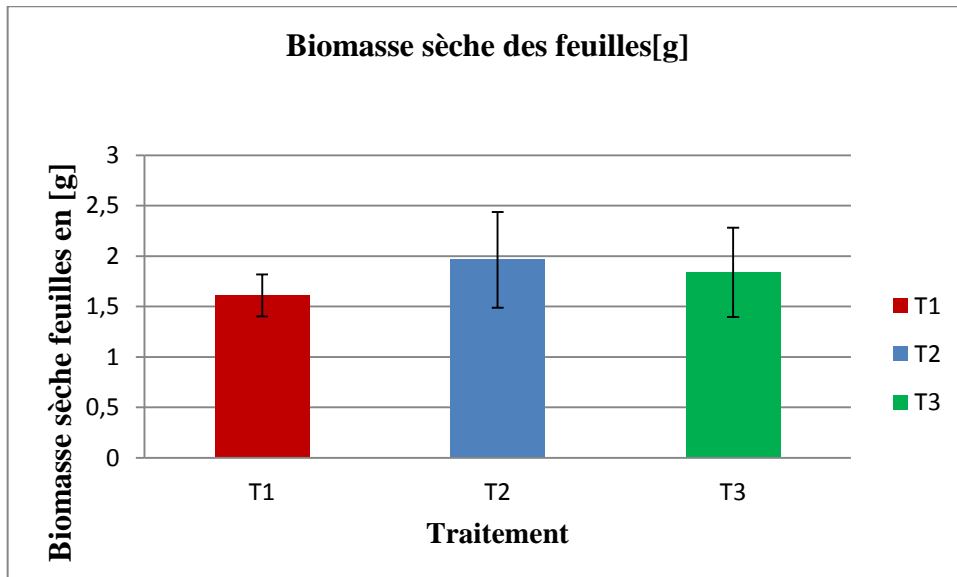


Figure N°11 : Biomasse sèche des feuilles[g].

L'analyse de la variance montre une différence hautement significative entre les traitements (T1) et (T2).

Le test de Newman et Keuls ($\alpha = 5\%$) fait ressortir trois groupes homogènes (a), (ab) et (b).

Le groupe (a) montre que les plantes irriguées avec l'eau de Blida corrigé et enrichi en $MgCl_2$ (T2) a enregistré une valeur de 1,96 g la plus élevée, suivi par le groupe (ab) correspond aux plantes alimentées par l'eau de Blida corrigé et enrichi en $MgSO_4$ avec une valeur de 1,84g. En dernier, le groupe (b) correspond aux plantes alimentées par l'eau de Blida à pH corrigé avec une valeur de 1,61g.

La biomasse sèche produite par les plantes ayant un potentiel hydrogène le plus favorable qui facilite l'absorption des éléments essentiels par les plantes du haricot.

Ce résultat confirme le travail de (SNOUSSI et *al.*, 2004) qui ont montré que la correction des eaux salines provoque l'augmentation de la biomasse sèche des feuilles du haricot.

1.11. Biomasse sèche des tiges [g]

Ce paramètre suit le même principe que le poids sec des feuilles. Il y a euséchages des tiges dans un étuve à 70°C jusqu'à la stabilité du poids sec de ces organes, les résultats obtenus sont illustrés dans la figure N°12.

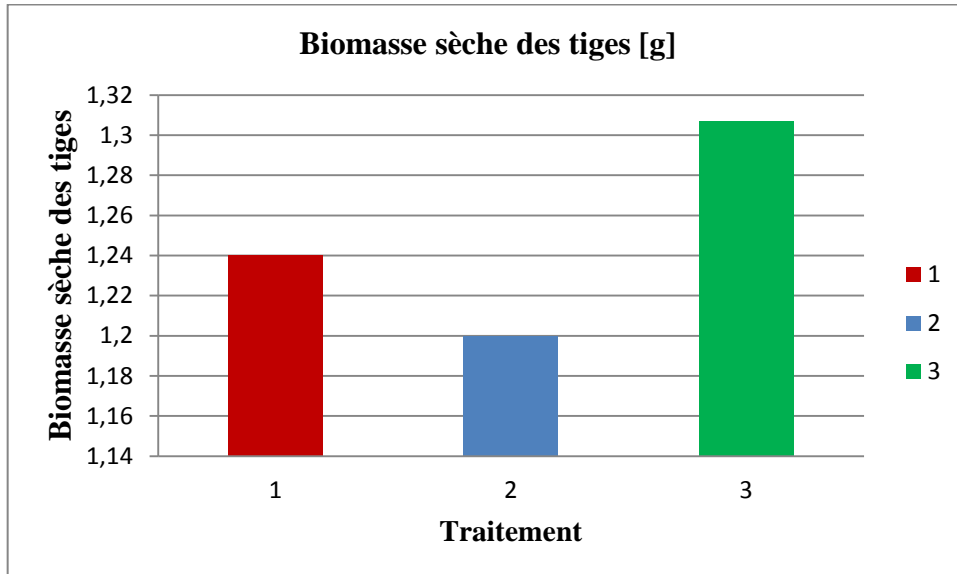


Figure N°12 : Biomasse sèche des tiges[g].

L'analyse de la variance montre une différence non significative du facteur traitement mesuré.

Le test de Newman et Keuls ($\alpha = 5\%$) fait ressortir un seul groupe homogène.

Pour ce qui est de la biomasse sèche des tiges, les meilleures performances sont enregistrées par le traitement (T3) avec un poids qui correspond à 1.31g, suivi par les traitements (T2 et T1) avec des valeurs de 1.24g et 1.2g respectivement.

1.12. Biomasse sèche des racines [g]

Ce paramètre suit le même principe que le poids sec des feuilles et des tiges. Il y a euséchages des racines dans un étuve à 70°C jusqu'à la stabilité du poids sec de ces organes, les résultats obtenus sont illustrés dans la figure N°13.

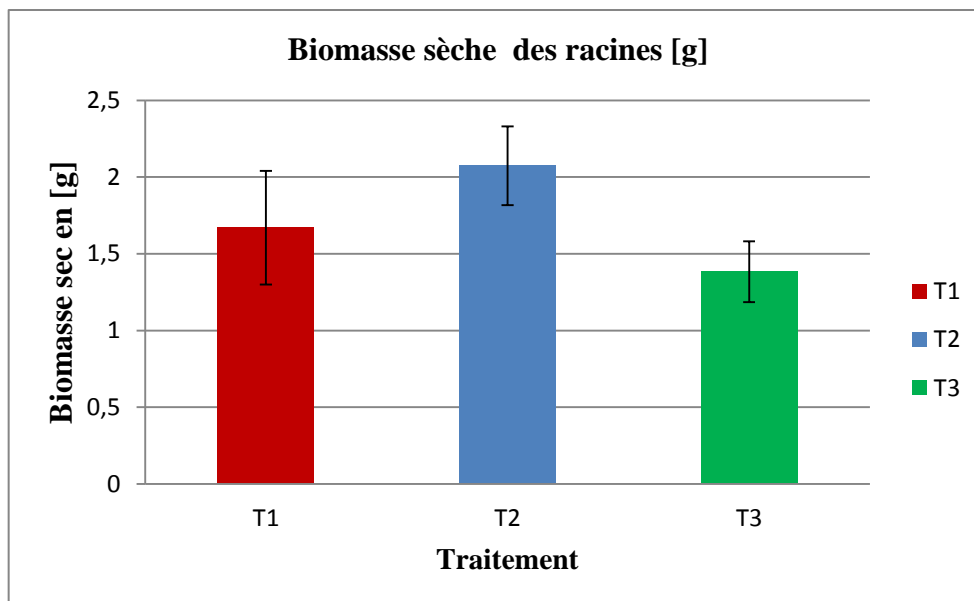


Figure N°13: Biomasse sèche des racines [g].

L'analyse de la variance montre qu'il y'a une différence très hautement significative du facteur traitement mesuré de la biomasse sèche des racines ce qui montre l'effet des traitements sur ce paramètre.

En effet, le test de Newman et keuls au seuil ($\alpha = 5\%$) fait ressortir deux groupes homogènes.

Les plantes irriguées par l'eau de Blida à pH corrigé et enrichi en $MgCl_2$ (T2) enregistrent les valeurs les plus élevées sont classé dans le groupe (a) dominant, suivis par les traitements (T1) alimentées par l'eau de Blida à pH corrigé. Enfin les plantes irriguées par l'eau de Blida à pH corrigé et enrichi en $MgSO_4$ (T3) produisent le poids le plus faible.

La présence du $MgCl_2$ dans le milieu de culture conduit à une augmentation de la biomasse sèche des racines alors que (BEN KHALED et *al.*,2003), montrent que le développement du système racinaire est moins sensible par rapport au système aérien.

2. Paramètres biochimiques

2.1. Quantité de la chlorophylle (A) et (B) dans la plante [$\mu\text{g/g MF}$]

Tableau N°17: Quantité de la chlorophylle [$\mu\text{g/g MF}$].

Traitement		T1	T2	T3
Stade floraison	Chlorophylle (A)	0.099 ± 0.034 (c)	0.100 ± 0.019 (b)	0.136 ± 0.002 (a)
	Chlorophylle (B)	0.059 ± 0.011 (a)	0.018 ± 0.005 (c)	0.034 ± 0.006 (b)
Stade nouaison	Chlorophylle (A)	1.138 ± 0.019 (b)	0.888 ± 0.056 (c)	1.247 ± 0.005 (a)
	Chlorophylle (B)	0.464 ± 0.038 (b)	0.255 ± 0.008 (c)	0.529 ± 0.029 (a)
Stade final	Chlorophylle (A)	0.237 ± 0.034 (b)	0.402 ± 0.006 (a)	0.432 ± 0.038 (a)
	Chlorophylle (B)	0.296 ± 0.075 (a)	0.341 ± 0.068 (a)	0.265 ± 0.022 (a)

➤ Stade floraison

L'analyse de la variance montre qu'il y a un effet très hautement significatif du facteur traitement sur la quantité de la chlorophylle (A) et (B) dans les feuilles médianes des plantes du haricot.

Le test de Newman et Keuls ($\alpha = 5\%$) classe les traitements en trois groupes homogènes (a), (b) et (c).

La quantité de la chlorophylle (A) au niveau des plantes irriguées par l'eau de Blida à pH corrigé et enrichie en MgSO_4 (T3) est la plus importante avec une valeur de $0.136\mu\text{g/g MF}$, comparativement aux traitements corrigés (T2) et (T1) dont les valeurs correspondent à 0.100 et $0.099\mu\text{g/g MF}$ respectivement, et ce en raison de l'élément magnésium associé aux sulfates qui sont moins agressifs que les chlorures.

Ce résultat obtenu se justifie par une meilleure alimentation hydrominérale des plantes de haricot.

A l'inverse la quantité de la chlorophylle(B) produite par les plantes traitées avec l'eau de Blida corrigé (T1) est la plus abondante par rapport aux deux autres traitements (T2), (T3) avec une valeur de 0.059 $\mu\text{g/g}$ MF. Par ailleurs, on remarque que les quantités de chlorophylle (B) sont faibles au niveau des traitements(T3) enrichi en MgSO_4 et le traitement (T2) enrichi en MgCl_2 qui enregistrent des valeurs qui correspondent 0.034 et 0.018 $\mu\text{g/g}$ MF respectivement.

