

UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA

Faculté des Sciences Agronomiques et Vétérinaires

Département d'Agronomie

MEMOIRE DE MAGISTER

Spécialité : Agro ressources

ECOPHYSIOLOGIE DU HARICOT (*Phaseolus vulgaris*) VARIETE DJADIDA DANS UN ENVIRONNEMENT SALIN

Par

DEROUICHE BILLEL

Devant le jury composé de

BENMOUSSA. M.	Professeur, U.S.D. Blida	Président
SNOUSSI. S.A	Professeur, U.S.D. Blida	Promoteur
ALLAL-BELFEKHIH L.	M C A, U.S.D. Blida	Examinatrice
CHAOUIA. CH	M C B, U.S.D. Blida	Examinatrice
MEGATELI. S.	M C B, U.S.D. Blida	Co-promoteur

Blida, Janvier 2012

REMERCIEMENTS

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

Mes vifs remerciements s'adressent à mon promoteur Mr : SNOUSSI S-A. D'avoir accepté de diriger ce travail, sa noblesse, sa gentillesse, sa compréhension, son soutien et ses conseils éclairés.

Je remercie, **P^r** M. Ben Moussa d'avoir bien voulu accepter de présider ce travail.

Je tiens également à remercier ALLAL-BELFEKHIH L., CHAOUIA. CH. et MEGATLI. S. qui m'ont fait l'honneur de leur présence et ont voulu examiner ce travail.

Ma précieuse mère et mon très cher père que Dieu me les garde.

A la mémoire de ma grand-mère Lakri Allah yarhameha.

A mon grand père El arbi que Dieu yahafdh.

Toute la famille TIOUERMAS, DEROUICHE et TASSOULT

Mon frère.

Mes très chères sœurs qui je les adore infiniment.

Mes oncles Abdelouaheb, Yazid, Malek, Saliha, Samia, Siham, et ma nièce Sabrina.

Ce travail a bénéficié du soutien de plusieurs personnes qu'il me fait plaisir de remercier, en particulier :

Monsieur AIT SAADI pour ses conseils et son aide et SORAYA

J'adresse aussi mes remerciements à M^r RAMDANE, M^M GENDOUZ, MALIKA, HAMIDA et KAHINA, AMINA, JAMILA, MOHAMED, ZOUAOUI, HAMID, OMAR.

Sans oublier l'administration de département des sciences agronomiques

Je tiens à remercier l'ensemble des personnes qui m'ont aidés de près ou de loin pour réaliser ce modeste travail.

Ainsi tous mes enseignants durant toute ma formation.

RESUME

La salinité des eaux et des sols représente un problème majeur particulièrement dans les zones semi-arides et arides. Elle exerce des effets nuisibles sur les plantes et par conséquent une diminution de la production végétale.

Le but de ce travail est de comparer l'influence de trois eaux salines naturelles et de ces mêmes eaux corrigées sur la croissance et le développement de l'espèce du haricot *Phaseolus vulgaris* variété "Djadida".

L'étude a portée sur l'irrigation de 140 plans du haricot par sept traitements durant tout le cycle végétatif, répartis en trois catégories :

- ☞ Trois traitements salins naturels (T1, T2 et T3) composés respectivement de sels nocifs (Na_2SO_4 , MgCl_2) ; (NaCl , Mg SO_4) et (NaCl , Na_2SO_4);
- ☞ Trois traitements salins corrigés (T1C, T2C et T3C) ;
- ☞ Témoin, une solution nutritive standard (T), pour comparer les résultats.

Une amélioration hautement significative des paramètres de croissance, de production et de la qualité physiologique (taux du sucre, quantité de la proline et de la chlorophylle) a été constatée lors de l'irrigation des plantes par les traitements salins corrigés (T1C, T2C et T3C) qui se rapproche au témoin, en comparaison avec les plantes sous traitements salin naturels (T1, T2 et T3).

D'autres résultats suggèrent que l'addition des acides et des oligo-éléments à la solution saline naturelle a amélioré considérablement les paramètres physiologiques.

Mots clés : Salinité, Haricot, Solution nutritive, Physiologie, Morphologie, Sodium Sulfates, Sucre, Proline.

Abstract

Salinity of soils and water is a major problem especially in semi-arid and arid. It has harmful effects on plants and therefore a decrease in crop production.

The aim of this study is to compare the influence of three natural saline waters and those waters corrected on growth and development of the species of *Phaseolus vulgaris* bean variety Djadida.

The study focused on the irrigation of 140 plans by seven treatments throughout the growth cycle, divided into three categories:

Three natural saline treatments (T1, T2 and T3) composed respectively of harmful salts (Na₂SO₄, MgCl₂) (NaCl, MgSO₄) and (NaCl, Na₂SO₄);

Three saline treatments corrected (T1C, T2C and T3C);

Witness, a standard nutrient solution (T) to compare the results.

A highly significant improvement in growth parameters, production and physiological quality (sugar levels, the amount of proline and chlorophyll) was observed during the irrigation of plants by corrected saline treatment (T1C, T2C and T3C) that is close to the witness, compared to plants under natural saline treatments (T1, T2 and T3).

Other results suggest that the addition of acids and trace elements in natural saline significantly improved physiological parameters.

Keywords: Salinity, bean, Nutrient Solution, Physiology, Morphology, Sodium Sulphate, Sugar, Proline.

ملخص

تعتبر ملوحة التربة والمياه مشكلة رئيسية لا سيما في المناطق الجافة وشبه جافة لأنها تسبب آثار ضارة على النباتات وتؤدي إلى انخفاض في إنتاج المحاصيل.

والهدف من هذه الدراسة هو مقارنة تأثير المياه المالحة الطبيعية و المياه المالحة المعالجة على نمو وتطور نوع من الفاصوليا *Phaseolus vulgaris* صنف «الجديدة».

تركزت الدراسة على ري 140 نبتة بسبعة محاليل في جميع مراحل النمو، وتنقسم هذه المحاليل إلى ثلاث فئات:

ثلاثة محاليل طبيعية مالحة (T1، T2 و T3) تتألف على التوالي من الأملاح الضارة ($MgCl_2$ ، Na_2SO_4)، (Na_2SO_4 ، $NaCl$) و ($MgSO_4$ ، $NaCl$) ؛
ثلاثة محاليل مالحة مصححة (T1C، T2C و T3C) ؛
الشاهد، عبارة عن محلول مغذى معدل (T) لمقارنة النتائج.

ولوحظ وجود تحسن كبير جدا في مراحل النمو والإنتاج والجودة الفيزيولوجية (نسبة السكر وكمية الكلوروفيل والبرولين) خلال ري النباتات بمحاليل مالحة مصححة (T1C، T2C و T3C) التي هي قريبة من الشاهد ، ومقارنة مع النباتات المسقية بمحاليل طبيعية مالحة (T1 ، T2 و T3).

إضافة الى نتائج أخرى تشير إلى أن إضافة الأحماض والعناصر الضرورية للنمو في المياه المالحة الطبيعية تحسن بشكل ملحوظ فسيولوجية النبتة.

الكلمات الرئيسية : الملوحة، الفاصوليا ، محلول مغذي ، الفيسيولوجيا، المورفولوجيا ، كبريتات الصوديوم ، السكر و برولين

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	2
RESUME	3
TABLE DES MATIERES	6
LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES	9
LISTE DES TABLEAUX	10
INTRODUCTION	12

Chapitre 01 : Généralités sur la culture de haricot

1.1 Origine et Historique du haricot	14
1.2 Description de la plante	14
1.3 Exigences de la plante	20
1.4 Travaux d'entretien	25
1.5 Place du haricot dans le monde	26
1.6 Haricot en Algérie	27

Chapitre 02 : Notions générales du procédé hors- sol

2.1 Généralités sur le système hydroponique	28
2.2 Composantes de l'hydroponie	29

Chapitre 03 : Salinité des sols

3.1 Généralités sur la salinité.....	31
3.2 Origines et causes de la salinité	31
3.3 Salinité en Algérie	35
3.4 Salinité dans le monde	37
3.5 Notion de stress.....	38
3.6 Effet des sels sur les plantes	39
3.7 Changement de la voie de la photosynthèse.....	43

3.8 Sensibilité du haricot.....	47
3.9 Différentes méthodes de lutte contre la salinité.....	48

Chapitre 04 : Absorption hydrominérale des végétaux

4.1 Généralités sur la nutrition hydrominérale.....	50
4.2 Importance de l'eau dans la matière végétale.....	50
4.3 Besoins en eau et éléments nutritifs.....	51
4.4 Mécanisme de l'absorption des ions minéraux par la plante	52
4.5 Facteurs contrôlant l'absorption d'eau et sels minéraux.....	54
4.6 Autres facteurs.....	55
4.7 Principale forme chimique absorbée par la plante.....	56
4.8 Sources des éléments minéraux	56

Chapitre05 : Matériel et méthodes

5.1 Objectif de l'expérimentation.....	57
5.2 Matériel végétal.....	57
5.3 Conditions expérimentales.....	58
5.4. Dispositif expérimental.....	60
5.6. Description des différents traitements.....	63
5.6.1Composition des solutions nutritives et techniques de préparation des différents traitements.....	64
5.7. Formule de solution nutritive pour une eau naturelle peu chargée en ions Cas de l'eau de Blida.....	67
5.8. Formule de solution nutritive pour une eau naturelle chargée en ions Cas de l'eau d'oued Chélif.....	68
5.9. Essai de germination	75
5.10. Entretien de la culture.....	76
5.11. Dosage des paramètres physiologiques.....	78
5.12. Dosage des paramètres technologiques.....	80
5.13. Estimation du bilan d'absorption hydrominérale.....	81
5.14. Analyse statistique.....	81

Chapitre 06 : Résultats et discussion

6.1 Paramètres de croissance.....	82
6.1.1 Aspect générale des plantes.....	82
6.1.2 Vitesse de croissance des plantes.....	84
6.1.3 Hauteur finales des plantes.....	85
6.1.4 Diamètre des tiges.....	86
6.1.5 Nombre de feuilles.....	87
6.1.6 Biomasse fraîche des feuilles, des tiges et des racines.....	88
6.1.7 Biomasse fraîche totale.....	91
6.1.8 Biomasse sèche des feuilles, des tiges, des racines.....	92
6.1.9 Biomasse sèche totale.....	94
6.1.10 Taux de matière sèche totale, des feuilles et des tiges.....	95
6.2 Paramètres de rendements.....	98
6.2.1 Nombre de fleurs par plant.....	98
6.2.2 Taux d'avortement.....	99
6.2.3 Estimation de la production.....	100
6.2.4 Classification des gousses.....	101
6.3 Estimation du bilan d'absorption hydrominérale.....	103
6.4 Paramètres de qualité.....	104
6.4.1 Teneur en sucres totaux dans les gousses.....	104
6.5 Paramètres physiologiques.....	106
6.5.1 Quantité de sucres solubles dans les feuilles.....	106
6.5.2 Quantité de la chlorophylle (A).....	107
6.5.3 Quantité de la chlorophylle (B).....	108
6.5.4 Quantité du proline dans la plante.....	109
6.6 Discussion	112
CONCLUSION.....	118
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	119

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

Figure 1.1 : Aspect schématique d'un plant de haricot nain.....	15
Figure 5.1: Site expérimental	58
Figure 5.2 : Schéma du dispositif expérimental.....	61
Figure 5.3 : Vue générale du dispositif expérimental	62
Figure 5.4 : Essai de germination dans l'étuve	76
Figure 5.5 : Levée des plantules.....	76
Figure 6.1 : Aspect générales des plants de haricots alimentés par les Traitements salines corrigées comparées au standard (T).....	82
Figure 6.2 : Aspect générales des plants de haricot alimentées par les Traitements salines naturelles comparées au standard (T).....	82
Figure 6.3 : Comparaison entre les plantes irriguées par les eaux salines naturelles et les eaux salines corrigées par a port au témoin (T).....	83
Figure 6.4 : Vitesse de croissance des plants (cm/j).....	84
Figure 6.5 : Aspect général des gousses de haricot récoltés à partir des plants irrigués par des différents traitements.....	102

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Composition du haricot vert (teneurs pour 100 grammes).....	18
Tableau 1.2 : Besoins en température selon les stades de développement	20
Tableau 1.3 : Influence de la carence hydrique sur la production du haricot.....	23
Tableau 1.4 : Fumures apportées pour la culture du haricot.....	24
Tableau 1.5 : Principaux pays producteurs du haricot	26
Tableau 1.6 : Production du haricot vert et sec en Algérie 2001- 2005.....	27
Tableau 3.1 : Classification des eaux salines.....	35
Tableau 3.2 : Localisation géographique de la salinité dans certaines wilayas.....	36
Tableau 3.3 : Pourcentage des terres irriguées atteintes par la salinisation dans certains pays.....	37
Tableau 3.4 : Superficies affectées par la salinité dans le monde.....	38
Tableau 3.5 : Tolérance relative de quelques plantes cultivées à la salinité du sol	45
Tableau 4.1 : Exemples de teneurs en eau pour différents organes d'un végétal	51
Tableau 4.2 : Principale forme chimique absorbée par la plante.....	56
Tableau 5.1 : Moyennes des températures par décade en °C.....	59
Tableau 5.2 : Teneur des différents éléments minéraux contenus dans l'eau de Blida.....	63
Tableau 5.3 : Composition de l'eau de Blida	66
Tableau 5.4 : Eau de Blida corrigée	66
Tableau 5.5 : Composition de l'eau de Blida.....	67
Tableau 5.6 : Composition de l'eau de Blida (T).....	67
Tableau 5.7 : Eau d'oued Chélif reconstituée avec l'eau Blida (T1).....	68
Tableau 5.8 : Eau d'oued Chélif reconstituée avec l'eau Blida (T2).....	69
Tableau 5.9 : Eau d'oued Chélif reconstituée avec l'eau Blida (T3).....	70
Tableau 5.10 : Composition des solutions complémentaires d'oligo-éléments A et B	71
Tableau 5.11 : Eau d'oued Chélif corrigé, reconstituée avec l'eau de Blida T1C (mg/).....	72
Tableau 5.12 : Eau d'oued Chélif corrigé reconstituée avec l'eau Blida (T2C)	73
Tableau 5.13 : Eau d'oued Chélif corrigée reconstituée avec l'eau Blida (T3C).....	74

Tableau 5.14 : Récapitulatif des sels entrant dans la fabrication des différentes solutions nutritives (mg/l).....	75
Tableau 5.15 : Doses et fréquence nécessaires pour la culture du haricot	77
Tableau 5.16: Programme des traitements phytosanitaires réalisés.....	77
Tableau 6.1 : Hauteur moyenne des tiges en (cm).....	85
Tableau 6.2 : Diamètre moyen des tiges en (cm).....	86
Tableau 6.3 : Nombre des feuilles.....	87
Tableau 6.4 : Biomasse fraîche des feuilles, des tiges et racines [g].....	89
Tableau 6.5 : Biomasse fraîche totale [g].....	91
Tableau 6.6 : Biomasse sèche des feuilles, des tiges et des racines [g].....	92
Tableau 6.7 : Biomasses sèche totale [g].....	94
Tableau 6.8 : Taux de matière sèche des feuilles, des tiges et totale [%].....	95
Tableau 6.9 : Matière sèche totale [%].....	97
Tableau 6.10 : Nombre de fleurs par plant	98
Tableau 6.11 : Taux d'avortement [%].....	99
Tableau 6.12 : Poids total des gousses [g] :.....	100
Tableau 6.13 : Répartition des classes en (%) du poids total des fruits récoltés	101
Tableau 6.14 : Taux d'absorption hydrominérale (%).....	103
Tableau 6.15 : Teneur en sucres solubles dans les feuilles	105
Tableau 6.16 : Teneur en sucres solubles dans les feuilles	106
Tableau 6.17 : Quantité de la chlorophylle (A) [$\mu\text{g/g}$ MF].....	107
Tableau 6.18 : Quantité de la chlorophylle (B) en [$\mu\text{g/g}$ MF].....	108
Tableau 6.19 : Teneur en proline dans les différentes parties de la plante [$\mu\text{g/g}$ MF]	109

INTRODUCTION

L'eau est un élément indispensable pour la vie des êtres vivants. Il couvre environ 75% de notre planète, mais la majeure partie de cette eau est non conventionnelle, parce qu'elle présente une concentration élevée en sel. Cependant l'eau douce constitue le principal facteur qui limite l'extension et l'intensification de l'agriculture.

Dans les zones sèches et arides où la pluviométrie est variable et insuffisante, l'agriculteur a adopté des pratiques d'irrigation. De ce fait, il a utilisé des eaux contenant du sel. Avec le temps, les sels s'accumulent et provoquent la salinisation des sols.

Selon la FAO (2008), la salinité constitue un facteur limitant pour la production des cultures irriguées. Elle intéresse environ un milliard d'hectares dans le monde dont 3,2 millions d'hectare en Algérie. En plus des terres déjà salinisées, 20 millions d'hectares de terres sont atteints par la salinité chaque année, ce qui entraîne des chutes importantes de production dans les zones touchées situées principalement dans les régions arides et semi-arides.

Il a été confirmé que la salinité peut réduire l'absorption hydrominérale et provoque le blocage des diverses fonctions physiologiques de la plante, ce qui entraîne l'arrêt de la croissance des plantes.

En Algérie, ces problèmes sont particulièrement importants dans les régions où les eaux d'irrigations renferment des quantités excessives de chlorures de sulfates et du sodium qui peuvent atteindre 2g/l.

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

La concentration totale en ions minéraux influe de diverses manières, sur l'intensité globale de l'absorption, mais pas de façon systémique sur la vitesse

d'absorption d'un ion donné, car des variations parallèles des concentrations des ions du milieu ont des effets atténués et souvent opposés.

Le sel est un facteur limitant la production agricole. Seules les plantes dites halophytes s'épanouissent sur un sol riche en sels. La majorité des plantes cultivées appartiennent à des espèces ne tolérant pas la salinité elles sont dites glycophytes.

Chez les légumineuses, le stress salin perturbe la croissance et le développement du végétal. Le haricot fait partie des plantes qui sont sensibles à la salinité.

C'est dans ce contexte de gestion des systèmes de production que notre travail s'inscrit en pratiquant un cycle d'irrigation composé de sept traitements (trois solutions salines naturelles puis transformées en solutions nutritives en comparaison avec un témoin standard T).

CHAPITRE 1

GENERALITES SUR LA CULTURE DU HARICOT

1.1 Origine et Historique du haricot

Le haricot *Phaseolus vulgaris* L. est originaire de L'Amérique centrale (Mexique, Pérou) [1], [2], [3] et [4] alors que selon [5]; il est originaire d'Amérique du Sud de sa zone tropicale de moyenne montagne. Sa domestication date de plus de 9700 ans.

La culture de cette légumineuse a pris une très grande importance en raison de la place qu'elle occupe dans l'alimentation humaine. Elle est utilisée soit pour sa gousse (consommation en vert), soit pour ses graines à l'état frais ou sec ou encore pour la conserve [6]. Les graines du haricot sont particulièrement riches en protéines [7].

1.2 Description de la plante

Le *Phaseolus Vulgaris* L. est une plante annuelle et herbacée [8]. Elle appartient à :

- **Classe:** Dicotyledoneae.
- **Ordre:** Léguminales.
- **Famille:** Papilionaceae.
- **Genre:** Phaseolus.
- **Espèce:** *Phaseolus Vulgaris* L.

Dans la culture, il existe deux types botaniques:

- ***Phaseolus vulgaris*** : variété ***nanus* L.**, appelé haricot nain, à tige cylindrique et à croissance déterminée et dressée (30 à 50cm de hauteur) ;
- ***Phaseolus vulgaris*** : variété ***communis* L.**, appelé haricot à rames,

à tige rectangulaire et à croissance indéterminée (2 à 3m de hauteur) [9].

Les haricots sont des plantules fréquemment volubiles, à feuilles trifoliées et à folioles pourvues de petites stipules (stipelles) à la base de leurs pétioles [10]. Certaines variétés développent à un certain stade de végétation des tissus parcheminés à l'intérieur des gousses. Ces variétés sont dites à parchemin, pour filet et certains à écosser.

Toutes les espèces du genre *Phaseolus* sont diploïdes et ont 22 chromosomes ($2n = 22$), à l'exception de quelques unes qui ont subi une réduction aneuploïde à 20 chromosomes [11]

D'après ORIA in [12]; le haricot est une plante à un cycle végétatif court (3 à 4 mois), elle comprend les organes suivants :

- (a) - Foliole
- (b) - Fleur
- (c) - Tige
- (d) - Gousse
- (e) - Racine



Figure 1.1 : Aspect schématique d'un plant de haricot nain [19].

1.2.1 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 3^{ème} feuille trifoliolée et dépassent 30cm au début de floraison [13]

1.2.2 Tige

La tige du haricot est herbacée, parfois lignifiée à la base. Suivant le port de la tige, on distingue des formes naines et des formes hautes à rames [14]. Elle est angulaire, mince et volubile chez les variétés à rames, pouvant atteindre jusqu'à 3 mètres de hauteur, et de 20 à 40 cm chez les variétés naines, de couleur verte ou violacée vide à l'intérieur et d'un diamètre supérieur à 4mm. [15]

1.2.3 Feuilles

Les deux premières feuilles présentent des limbes simples, cordiformes [16]; alors que les autres sont composées de trois folioles, pointues à leurs extrémités et arrondies à la base, disposées de façon alternées.

Les pétioles des feuilles et des folioles présentent à leur base des stipules et des articulations qui leur permettent d'effectuer des mouvements de torsion. Les feuilles sont glabres ou pubescentes [17]

1.2.4 Fleurs

Elles sont papilionacées de type cinq, l'androcée formée de dix étamines (9 soudées et 1 libre) et le gynécée formé d'un ovaire, un style et un stigmate. Les fleurs peuvent être solitaires, ainsi que selon [18]; elles peuvent être réunies en inflorescences, grappes axillaires, portant le plus souvent de 2 à 8 fleurs.

Leur couleur est blanche, mauve, crème ou rose, elles présentent la carène recourbée en spirale ce qui interdit l'accès au stigmate d'insectes pollinisateurs et

transforme le haricot commun à une plante strictement autogame [17]

La floraison débute 28 à 35 jours après le semis, suivant les conditions du climat, du sol ainsi que la variété cultivée [19]. Elle dure de 15 à 20 jours pour les variétés naines, de 30 à 80 jours pour les variétés à rames [20]

1.2.5 Fruits

Le fruit du haricot est une gousse charnue, comestible qui se dessèche et se lignifie par la suite et chaque gousse renferme 5 à 8 graines [21]. Les gousses sont droites ou arquées, à section aplatie, elliptique ou arrondie, selon les cultivars [16].

Leur couleur est très variée, allant du vert foncé au vert pâle ou bien violet ou même maculée de violet, (Haricot verts panachés). Il existe aussi un groupe de haricots appelé beurre qui se caractérise par la couleur jaune plus ou moins claire de la gousse [16].

La longueur du fruit varie en fonction du nombre et de l'espacement des graines, [22]. D'après [23]; le fruit atteint 8 à 10 cm de longueur et renferme 4 à 10 graines. Selon [24]; les gousses ont une moyenne de 11cm de longueur, et 1.1cm de largeur. Beaucoup de variétés à écosser à grain rond les "coccos", ou long les "Scabiola rosa Italiens", ont des gousses striées de rouge ou de violet. Ce caractère est lié à un gène qui provoque aussi la striation du grain. Mais les variétés à écosser récentes "Mistral", "Blason", "Opal" ont des grains blancs grâce à un autre gène qui supprime toute coloration du grain sans agir sur la gousse [25].

1.2.6 Graines

Les graines du haricot peuvent présenter des formes, des couleurs et des consistances variables [26]. Selon [27]; les graines peuvent être blanches; roses; noires; marrons ou violettes; elles sont rondes uniformes, cylindriques ou ovales.

1.2.7 Valeur Nutritionnelle:

Le grain du haricot est moins riche en protéines que le soja (38 - 40%) mais il se classe honorablement avec environs 24% avant le pois ou la fève. Chez

P. coccineus et *P. lunatus*, les grains fortement colorés sont susceptibles d'être toxiques.

Les grains de *P. vulgaris* ne sont digestibles qu'à l'état cuit. Les protéines de *P. vulgaris* sont riches en lysine, et de ce fait heureusement complémentaires des céréales, deux tiers de maïs, sorgho ou riz, un tiers du haricot aboutissent à un rapport glucides/protéines de 14 %, idéal en alimentation humaine.

Tableau 1.1: Composition du haricot vert (teneurs pour 100 grammes de graines) [28].

Energie : 19 k cal ou 80 k j	Calcium : 43 mg	Provitamine A: 260 ug
Eau : 92 g	Magnesium : 13 mg	Vitamine B1: 0,02 mg
Protéines : 1,3 g	Phosphor : 22 mg	Vitamine B2: 0,05 mg
Glucides : 3,1 g	Potassium : 107 mg	Vitamine B5: 0,06 mg
Lipides : 0,1 g	Sodium : 307 mg	Vitamine B6: 0,51 mg
Fibre : 2,5 g	Fer: 1,6 mg	Vitamine B9: 42 ug
		Vitamine C: 2 mg
		Vitamine PP: 0,2 mg
		Vitamine E: 0,16 mg

Les principaux acides aminés contenus dans les protéines du haricot sont:

Arginine (8,54%); Lysine (4,32%); Tyrosine (3,32%); Tryptophane (1,39%) ; Histidine (3,00%); Cystéine (1,23%) et Méthionine (1,80%), [9]

La graine possède une grande valeur alimentaire[29] . Elle renferme:

- Eau.....12.5 g ;
- Matières azotés.....22.5 g ;
- Matières hydrocarbonées.....5 g ;
- Matières grasses3 g ;
- Sucres..... 3 g.

Le poids de mille graines « PMG » du haricot est de 140 à 800 g et le volume 730 à 850 graines / litre [30].

1.4 Exigences de la plante

1.4.1 Exigences climatiques

1.4.1.1 Température

Les haricots verts sont cultivés en zone tempérée comme en zone tropicale [31]. La température optimale pour sa culture est entre 20 et 25°C, le zéro végétatif est de 10°C et les fortes chaleurs sont néfastes à la fécondation des fleurs.

Le haricot est une plante de climat chaud, nécessitant donc des températures assez élevées. Sa germination n'est normale qu'au dessus de 14 à 15°C [16].

Le haricot est une plante très sensible à l'influence de la température. Cette sensibilité varie selon les variétés [6]. Les haricots à rames demandent une température un peu élevée que les haricots nains.

Le haricot gèle dès que la température est voisine de - 1 à - 2°C [6].

Tableau 1.2: Besoins en température selon les stades de développement.

Stade de développement	Besoin en température (°C)
La germination	20 à 25
la croissance végétative et Floraison	15 à 25
Formation des gousses	>30

1.4.1.2 Lumière

Le haricot est très exigeant en lumière surtout pendant les premières étapes de son développement. Plus tard pendant la floraison et la nouaison, la lumière diffusée et une augmentation d'humidité de l'air peuvent favoriser considérablement la qualité des gousses et l'augmentation des rendements [20].

La croissance et la fructification demande seulement 2400 Lux [34] et [35].

La plante présente une forte sensibilité à l'intensité lumineuse, notamment au moment de la floraison. Une insuffisance en lumière entraîne l'avortement des fleurs [5].

1.4.2 Exigences édaphiques

Les sols les plus indiqués pour la culture du haricot sont ceux à texture moyenne, donc argilo-siliceux, profonds [16]; fertiles à pH compris entre 6,5 à 7,5. [36]; notent que le haricot préfère bien les sols peu profonds et bien approvisionnés en eau et en sels minéraux. Toujours selon les mêmes auteurs, sur des sols froids, lourds et acides, la levée n'est pas homogène et les plantes deviennent très sensibles aux maladies ainsi que la fixation de l'azote par les bactéries sur les nodosités racinaires devient très faible.

Les sols destinés à la culture du haricot doivent présenter des caractéristiques générales de perméabilité et un bon état sanitaire et de richesse relative [37].