Selon les travaux de (Derouiche, 2012) au niveau des traitements salins naturels les quantités de chlorophylle (B) sont faibles. Ceci a été expliqué par l'oxydation des pigments chlorophylliens à cause de la salinité des eaux d'irrigation.

Aussi, les travaux de (Cheikh, 2008), ont montré que dans un milieu salin, la fluorescence chlorophyllienne (B) est affectée par des perturbations au niveau des chloroplastes.

➤ **Stade nouaison**

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative du facteur traitement sur la quantité de la chlorophylle (A) et (B) produite.

Le test de Newman et Keuls ($\alpha = 5\%$) classe les traitements en trois groupes homogènes (a), (b) et (c).

La quantité de la chlorophylle (A) produite par le traitement(T3) enrichi en MgSO_4 présente une valeur de 1.247 $\mu\text{g/g}$ MF. Le groupe (b) renferme le traitement (T1) corrigé uniquement présente une valeur de 1.138 $\mu\text{g/g}$ MF. Alors que le dernier groupe (c) représente le traitement (T2), qui est le plus faible en quantité de la chlorophylle (A), avec une valeur de 0.888 $\mu\text{g/g}$ MF.

D'après (Hamidi, 2013) Les résultats montrent que les traitements corrigés produisent plus de chlorophylle (A) que le traitement salin naturel. Ceci est lié à l'effet de sels qui limite la croissance foliaire. Lors d'un stress salin, le métabolisme de la plante est affecté.

Concernant la quantité de chlorophylle (B), les plantes irriguées par la solution nutritive enrichie en MgSO_4 (T3) synthétisent la plus grande quantité de chlorophylle (B).

On constate que le MgCl_2 empêche les plantes de synthétiser une grande quantité de chlorophylle (B) au stade nouaison.

➤ **Stade final**

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative du facteur traitement sur la quantité du chlorophylle (A) dans les feuilles médianes de la variété Djadida.

Le test de Newman et Keuls fait ressortir deux groupes homogènes. Le groupe (a) classe les traitements (T3) et (T2) avec des valeurs les plus élevées par rapport à la production de chlorophylle (A) produite au stade nouaison, et ce en raison de la présence de l'élément magnésium.

A l'inverse, la quantité de chlorophylle (A) dans le traitement (T1) est plus faible par rapport aux deux cycles précédents.

En effet le taux élevé de la quantité de chlorophylle (A) dans les traitements (T3) et (T2) dû à la présence du magnésium (Mg) favorise le transport des éléments à partir de la racine vers les feuilles et augmente la production de la chlorophylle (A et B) et donc agit sur la photosynthèse.

Concernant la quantité du chlorophylle (B), l'analyse de la variance montre qu'il y a une différence non significative entre les différentes moyennes mesurées.

Le test de Newman et Keuls fait ressortir un seul groupe homogène. Les trois traitements testés synthétisent des quantités proches de chlorophylle (B).

D'une façon générale nous avons constaté que la chlorophylle (B) est moins sensible au stress salin que la chlorophylle (A) et que sa teneur diminue avec l'augmentation de l'intensité du stress salin conformément à ce que nombreux auteurs ont démontré (KADRI et *al.*, 2008).

2.2. Quantité de proline dans la plante [$\mu\text{g/g MF}$]

Tableau N°18: Quantité de proline [$\mu\text{g/g MF}$].

Traitement	T1	T2	T3
Stade floraison	0.017 ± 0.005 (b)	0.032 ± 0.009 (a)	0.038 ± 0.005 (a)
Stade nouaison	0.018 ± 0.010 (c)	0.069 ± 0.006 (a)	0.047 ± 0.005 (b)
Stade final	0.015 ± 0.002 (c)	0.036 ± 0.003 (b)	0.069 ± 0.011 (a)

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

Le test de Newman et Keuls ($\alpha = 5\%$) classe les traitements en deux groupes homogène (a) et (b) au stade floraison et en trois groupes homogènes (a), (b) et (c) aux stades nouaison et final.

Quelque soit le stade physiologique étudié à savoir (floraison, nouaison et stade finale) la quantité de proline est importante au niveau des feuilles des plantes irriguées par l'eau de Blida enrichie en $MgCl_2$ (T2) et en $MgSO_4$ (T3). Et ce par rapport au milieu alimentaire (T1) privé en ces deux sels minéraux.

Ceci en raison de l'enrichissement des traitements (T2) et (T3) par le $MgCl_2$ et le $MgSO_4$ respectivement. Ces deux milieux précités présentent une concentration en sels plus importante que le milieu (T1). A cet effet, les plantes de ces deux milieux alimentaire pour continuer à croître et à se développer doivent maintenir une pression osmotique plus élevés à l'intérieur de leurs cellules, afin que l'eau passe du milieu le moins concentré vers le milieu le plus concentré. De ce fait, les plantes doivent produire plus de proline en milieu le plus concentré.

La proline augmente de teneur avec l'augmentation de la concentration en sel.

3. Paramètres de rendements

3.1. Précocité

Pour avoir une idée sur l'effet des différents traitements sur la précocité du haricot, nous nous basons sur l'estimation de la floraison et la nouaison qui ont été déterminé dans le tableau N°19.

Tableau N°19:Données nécessaire à l'apparition des principaux stades de développement de la floraison (jours).

Traitements Stades	T1	T2	T3
Début floraison	46	43	42
Pleine floraison	48	49	49
Début nouaison	49	49	50
Pleine nouaison	55	55	53

Selon le tableau, les premières fleurs apparues étaient observées au niveau des plantes arrosées avec l'eau de Blida corrigé et enrichi en $MgSO_4$ (T3). La précocité de la mise à fleur est un signe du stress, les plantes faisant face le stress salin accélèrent leur cycle biologique, selon les déclarations de (LEVIGNERON et *al.*,1995).

Pour la pleine floraison, l'ensemble des traitements n'ont pas marqué une différence pour ce paramètre.

Par ailleurs, nous constatons une précocité remarquable chez les plantes alimentées par l'eau de Blida corrigé uniquement (T1) et le traitement corrigé et enrichi en $MgCl_2$ (T2) par rapport au traitement (T3). Ceci pour le début nouaison et la pleine nouaison.

3.2. Nombre moyen de fleurs par plant

L'estimation de la floraison a été faite tous les quatre jours au niveau des plantes traitées, les valeurs moyennes du nombre de fleurs par plant sont présentées dans la figure N°14.

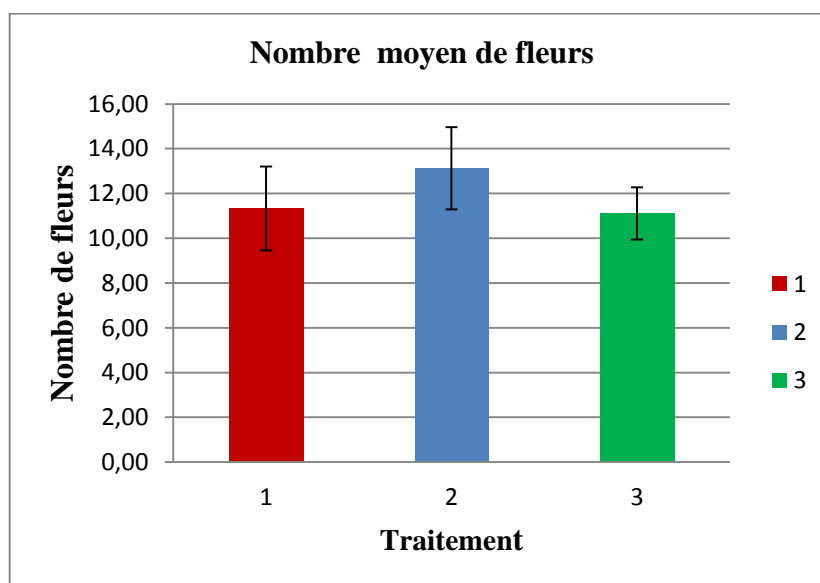


Figure N°14 : Nombre moyen de fleurs par plant.

L'analyse de la variance présente un effet hautement significatif du facteur traitement sur le paramètre mesuré.

Le test Newman et Keuls à seuil ($\alpha = 5\%$) fait ressortir deux groupes homogènes.

Le groupe (a) qui représente le traitement (T2) manifeste le nombre de fleurs le plus élevé avec une moyenne de 13,13 fleurs/plant, par rapport aux deux traitements(T1) et (T3) représentés par le groupe (b) qui révèle la moyenne la plus faible avec des valeurs de 11,33 et 11,11 fleurs/plant respectivement.

Il est à noter que les premières fleurs qui sont apparues étaient observées au niveau des plantes alimentées par le traitement (T3). On peut noter également que la floraison est importante lorsque l'élément magnésium apporté est lié aux sulfates.

La précocité de la mise à fleurs chez les plantes obtenues par le traitement (T1) s'accélèrent leur cycle biologique ce qui se traduit par un faible taux de floraison et donc de nouaison accompagné par un taux d'avortement plus élevé.

3.3. Nombre de gousses par plant

Tableau N°20 : Nombre des gousses par plant.

T1	T2	T3
7,25	7,13	7,56
±	±	±
1,20	1,05	1,01
(a)	(a)	(a)

Pour le nombre totale de gousses l'analyse de la variance montre qu'il y'a une différence non significative entre les trois traitements. On remarque que le nombre moyen de gousses dans le premier traitement (T1) est 7,25, tandis que le nombre moyen de gousses dans le deuxième traitement (T2) est 7,13 et le nombre moyen de gousses dans le troisième traitement (T3) est 7,56.

Ces résultats nous permet de classé les traitements testés en un seul groupe homogène (a) selon le test de Newman-Keuls ($\alpha = 5\%$).

3.4. Biomasse des gousses par plant[g]

Tableau N°21 : Biomasse des gousses par plant [g].

T1	T2	T3
28.23	32.11	31.58
±	±	±
1.32	1.56	0.70
(b)	(a)	(a)

L'analyse de la variance montre une différence très hautement significative du facteur traitement mesuré.

Le test de Newman et Keuls($\alpha = 5\%$) fait ressortir deux groupes homogènes. Le groupe (a) classe les plantes alimentées par l'eau de Blida corrigé et enrichi en $MgCl_2$ (T2) et enrichi en $MgSO_4$ (T3) qui représente le poids frais de gousses le plus élevé avec des valeurs proches. A l'inverse, les plantes issues de l'eau de Blida à pH corrigé (T1) produisent un faible poids des gousses.

3.5. Taux d'avortement

Les résultats relatifs aux taux de fleurs avortées des plantes du haricot par traitement obtenus par le comptage du nombre total de fleurs apparues et le nombre des fleurs transformées en gousses sont représentés dans la figure N°15.