1.4.2.1 Salinité des sols

Une forte salinité des sols provoque une chute des rendements qui peut atteindre jusqu'à 20 à 25% quand on irrigue avec de l'eau contenant au dessus de 250 mg/l de Chlore [38]. Les sols les plus propices sont les colluvions, les sols allophanes bien pourvus en matière organique et les vertisols magnésiens, les sols ferrallitiques acides sont les moins appropriés. [27].

La salinité a exercé des effets nuisibles non seulement sur la biomasse, mais également sur d'autres paramètres morphologiques tels que la hauteur de la plante, le nombre de feuilles et la longueur des racines [39].

Certains précédents culturaux sont à éviter ; la betterave par exemple, en raison des apports importants de chlorure de potassium et de bore qui lui sont nécessaires ce qui augmente sensiblement le taux de la salinité des sols [36].

Dans une étude effectuée sur plusieurs espèces sur le genre *Phaseolus*, la salinité a un effet significatif sur la concentration des tissus en Na^+ , K^+ , Ca^{2+} et Cl^- et sur leur vitesse d'absorption, en plus de l'effet toxique des concentrations élevées en Na^+ et Cl^- dans le tissu végétale, les changements qui se passent dans les conditions de salinité de l'absorption de nutriments semblent contribuer dans la réduction de la croissance [40].

Des travaux menés sur la tomate et le haricot sur l'addition d'éléments nutritifs (le fer et des oligoéléments) aux eaux naturelles salines permettent de diminuer l'effet de la salinité en favorisant l'absorption hydrique des espèces étudiées. [41].

On a montré que sur des feuilles de *Phaseolus vulgaris* L. que la salinité (100 mM Na Cl) du milieu réduit la capacité photosynthétique indépendamment de la fermeture des stomates. En effet, il apparaît que la salinité entraîne une réduction du pool de ribulose-1,5-biophosphate (RuBP) en influençant sa capacité de régénération. La salinité induit également une diminution de l'activité RuBP carboxylase, lorsque le RuBP est limité, par un mécanisme inconnu, ne faisant intervenir ni l'inactivation de l'enzyme ni la synthèse d'un inhibiteur. [42].

Le haricot est une plante sensible, mais pour cette espèce comme pour beaucoup d'autre, l'approvisionnement en calcium additionnel est crucial pour la tolérance à la salinité. [43]. La salinité abaisse le potentiel hydrique des racines, et ceci cause rapidement des réductions de taux de croissance, avec une suite des changements métaboliques identiques à ceux provoqués par le stress hydrique [44].

1.4.2.2 PH du sol

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'air pour le haricot en fonction de la texture du sol [5].

La chute du rendement est relativement lente lorsque l'alcalinité croit, alors qu'elle est très brutale lorsque le pH descend au-dessous de " 6 " [13]

1.4.3 Exigences hydriques

Selon [45]; du fait que le haricot exige beaucoup de chaleur ; l'évapotranspiration est importante, ce qui résulte les besoins très important en eau.

Tableau 1.3: Influence de la carence hydrique sur la production du haricot.

Stade végétatif	Effet d'une carence hydrique	Niveau du préjudice
Levée	Retard mais surtout irrégularité de levée	Important : Culture hétérogène
Croissance végétative	Retard de croissance, mais rapide reprise après retour à la normale	Faible incidence sur le rendement mais retard non récupérable
Floraison	Réduction de nombre de fleurs, chute de très jeunes gousses	Très important : réduction du nombre des gousses et tendance à l'augmentation du calibre

Grossissement de la gousse	Apparition précoce des grains ; perte de qualité ; réduction de la densité des gousses.	Important sur rendement pondéral et qualitatif.
Mangetout, filet	Apparition précoce du fil et du parchemin.	Perte importante sur la valeur commerciale.
Flageolet ou haricot blanc	Réduction possible du nombre de grains par gousse.	Sans effet noté sur poids de 1000 graines.

[13]

1.4.4 Exigences nutritionnelles

Les haricots verts apprécient un apport de potasse et de phosphore, qui doit être fait sous une forme rapidement assimilable (superphosphate, sulfate de potasse). Etant donné le cycle de la culture est assez court. Comme toutes les légumineuses, assimilent l'azote de l'air, un apport de 60 à 80 unités d'azote à l'hectare, immédiatement avant ou après le semis, est généralement recommandé et permet une amélioration du rendement [36].

Tableau 1.4 : Fumures apportées pour la culture du haricot.

Fumures	Pour la production des haricots verts			Pour la production des haricots secs		
	N	P	K	N	P	K
Fumier bien décomposé 25t / ha						
Amonitrate	50			50		
Superphosphate		70			110	

Sulfate de potasse			150			150
Total des unités exprimées en Kg	50	70	150	50	110	150
Ordre de grandeur de l'équilibre minéral.	1	1.40	3	1	2.2	3

[36].

1.5 Travaux d'entretien

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

1.5.1 Binage et buttage

Le premier binage se fait juste quelques jours après la levée et il doit s'effectué lors des façons superficielles. Le second qui sert de buttage est effectué un peu avant la floraison. [16] et [46].

Le binage est réalisé dès la levée, et lorsque les plantes atteignent 15 à 20cm de hauteur on butte pour garder l'humidité au pied des touffes et pour favoriser l'émission des racines adventives [47].

1.5.2 Désherbage

Le désherbage revêt aussi une grande importance, car les plants des haricots sont très sensibles aux mauvaises herbes qui peuvent conduire à une baisse du rendement très considérable. La lutte doit se faire dès le premier mois et se poursuivre régulièrement jusqu'à la fin de la campagne.

Le désherbage chimique du haricot est valable mais il demande de la prudence et de l'expérience. Le comportement des variétés et aussi des saisons de mise en culture étant fort variables [6].

1.5.3 Arrosage

Les besoins en eau correspondant à une production maximale d'une culture de 60 à 120 jours varient entre 300 et 500 mm [48].

La période critique se situe de la floraison jusqu'à la formation des gousses. L'insuffisance d'eau du sol durant cette période provoque un arrêt de croissance et une coulure des fleurs [6].

Il est à noter que dans les premières périodes de la végétation, lorsque l'absorption d'eau est réduite, l'irrigation est effectuée à raison de 200 m³/ha [35]. Plus tard pendant la floraison et la formation des gousses, la norme d'irrigation sera de 300m³/ha et même plus si l'humidité du sol et de l'air sont trop faibles.

1.5.4 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.

Les faisceaux de roseaux peuvent conduire à un manque d'aération et à une difficulté dans la cueillette [49].

1.6 Place du haricot dans le monde

En 2006, la production mondiale de haricots verts est estimée à 6,42 millions de tonnes. La surface totale consacrée à cette production représentait un peu moins d'un million d'hectares pour un rendement moyen de 6,45 tonnes par hectare [50].

Tableau 1.5 : Principaux pays producteurs du haricot [50].

<i>Principaux pays producteurs en 2006</i>	Surface cultivée (milliers d'hectares)	Rendement (t/ha)	Production (milliers de tonnes)
<u>Chine</u>	213,0	11,4	2 424,2
<u>Indonésie</u>	150,0	5,5	830,0
<u>Turquie</u>	68,0	8,3	563,8

<u>Inde</u>	150,0	2,8	420,0
<u>Égypte</u>	21,3	10,1	215,0
<u>Espagne</u>	17,5	12,3	214,7
<u>Italie</u>	21,8	8,7	190,7
<u>Maroc</u>	6,6	21,4	141,6
<u>Belgique</u>	9,6	11,5	110,0
<u>États-Unis</u>	96,6	1,0	97,1
<u>Thaïlande</u>	23,0	4,0	92,0
<u>Pays-Bas</u>	7,0	10,0	70,0

1.7 Haricot en Algérie

D'après le ministère de l'agriculture [51] ; le haricot est une plante cultivée dans tout le territoire Algérien. Le haricot est placé en 13^{ème} position des cultures maraîchères, soit 2.16 % de la production totale produite.

Parmi les légumes, le haricot occupe la 3^{ème} position par une surface de 14.57% et ce par rapport à la superficie totale réservée au maraîchage.

Tableau 1.6 : Production du haricot vert et sec en Algérie 2001- 2005 [96].

	La production en Qx				
	2001	2002	2003	2004	2005
Haricots verts	295270	297500	407000	411000	333000
Haricots secs	7340	8640	11000	16000	7083

CHAPITRE 2

NOTIONS GENERALES DU PROCEDE HORS- SOL

2.1 Généralité sur le système hydroponique

C'est l'une des technologies modernes utilisées aujourd'hui en horticulture pour valoriser les terrains qui souffrent de certaines contraintes tels que : sol hydromorphes, sol salés, alors que tous les autres facteurs (climat, qualité de l'eau, ...) sont favorables [52].

Les cultures hors-sol sont 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 [53].

Le terme « culture hors-sol » regroupe un ensemble de systèmes de production qui permet aux plantes de se développer sur des matériaux plus ou moins inertes en faisant abstraction du sol en place [54].

[55]; rapporte que ces matériaux peuvent être du gravier, sable, vermiculite, laine de roche, brique concassée, et même du polystyrène.

Selon [56] ; les cultures hydroponiques sont développées pour trois raisons :

- Eviter la fatigue rapide du sol de serre à cause des attaques parasitaires avec prolifération des nématodes et des champignons ;
- Elles offrent la possibilité d'implanter des serres à des endroits où l'énergie est meilleure, à proximité d'usines ou sur des sites géothermiques pour profiter des eaux chaudes et de l'énergie solaire ;
- Elles permettent de contrôler très précisément l'environnement racinaire assurant une précocité plus grande et une production en quantité et en qualité.

2.2 Composantes de l'hydroponie:

La nature du substrat et des conteneurs ainsi que la solution nutritive constituent les composantes de la culture hors sol.

2.2.1 Substrat

Le terme de substrat en agriculture s'applique à tout matériel naturel ou artificiel qui, placé en conteneur, pure ou en mélange permet l'ancrage du système racinaire et joue ainsi vis-à-vis de la plante le rôle du support [57].

C'est une substance chimiquement inerte (qui est incapable de réagir avec d'autres substances), qui remplace la terre, et qui est utilisée comme support de culture pour les plantes. Il doit protéger les racines de la lumière et leur permettre de respirer. Mais le substrat véhicule aussi la solution nutritive jusqu'aux racines des plantes [53].

Avant d'utiliser le substrat, il est nécessaire d'avoir des connaissances sur les caractéristiques physiques du substrat. Il faut que le substrat soit compatible avec les exigences propre du végétal, et du type de culture [58].

2.2.2 Conteneurs

Le choix des conteneurs doit se faire en fonction de l'espèce cultivée et de son système racinaire, car ils doivent être de forme et de dimensions adéquates avec la culture et le substrat, chimiquement inerte, résistants, faciles à mettre en œuvre, facile à désinfecter et à un prix réduit [59].

2.2.3 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 [60].

Elle est caractérisée par trois paramètres à savoir : pH, la conductivité électrique et l'équilibre ionique.

Le but recherché est de fabriquer une solution nutritive dont la composition est proche de l'une des solutions de référence tout en corrigeant la mauvaise qualité de l'eau lorsque cela est nécessaire [61].

Il est important de vérifier régulièrement la solution prête à l'emploi pour assurer qu'il n'y a pas des erreurs graves lors de la préparation de la solution [61].

Il s'agit :

➤ **PH du sol**

La majorité des espèces cultivées exigent un pH entre 5.5 et 6.5, car de telles valeurs mettent à l'abri d'une éventuelle précipitation des phosphores et des oligo-éléments et assurent une complète solubilité des sels généralement utilisés dans la confection des solutions nutritives [57].

➤ **Conductivité électrique :**

Le facteur majeur à contrôler dans le système hors sol est la concentration de la solution nutritive qui est mesurée par la conductivité électrique « CE », car si elle est très basse ou très élevée la croissance des plantes est bloquée. La conductivité électrique de la solution nutritive doit être propre à chaque espèce cultivée et permettant une absorption équilibrée en eau et en éléments nutritifs au niveau des racines [62].

Une conductivité électrique élevée limite l'absorption du Ca^{2+} , la production de la matière fraîche et la capacité d'échange des ions [63].

CHAPITRE 3

SALINITE

3.1 Généralités sur la salinité

Au Maghreb plus de 30% des eaux destinées à l'irrigation sont chargées en sels, et elles induisent, à la longue, une accumulation des toxines aussi bien dans la rhizosphère que dans les différentes parties de la plante. Ces toxines engendrent des dégâts au niveau de l'ultra structures cellulaires contribuant, à la fois, à la réduction de la croissance et des rendements des variétés sensible. [64].

On peut définir la salinité comme étant la concentration de la solution nutritive s'exprimant en grammes de sels par litre d'eau. Elle est couramment contrôlée par la mesure de la conductivité électrique que les sels dissociés sous forme ioniques confèrent à la solution. Elle s'exprime alors en milli siemens [65].

L'accumulation de ces sels dans le sol affecte les rendements et peut détériorer les terres de façon irrémédiable [66]. Dans les zones arides et semi arides, la contrainte saline s'associe souvent au déficit hydrique pour limiter la production des espèces végétales [67].

La salinité (s‰) est définie conventionnellement comme poids en gramme des composés solides séchés à poids constant à 480 C⁰, obtenu à partir de 1Kg d'eau de mer [68].

3.2 Origines et causes de la salinité

A mesure que les roches et les sols sont érodés par l'eau, de petites quantités des sels minéraux qu'ils contiennent sont entraînées jusqu'aux fleuves et les couches aquifères s'infiltrant ainsi dans l'eau d'irrigation. Si on utilise trop peu d'eau, les sels s'incrustent dans le sol. Mais le plus grave danger pour le sol est l'eau en trop grande quantité qui cause son engorgement et élève, à son tour, le niveau de la nappe phréatique, le sol fonctionne alors comme une éponge, aspirant l'eau dans la rhizosphère par capillarité. Cet effet peut attirer l'eau à la surface sur environ 1.5m,

selon les sols. L'eau s'évapore et le sel reste autour des racines, entravant leur capacité d'absorber l'eau. Ce processus se produit en particulier dans les régions arides [69].

En premier lieu, la salinité est due à la présence des horizons supérieurs du sol qui sont salés avant toute intervention humaine [70]. En second lieu elle provient de l'emploi d'eau salée sur des sols initialement sains.

La salinisation est le processus par lequel les sels solubles s'accumulent dans le sol et 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-arides. Il est estimé, à partir de diverses données disponibles que : Le monde perd au moins 3 ha de terres arables chaque minute à cause de la salinité du sol [71].

L'origine de la salinisation est due à l'aridité du climat (forte évaporation de l'eau du sol), la topographie et l'hydrologie du terrain, les caractéristiques physico-chimiques et les techniques d'aménagement des sols et des eaux.

3.2.1 Types de la salinité

3.2.1.1 Salinisation primaire

Elle est due principalement aux sels, à leur origine et au processus d'altération des roches. La migration et le dépôt de ces sels solubles dépendent de l'intensité des précipitations et de leurs répartitions. 80% des terres salinisées ont une origine naturelle. On parle alors de salinisation " primaire " due aux sels qui se forment lors de l'altération des roches ou à des apports naturels externes [72].

Le degré de porosité du sol et d'autres caractéristiques du milieu naturel dans les régions arides et semi-arides est influencé par un climat chaud, caractérisé par une évaporation intense qui favorise le dépôt du sel dans le sol [73].

3.2.1.2 Salinisation secondaire

La salinisation secondaire provient de l'emploi d'eau salée sur des sols initialement sains. Il est aisé de comprendre que si, le sol reçoit, par irrigation et par

pluie, la quantité d'eau correspondant exactement à la consommation des végétaux et à l'évaporation du sol, les sels que la végétation n'absorbe pas s'accumuleront, car une eau d'irrigation, qu'elle soit de surface ou de profondeur, est toujours minéralisée ne serait ce que très faiblement. [70].

La salinisation secondaire est une contamination du sol, par des apports extérieurs. Parmi ces apports, on trouve :

Des eaux chargées de sels solubles, soit des eaux de la nappe phréatique salée, soit l'irrigation par des eaux plus au moins salines.

Les effets résultants de cette accumulation de sels se manifestent de la même manière que pour la salinité primaire [74].

Dans les soles irriguées, elle s'explique par irrigation avec une eau de mauvaise qualité, un lessivage insuffisant, un drainage déficient, des infiltrations à partir des canaux et des zones adjacentes, la présence d'un niveau phréatique élevé et un taux d'évapotranspiration importante. Donc elle est souvent due à l'irrigation, soit que le plan phréatique remonte au-dessus du seuil minimal, soit que l'on ait mal utilisée une eau saline [75].

3.2.2 Facteurs intervenants dans le processus de la salinisation

3.2.3 Source des sels

La salinisation d'un milieu implique la présence d'une source de sel [76]. Cette source peut être soit l'eau de mer, soit un matériel géologique, soit l'eau d'irrigation, soit la nappe phréatique.

L'utilisation des engrais : l'utilisation irrationnelle et anarchique des engrais par l'agriculteur influe d'une façon indirecte sur l'accumulation des sels dans le sol.

3.2.4 Climat

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. La salinisation secondaire, en particulier, aggrave le problème où une fois que les superficies agricoles productives deviennent impropres à la culture due à la qualité inférieure de l'eau d'irrigation. [77]

La salinité excessive affecte la rhizosphère et limite la répartition des plantes dans leur habitat naturel. Le fort éclaircissement et les rares pluies dans les régions semi-arides et arides accentuent la salinisation des périmètres irrigués et les rendent impropres aux cultures. [78].

3.2.5 Système d'irrigation

L'eau saline occupe 71% de la surface de la terre. Environ la moitié des systèmes d'irrigation existant du monde sont sous l'influence de la salinisation. De tels sols défavorables de faible fertilité sont généralement peu convenables pour la production agricole, entraînant la réduction inacceptable de rendement. En raison du besoin accru de distribution de production alimentaire et d'augmentation des sols affectés par salinité, la recherche sur des réponses des plantes vis-à-vis la salinité a rapidement augmenté en quelques dernières décennies [79].

Le système d'irrigation utilisé est en fonction de la qualité des eaux d'irrigation. Le système d'irrigation par aspersion n'est pas convenable pour certaines cultures quant l'eau est constituée par des doses différentes en chlore (Cl) et en sodium (Na) ; tandis que le système d'irrigation par pulvérisation n'est pas conventionnelle quant la concentration de Na et de Cl est supérieure à 20 méq/l [80].

3.2.6 Mouvement des sels dans le sol

Les sels solubles présents dans les sols sont mobiles et vont se déplacer sous l'action de divers processus. Les sels les plus mobiles sont évidemment les plus solubles, leurs mouvements sont conditionnés par l'eau qui imprègne le terrain et les mouvements qu'elle subit, mais ils dépendent aussi d'autres phénomènes qui ne sont pas encore nettement mis en évidence [81].

3.2.7 Classification des eaux salées

Tableau 3.1 : Classification des eaux salines [82].

Classe	Conductivité électrique (Ds/m)	Concentration en sels (mg/l)	Type d'eau
Non saline	< 0,7	< 500	Eau potable et eau d'irrigation
Légèrement saline	0,7 - 2	500 - 1500	Eau d'irrigation
Modérément saline (eau saumâtre)	2 - 10	1500 - 7000	Eau de drainage et eau souterraine
Hautement saline	10 - 25	7000 - 15000	Eau de drainage et eau souterraine secondaire
Très Hautement saline	25 - 45	15000 - 35000	Eau souterraine très salée
Eau salée	> 45	> 45000	Eau de mer

3.2.8 Répartition de la salinité

3.3 Salinité en Algérie

Ce problème s'est peu posé dans le passé mais durant les dernières années, on a décelé des intrusions des eaux marines dans les nappes côtières d'Annaba et d'Oran (phénomène analogue au niveau de la sebkha). L'exploitation intensive et anarchique des nappes par l'agriculture a créé localement des problèmes de pollution et de dégradation du sol. [83].

En Algérie près de 95 % du territoire national est représenté par la zone aride. Par conséquent, la majorité des sols sont potentiellement affectés par le sel [84].

Les données actuelles se résument dans le bassin méditerranéen à 16 millions d'hectares de sols salés dont 3.2 millions en Algérie [85].

En Algérie la salinisation secondaire à la suite de l'irrigation avec des eaux diversement minéralisées a entraîné une extension de la salure dans de nombreux périmètres irrigués [86].

Selon les mêmes auteurs, en Algérie les sols salés occupent de grandes étendues et ils sont particulièrement localisés dans les zones sèches.

Le phénomène de salinisation du périmètre irrigué constitue une menace grave. Dans dix pays de la méditerranée, le pourcentage des terres irriguées atteintes par la salinisation est en effet significatif. Ce pourcentage se situe entre 10 et 15% pour l'Algérie [87].

Tableau 3.2 : Localisation géographique de la salinité dans certaines wilayas.

Wilaya	S.A.U (ha)	Superficie affectée par salinité de la S.A.U en (ha)	Pourcentage de la S.A.U affecté par la salinité
Tamanrasset	2510	1445	57.57
Ouargla	17390	9850	56.64
Ghardaïa	7930	3284	41.41
Bechar	13250	2249	16.97
Illizi	570	60	10.53
Djelfa	67760	6250	9.22
Relizane	241670	20000	8.28
Ain Temouchent	18350	15000	8.14
Tébessa	231750	13000	5.61
Adrar	14990	780	5.20
Biskra	151530	7272	4.80
Khanchela	177900	4480	2.52
Mascara	328740	6475	1.97
Alger	7940	150	1.89
Mostaganem	131730	1977	1.50
Naama	4150	62	1.49
Laghouat	53880	800	1.48
Batna	487740	5100	1.05
Oran	85860	850	0.99
Cheliff	188620	1490	0.79
Guelma	183860	1283	0.70
Mila	22150	100	0.45
Boumerdes	72090	192	0.27
Saida	306480	700	0.23
Tipaza	615340	472	0.08

3.4 Salinité dans le monde

On a estimé que 7% de la superficie mondiale des terres (920 millions d'ha) étaient plus ou moins salins, 3% (400 millions d'ha) présentant un caractère salin ou sodique dominant. La salinisation des sols touche d'abord les régions arides, l'évapotranspiration y est en effet beaucoup plus forte que les précipitations pendant une bonne partie de l'année [72].

10 millions d'hectares des terres irriguées sont perdus chaque année pour la culture par suite d'une salinisation excessive 10 à 15 % des surfaces irriguées soit 20 à 30 millions d'hectares souffrent à des degrés divers de problèmes de salinisation ; près de la moitié de toutes les surfaces irriguées sont menacées à long terme [89].

Tableau 3.3 : Pourcentage des terres irriguées atteintes par la salinisation dans certains pays.

Pays	% de terres atteintes	Pays	% de terres atteintes
Algérie	10-15	Inde	27
Egypte	30-40	Iran	<30
Sénégal	10-15	Iraq	50
Soudan	< 20	Palistine	13
Jordanie	16	Etats unies	20-25
Colombia	20	Pakistan	<40
Peru	12	Seri Lanka	13
La Chine	15	Syria	30-35

[90].

Les sols affectés par la salinisation existent sous climat aride et semi-aride. Plus de 100 pays souffrent de la salinité. Les sols salins couvrent environ 955

millions d'hectares, l'estimation des dommages de la salinité varie entre 25 et 60 % [91].

Tableau 3.4 : Superficies affectées par la salinité dans le monde.

Région	Millions d'hectares	Région	Millions d'hectares
Afrique	80.50	Australie	357.30
Europe	50.80	Mexique et Amérique centrale	2.00
Amérique du sud	129.20	Asie du sud-est	20.00
Amérique du nord	15.70	Asie centrale et du nord	211.70
Asie du sud	87.60		
Total	954.80		

[92].

3.5 Notion de stress

Dans beaucoup de cas, les stress abiotiques ne se produisent pas indépendamment, et donc les stress environnementaux peuvent impliquer ainsi un complexe d'interaction de facteurs de stress. La salinité et le gel peuvent induire des déficits en eau. Il est bien établi qu'une forte concentration de soluté dissout dans la zone racinaire abaisse le potentiel hydrique du sol, créant une situation semblable au déficit hydrique dans le sol, et que le gel provoque dans le tissu végétal la formation de glace extracellulaire qui aura comme conséquence la déshydratation cellulaire. En conséquence il y a quelques caractéristiques de stress osmotique communs au déficit hydrique, à salinité et au stress causé par le froid. Cependant, le stress salin implique des effets spécifiques ioniques et osmotiques. [93].

Claude Bernard fut le premier à dégager une notion physiologique du stress en 1868. Selon lui, les réactions déclenchées par le stress visaient à maintenir l'équilibre de notre organisme. L'ensemble de ces réactions internes a été nommé homéostasie par le physiologiste américain [94]. L'association de ces trois notions

stress homéostasie- adaptation constitue l'approche biologique du stress et permet notamment d'expliquer l'influence du stress qui est de permettre, lorsqu'il est appliqué dans certaines limites, l'adaptation à l'environnement, et donc au maintien de la vie.

Au niveau cellulaire, un stress est causé par la variation d'un paramètre environnemental qui entraîne la mise en place des mécanismes de régulation de l'homéostasie. Les organismes sont généralement soumis à deux types de stress : les stress biotiques (dus à une agression par un autre organisme) et les stress abiotiques (qui sont dus principalement à des facteurs environnementaux) [95].

3.6 Effet des sels sur les plantes

La salinité est un facteur environnemental très important qui limite la croissance et la productivité [96]. Durant le début et le développement du stress salin à l'intérieur de la plante, tous les processus majeurs tels que : la photosynthèse, la synthèse des protéines, le métabolisme énergétiques... sont affectés. La première réponse est la réduction de la vitesse d'extension de la surface foliaire, suivi par l'arrêt de l'extension avec l'intensification du stress. [97].

La salinité du sol ou de l'eau est causée par la présence d'une quantité excessive de sels. Généralement un taux élevé de Na^+ et Cl^- cause le stress salin. Le stress salin a un triple effet : il réduit le potentiel hydrique, cause un déséquilibre ionique ou des perturbations en homéostasie ionique et provoque une toxicité ionique. Cet état hydrique altéré conduit à une croissance réduite et limitation de la productivité végétale. Depuis que le stress salin implique aussi bien le stress osmotique qu'ionique [98], l'arrêt de la croissance est directement relié à la concentration des sels solubles ou au potentiel osmotique de l'eau du sol [99].

3.6.1 Effet de la salinité sur la croissance

La réponse immédiate du stress salin est la réduction de la vitesse de l'expansion de la surface foliaire ce qui conduit à l'arrêt de l'expansion si la concentration du sel augmente [100]. Le stress salin résulte aussi dans la diminution de la biomasse sèche et fraîche des feuilles, tiges et racines [101]. La salinité accrue est accompagnée par une réduction significative dans la biomasse racinaire, la hauteur de la plante, le nombre de feuilles par plante, la longueur des racines et la

surface racinaire chez le haricot [102]. Le taux élevé de NaCl se manifeste par une croissance dans la biomasse des racines, tiges et feuilles et une augmentation dans le ratio partie racinaire/partie aérienne chez le coton [103].

3.6.2 Effet de la salinité sur l'eau dans la plante

Dans les conditions de concentrations élevées de salinité accrue, le potentiel hydrique de la feuille et la vitesse d'évaporation diminuent significativement chez l'halophyte *S. salsa* alors qu'il n'y a pas de changement dans le contenu relatif en eau [104].

Le potentiel hydrique et le potentiel osmotique des plantes deviennent de plus en plus négatifs avec l'augmentation de la salinité ainsi que la pression de la turgescence [105].

3.6.3 Effet de la salinité sur l'anatomie de la feuille

La salinité cause une augmentation de l'épaisseur de l'épiderme, l'épaisseur du mésophylle, la longueur des cellules palissadiques le diamètre des cellules palissadiques dans les feuilles de l'haricot, du coton et de l'a triplex [106]. La salinité réduit aussi l'espace intercellulaire dans les feuilles [107].