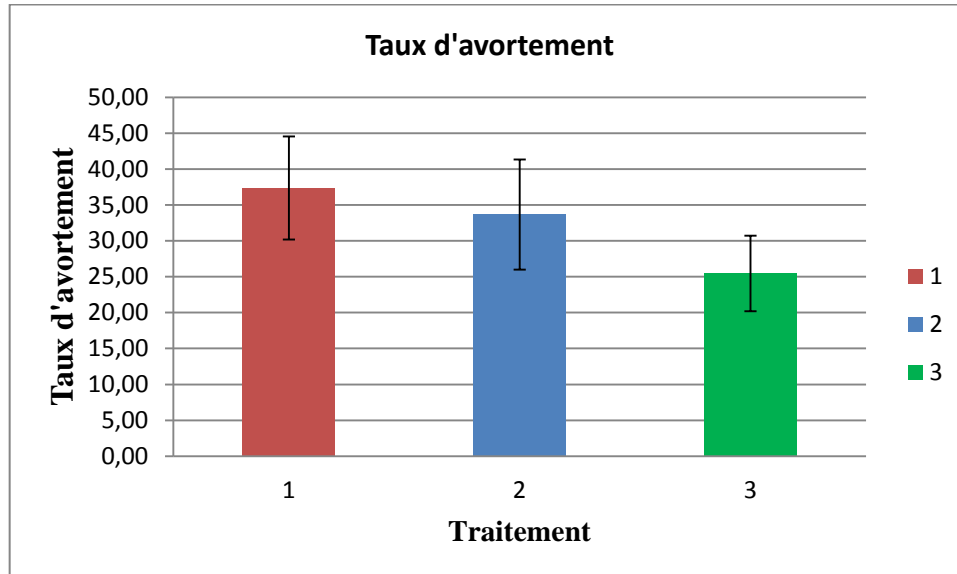


Figure N°15 : Taux d'avortement.

L'analyse de la variance présente un effet très hautement significatif du facteur traitement sur le paramètre mesuré

Le test Newman et Keuls à seuil ($\alpha = 5\%$) fait ressortir deux groupes homogènes.

Le groupe (a) correspond aux plantes alimentées par les deux traitements (T1) et (T2) enregistrent un taux d'avortement le plus élevé.

A l'inverse, le groupe (b) qui correspond aux plantes alimentées par le traitement (T3) présente un taux d'avortement faible et cela pour les meilleures conditions de culture de ces plantes ainsi, la richesse de ces solutions en éléments minérales et l'équilibre parfait entre les éléments nutritifs.



Chapitre VII
Discussions générale

L'expérimentation réalisée dans ce travail, a pour but de tester l'impact du potentiel hydrogène de trois milieux nutritifs sur les paramètres biométriques, biochimique et physiologique et de production du haricot, et ce en hors-sol.

Nous avons classé les résultats obtenus selon les potentialités de chaque traitement afin d'identifier le ou les traitements les plus performants selon les trois critères retenus à savoir :

- Critères biométriques.
- Critères biochimique et physiologique.
- Critères de production.

1. Classement des traitements selon les paramètres biométriques

Le classement des paramètres biométriques est représenté dans le tableau N°22.

Tableau N°22 : Classements des traitements selon les paramètres biométriques.

Traitements	T1	T2	T3
Paramètres biométriques			
Hauteur finale	3	1	2
Diamètre des tiges	1	2	1
Nombre de feuilles par plant	1	3	2
Biomasse fraîche des feuilles	3	1	2
Biomasse fraîche des tiges	2	1	3
Biomasse fraîche de racines	3	2	1
Biomasse fraîche totale	2	1	3
Biomasse sèche des feuilles	3	1	2
Biomasse sèche des tiges	3	2	1
Biomasse sèche des racines	2	1	3
Classement final	3	1	2

Selon les résultats présentés dans le tableau N°22, nous remarquons que les traitements corrigés et enrichis en $MgCl_2$ (T2) et en $MgSO_4$ (T3) respectivement, manifeste les meilleures performances biométriques par rapport au traitement (T1) corrigé uniquement.

L'application de traitement (T1) corrigé uniquement aux plantes expérimentées provoque le retard de la vitesse de croissance, la limitation de la croissance et le développement des plantes mis en évidence à travers les différents paramètres mesurés.

On remarque aussi selon le tableau que le traitement (T2) présente la meilleure performance et cela grâce à sa richesse en éléments fertilisants essentiellement, le magnésium lié au chlorure qui est à l'origine de leur dominance.

Aussi, nous constatons que les traitements corrigés et enrichis en $MgCl_2$ et en $MgSO_4$ (T2) et (T3) manifeste une augmentation significative de la matière sèche (feuilles + tiges) par rapport au traitement testés (T1), et ce cause le dessèchement précoce des plantes dû à la mauvaise croissance et à l'inhibition de la photosynthèse au niveau des chloroplastes.

2. Classement des traitements selon les paramètres biochimique et physiologique

Le classement des paramètres biochimique et physiologique est représenté dans le tableau N°23.

Tableau N°23 : Classements des traitements selon les paramètres biochimique et physiologique.

Traitements	T1	T2	T3
Paramètre biochimique et physiologique			
Proline	3	2	1
Chlorophylle (A)	3	2	1
Chlorophylle (B)	2	3	1
Classement final	3	2	1

On remarque d'après le tableau ci dessus que le traitement à pH corrigé par l'acide nitrique et l'acide phosphorique et enrichi en $MgSO_4$ (T3) prend la première place du classement en donnant les meilleurs exploits en ce qui concerne les paramètres biochimique et physiologique.

A l'inverse le traitement à pH corrigé par l'acide nitrique et l'acide phosphorique uniquement (T1) prend la dernière place. Nous constatons alors que le sel affecte significativement les différents paramètres biochimique et physiologique chez le haricot.

La correction du pH des traitements corrigés et enrichis en $MgSO_4$ et en $MgCl_2$ (T3 et T2) augmentent leur teneur en osmolytes qui devient plus forte dans le milieu externe de la plante, ce qui nécessite un ajustement osmotique interne par une production accrue de proline et cela afin de permettre le passage de l'eau du milieu le moins concentré vers le milieu le plus concentré. A cet effet, la concentration de la proline est plus élevée chez les plantes irriguées par les traitements (T3 et T2) à pH corrigé et enrichis par les deux sels $MgSO_4$ et $MgCl_2$.

Le dosage de la chlorophylle montre que les plantes issues des traitements à pH corrigé et enrichi en $MgSO_4$ et $MgCl_2$ (T3, T2) sont très riches en chlorophylle, alors que le traitement corrigé uniquement (T1) est pauvre en éléments dosés.

3. Classement des traitements selon les paramètres de production

Le classement des paramètres de production est représenté dans le tableau N°24.

Tableau N°24 : Classements des traitements selon les paramètres de production.

Traitements	T1	T2	T3
Paramètres de productions			
Nombre de fleurs par plant	2	1	3
Nombre de gousses par plant	2	3	1
Biomasse de gousses par plant	3	1	2
Taux d'avortement	1	2	3
Classement final	2	1	3

Les paramètres de production cités dans le tableau N°24 ont montré que l'effet de la correction du pH de l'eau de Blida a conduit à une augmentation significative de la croissance des plantes.

On remarque que les principales composantes du rendement a montré que déséquilibre ionique de traitement (T3) corrigé et enrichi en $MgSO_4$ réduit significativement le nombre de fleurs.

On note que le traitement (T2) corrigé et enrichi en $MgCl_2$ présente les meilleurs résultats en termes de nombre de fleurs et poids de fruits ainsi que le rendement. Le traitement (T1) corrigé uniquement vient juste après. Cette amélioration au niveau des résultats s'explique par l'équilibre ionique parfait des milieux nutritifs mais aussi un pH favorable, indispensables à la croissance et au développement des plantes du haricot.

CONCLUSION

Notre expérimentation a été conduite afin d'obtenir d'une part des informations sur la production de proline et de chlorophylle d'une glycophyte cultivée le Haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) en hydroponie et d'autre part voir l'impact de la correction du pH des traitements sur la croissance et le développement du Haricot.

En effet les plantes du Haricot irriguées par l'eau de Blida à pH corrigé et enrichie en $MgCl_2$ (T2) d'une part et en $MgSO_4$ d'une autre part (T3) présentent des paramètres de croissance et de production plus élevés que ceux des plantes irriguées par l'eau de Blida à pH modifié uniquement.

Les teneurs en chlorophylles (A et B) sont des paramètres qualitatifs du fait qu'elles peuvent nous renseigner sur le degré de tolérance de la culture du haricot en milieu salin. Selon les résultats obtenus, la présence des deux sels ($MgCl_2$ et $MgSO_4$) composés de l'élément magnésium favorise la production de la chlorophylle en quantité importante dans les traitements (T2) et (T3) par rapport au traitement (T1) dépourvue en cet élément.

Il est à noter que le Mg associé au chlorure et au sulfate considéré comme le principal caractère dans la formation de la chlorophylle qui participe au processus de la photosynthèse et la synthèse des protéines. Dans la plupart des cas le magnésium participe aux processus métabolique en activant un grand nombre d'enzymes. Une des principales enzymes clé du processus de la photosynthèse est la ribulose-1.5- biphosphate (RuBP) carboxylase. (CAKMAK I., ATILLA M., 2010).

En ce qui concerne la teneur en proline, même assez faible, elle suffit à assurer le réajustement de l'équilibre ionique. La combinaison magnésium-chlorure participe à une meilleure résistance du haricot en condition saline par rapport à la combinaison magnésium-sulfate du fait qu'elle favorise l'inclusion des ions en excès dans les tiges et les feuilles basales, (DJERROUDI, 2009).

La correction du pH de l'eau de Blida dans les trois traitements montre qu'il y a un effet bénéfique sur les paramètres morphologiques, biochimique, physiologique et de production et ce durant tous les stades du développement étudiés.

Pour obtenir des plantes de qualité, il est important de contrôler le pH du milieu alimentaire. En effet, le degré d'acidité ou d'alcalinité d'une solution joue un rôle essentiel

sur la solubilité des sels minéraux et sur leur assimilation par la plante. Ainsi, plus la solution a un pH ajusté (situé entre 5,5 et 5,8 en hydroponie), plus la plante bénéficiera des nutriments essentiels (MORARD, 1995).

Enfin, ces résultats seront d'un apport important pour participer à une meilleure conduite de la culture du haricot dans les zones arides et semi-aride où la qualité des eaux fournies pour l'irrigation est impropre ou non conventionnelle à l'irrigation. Cependant, des études à long terme doivent être entreprises afin de justifier le motif environnemental pour l'utilisation de ces eaux salines sans le risque d'accentuer le phénomène de salinisation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **AIT HOUSSA A., NOUGA E.L., OUALILI H., CHTAAIBAT Y., CHADDAD A.**, (2005)-Fertigation de la tomate hors sol dans la région de Douiet (Maroc). Ecole National d'Agriculture de Meknès, domaine agricole de Douiet : 1-15p.
- **ALLEN D.J., AMPOFO J.K.O., WORTMANN C.S.**, (1996)- Ravageurs, maladies et carences nutritives du haricot commun en Afrique, guide pratique, centre international d'agriculture and tropicale, Cali, Colombie : 131p.
- **ALLEN D.J., ARREGOCES O., MEDINA L.M.**, (1987)- Principales maladies du haricot en Afrique, Centro Internacional de Agricultura tropical (CIAT) Cali, Colombia : 1-15p.
- **ANONYME.**, (2003)- Détermination du pH à l'eau dans les sols agricoles. Centre d'expertise en analyse environnementale du québec et ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du québec, Ministère de l'Environnement du Québec : 8 p.
- **ANSARI R.**,(1990) - Growth and chemical composition of barley (*Hordeumvulgare* L.) cultivars on saline substrate as compared with a salt tolerant variety of wheat (*Triticumaestivum* L.). In: M.L. van Beusichen (ed.), Plant Nutrition, Physiology and Applications. KluwarAcademic, Amsterdam : 463p.
- **ANTIPOLIS S.**,(2003)- Les menaces sur les sols dans les pays méditerranéens. France. Le cahier du plan bleu n° 2 : 69p.
- **ASHRAF M.**,(2001)- Relationships between growth and gas exchange characteristics in some salt- tolerant amphidiploid Brassica species in relation to their diploid parents. Environ. Exp. Bot. 45: 155-163p.
- **AUSTIN, M.P.**, (1980)- Searching for a model for use in vegetation analysis. Vegetatio, 42: 11-21p.
- **AZHAR F.M., MCNEILLY T.**,(1987)- Variability for salt tolerance in Sorghum bicolor (L.) Moench. under hydroponic conditions. J. Agron. Crop Sci. 195, 269-277.
- **AZIZ I., KHAN M.A.**,(2001)- Effect of seawater on the growth, ion content and water potential of Rhizophoramucronata Lam. J. Plant Res. 114, 369-373.
- **BAISE D.** (2004)- Petit lexique de pédologie. INRA, Paris : 150-188p.