L'épaisseur du mésophylle et de l'épiderme ainsi que l'espace intercellulaire diminuent significativement dans les feuilles traitées avec le NaCl de *Bruguiera parviflora* dans la région de la mangrove [108].

3.6.4 L'effet de la salinité sur le taux des ions

Les effets nutritionnels de la salinité incluent les deux actions primaires du sel sur les plantes : la toxicité directe due à l'accumulation excessive des ions dans les tissus et un déséquilibre nutritionnel provoqué par l'excès de certains ions. L'accumulation des ions Na^+ dans la plante limite l'absorption des cations indispensables tels que K^+ et Ca^{2+} . Il y aurait une compétition entre Na^+ et Ca^{2+} pour les mêmes sites de fixation apoplasmique.

La salinité fait augmenter le contenu de Na^+ , Ca^{2+} et Cl^- chez la fève *Vicia faba* et le rapport K^+/Na^+ diminue [109].

L'absorption de fortes concentrations de NaCl engendre une compétition avec l'absorption d'autres ions, spécialement le K^+ , ce qui conduit à une déficience en K^+ . Le traitement accru de NaCl induit une augmentation dans le taux du Na^+ et Cl^- et une diminution dans le taux du Ca^{2+} , K^+ et le Mg^{2+} chez de nombreuses plantes [110].

L'accumulation des ions Na^+ affecte l'absorption de K^+ et ceci en fonction de la concentration du premier élément, cependant, la présence de Na^+ en faible concentration peut augmenter l'absorption de K^+ , tandis qu'une concentration élevée en Na^+ diminue l'absorption de K^+ chez le riz [111] et la canne à sucre [112]. Cette absorption peut même s'arrêter complètement chez le haricot [113] et le laurier rose [114] cultivés en présence de chlorure de sodium (NaCl) à 12 g. l^{-1} .

3.6.5 Effet de la salinité sur les pigments photosynthétiques et les protéines

Le contenu des protéines solubles des feuilles diminue en réponse à la salinité [115]. [116] ont rapporté que les protéines solubles augmentent à des niveaux bas de la salinité et diminuent par les fortes concentrations de la salinité chez les mûres.

Le taux de la chlorophylle et des caroténoïdes des feuilles diminuent 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 [117].

La chlorophylle et les caroténoïdes diminuent significativement sous le stress salin, mais la vitesse du déclin de la protochlorophylle, la chlorophylle est plus importante que celle de la chlorophylle a et les caroténoïdes. Les pigments anthocyanines augmentent significativement dans ce cas de stress salin [118].

3.6.6 Effet de la salinité sur la photosynthèse

Le stress salin cause des effets à long et à court terme sur la photosynthèse. Les effets à court terme se manifestent après quelques heures jusqu'à un à deux jours de l'exposition au stress, et la réponse est importante ; il y a complètement arrêt de l'assimilation du carbone.

L'effet à long terme s'exprime après plusieurs jours de l'exposition au sel et la diminution de l'assimilation du carbone est due à l'accumulation du sel dans les feuilles en développement [119], aussi on a rapporté qu'il y a une suppression de la photosynthèse sous les conditions d'un stress salin

[120] et qu'elle ne diminue pas mais plutôt elle est stimulée par de petites concentrations du sel [121].

Le développement des plantes est le résultat de l'intégration et la régulation des processus physiologiques dont le plus dominant est la photosynthèse. La croissance du végétal autant que la production de biomasse est une mesure de la photosynthèse nette et comme les stress environnementaux affectent la croissance donc affectent la photosynthèse [122].

La diminution de la vitesse photosynthétique est due à plusieurs facteurs :

- ✓ La déshydratation des membranes cellulaires ce qui réduit leur perméabilité au CO₂ ;
- ✓ La toxicité du sel ;
- ✓ La réduction de l'approvisionnement en CO₂ à cause de la fermeture hydro active des stomates ;
- ✓ La sénescence accrue induite par la salinité ;
- ✓ Le changement dans l'activité des enzymes causé par le changement dans la structure cytoplasmique. [123].

3.7 Changement de la voie de la photosynthèse

Ce changement permet aux plantes de réduire la perte de l'eau par l'ouverture des stomates la nuit, donc réduire la perte de l'eau par la transpiration sous des conditions de salinité prolongée. Il y a aussi changement du mode C₃ au mode C₄ en réponse à la salinité chez les espèces tolérantes à la salinité [124].

Le stress salin inhibe la photosynthèse par la réduction du potentiel hydrique. Donc le but principal de la tolérance à la salinité est d'augmenter l'efficacité de l'utilisation de l'eau en conditions de la salinité. Pour cette fin, les halophytes facultatives changent leur mode de photosynthèse de C₃ en CAM [125].

3.7.1 Induction des hormones végétales

Pendant le stress salin, il y a une augmentation au niveau de la production de l'ABA et l'éthylène chez *Citrus sinensis* [126]. Il s'est avéré que l'ABA vient alléger l'effet inhibiteur du NaCl sur la photosynthèse, la croissance et la translocation des assimilats [127].

La concentration élevée du sel déclenche une augmentation dans les taux des hormones végétales, comme l'ABA et les cytokinines [128]. L'acide abscissique est responsable de l'altération des gènes induits par le stress salin [129].

3.7.2 Tolérance des plantes à la salinité

Les adaptations physiologiques ou métaboliques au stress salin au niveau cellulaire sont les réponses principales soumises à des analyses moléculaires et qui ont conduit à l'identification d'un large nombre de gènes induits par le sel [130].

La tolérance au sel est un ensemble de caractères multi géniques et un nombre de gènes classés en différents groupes fonctionnels sont responsables de l'expression des protéines du stress salin :

- Les gènes pour des enzymes photosynthétiques ;
- Les gènes pour la synthèse des solutés solubles ;
- Les gènes pour des enzymes de séquestration vacuolaire ;
- Les gènes pour piéger des radicaux.

3.7.3 Effet de la salinité sur les halophytes et les glycophytes

L'eau est une source indispensable pour les végétaux. Sa présence est une condition incontournable pour que toute la plante puisse se développer et assurer ses fonctions physiologiques vitales [131].

Cependant, cette ressource n'est pas toujours facile d'accès dans le sol, suivant le milieu naturel. Ainsi les plantes présentes sur des surfaces sèches ou salées vont se retrouver exposées à un stress hydrique important, contre lequel elles devront lutter pour survivre.

Dans le cas d'un stress salin, une double problématique se pose à l'organisme végétal : d'un côté la présence du sel, en abaissant le potentiel hydrique du sol, menace l'approvisionnement en eau de la plante. De l'autre, l'absorption du sel dans les tissus menace le bon fonctionnement physiologique des cellules.

Suivant la production de biomasse des végétaux en présence de sel, quatre grandes tendances ont été discernées :

- ❖ **Les halophytes vraies** : dont la production de biomasse est stimulée par la présence de sels. Ces plantes présentent des adaptations poussées et sont naturellement favorisées par ces conditions : *Salicornia europaea*, *Suaeda maritima* ;
- ❖ **Les halophytes facultatives**, montrant une légère augmentation de la biomasse à des teneurs faibles en sels : *Plantago maritima*, *Aster tripolium*... [131] ;
- ❖ **Les non-halophytes résistantes**, supportant de faible concentration de sel : *Hordeum sp.*... [131] ;
- ❖ **Les glycophytes**, sensibles à la présence de sel : *Phaseolus vulgaris*, *glycine max.*...

La réduction dans le taux de la chlorophylle observé avec l'intensité du stress salin pourrait être attribuée aux conditions dans lesquelles se trouvent les stomates car durant le stress salin, la concentration du CO₂ diminue dans le chloroplaste à cause de la réduction dans la conductance stomatique [132].

Tableau 3.5 : Tolérance relative de quelques plantes cultivées à la salinité du sol.

	Tolérance faible aux sels	Tolérance moyenne	Tolérance élevée
Arboriculture fruitière	Poires, pommes, agrumes, pêches, avocats, prunes.	Figues, olives.	Dattes.
Cultures maraîchères	Radis, céleris, petits pois, haricot.	Tomates, brocolis, choux, pomme de terre, carottes, concombres, oignons	Asperges, épinards.
Fourrages	Trèfle, betterave à sucre.	Alfa, fétuque, blé, avoine.	Orge.

[133].

3.7.4 Biosynthèse de solutés compatibles

Pour adapter l'équilibre ionique dans la vacuole, le cytoplasme accumule des composés de petite masse moléculaire nommés solutés compatibles parce qu'ils n'interfèrent pas avec les réactions normales biochimiques [134], en revanche il remplace l'eau dans les réactions chimiques.

Ces solutés compatibles comprennent principalement la proline [135], la glycine bêtaïne [136], les sucres [137] et les polyols [138].

Les polyols sont classifiés comme acycliques (mannitol) et cycliques (pinitol). Le mannitol, un sucre qui sert comme soluté soluble pour faire face au stress salin, est synthétisé via l'action de la mannose-6-phosphate réductase (M6PR) chez le céleri [139].

Les polyols agissent en deux manières qui sont difficile à séparer : ce sont l'ajustement osmotique et osmoprotection. Dans l'ajustement osmotique, ils agissent comme des osmolytes pour faciliter la rétention de l'eau dans le cytoplasme et permettant la séquestration du NaCl à la vacuole ou l'apoplaste. Les osmolytes protègent la structure cellulaire en interagissant avec les membranes, complexes protéiques, ou enzymes. Ces composés ont des caractéristiques de liaisons d'hydrogène qui leurs permettent de protéger des macromolécules des effets néfastes de l'augmentation de la force ionique dans les milieux avoisinant [140].

Par une association étroite entre les protéines et les composants de la membrane, les polyols compensent la perte de l'eau pendant le stress [141].

Les hydrates de carbones comme les sucres (le glucose, le fructose, le saccharose et le fructane) et l'amidon s'accumulent sous le stress salin [115]. Chez *Vicia faba* la salinité cause la diminution des sucres solubles [142]. Sous les conditions de salinité, le taux de l'amidon diminue dans les racines du riz mais ne change pas dans la partie aérienne [115].

Dans les feuilles de la tomate, le taux des sucres solubles et des saccharides solubles augmente significativement mais le taux de l'amidon n'est pas affecté par le traitement du NaCl [143].

La proline s'accumule dans les feuilles, les tiges et les racines de *Pringlea antiscorbutica* et cet osmolyte s'accumule 2 à 3 fois plus dans le cytoplasme que dans la vacuole [144].

3.7.5 Synthèse et accumulation de la proline

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 stress salin a provoqué une désorganisation des membranes thylakoïdiennes et une accumulation de globules lipidiques au niveau du stroma. [145].

La dégradation de proline chez les plantes a lieu dans des mitochondries et catalysée par la proline déshydrogénase (ProDH), également appelée proline oxydase. Une diminution dans le niveau de ProDH ARN m et de l'activité de ProDH a pour conséquence l'accumulation de la proline. [146].

La proline est désignée généralement sous le nom de soluté compatible chez les eubactéries, les algues, et les plantes supérieures. L'accumulation et la synthèse de la proline 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 utilise le glutamate et la deuxième emploie l'ornithine comme précurseur [122].

3.8 Sensibilité du haricot

La salinité réduit la croissance des plantes de *Phaseolus vulgaris* de 25 %. La concentration du sel est de 100 mM affecte négativement l'activité nitrogénase, ainsi que l'activité de la glutamine synthétase et de la glutamate synthase. D'autre part, la réduction en N total des plantes n'est pas significative. L'inhibition des enzymes du catabolisme des purines implique la diminution du contenu nodulaire des uréides et l'augmentation des acides aminés. [147].

Environ 20 à 30% des régions productives du haricot dans le Moyen-Orient sont affectées par la salinité du sol [148]. Sous de telles situations, on s'attend à un faible rendement car l'haricot commun est extrêmement sensible à la salinité et enregistre des pertes de rendement dans des sols de moins de 2 dSm⁻¹ de salinité [149].

Cependant, le haricot et d'autres légumineuses sont considérés comme des cultures appropriées pour le perfectionnement de la bio productivité et de la récupération des terres marginales. Ceci parce qu'elles ne sont pas seulement source de fourrage, les fruits et les graines riches en protéines, mais également connu pour l'enrichissement du sol en azote par l'association symbiotique avec rhizobium [150].

Donc, ils contribuent beaucoup à l'amélioration de la fertilité du sol dans les zones tropicales et subtropicales où la plupart des sols sont déjà salins [151].

La salinité a exercé des effets nuisibles non seulement sur la biomasse, mais également sur d'autres paramètres morphologiques tels que la hauteur de la plante, le nombre de feuilles et la longueur des racines [132].

Dans une étude effectuée sur plusieurs espèces sur le genre *Phaseolus*, la salinité a un effet significatif sur la concentration des tissus en Na⁺, K⁺, Ca²⁺ et Cl⁻ et sur leur vitesse d'absorption. En plus de l'effet toxique des concentrations élevées en Na⁺ et Cl⁻ dans les tissus végétaux, les changements qui se passent dans les conditions de salinité de l'absorption de nutriments semblent contribuer dans la réduction de la croissance [152].

L'addition de 1 μ M d'ABA à la solution nutritive avant l'exposition au stress salin réduit l'effet négatif du sel. Il se pourrait que l'application d'ABA améliore la réponse de *Phaseolus vulgaris* sous les conditions du stress salin comme le processus de la fixation de l'azote et les enzymes de l'assimilation de l'ammonium et le catabolisme de la purine [153].

Des travaux menés sur la tomate et le haricot concernat l'addition d'éléments nutritifs (le fer et des oligoéléments) aux eaux naturelles salines permettent de diminuer l'effet de la salinité en favorisant l'absorption hydrique des espèces étudiées. [154].

On a montré que sur des feuilles de *Phaseolus vulgaris* L. la salinité (100 mM NaCl) du milieu réduit la capacité photosynthétique indépendamment de la fermeture des stomates. En effet, il apparaît que la salinité entraîne une réduction du pool de ribulose-1,5- biophosphate (RuBP) en influençant sa capacité de régénération. La salinité induit également une diminution de l'activité RuBP carboxylase, lorsque le RuBP est limité, par un mécanisme inconnu, ne faisant intervenir ni l'inactivation de l'enzyme ni la synthèse d'un inhibiteur. [155].