- **BAR Y., KAFKAFI U., LAHAV E.,**(1997)- Nitrate nutrition as a tool to reduce chloride toxicity in avocado. Yearbook. South African Avocado Growers Association 10: 47-48p.
- **BAUDOIN J.P., VANDERBORGHT T., KIMANI P.M., MW'ANGOMBE A.W.,** (2001)- Légumes à grains : Haricot. in Agriculture en Afrique Tropicale, Bruxelles, DGCI : 337-355p.
- **BAYUELO-JIMENEZ J.S., DEBOUCK D.G.,LYNCH J.P.,** (2003)- Growth, gas exchange, water relations, and ion composition of Phaseolus species grown under saline conditions. Field Crops Res. 80: 207-222p.
- **BAYUELO- JIMENEZ J.S., GRAIG R. LYNCH J.P.,**(2002)- Salinity tolerance of Phaseolus species during germination and early seedling growth. Crop Sci. 42, 1584-1594.
- **BELKHODJA M., BIDAI Y.,**(2004)- Réponse des graines d'Atriplexhalimus L. à la salinité au stade de la germination. Sécheresse, 4, vol. 15, décembre 2004.
- **BEN KHALED L .,MORTE GOMEZB A., HONRUBIAB M., OIHABIA A.,** (2003)- Effet du stress salinen milieu hydroponique sur le trèfle inoculé par le *Rhizobium*, Agronomie 23 : 553–560p.
- **BENTON JONES J.R.,** (2005)- Hydroponics : A practical guide for the the soilless grower.2 nd ed. Ed CRC Press New York: 349p.
- **BEZPALY I.,** (1984)- Les plantes cultivées en Afrique occidentale .Ed. MIR. Moscou:104p.
- **BLANC D.,** (1987)- Les cultures hors sol, 2^{ème}, Ed. INRA, Paris : 409p.
- **BOLARIN M.C., FERNANDEZ F.G., CRUZ V., Cuartero J.,**(1991)- Salinity tolerance in four wild tomato species using vegetative yield salinity response curves. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 116, 285-290.
- **BOUALLA N., BENZIANE A., DERRICH Z.,**(2012)- Origine de la salinisation des sols de la plaine de M'léta, Oran. Algérie. Journal of Applied Biosciences 53 : 3787-3796p.
- **CAKMAK I., ATILLA M.,** (2010)- Magnésium : Composante oubliée de la production agricole. Reprinted and translated from Better Crops with Plant Food, Vol.94, Issue No.2: 3p.
- **CARDEN F.,**(2009)- Des connaissances aux politiques: Tirer le meilleur parti possible de la recherche en développement. Ed IDRC. 336 p.

- **CASTRIGNANO A.**, (2011)- Using Digital Elevation Model to Improve Soil pH Prediction in an Alpine Doline. *Pedosphere*, 21(2), 259-270p.
- **CHAD D.k., RICHARD L.J., ELLEN P.P., LESLIE D.T., CARY J.G., PARE P., TISSUE D.**,(2006)- Nutrient solution and solution pH Influences on onion Growth and Mineral Content. *Journal of plant Nutrition*, 29 :375-390 Taylor and Francis group USA , 16p.
- **CHADLI R., BELKHODJA M.**,(2007)- Réponses Minérales Chez la Fève (*Vicia faba* L.) au stress salin. *European Journal of ScientificResearch*. Vol.18. No.4. 645 – 654p.
- **CHAUX C.**, (1972)- Production légumière. Ed J.B Bailliere :414p.
- **CHAUX C., FOURY C.**, (1994)- Production légumière: Légumes fruits, Tome 3, Ed Tec et Doc, Lavoisier : 563p.
- **CHEIKH M'HAME H., ABDELLOUI R., KADRI K., BEN NACEUR M., BEL HADJ S.**, (2008)- Evaluation de la tolerance au stress salin de quelques accessions d'orge (*Hordiumvulgare* L.) cultivées en Tunisie: approche physiologique, *Sciences&Technologie* :30 -37p.
- **COUTURE I.**,(2006)- L'eau, source de qualité et de rendement. Conseillère en production maraîchère Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation Direction régionale de la Montérégie, secteur est Saint-Hyacinthe, Hôtel Mortagne, Boucherville Principaux critères pour évaluer la qualité de l'eau en micro-irrigation 1-13p.
- **DEKHINAT S., BENSAID R., BENSID Z., KOREIB F., MOUNA Y.**,(2010)- Analyse de la variabilité spatiale de la salinité des sols dans une palmeraie Algérienne (Biskra, Algérie). *Science et Technologie D*. N°31. 9-14p.
- **DELFINE S., ALVINO A., ZACHINI M. LORETO F.**,(1998)- Consequences of salt stress on conductance to CO₂ diffusion, rubisco characteristics and anatomy of spinach leaves. *Aust. J. Plant Physiol.* 25, 395-402p.
- **DEROUICHE B.**,(2012)- Ecophysiologie du haricot (*Phaseolusvulgaris*) variété Djadida dans un environnement salin. Mémoire de magister, USDB. 145P
- **DEVIGNES A.**, (1986)- 30 légumes faciles à cultiver, Ed. de L'amitié, Paris : 56-57p.

- **DINON E., GERSTMANS A.,**(2008)- L'Influence du pH sur l'assimilation des éléments nutritifs du sol par les plantes et sur la variété des plantes. Université de Liège. 4p.
- **DOREMBOS J., KASSAM A.H.,** (1980)- Réponse des cultures à l'eau, Bulletin F. A. O. d'irrigation et de drainage, n°33 :192-196p.
- **DUBEY R.S.,**(1997)- Photosynthesis in plants under stressful conditions. In: M. Pessaraki, (ed.), Handbook of Photosynthesis, Marcel Dekker, New York, 859-875p.
- **DUCHAUFOR P.,** (1989)- Pédologie et groupes écologiques. I. Rôle du type d'humus et du pH. Bulletin d'écologie, 20,1-6p.
- **DUTHIL D.,** (1973)- Eléments d'écologie et d'agronomie, tome 3, exploitation et amélioration du milieu, emploi des facteurs de la production végétale. Ed. J. B. Baillière, Paris : 392p.
- **FEIGIN A., PRESSAN E., IMAS P., MILTAU O.,**(1991)- Combined effects of KNO₃ and salinity on yield and chemical composition of lettuce and Chinese cabbage. Irrig. Sci. 12, 223-230p.
- **FERNANDEZ R.,** (1995)- Culture hydroponique, Envio, revue de l'université centraméricaine de Managua, Nicaragua : 07p.
- **FEVRAU J.,** (1987)- Culture en containers. Revue horticole.33 :17-19p.
- **FISARAKIS I.,CHARTZOULAKIS K., STAVRAKAS D.,**(2001)- Response of sultana vines (*V. vinifera* L.) on six rootstocks to NaCl salinity exposure and recovery. Agric. Water Manage. 51, 13-27p.
- **FOUILLOUX G., BANNEROT H.,** (2003)- Amélioration des espèces végétales cultivées. Objectifs et critères de sélection, France : 392-405p, Paris-France, CIRAD-GRET : 865-878p.
- **FRANCIS S.,** (1970)-Cooper enzymes in isolated chloroplasts. Plant Physiol., 24 : 1-15p.
- **GHOULAM C., FOURSY A. FARES K.,**(2002)- Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. Environ. Exp. Bot. 47, 39-50p.
- **GRATTAN S.R., GRIEVEC.M.,**(1999)- Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. Sci. Hort. 78, 127-157p.

- **GUERRIER G.**,(1996)- Fluxes of Na⁺, K⁺ and Cl⁻, and osmotic adjustment in *Lycopersicon pimpinellifolium* and *L. esculentum* during short- and long-term exposures to NaCl. *Physiol. Plant.* 97, 583-591p.
- **GUIGNARD J.L., COSSON L., HENRY M.**, (1985)- *Abrégé de phytochimie.*- Ed. Masson : 224p.
- **HALITIM A.**,(1988)- *Sols des régions arides d'Algérie* .office de publication universitaire. 384p.
- **HAMIDI Y.**,(2012)- contribution à l'amélioration de la concentration et du potentiel hydrogène d'une eau saline sur la croissance du haricot en hydroponie. Thèse Master. Université de Blida-1 : 117p
- **HAMZA M.**, (1982)- *Adaptation physiologique à la salinité des eaux d'irrigation.* Bull. Soc. Physiol :19-18p.
- **HARTANI T., DOUAOUI A., KUPER M., HASSANI F.**,(2008)- *Stratégies de gestion individuelle de la salinité dans les périmètres irrigués de bas du Chélif cas de périmètre d'Ouarizane.* Actes de troisième atelier du projet du sirma, Nabeul, Tunisie. 12p.
- **HARTANI T., MERABET A.**,(2003)- *Le drainage des sels dans les sols agricoles.* I.N. A. El-Harrach, Alger. 49p.
- **HASCOET C.**, (2012)- *Adaptation d'un modèle de prévision des risques de sclérotiniose à la culture du haricot.* Thèse d'ingénieur de l'institut supérieur des sciences agronomique, Agrocampus Ouest, Angers, France : 38p.
- **HASEGAWA P.M., BRESSAN R.A., ZHU J-K., BOHNERT H.J.**, (2000)- *Plant cellular and molecular responses to high salinity.* *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 51:463–499p.
- **HELLER R.**, (1977)- *Abrégé de physiologie végétale.* Tome 1, nutrition et métabolisme, Ed. MASSON et CIE, Paris : 238 p.
- **HELLER R., ESNAULT R., LANCE C.**,(1998)- *Physiologie végétale 1- nutrition* 6eme Ed, Ed DUNOD, Paris, 323p.
- **HESTER M.W., MENDELSSOHN I.A., MCKEE K.L.**,(2001)- *Species and population variation to salinity stress in *Panicum hemitomon*, *Spartina patens*, and *Spartina alterniflora*: morphological and physiological constraints.* *Environ. Exp. Bot.* 46: 277-297p.

- **HOPKINS W.**,(2003)- Physiologie vegetale 2ieme edition, Ed de boeck et Larciers.a,Bruxelle : 514 p.
- **HUNTZ A.M., ROQUES-CARMES.**,(1980)- Equilibre acido-basiques en solution aqueuse, pH. Ed. Massou. Paris. 15p.
- **IMALET R.**,(1979)- Influence de différente concentration de sel (NaCl, Na₂SO₄) des eaux d'irrigation sur le rendement du haricot. Thèse d'ingénieur : I. N. A El Harrach, Alger. 43p.
- **INSID**, (2008)- Les sols salins en Algérie. Institut National des Sols, Irrigation et drainage. 06p.
- **IYENGAR E.R. REDDY M. P.**,(1996)- Photosynthesis in highly salt-tolerant plants. In: M. Pessaraki (ed.), Handbook of Photosynthesis, Marcel Dekker, New York: 897-909p.
- **KADIRI K., CHEIKH MHAMED H., ABDELLAOUI R., BEN NACEUR M., et BEL HADJ S.**, (2008)- Evaluation de la tolérance au stress salin de quelques accessions d'orge (*hordiumvulgare*L) cultivées en Tunisie : approche physiologique, Sciences & Technologie C- n°28 :30-37p.
- **KAYA C., KIRNAK H., HIGGS D.**,(2001)- Enhancement of growth and normal growth grown at high (NaCl) salinity. J. Plant Nutr. 24: 357-367p.
- **KHAN M.A., UNGAR I.A., SHOWALTER A.M.**,(2000)- Effects of sodium chloride treatments on growth and ion accumulation of the halophyte *Haloxylonrecurvum*. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 31: 2763-2774p.
- **KINET J.M., BENREBIHA F., BOUZID S., LAILHACAR S., DUTUIT P.**,(1999)- Le réseau Atriplex ou comment allier biotechnologies et écologie pour une sécurité alimentaire accrue en régions semi arides et arides.IN ESTEM Eds, Actualités scientifiques: Biotechnologie, amélioration des plantes et sécurité alimentaire. 89-93p.
- **KINGSBURY R.W., EPSTEIN E.**, (1984)- Selection for salt resistant spring wheat. CropSci. 24 : 310-315p.
- **KOLEV N.**, (1979)- Les cultures maraichères en Algérie Tome I, légumes fruits, I. T. C. M.
- **KURBAN H., SANEOKA H., NEHIRA K., ADILLA R., PREMACHANDRAG.S., FUJITA K.**, (1999)- Effect of salinity on growth, photosynthesis and mineral composition in leguminous plant *Alhagipseudoalhagi* (Bieb.). Soil Sci. Plant Nutr. 45: 851-862p.

- **LAFON J.P., THARAUD-PRAYER C.,** (1996)- Biologie des plantes cultivées hors sol, Ed.2, Ed.Lavoisier Tec. Et Doc., Paris :233p.
- **LAHMAR R., MESLEM M., MAIZA A., TOUABTI A.,**(1986)- Etat calcique des sols fertiles (le chaulage). Laboratoire de pédologie ; institut de Biologie, université Ferhat Abbas, 1900 Sétif. Laboratoire central, C.H.U de Sétif, 502p.
- **LASRAM M.,** (1995)- Comportement des plantes en milieu salé et placé en pourtour Méditerranée. AC. R. Acad. Agric.81(2) : 47-60p.
- **LAUMONIER R.,** (1979). Cultures légumières et maraîchères, Tome III, Ed. J.B. Baillière : 1276p.
- **LEA-COX J.D. SYVERTSEN J.P.,** (1993)- Salinity reduces water use and nitrate-N-use leaves. Aust. J. Plant Physiol. 25: 395-402p.
- **LEGOUPIL J.C.,** (1974)- Evaluation de la salure du sol sous irrigation (station INRAA). I. N. R. A Algérie. 16-32p.
- **LEGROS J.P.,**(2009)- La salinisation des terres dans le monde. Académie des sciences et lettres de Montpellier, conférence n° 4069 : 257-269p.
- **LEKAMA. A.A., TOMINI. A.,** (2006)-IPTRID : Conférence électronique sur la salinisation « extension de la salinisation et stratégie de prévention et réhabilitation ». Paris. 2-11p.
- **LEMAIRE F.,** (1989)- Culture en pots et conteneurs, Ed. INRA, Paris : 184p.
- **LESAINTE C.,** (1974)- Évaluation de la fertilisation et l'irrigation vers l'utilisation des solutions nutritives équilibrées. Ed. Versailles : 118 p.
- **LETARD M., PATRICIAE.,** (1995)- Maitrise de l'irrigation fertilisante : tomate sous serre et abris en sol et hors sol, Ed. C.T.I.F.L., Paris : 220p.
- **LEVITT J.,** (1980)- Responses of Plants to Environmental Stresses: Water, Radiation, Salt, and other stresses, Academic Press, New York. 365-488p.
- **LEVIGNERON A., LOPEZ F., VANSUYT G., BERTHOMIEU P., FOURCROY P., LOZER J., et MATHIEU C.,**(1990)- Dictionnaire de science du sol. Ed Technique et Documentation – Lavoisier :384 p.
- **LI SEC**(2004)- Contrôle van de fysicochemische kwaliteit van de waters van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest, rapport effectué pour le compte de l'IBGE 16p.
- **LONGSTRETH D.J., Nobel P.S.,** (1979)- Salinity effects on leaf anatomy. Plant Physiol. 63: 700- 703p.

- **LOZER J., MATHIEU C.**, (1990)- Dictionnaire de science du sol. Ed Technique et Documentation – Lavoisier. 384 p.
- **LUHUA S., CIFTCI-YILMAZ S., HARPER J., CUSHMAN J. MITTLER R.**, (2008)- Enhanced Tolerance to Oxidative Stress in Transgenic Arabidopsis Plants Expressing Proteins of Unknown Function. *Plant Physiol.* 148: 280-292p.
- **MAPPA D.**, (2010)-Les productions légumières 3^{ème} édition. Educagri, Paris : 85-86p.
- **MARCUM K.B.**, (2006)- Use of saline and non-potable water in the turf grass industry: Constraints and developments. *Agri. Water Manag.* 80: 132-146p.
- **MARTINEZ S., MORARD P.**, (2000)-Recyclage des solutions nutritives en culture hors-sol, Forum Graines de Chercheurs, ENSAT, Toulouse.
- **MASSIEN C.M., MASSIAEN F.P.**, (2009)- Le potager familial méditerranéen. Ed. Quae, Paris : 105-110p.
- **MBEY J.A.**, (2007)- Importance du pH en Chimie, Biochimie, Agriculture, Medecine. PLEG de chimie : 4p.
- **MELONI D.A., OLIVA M.A., RUIZ H.A. MARTINEZ C.A.**, (2001)- Contribution of proline and inorganic solutes to osmotic adjustment in cotton under salt stress. *J. Plant Nutr.* 24: 599-612p.
- **MERMOUD A., MUSY A.**, (2006)- Salinisation du sol depuis une nappe peu profonde : Stimulation de l'effet d'un abaissement de la nappe sur les remontées d'eau vers la surface, 42th. Int. Executiveconcil Meeting of ICID, China, 14 : 1-9p.
- **MILANI. M.**, (1998)- La production végétal la maîtrise technique de la production. Ed Lavoisier, paris.minérale des plantes cultivées”, Etude et Gestion des Sols, 5 (4):289 – 298p.
- **MONNEVEUX P., NEMMAR M.**, (1986)- Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum caesium L.*) et chez le blé dur (*Triticum Drums Desf.*): Etude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de Développement. *Agronomie*, 6 (6) :583-590p.
- **MORARD P.**, (1995)-Les cultures végétales en hors sol • h, Pub. Agris, Paris : 301p.
- **MOUHOUCHE B.**, (1991)- Effet de stress hydrique sur la production agricole cas d'espèce, le haricot nain. *Rev EL ARDH n°8*:15-17p.
- **MULHOLLAND B.J., TAYLOR I.B., JACKSON A.C. THOMPSON A.J.**, (2003)- Can ABA mediate responses of salinity stressed tomato. *Environmental and Experimental Botany* 50: 17-28p.

- **MUNNS R., TERMAAT A.,** (1986)- Whole plant response to salinity. Australian Journal of Plant Physiology 13: 143-160p.
- **MUNNS R.,** (1993)- Physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypotheses. Plant, Cell and Environment 16: 15-24p.
- **MUNNS R.,** (2005)- Genes and salt tolerance: bringing them together. New Phytologist 167: 645-663p.
- **MUNNS R., SCHACHTMAN D.P., CONDON A.G.,** (1995)- The significance of a two-phase growth response to salinity in wheat and barley. Aust. J. Plant Physiol. 22: 561-569p.
- **NEUMANN P.,** (1997)- Salinity resistance and plant growth revisited. Plant Cell Environ. 20: 1193- 1198p.
- **OMAMI E.N.,** (2005)- Response of Amaranth to salinity stress. Thesis Ph.D Horticulture. Departement of plant production and soil science, Faculty of natural and agricultural sciences, University of Pretoria. 235p.
- **PAPDI C., ABRAHAM E., PRATHIBA J. M., POPESCU C., KONCZ C., SZABADOS L.,** (2008)- Functional Identification of Arabidopsis Stress Regulatory Genes Using the parameters by foliar application of potassium and phosphorus in tomato cultivars Controlled cDNA Overexpression System. Plant Physiol. 147: 528-542p.
- **PARDOSSI A., BAGNOLI G., MALORGIO F., CAMPIOTTI C.A., TOFNONI F.,** (1999)-NaCl effects on celery (*Apiumgraveolens L.*) grown in NFT. ScientiaHortic. 81: 229-242p.
- **PARIDA A.K., 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, *Bruguieraparviflora*, in hydroponic cultures. J. Plant Biol. 45: 28-36p.
- **PENNINGSFELD A., KURZMAN T.,** (1969)- Les cultures sans sol ou hydroponiques et sur tourbe , Ed. Maison Rustique, Paris, : 219p.
- **PEREZ-ALFOCEA F., BALIBREA M.E., SANTA CRUZ A. ESTAN M.T.,** (1996)- Agronomical and physiological characterization of salinity tolerance in a commercial tomato hybrid. Plant and Soil 180: 251-257p.
- **PERON J.Y.,** (2006)- productions légumières, 2eme édition, Ed. Lavoisier : 613 p.
- **PITRAT M., FOURY C.,** (2003)- Histoires des légumes, Ed INRA, Paris. 410p

- **POLESE J.M.**, (2006)- La culture des haricots et des pois. Ed. Artemis France : 42-52p.
- **ROMERO-ARANDA R., SORIA T., CUARTERO J.**, (2001)- Tomato plant-water uptake and plant- water relationships under saline growth conditions. *Plant Sciences*. 160: 265-272p.
- **RUBIO S., LYNNE W.T.R., GRAHAM L.I.A., RODRIGUEZ P.L.**, (2008)- The Coenzyme A Biosynthetic Enzyme PhosphopantetheineAdenylyltransferase Plays a Crucial Role in Plant Growth, Salt/Osmotic Stress Resistance, and Seed Lipid Storage. *Plant Physiol*. 148: 546-556p.
- **SACHER R.F., STAPLES R.C.**, (1984)- Chemical microscopy for study of plants in saline environments. In: R.C. Staples and G.H.Toenniessen (eds.), *Salinity tolerance in plants: Strategies for crop improvement*. John Wiley and Sons, New York. 17-35p.
- **SAOU A.**, (2012)- Impact des eaux salines non conventionnelles sur la production de la chlorophylle et la proline de deux espèces maraichère haricot et tomate en hors sol. Thèse d'Ing. Université de Blida-1 : 116p
- **SAVVAS D., LENZ F.**, (1996)- Influence of NaCl concentration in the nutrient solution on mineral composition of eggplants grown in sand culture. *Angew. Bot.* 70: 124-127p.
- **SAXENA N. B.**, (2006)-Aride zone ecology. Ed. ParagatiPrakashan, Meerut. 191p.
- **SCHULZE E.D., BECK E., MULLER-HOHENSTEIN K.**, (2005)- *Plant ecology*. Edition Springer Berlin- Heidelberg. 692p.
- **SHANNON M.C.**, (1984)- Breeding, selection, and the genetics of salt tolerance. In: R.C. Staples and G.H. Toenniessen (eds.), *Salinity tolerance in plants: Strategies for crop improvement*. John Wiley and Sons, New York. 231-254p.
- **SHANNON M.C., GRIEVE C.M., FRANCOIS L.E.**, (1994)- Whole-plant response to salinity. In: *Plant-environment Interactions*(R. E. Wilkinson ed). Marcel Dekker, New York. 199-244p.
- **SHARPLEY A.N., MEISINGER J.J., POWER J.F., SUAREZ D.L.**, (1992)- Root extraction of in nutrients associated with long-term soil management. In: B. Stewart (ed.), *Advances Soil Science*, vol. 19. Springer. 151-217p.
- **SHOLTO J.D.**, (1984)-*Advancedguid to hydroponics*. Ed .Polham, London: 1-25p.