Le haricot est une plante sensible, mais pour cette espèce comme pour beaucoup d'autre, l'approvisionnement en calcium additionnel est crucial pour la tolérance à la salinité. [156].

La salinité abaisse le potentiel hydrique des racines, et ceci cause rapidement des réductions de taux de croissance, avec une suite des changements métaboliques identiques à ceux provoqués par le stress hydrique [157].

3.9 Différentes méthodes de lutte contre la salinité

D'après [158] ; pour améliorer la disponibilité de l'eau du sol pour la culture, quelques solutions sont préconisées :

- ✓ Irriguer plus fréquemment pour améliorer l'approvisionnement hydrique de la culture ;
- ✓ Choisir des cultures tolérantes à une salinité existante ou éventuelle ;
- ✓ Appliquer régulièrement un supplément d'eau pour satisfaire le besoin de lessivage ;

- ✓ Changer de méthode d'irrigation ; en adopter une qui permette de mieux lutter contre le sel ;
- ✓ Modifier les pratiques culturales.

Parmi les pratiques les plus radicales qui permettent d'améliorer ou de restaurer la productivité d'un sol endommagé par le sel :

- ✓ Lessiver autant qu'il est nécessaire pour réduire la concentration saline ;
- ✓ Améliorer ou régulariser la surface ou la pente du terrain pour rendre l'application d'eau plus uniforme ;
- ✓ Modifier le profil du sol pour améliorer la percolation de l'eau en profondeur ;
- ✓ Installer un drainage artificiel s'il existe une nappe gênante.
- ✓ Assurer une bonne fertilisation minérale et notamment azoté afin de permettre une bonne résistance des plants aux attaques parasitaires et autres microorganismes.

CHAPITRE 4

ABSORPTION HYDROMINERALE DES VÉGÉTAUX

4.1 Généralités sur la nutrition hydrominérale.

L'absorption hydrominérale peut être définie par le prélèvement de l'eau et des ions du milieu par l'ensemble des racines constituant le système racinaire et leur pénétration dans la plante qui se ferait principalement par le plasmalemme (membrane cytoplasmique interne) des cellules corticales, suivi de leur conduction vers le stèle [159].

Dans les conditions naturelles la plante pourvoit à ses besoins hydriques et minéraux essentiellement par absorption racinaire [160]. Le système racinaire doit assurer la fonction d'absorption hydrominérale de la plante dans les meilleures conditions, en participant ainsi, par le biais de la solution nutritive fabriquée qui est apportée en permanence et de manière non limitant.

4.2 Importance de l'eau dans la matière végétale

L'eau est le premier facteur de la production végétale et la première cause de variabilité interannuelle des rendements [161].

L'eau est une source indispensable pour les végétaux. Sa présence est une condition incontournable pour que toute la plante puisse se développer et assurer ses fonctions physiologiques vitales [162].

L'eau est le principal constituant des végétaux frais (60 à 90% en moyenne) [163]. Ce pourcentage est variable selon le stade de développement de la plante, selon l'espèce végétale, son mode de vie, la nature des tissus examinés et l'intensité du métabolisme.

Par ailleurs, [164], note que l'eau utilisée pour la fabrication des solutions nutritives ne doit pas renfermer pour les plantes des éléments toxiques ou néfastes tels que les bicarbonates de calcium et de magnésium. Aussi, elle ne doit pas

contenir de fortes concentrations en sels. La meilleure façon d'utiliser une mauvaise eau d'irrigation est de la transformer en bonne solution nutritive.

Tableau 4.1: Exemples de teneurs en eau pour différents organes d'un végétal.

organes	Teneur en eau
Feuilles	75-95%
Tiges	75-95%
Racines	80-95%
Graines	58-10%

[165].

L'eau est un facteur limitant le développement et la croissance des végétaux [160]. Elle intervient par :

- le maintien de la rigidité de la plante ;
- le maintien des structures chimiques et biochimiques ;
- le transport des éléments minéraux et des substances élaborées ;
- C'est une source d'éléments essentiels ;
- Intervient dans le métabolisme catabolisme de la plante ;
- La régulation thermique.

4.3 Besoins en eau et éléments nutritifs

La fertilisation minérale a pour but d'apporter le complément nécessaire à la fourniture du sol vue les besoins physiologiques des plantes pour une croissance et un développement optimal. Les éléments nutritifs doivent être présents sous une forme assimilable pour que les végétaux puissent les absorber. Il est établi que plusieurs éléments sont nécessaires pour le bon fonctionnement de la machine biochimique de la plante. Les plantes prélèvent les éléments minéraux du sol pour produire les composées organiques [166].

La plante a besoin en très grande quantité d'eau pour assurer sa croissance. Pour fabriquer 1 kg de matière sèche la plante absorbe 500 litres d'eau [164].

Le déficit létal, ou valeur critique du déficit hydrique au-delà de la quelle la vie n'est plus possible et cesse en quelques heures, est remarquablement élevé

chez les végétaux : 30 % pour le haricot, 40 % pour le maïs, 70 % pour la luzerne [167].

Il existe une relation assez étroite entre l'alimentation en eau et en ions minéraux absorbés [168]. La maîtrise de l'équilibre entre l'utilisation de l'eau et celle des ions minéraux est une chose rare au niveau des sols (présence de complexes absorbants).

Le besoin en un élément donné dépend de la vitesse de croissance, du stade cultural ainsi que la disponibilité des autres éléments qui conditionnent les possibilités de métabolisme [169].

Les plantes ont besoin d'au moins 16 éléments nutritifs essentiels pour accomplir leur cycle de croissance. Ces éléments sont le carbone, l'oxygène, l'hydrogène, l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium, le magnésium, le soufre, le fer, le manganèse, le zinc, le cuivre, le bore, le molybdène et le chlore [170].

4.4 Mécanisme de l'absorption des ions minéraux par la plante

L'absorption des substances minérales ne se fait pas à l'état de molécules, mais sous forme ionique. Comme la concentration des anions demeure toujours égale à celle des cations dans le liquide extérieur, il en résulte des phénomènes d'échange aux quels participent les ions H^+ et OH^- de l'eau [171].

L'absorption désigne le passage d'une substance du milieu extérieur à l'intérieur des cellules. Les éléments nutritifs sont absorbés essentiellement par les racines bien qu'une absorption foliaire soit possible [161].

Concernant les mécanismes de l'absorption des ions la situation apparaît donc plus complexe. Le flux d'absorption des ions est généralement considéré comme un processus actif couplé directement avec une dépense énergétique par la plante [172].

Aussi, [173] et [160], notent qu'il existe deux types de mécanismes d'absorption :

a/.Mécanisme passif.

Les ions diffusent par une simple différence de concentration de la solution du sol vers les premières couches de cellules des racines, si la concentration en ions de ces dernières est inférieure à celle du sol [174].

b/.Mécanisme actif.

Concerne surtout les ions K^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} . Contrairement aux mécanismes passifs ceux-ci dépendent de l'activité métabolique de la racine. Il faut donc intervenir des « pompes à protons » ou « ATP ases membranaires » dans la partie aérienne [175].

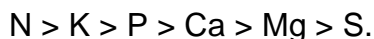
Enfin, de ces mécanismes, il en résulte un ensemble de mouvements des ions, notamment les cellules n'absorbent pas indifféremment les ions qui leur sont offerts. En effet, une sélectivité s'exerce à l'encontre de certains ions, comme le sodium qui pénètre mal dans les cellules. A l'inverse, les cellules accumulent certains ions comme le potassium qui s'y trouvent alors à des concentrations plus élevées que dans le milieu [176].

Eventuellement, d'après [177], une absorption préférentielle peut être observée en présence d'un sel. Il est fréquent qu'elle absorbe préférentiellement l'un des deux ions du sel par rapport à l'autre. Cette absorption préférentielle crée en général dans le milieu une variation de pH, comme par exemple lorsque l'on met des racines au contact d'une solution nutritive contient $NaNO_3$, la cellule absorbe préférentiellement NO_3^- à Na^+ entraînant ainsi une augmentation de pH du milieu.

Une inhibition compétitive de l'absorption d'un ion par un autre peut avoir lieu, il y a par exemple l'inhibition compétitive de l'absorption du calcium par le magnésium des ions chlores par les ions iode (I^-) [178]. Par contre, il n'y a pas inhibition compétitive de l'absorption du sodium par le potassium.

Selon le même auteur, une baisse de pH du milieu stimule l'absorption des anions tels que $H_2PO_4^-$ et NO_3^- et inhibe au contraire l'absorption des cations (K^+ et Ca^{2+}). En effet, chaque ion pénètre dans la cellule avec une quantité bien déterminée

et une vitesse propre pour chaque ion. Ainsi, selon [179] ; du point de vue quantité l'absorption par la plante des six macroéléments se fait selon la hiérarchie suivante :



Notons que la quantité absorbée est sensiblement la même pour les trois éléments (Ca^{2+} , Mg^{2+} , S^{-}). Concernant la vitesse d'absorption des ions, [177], confirme que ceux-ci ne pénètrent donc pas à la même vitesse à l'intérieur des cellules.

La vitesse d'absorption ou de pénétration est beaucoup plus importante pour les ions monovalents que pour les autres [180]. Cependant, d'après [181], en règle générale, on rencontre le plus souvent des échelles du type suivant :

- Pour les anions: NO_3^{-} , Cl^{-} , SO_4^{2-} , $H_2PO_4^{-}$;
- Pour les cations : NH_4^{+} , K^{+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} .

Ces échelles sont très variables suivant les cellules et les conditions ambiantes. La composition des anions et des cations dépend essentiellement des conditions et notamment du pH du milieu.

D'après [182], si les vitesses sont différentes on aura une solution déséquilibrée, du fait que les cations sont absorbés plus vite que les anions, ce qui provoque par un rééquilibrage de charges positives et négatives entre le milieu extérieur et intérieur une acidification ou alcalinisation de l'environnement.

4.5 Facteurs contrôlant l'absorption d'eau et sels minéraux

Pour une croissance optimale des cultures, les substances nutritives doivent être disponibles :

- ✓ En solution dans l'eau du sol ;
- ✓ En quantité appropriée et équilibrée ;
- ✓ A des périodes bien précises. [183].

D'après [184], l'absorption de l'eau et des éléments minéraux varient en fonction de plusieurs facteurs :

4.5.1 Température

Selon [185]; l'absorption de l'eau et des ions augmentent avec la température. La température du sol et la température ambiante influe sérieusement sur le taux d'absorption d'eau, l'irrigation des plantes avec de l'eau froide entraîne le flétrissement [186].

4.5.2 Oxygène

Selon [187]; une absorption normale il faut que les racines soient aérées.

4.5.3 Lumière

Au dessous d'une certaine intensité énergétique (point de compensation) l'assimilation nette est nulle [188].

4.5.4 Composition du milieu (équilibre minéral)

D'après [185]; l'absorption d'eau par les plantes diminue quand la teneur en sels de la solution du sol augmente. Le même auteur ajoute que l'absorption d'un ion donné est fortement influencée par la concentration de cet ion même dans le milieu et par la présence simultanée d'autres ions.

4.5.5 PH

La majorité des sels minéraux sont plus sensibles en milieu acide qu'en milieu alcalin [187]. Donc l'absorption varie selon le pH du milieu.

4.6 Autres facteurs

Les auxines facilitent la pénétration de l'eau vers les racines, par contre les toxines réduisent l'alimentation hydrique des racines [185].

Leurs insuffisances provoquent la coloration violacée ou rouge intense des feuilles, la réduction de la croissance des plants, le retard de la floraison et la perturbation de la fécondation et de la maturité [189].

L'excès de phosphore provoque un déséquilibre N/P, et une insolubilisation du fer dans le sol [190].

4.7 Principale forme chimique absorbée par la plante

Tableau 4.2 : Principale forme chimique absorbée par la plante [183] ;

Les éléments nutritifs	La forme chimique absorbée par la plante
Macro-éléments Azote (N) Phosphore (P) Potassium (K) Soufre (S) Magnesium (Mg) Calcium (Ca)	NH_4^+ , NO_3^- H_2PO_4^- K^+ SO_4^{--} Mg^{++} Ca^{++}
Micro-éléments Chlore) Fer (Fe) Manganèse (Mn) Zinc (Zn) Cuivre (Cu) Bore (B) Molybdène (Mo)	Cl^- Fe^{+2} Mn^{+2} Zn^{+2} Cu^{+2} H_3BO_3 MoO_4^{--}

4.8 Sources des éléments minéraux

Les éléments nutritifs utilisés par la plante proviennent essentiellement de :

- La libération d'éléments issus des réserves du sol ;
- La décomposition des débris végétaux (racines, paille... etc.) ;
- Les engrais minéraux ;
- La fixation biologique de l'azote ;
- Les dépôts aériens. [183].

CHAPITRE 5

MATERIEL ET METHODES

5.1 Objectif de l'expérimentation

L'objectif de notre travail est de comparer l'influence de trois eaux salines naturelles et de ces mêmes eaux corrigées sur la croissance et le développement des plantes du haricot cultivées en hors-sol durant le cycle végétatif complet afin de déterminer quelle est la combinaison des sels la plus nocive (Na_2SO_4 , NaCl , MgSO_4 et MgCl_2) dans les milieux nutritifs testés.

5.2 Matériel végétal utilisé

Le haricot est une espèce qui se développe rapidement, mais qui est très sensible à la salinité. Sa tolérance aux sels est faible. Elle est de l'ordre de 0.5 à 2g/l. Pour cette raison nous avons testé cette espèce avec la variété Djadida.

D'après [191], Djadida et une variété très cultivées 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.

5.3 Conditions expérimentales

5.3.1 Lieu de l'expérience

Notre expérimentation s'est déroulée au niveau de la station expérimentale de département d'agronomie de Blida située dans la plaine de la Mitidja, dans une serre en polycarbonate dont l'orientation est nord-sud.

L'aération est assurée par des fenêtres placées latéralement de part et d'autres de la serre. Le chauffage de la serre en période froide est réalisé à l'aide de radiateurs à eau chaude.