- **SILVEIRA J.A.G., MELO A.R.B., VIEGAS R.A., OLIVEIRA J.T.A.,** (2001)- Salinity-induced effects on nitrogen assimilation related to growth in cowpea plants. Environ. Exp. Bot. 46: 171-179p.
- **SKIREDJ A.,** (2007)- La culture de haricot filet (vert). Revue horticole Vol 12, n°5 :36-45p.
- **SNOUSSI S.A.,** (2001)- Valorisation des eaux salines pour la nutrition minérale des plantes cultivées. Thèse de Doctorat, INA Alger :152 p.
- **SNOUSSI S.A.,**(2004)- Absorption hydrique en milieu salin chez la tomate et le haricot. Cahiers Agricultures. Vol.13, N° 3, 283-287p.
- **SNOUSSI S.A.,** (1980)- Caractérisation de quelques substrats disponible dans la région d'Alger en vue de leur utilisation en culture hydroponique. ThèseingAgro I. N. A. El Harrach, Alger: 67p.
- **SOHAN D., JASONI R., ZAJICEK J.,** (1999)- Plant-water relations of NaCl and calcium-treated sunflower plants. Environ. Exp. Bot. 42: 105-111p.
- **SONNEVELD C., DE KREIJ C.,** (1999)- Response of cucumber (*Cucumis sativus* L.) to an unequal distribution of salt in the root environment. Plant Soil 209: 47-56p.
- **STANTON.,** (1970)- Les légumineuses à graines en Afrique, Rome : organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. 37: 38-172p.
- **SZABALOCZ I.,** (1989)- Salt affected soils. C. R. P. Press.Bocaraton F1, 49-59p.
- **TAIZ L., ZEIGER E.,** (2002)- Plant Physiology. 3rd ed. Sinauer Associates Publishers, Sunderland, 427 p.
- **THIAULT J.F.,** (2004)- Détail fruits et légumes « la maîtrise de la culture hors sol ». Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes, Paris : 1-4p.
- **TIRILLY Y., BOURGEOIS C.M.,** (1999)- Technologie des légumes, Ed. Tec et Doc Lavoisier, Paris: 588p.
- **URBAN L.,** (1997)- Introduction à la production sous serre : irrigation fertilisante en Culture hors sol (TOME 2). Ed. Maison Rustique. Paris : 180p.
- **VICENTE O., BOSCAIU M., NARANJO M.A., ESTRELLES E., BELLES J.M., SORIANO P.,** (2004)- Responses to salt stress in the halophyte *Plantago crassifolia* (Plantaginaceae). J. Arid Environ. 58 : 463-481p.
- **VILLORA G., PULGAR G., MORENO D.A., Romero L.,** (1997)- Salinity treatments and their effect on nutrient concentration in zucchini plants (*Cucurbitapepo* L. var.Moschata). Aust. J. Exp. Agri. 37 : 605-608p.

- **VINSON J.**,(2003)- L'acidité des sols en Bretagne, un handicap pour l'agriculture ; Portail de l'information environnementale de Bretagne. Agrocompus Ouest P6.
- **YEO A.**, (1998)- Molecular biology of salt tolerance in the context of whole-plant physiology. *Journal of Experimental Botany* 49: 915-929p.
- **ZANG H., MUZARD M.**, (1986)- Les cultures sur substrat. Ed, C.T.I.F.L. Paris. 276p.
- **ZHU J.K.**, (2001)- Plant salt tolerance. *Trends in Plant Sci.* 6 : 66-71p.
- **ZIEGLER.**, (2008)- L'hydroponie ou culture hydroponique maladies des plantes, agriculture et écologie : 16p.
- **ZUANG H.**, (1982)- La fertilisation des cultures légumières, ctifl, Paris : 395p.



Annexes

Annexes 01 :Hauteur finale des plantes.

	Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	CV
COUPE FINALE	Var. facteur 1	31,10	2	15,55	4,31	0.0252	5%
	Var. résiduelle1	86,60	24	3,60			
	Var. Totale	117,69	26				

Annexes 02 :Diamètre des tiges.

	Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	CV
COUPE FINALE	Var. facteur 1	0,30	2	0,15	1,36	0,28	5%
	Var. Résidulle1	2,61	24	0,11			
	Var. Totale	2,91	26				

Annexes 03 :Nombre de feuilles par plant.

	Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	CV
COUPE FINALE	Var. facteur 1	1,92	2	0,96	0,86	0,434	5%
	Var. résiduelle1	26,65	24	1,11			
	Var. Totale	28,57	26				

Annexes 04 : Biomasse fraiche total.

	Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	CV
COUPE FINALE	Var. Facteur1	40,11	2	20,06	10,54	0,0005	5%
	Var. résiduelle1	45,67	24	1,90			
	Var. Totale	85,79	26				

Annexes 05 : Biomasse fraiche des feuilles.

	Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	CV
COUPE FINALE	Var. facteur 1	10,20	2	5,10	8,09	0,0021	5%
	Var. résiduelle1	15,11	24	0,63			
	Var. Totale	25,31	26				

Annexes 06 : Biomasse fraîche des tiges.

	Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	CV
COUPE FINALE	Var. facteur 1	0,22	2	0,11	0,31	0,7333	5%
	Var. résiduelle1	8,54	24	0,35			
	Var. Totale	8,76	26				

Annexes 07 : Biomasse fraîche des racines.

	Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	CV
COUPE FINALE	Var. facteur 1	419,74	2	209,87	35,75	0,00007	5%
	Var. résiduelle1	140,89	24	5,87			
	Var. Totale	560,62	26				

Annexes 08 :Biomasse sèche des feuilles.

	Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	CV
COUPE FINALE	Var. facteur 1	0,064	2	0,032	9,30	0,0145	5%
	Var. résiduelle1	0,020	6	0,0034			
	Var. Totale	0,085	8				

Annexes 09 : Biomasse sèche des tiges.

	Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	CV
COUPE FINALE	Var. facteur 1	0,017	2	0,0087	0,36	0,7110	5%
	Var. résiduelle1	0,144	6	0,024			
	Var. Totale	0,162	8				

Annexes 10 : Biomasse sèche des racines.

	Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	CV
COUPE FINALE	Var. facteur 1	1,001	2	0,500	34,26	0,0005	5%
	Var. résiduelle1	0,087	6	0,014			
	Var. Totale	1,088	8				

Annexes 11 : Quantité de chlorophylle (A) stade floraison.

	Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	CV
STADE FLOAISON	Var. facteur 1	0,0044	2	0,0022	30,21	0,0007	5%
	Var. résiduelle1	0,0004	6	0,000074			
	Var. Totale	0,0049	8				

Annexes 12 : Quantité de chlorophylle (B) stade floraison.

	Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	CV
STADE FLORAISON	Var. facteur 1	0,0029	2	0,0014	59,68	0,0001	5%
	Var. résiduelle1	0,00015	6	0,000025			
	Var. Totale	0,0031	8				

Annexes 13 : Quantité de chlorophylle (A) stade nouaison.

	Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	CV
STADE NOUAISON	Var. facteur 1	0,203	2	0,101	86,70	0,00004	5%
	Var. résiduelle1	0,007	6	0,0011			
	Var. Totale	0,210	8				

Annexes 14 : Quantité de chlorophylle (B) stade nouaison.

	Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	CV
STADE NOUAISON	Var. facteur 1	0,122	2	0,061	78,22	0,0001	5%
	Var. résiduelle1	0,0047	6	0,0008			
	Var. Totale	0,13	8				

Annexes 15 : Quantité de chlorophylle (A) coupe finale.

	Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	CV
COUPE FINALE	Var. facteur 1	0,066	2	0,033	38,08	0,0004	5%
	Var. résiduelle1	0,0052	6	0,0009			
	Var. Totale	0,071	8				

Annexes 16 : Quantité de chlorophylle (B) coupe finale.

	Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	CV
COUPE FINALE	Var. facteur 1	0,0087	2	0,0044	1,22	0,36	5%
	Var. résiduelle1	0,021	6	0,0036			
	Var. Totale	0,030	8				

Annexes 17 : Quantité de proline stade floraison.

	Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	CV
STADE FLORAISON	Var. facteur 1	0,0005	2	0,0003	7,97	0,0205	5%
	Var. résiduelle1	0,0002	6	0,000034			
	Var. Totale	0,0007	8				

Annexes 18 : Quantité de proline stade nouaison.

	Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	CV
STADE NOUAISON	Var. facteur 1	0,0031	2	0,0015	87,53	0,000035	5%
	Var. résiduelle1	0,00010	6	0,00001			
	Var. Totale	0,0032	8				

Annexes 19 : Quantité de proline coupe finale.

	Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	CV
COUPE FINALE	Var. facteur 1	0,0044	2	0,0022	46,90	0,0002	5%
	Var. résiduelle1	0,0003	6	0,00005			
	Var. Totale	0,0047	8				

Annexes 20 : Nombre total des gousses.

	Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	CV
COUPE FINALE	Var. facteur 1	0,88	2	0,44	0,37	0,69	5%
	Var. résiduelle1	28,60	24	1,19			
	Var. Totale	29,48	26				

Annexes 21 : Poids total des gousses.

	Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	CV
COUPE FINALE	Var. facteur 1	79,80	2	39,90	25,67	0,00001	5%
	Var. Résiduelle1	37,30	24	1,55			
	Var. Totale	117,10	26				

Annexes 22 :Hauteur moyenne des plantes en [cm].

T1	T2	T3
29.33	31.94	29.83
±	±	±
1.561	1.895	2.727
(b)	(a)	(ab)

Annexes 23 : Biomasse fraîche totale [g].

T1	T2	T3
19.92	20.03	18.05
±	±	±
2.219	2.173	1.690
(a)	(a)	(b)

Annexes 24 : Biomasse sèche des feuilles[g].

T1	T2	T3
1,61	1,96	1,84
±	±	±
0,208	0,474	0,443
(b)	(a)	(ab)

Annexes 25 : Biomasse sèche des tiges[g].