Figure 5.1 : Site expérimental (personnelle, 2011).

Afin de suivre l'évolution de la température au cours du cycle de développement de l'espèce testée, nous avons installé un thermomètre au milieu de la serre. Les relevés quotidiens ont été effectués à trois moments de la journée (8h, 12h, 16h). Le tableau n°5.1 indique les moyennes des températures par décade.

Tableau 5.1 : Moyennes des températures par décade en °C

Périodes	Températures		
	08 ^h	12 ^h	16 ^h
30-11-10 au 09-12-10	15.5	25	22.3
10-12-10 au 19-12-10	11.9	20.3	20.1
20-12-10 au 29-12-10	12.4	21.8	20.9
30-12-10 au 08-01-11	13.2	24.4	23
09-01-11 au 18-01-11	16.8	25	23.75
19-01-11 au 28-01-11	12.4	20.3	19.25
29-01-11 au 07-02-11	13.3	20.4	21.4
08-02-11 au 17-02-11	13.2	23.8	23.35
18-02-11 au 27-02-11	12	21.9	23.3
28-02-11 au 09-03-11	13.2	26.7	25.9
10-03-11 au 19-03-11	14.4	25.4	25.85

D'après les données du tableau (5.1), nous constatons que les températures matinales moyennes, étaient défavorables à la croissance du haricot et ce par rapport aux données préconisées par [13] qui se situent entre 15 et 30°C. A partir de 12h, les températures moyennes sont devenues plus favorables à la croissance et au développement de la plante testée.

5.3.2 Substrat

Le substrat utilisé dans notre expérimentation est le gravier de rivière dont le diamètre est de 3-8mm provenant de la carrière de CHEBLI située à 25Km d'Alger.

Ce substrat constitue un milieu défavorable pour le développement de micro-organisme. Grâce à sa porosité, il assure une meilleure aération pour les racines des plantes.

A fin d'éviter tous les risques de contamination par les maladies parasitaires nous avons réalisé les opérations suivantes :

- Elimination des particules terreuses et résidus organiques par un lavage abondant et répété du gravier à l'eau courante;
- Remplissage des pots par le substrat lavé;
- Désinfection du substrat avec l'hypochlorite de sodium;
- Rinçage abondant à l'eau pour éliminer toute trace d'hypochlorite de sodium fortement nocive pour les racines des jeunes plantules.

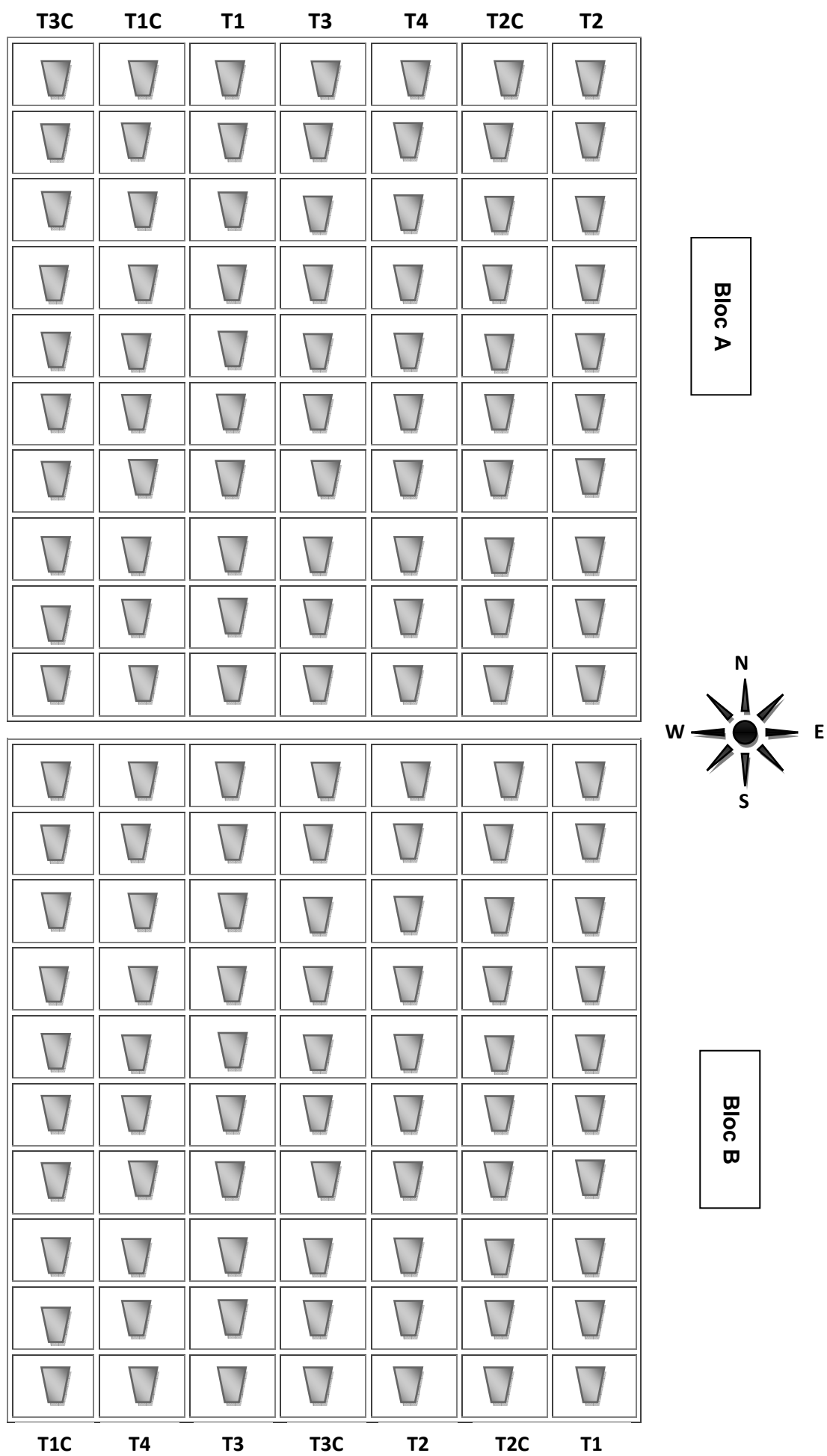
5.3.3 Containers

Les containers utilisés sont des pots en polyéthylène de couleur noire, de capacité 3,5 l et présentant des orifices de drainage à leur base permettant l'évacuation de la solution nutritive excédentaire.

5.4 Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental adopté est un bloc aléatoire complet à dix répétitions, 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 constitué par la combinaison de deux facteurs: (facteur solution à 7 niveaux et facteur variété à 1 niveaux), L'ensemble est composé de sept (7) traitements, et pour chaque traitement, nous avons dix (10) observations ; soit 140 pots au total.



T1, T2, T3, T1C, T2C, T3C, T4 : les traitements

P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10 : les observations

Figure 5.2 : schéma du dispositif expérimental



Figure 5.3 : Vue générale du dispositif expérimental

Les traitements utilisés sont:

- ✓ **Témoin T** : solution nutritive standard composée de macro, et de micro élément ;
- ✓ **T1** : solution saline naturelle d'oued Chélif reconstituée avec l'eau de Blida où le sodium (Na^+) est lié aux sulfate (SO_4^{-2}) et le magnésium (Mg^{+2}) est lié aux chlorures (Cl^-);
- ✓ **T1C** : solution saline **T1** d'oued Chélif corrigée ;

- ✓ **T2** : solution saline naturelle d'oued Chélif reconstituée avec l'eau de Blida où le sodium (Na^+) est lié aux chlorures (Cl^-) et le magnésium (Mg^{+2}) est lié aux sulfates (SO_4^{-2}) ;
- ✓ **T2C** : solution saline **T2** d'oued Chélif corrigée ;
- ✓ **T3** : solution saline naturelle d'oued Chélif reconstituée avec l'eau de Blida où le sodium (Na^+) et le magnésium (Mg^{+2}) sont liés en fraction avec les chlorures (Cl^-) et les sulfates (SO_4^{-2}) ;
- ✓ **T3C** : solution saline **T3** d'oued Chélif corrigée.

5.5. Description des différents traitements:

5.5.1 Caractéristiques de l'eau utilisée pour la synthèse des solutions nutritives et correction:

Nous avons préparé toutes les solutions nutritives avec l'eau potable de Blida, pour des raisons pratiques et compte tenu en besoins en eau croissants des plantes.

Tableau 5.2: teneur des différents éléments minéraux contenus dans l'eau de Blida:

Element	Teneur en mg/l	Teneur en meq /l
K^+	00	00
Ca^{++}	56	2.8
Na^+	29.9	1.3
Mg^{++}	21.6	1.8
NO_3^-	21.7	0.35
SO_4^{--}	38.4	0.8
CL^-	21.3	0.6
HCO_3^-	24.5	4.08

[41].

L'analyse de l'eau de Blida présentée dans le tableau ci-dessus révèle une quantité assez élevée en ions bicarbonates (4.08 méq /l) ; ce qui rend le milieu plus basique (pH = 7.8), nécessitant une correction du pH favorable pour l'espèce testé.

La correction de l'eau consiste donc à utiliser des acides pour détruire partiellement les bicarbonates et ramener le pH au voisinage de 5.5 à 5.8 jugés le plus favorable pour le développement et la croissance des plantes.

Deux types d'acides ont été utilisés à savoir, l'acide nitrique HNO_3 et l'acide phosphorique H_3PO_4 . Ces deux acides permettent d'une part l'abaissement du pH et l'apport des éléments utiles tels que les nitrates et le phosphore de l'autre part.

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

$$Q \text{ (meq)} = (\text{quantité d'HCO}_3 \text{ dans l'eau en méq}) \times 0.833$$

$$Q = 4.08 \times 0.833 = 3.3 \text{ méq / l d'eau}$$

Cette quantité d'acide sera partagée entre:

- $\text{H}_3\text{PO}_4 = 1.1 \text{ méq / l}$ (correspondant aux besoins des végétaux qui sont de 3.3 méq / l de phosphore) compte tenu que H_3PO_4 est trivalent ;
- $\text{HNO}_3 = 3.3 - 1.1 = 2.2 \text{ méq / l}$ (besoin partiel en nitrates).

5.6 Composition des solutions nutritives et techniques de préparation des différents traitements :

5.6.1 Formule de solution nutritive pour une eau naturelle peu chargée en ions "Cas de l'eau de Blida" transformé en solution nutritive (T4):

Pour ce type de solution nutritive, l'eau renferme des teneurs insuffisantes en certains éléments utiles (KNO_3^- , k^+). Parfois des éléments tels que le sodium, le calcium et les sulfates peuvent se trouver à des concentrations supérieures aux besoins des plantes.

D'une façon générale, pour une eau peu chargée en sels, on peut rajouter des éléments pour corriger les déficits et équilibrer la balance ionique.

La formule de solution nutritive peu chargée en sels correspond à la solution nutritive de base synthétisée avec l'eau de Blida selon les normes définies par [61].

Les différentes étapes adoptées pour la réalisation de cette solution sont les suivantes:

a / Sur les tableaux 3 et 4 suivants, on reporte chaque anion et cation selon les quantités contenues dans l'eau exprimées en méq / l.

b / L'apport d'azote est fixé à 12 méq / l

{	10.2 méq / l NO_3^- représentant 85%
}	1.8 méq/l NH_4^+ représentant 15%

c / L'apport de chlore et de sodium étant au-delà des besoins normaux des plantes (0.2 meq/l) aucun apport complémentaire n'est nécessaire.

d / L'apport du phosphore est fixé à 3.3 méq / l de H_3PO_4 . En comptant de façon théorique, P présent sous la forme trivalent PO_4^{3-} , 1.1 méq / l de H_3PO_4 satisferont les besoins en phosphore.

La quantité d'acide nécessaire pour ajuster le pH de l'eau à 5,8 est de 3,3 méq/l ceci permet de satisfaire la totalité du besoin en phosphore en apportant 1,1 méq/l de H_3PO_4 , et un apport partiel de 2.2 méq/l de NO_3^- .

e / A ce niveau, on fait le bilan des anions restant à introduire dans la solution nutritive:

Nitrates: - besoins: 10,2 méq / l ;

- déjà disponibles: 0,35 méq / l (eau) + 2,2 méq / l (correction de pH)
= 2,55 méq / l ;

- à apporter: 10,2 méq / l - 2,55 méq / l = 7,65 méq / l ;

- déjà disponibles: 0,8 méq / l ;

- à apporter: 1,5 méq / l – 0,8 méq / l = 0,7 méq / l.

f / L'apport d'ammonium (1,8 méq / l de NH_4^+) est assuré par l'emploi de NO_3NH_4 qui assurera en même temps l'apport de 1,8 méq / l de NO_3^- . Les anions disponibles pour apporter un complément de K, Ca et Mg sont désormais les suivants:

Nitrates: (7,65 – 1,8) NO_3NH_4 = 5,85 méq / l	}	Total = 6,55 méq / l
Sulfates = 0,7 méq / l		

g / La somme totale des cations K, Ca et Mg dans la solution nutritive finale = (k + Ca+ Mg) déjà présents dans l'eau + (K + Ca + Mg) apportés sous forme de nitrates et de sulfates. Total = (0 + 2,8 + 1,8) + 6,55 = 11,15 méq / l.

Selon les normes définies par COIC et LESAINTE, (1983), les proportions relatives de ces 3 éléments doivent être proches des valeurs suivantes:

- K : 39,6 % ;
- Ca : 47,6 % ;
- Mg : 12,8 %.

Ce qui donne dans le cas présent : 4,41méq / l (k⁺) + 5, 31 méq / l (Ca²⁺) 1, 43 méq / l (Mg²⁺) = 11, 15 méq / l.

Apport à réaliser, sous déduction de ce qui est déjà présent dans l'eau.

K⁺ (4, 41 méq / l), Ca²⁺ (2, 51 méq / l), Mg²⁺ (0 méq / l).

L'apport de Mg n'étant pas nécessaire compte tenu que : la teneur de l'eau est supérieur à l'apport souhaitable.