T1	T2	T3
1,24	1,20	1,31
±	±	±
0,121	0,140	0,195
(a)	(a)	(a)

Annexes 26 : Biomasse sèche des racines [g].

T1	T2	T3
1.67	2.07	1.38
±	±	±
0.370	0.256	0.195
(b)	(a)	(c)

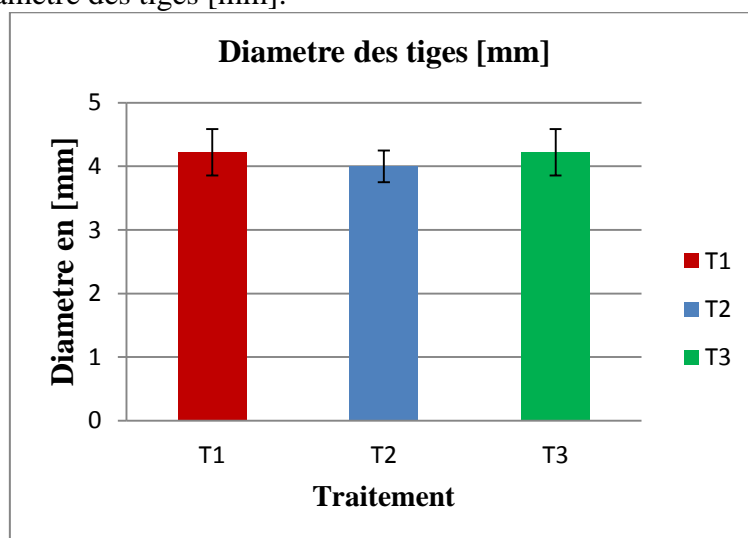
Annexes 27 : Nombre moyen de fleurs par plant.

T1	T2	T3
11,33	13,13	11,11
± 1,87	± 1,83	± 1,17
(b)	(a)	(b)

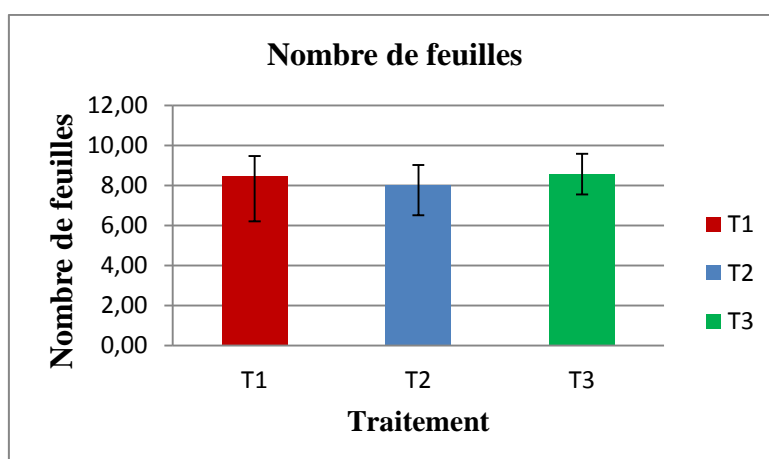
Annexes 28 : Taux d'avortement.

T1	T2	T3
37,37	33,67	25,44
± 7,19	± 7,66	± 5,27
(a)	(a)	(b)

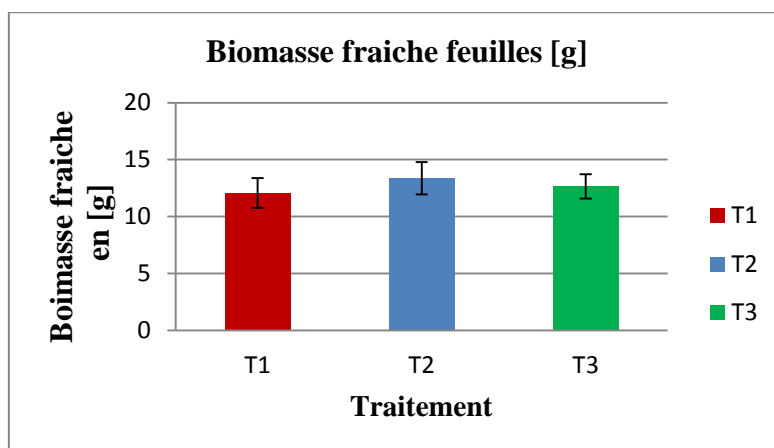
Annexes 29 : Diamètre des tiges [mm].



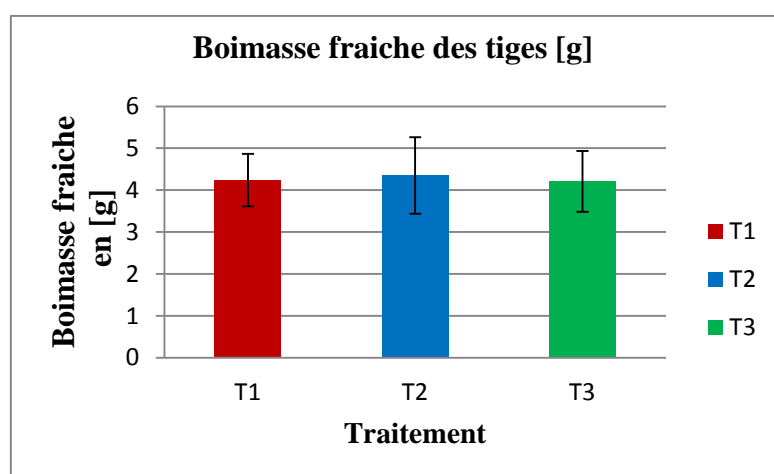
Annexes 30 : Nombre de feuilles par plant.



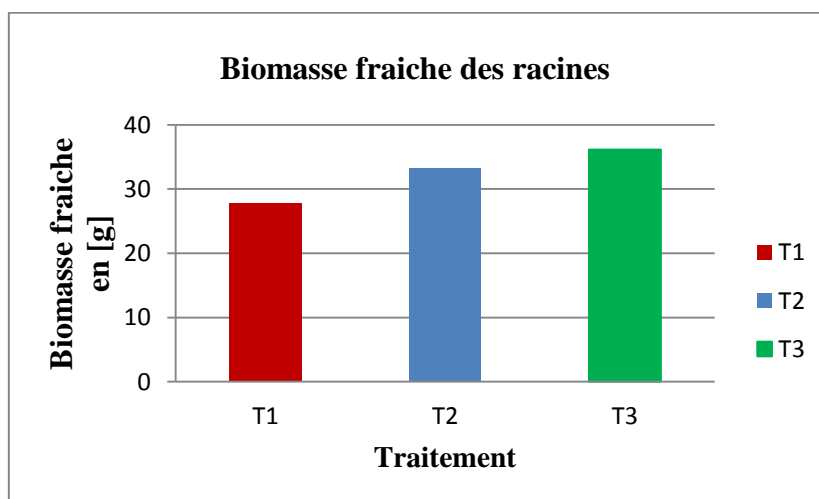
Annexes 31 : Biomasse fraîche des feuilles [g].



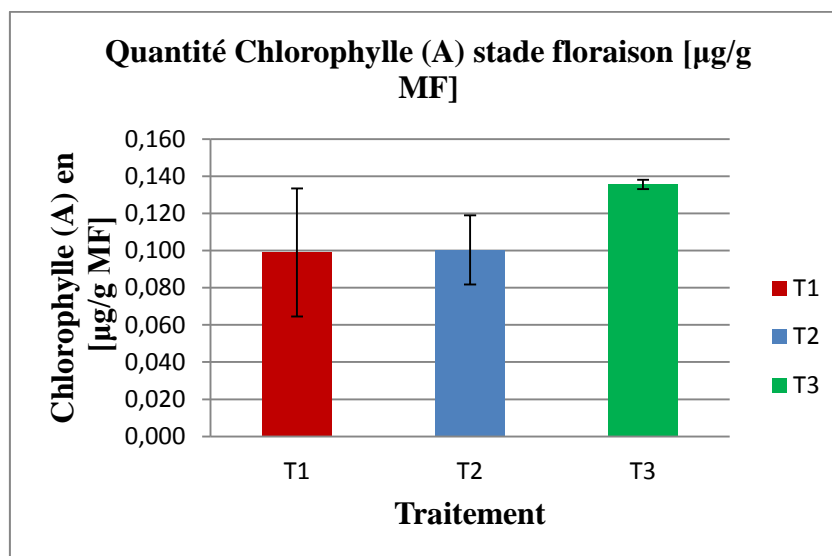
Annexes 32 : Biomasse fraîche des tiges [g].



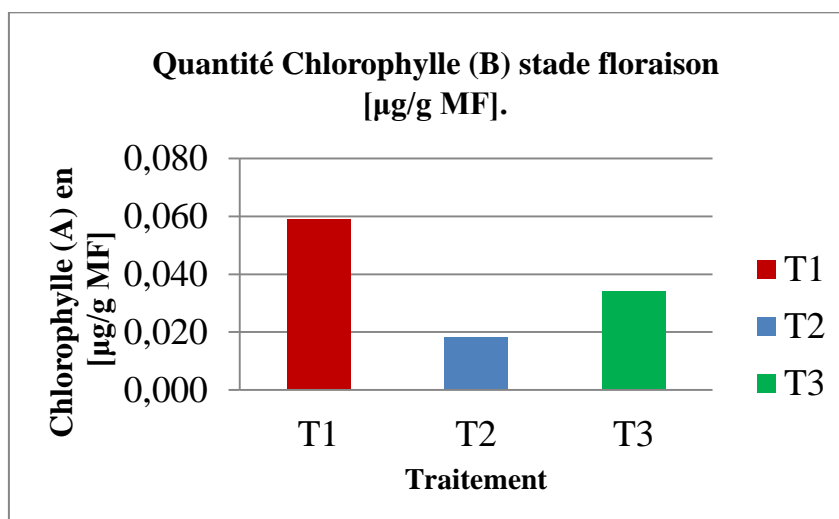
Annexes 33 : Biomasse fraîche des racines [g].



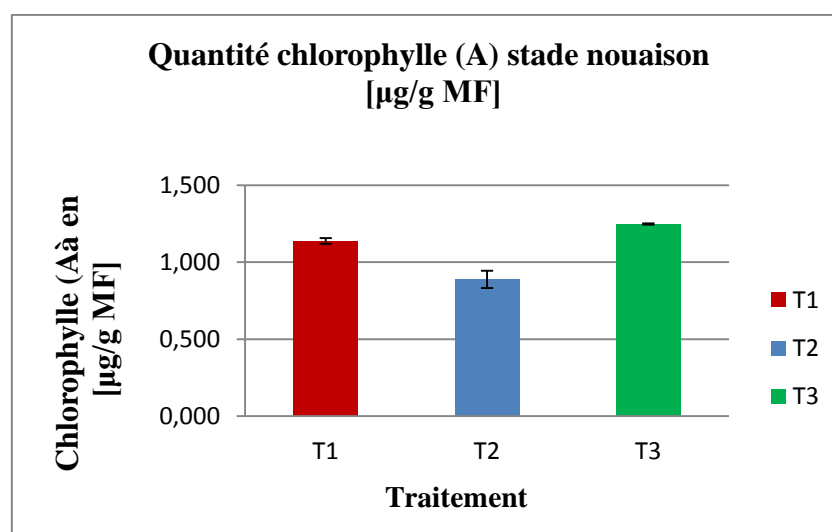
Annexes 34 : Quantité de la chlorophylle (A) stade floraison [$\mu\text{g/g MF}$].



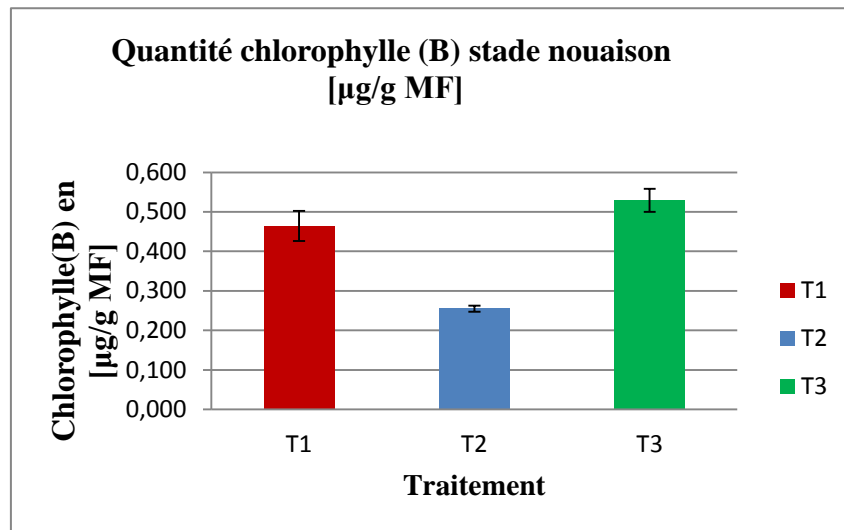
Annexes 35 : Quantité de la chlorophylle (B) stade floraison [$\mu\text{g/g MF}$].



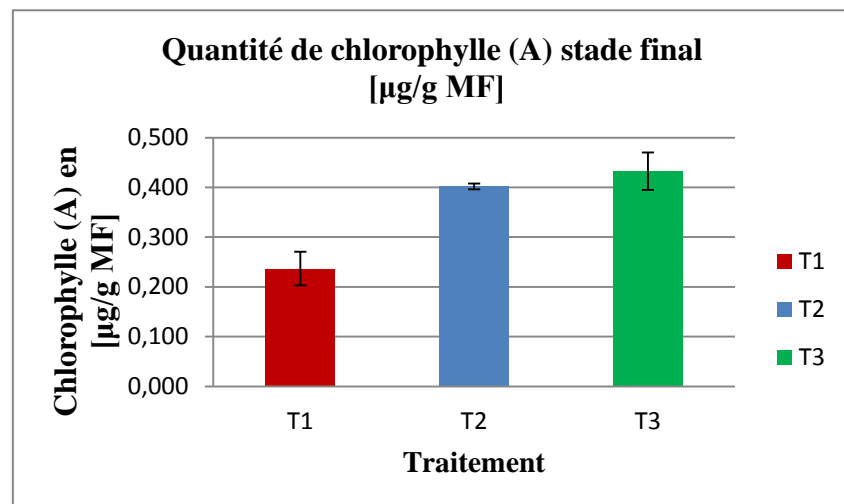
Annexes 36 : Quantité de la chlorophylle (A) stade nouaison [$\mu\text{g/g MF}$].



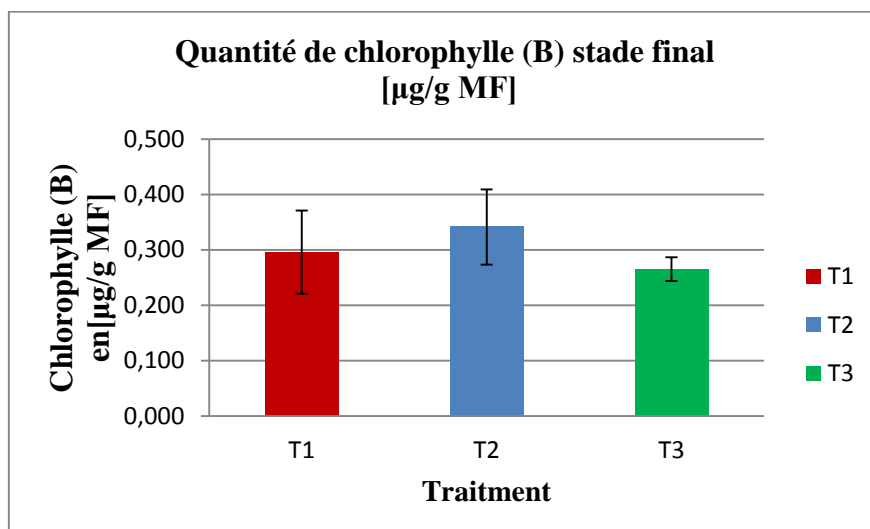
Annexes 37 : Quantité de la chlorophylle (B) stade nouaison [$\mu\text{g/g MF}$].



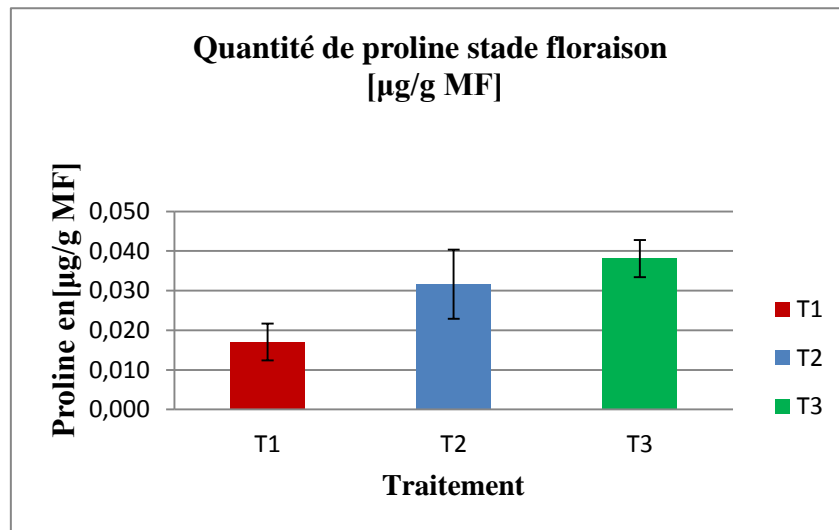
Annexes 38 : Quantité de la chlorophylle (A) stade final [$\mu\text{g/g MF}$].



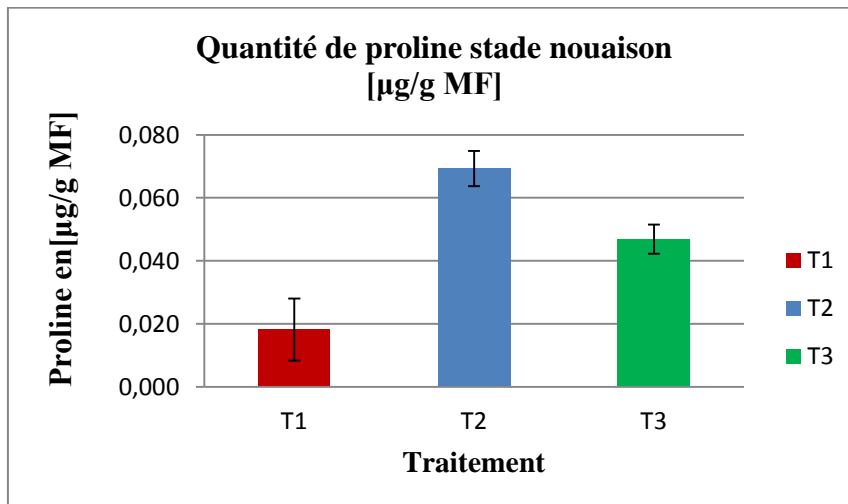
Annexes 39 : Quantité de la chlorophylle (B) stade final [$\mu\text{g/g MF}$].



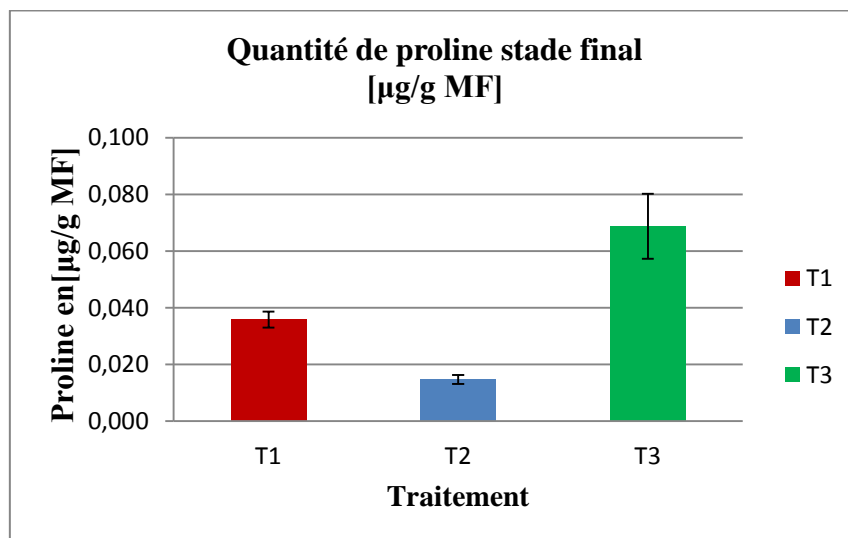
Annexes 40 : Quantité de la proline stade floraison [$\mu\text{g/g MF}$].



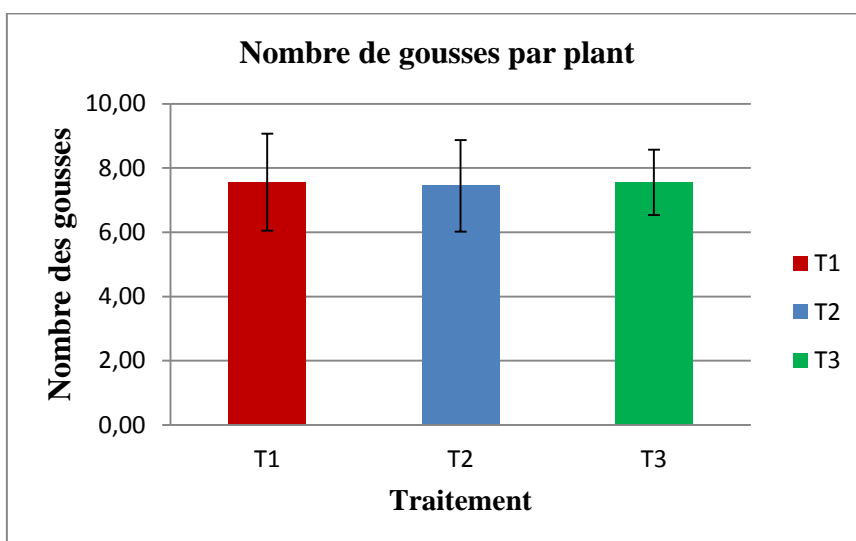
Annexes 41 : Quantité de la proline stade nouaison [$\mu\text{g/g MF}$].



Annexes 42 : Quantité de la proline stade final [$\mu\text{g/g MF}$].



Annexes 43 : Nombre de gousses par plant.



Annexes 44 : Biomasse des gousses par plant[g]