Les 11,15 méq / l – 1,8 méq / l (Mg²⁺) = 9,35 méq / l d'anions sont donc à partager entre K⁺ et Ca²⁺ uniquement et en respectant les proportions K⁺ Ca²⁺ = 87.2 soit:

$K^+ = 9,3 \times \frac{9.6}{39.6 + 47.6} = 4.25 \text{ méq / l}$	$Ca^{2+} = 9,3 \times \frac{47.6}{39.6 + 47.6} = 5.10 \text{ méq / l}$
---	--

Tous les résultats sont reportés dans les tableaux suivants:

Tableau 5.3: Composition de l'eau de Blida

pH = 7,8

Eau de Blida	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Total
	0.35	0	0.80	0.60	
K ⁺ 0					0
Na ⁺ 1.3					1.30
Ca ⁺⁺ 2.8					2.80
Mg ²⁺⁺ 1.8					1.80
NH ₄ ⁺ 0					0
HCO ₃ ⁻ 4.08					4.08
Total	0.35	0	0.80	0.60	

Tableau 5.4: Eau de Blida corrigée

T4 (Solution nutritive standard) pH = 5,8

Eau de Blida	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	Total
	0.35	0	0.80	0.60	
K ⁺ 0	3,55		0,70		4,25
Na ⁺ 1.3					1,30
Ca ⁺⁺ 2.8	2,30				5,10
Mg ²⁺⁺ 1.8					1,80
NH ₄ ⁺ 0	1,80				1,80
H ⁺	2,20	1,10			3,30
Total	10,20	3,30	1,50	0,60	

Les différents traitements sont élaborés à base d'une solution mère de macroéléments puis diluée au moment de la préparation de la solution qui sera prête à l'utilisation. Un certain ordre de dissolution est respecté afin d'éviter toute précipitation et ceci en commençant par les produits à fonction acide et les plus solubles, en suite on rajoute au fur et à mesure les autres produits. En dernier lieu, nous avons rajoute une solution d'oligoéléments composée des deux solutions complémentaires d'oligoéléments préconisées par [61].

La solution nutritive de base renferme aussi des oligo-éléments. Le fer est apporté à raison de 5 ml / l de solution de concentration 2 g / l de séquestrée de fer. Les autres oligo-éléments contenant le Molybdate d'ammonium (0,5 g / l), l'acide borique (15 g / l), le sulfate de manganèse (20 g / l) et le sulfate de cuivre (2,5 g / l) + sulfate de zinc (10 g / l) sont apportés à raison de 0,1 ml / l.

Le contrôle du pH de la conductivité électrique est obligatoire avant chaque utilisation.

5.7 Quantités et ordre de dissolution des sels de la solution nutritive (T4) élaborée avec l'eau de Blida:

Tableau 5.5: Composition de l'eau de Blida
pH =7,8

Tableau 5.6: Eau de Blida corrigée
T4 (Solution nutritive standard) pH = 5,8

Eau de Blida	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Total	Eau de Blida	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	Total
0	0.35	0	0.80	0.60	0	0	0.35	0	0.80	0.60	0
K ⁺					0	K ⁺	3,55		0,70		4,25
0						0					
Na ⁺					1,30	Na ⁺					1,30
1.3						1.3					
Ca ⁺⁺					2,80	Ca ⁺⁺	2,30				5,10
2.8						2.8					
Mg ²⁺⁺					1,80	Mg ²⁺⁺					1,80
1.8						1.8					
NH ₄ ⁺					0	NH ₄ ⁺	1,80				1,80
0						0					
HCO ₃ ⁻					4,08	H ⁺	2,20	1,10			3,30
4.08											
Total	0.35	0	0.80	0.60		Total	10,20	3,30	1,50	0.60	

☞ HNO₃⁻ = 2.20 × 63 = 138,6 mg/l;

☞ H₃PO₄ = 1.10 × 98 = 107.8 mg/l ;

- ☞ $\text{Ca}(\text{NO}_3) = 2.30 \times 118 = 271.4 \text{ mg/l}$;
- ☞ $\text{KNO}_3 = 3.55 \times 101.10 = 358.90 \text{ mg/l}$;
- ☞ $\text{NH}_4\text{NO}_3 = 1.80 \times 80.04 = 144.07 \text{ mg/l}$;
- ☞ $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 = 2.30 \times 118.07 = 271.56 \text{ mg/l}$;
- ☞ $\text{K}_2\text{SO}_4 = 0.7 \times 87 = 60.9 \text{ mg/l}$;
- ☞ Les éléments présent dans l'eau de Blida = 433.9 mg/l ;
- ☞ Les oligo-éléments A et B = 14.8 mg/l ;
- ☞ Total = 1801.93 mg/l.

5.8 Formule de solution nutritive pour une eau naturelle chargée en ions : Cas de l'eau d'oued Chélif :

Pour ce type de solution nutritive, l'eau renferme des teneurs nettement supérieures aux besoins de certaines espèces végétales, notamment pour le cas du sodium, du calcium, du magnésium, des sulfates et des chlorures. Dans ce cas on ne s'occupera pas de l'équilibre K, Ca et Mg.

Les différentes étapes à suivre pour la réalisation de solution nutritive sont les suivantes:

a / On reporte pour chaque anion et cation les quantités dans l'eau exprimées en méq / l.

Tableau 5.7 : Eau d'oued Chélif naturelle, reconstituée avec l'eau de Blida (T1)

Où le sodium est liée aux sulfates et le Mg liée aux chlorures pH =7,34

Eau de Blida	NO_3^-	PO_4^{3-}	SO_4^{2-}	Cl	Total
	0,35	0,00	0,80	0,60	
K ⁺ 0,00					0,35
Na ⁺ 01,30			8,60		09,90
Ca ⁺⁺ 02,80				6,45	09,25
Mg ²⁺⁺ 01,80				7,40	09,20
NH ₄ ⁺ 0					0
HCO ₃ ⁻ 0					0
Total	0.35	0,00	09,40	14,45	

5.8.1. Quantités et ordre de dissolution des sels de la solution nutritive T1:

- ☞ $\text{Na}_2\text{SO}_4 = 8.60 \times 71.02 = 610.77 \text{ mg/l};$
- ☞ $\text{CaCl}_2 = 6.45 \times 73.51 = 474.13 \text{ mg /l};$
- ☞ $\text{MgSO}_4 = 7.40 \times 101.65 = 752.21 \text{mg /l};$
- ☞ Elements contenus dans l'eau de Blida = 433.9 mg/l;
- ☞ Total = 2271.01 mg/l.

On remarque à travers cette composition qu'il y a trop de Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , SO_4^- et de Cl^- , par contre on enregistre un manque de K^+ , NH_4^+ , NO_3^- et PO_4^{3-} .

En pratique, les eaux salines d'origines diverses n'étant pas disponibles en volume suffisant pour être expérimentées à Blida. Il a fallu les reconstituer à partir de l'eau de Blida. De façon pratique, cette reconstitution ne peut être à l'identique si l'on veut respecter un pH final de 5,8. Par conversion, on se base donc à respecter les concentrations en cations et à admettre une légère variation de la concentration en chlorures et sulfates.

La reconstitution a été réalisée comme suit:

- ❖ En prenant en compte les éléments minéraux déjà présents dans l'eau de Blida (anions et cations) ;
- ❖ En apportant les éléments manquants afin d'avoir un total anion et cation le plus proche possible de l'analyse initiale.

Tableau 5.8 Eau d'oued Chélif reconstituée avec l'eau de Blida (T2) ou le sodium et lié aux chlorure et le Mg lié aux sulfates pH=7,40

Eau de Blida	NO_3^-	PO_4^{3-}	SO_4^{2-}	Cl^-	Total
	0.35	0	0.80	0.60	
K^+ 0					0.35
Na^+ 1.3				8.60	9.90
Ca^{++} 2.8				6.45	9.25
Mg^{2++} 1.8			7.40		9.20
NH_4^+ 0					0
HCO_3^- 4.08					0
Total	0.35	0	8.20	15.65	

5.8.2. Quantités et ordre de dissolution des sels de la solution nutritive T2:

- ☞ $\text{NaCl} = 8.60 \times 58.44 = 502.58 \text{ mg/l};$
- ☞ $\text{CaCl}_2 = 6.45 \times 73.51 = 474.13 \text{ mg /l};$
- ☞ $\text{MgSO}_4 = 7.40 \times 123.24 = 911.97 \text{ mg /l};$
- ☞ Elements contenus dans l'eau de Blida = 433.9 mg/l;
- ☞ Total = 2322.28 mg/l.

Tableau 5.9 : Eau d'oued Chélif reconstituée avec l'eau Blida (T3) pH =7,37

Eau de Blida	NO_3^-	PO_4^{3-}	SO_4^{2-}	Cl^-	Total
0.35	0	0.80	0.60		
K+					0.35
0					
Na^+			4,30	4,30	09,90
1.3					
Ca^{++}				6.45	09,25
2.8					
Mg^{2++}			4,30	3,10	09,20
1.8					
NH_4^+					0
0					
HCO_3^-					0
4.08					
Total	0.35	0.00	09.40	14.45	

5.8.3. Quantités et ordre de dissolution des sels de la solution nutritive T3:

- ☞ $\text{Na}_2\text{SO}_4 = 4.30 \times 71.02 = 305.38 \text{ g/l};$
- ☞ $\text{NaCl} = 4.30 \times 58.44 = 251.29 \text{ g/l};$
- ☞ $\text{CaCl}_2 = 6.45 \times 73.51 = 474.13 \text{ g /l};$
- ☞ $\text{MgSO}_4 = 4.30 \times 123.24 = 529.93 \text{ g/l};$
- ☞ $\text{MgCl}_2 = 3.10 \times 101.65 = 315.11 \text{ g/l};$
- ☞ Element mineraux contenus dans l'eau de Blida = 433.9 mg/l;
- ☞ Total = 2309.74 mg/l.

5.8.4. Correction de la solution saline d'oued Chélif reconstituée avec l'eau de Blida.

Les solutions d'oued Chélif salines corrigée reconstituée avec l'eau de Blida renferme aussi la solution complémentaire d'oligo-éléments représentés dans le tableau suivant :

Tableau 5.10: Composition des solutions complémentaires d'oligo-éléments A et B

Solution " A "			Solution " B "		
Eléments	Dose g/l	Prélèvement (ml)	Elément	Dose g/l	Prélèvement (ml)
Molybdate d'ammonium (NH ₄) ₆ (MO ₇ O ₂₄) 4H ₂ O	0,5	0,1	Séquestrène de fer	2	5
Acide borique (H ₃ BO ₃)	15,0				
Sulfate de manganèse (MnSO ₄ , 5H ₂ O)	20,0				
Sulfate de cuivre (CuSO ₄ , 5H ₂ O)	2,5				
Sulfate de zinc (ZnSO ₄ , 7H ₂ O)	10				

Les différents traitements sont à base de solutions mère de macroéléments puis diluée au moment de la préparation de la solution prête à l'utilisation.

Un certain ordre de dissolution est respecté afin d'éviter toute précipitation et ceci en commençant par les produits à fonctions acide et les plus solubles, en suite en rajoute au fur et mesure les autres produits.

En dernier lieu, nous avons ajouté les solutions d'oligoéléments des deux solutions complémentaires d'oligoéléments préconisées par [61].

Le fer est apporté à raison de 5 ml / l de solution "B" de concentration 2 g / l de séquestrée de fer, les autres oligo-éléments sont apportés à raison de 0,1 ml / l de solution "A".

Le contrôle de pH et de la conductivité électrique est obligatoire avant chaque utilisation.

Tableau 5.11: Eau d'oued Chélif corrigé, reconstituée avec l'eau de Blida T1C

Où le sodium est lié aux sulfates et le magnésium est lié aux chlorures (pH = 5.78)

Eau de Blida	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Total
K ⁺ 0,00	4.35				4.35
Na ⁺ 01,30			8,60		09,90
Ca ⁺⁺ 02,80	1.5			6,45	09,25
Mg ²⁺⁺ 01,80				7,40	09,20
NH ₄ ⁺ 0	1.80				1.80
HCO ₃ ⁻ 04,08	2.20	1.10			3.30
Total	10.20	3.30	09,40	14,45	

5.8.5 Quantités et ordre de dissolution des sels de la solution nutritive T1C :

- ☞ KNO₃ = 4.35 × 101.10 = 439.78 mg/l ;
- ☞ Na₂ SO₄ = 8.60 × 71.02 = 610.77 mg/l ;
- ☞ Ca (NO₃)₂ = 1.50 × 118.07 = 177.10 mg/l ;
- ☞ Ca Cl₂ = 6.45 × 73.51 = 474.13 mg /l;
- ☞ Mg Cl₂ = 7.40 × 101.65 = 752.21 mg/l;
- ☞ NH₄ NO₃ = 1.80 × 80.40 = 144.07 mg/l;
- ☞ Element dans l'eau de Blida = 433.9 mg/l ;
- ☞ Oligo-élément A et B = 14.8 mg/l ;
- ☞ Total = 3046.76 mg/l.

Tableau 5.12: Eau d'oued Chélif corrigé reconstituée avec l'eau Blida (T2C) où le sodium est lié aux chlorures et le magnésium est lié aux sulfates (pH =5.80):

Eau de Blida	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Total
0	0.35	0	0.80	0.60	
K ⁺ 4.35					4.35
Na ⁺ 1.3			4,30	8.60	09,90
Ca ⁺⁺ 2.8	1.50			6.45	09,25
Mg ²⁺⁺ 1.8			7.40		09,20
NH ₄ ⁺ 0	1.80				1.80
HCO ₃ ⁻ 4.08	2.20	1.10			3.30
Total	10.20	3.30	8.20	14,45	

5.8.6. Quantités et ordre de dissolution des sels de la solution nutritive T2C :

- ☞ KNO₃ = 4.35 × 101.10 = 439.78 mg/l;
- ☞ NaCl = 8.60 × 58.44 = 502.58 mg/l;
- ☞ Ca (NO₃)₂ = 1.50 × 118.07 = 177.10 mg/l;
- ☞ CaCl₂ = 6.45 × 73.51 = 474.13 mg /l;
- ☞ MgSO₄ = 7.40 × 123.24 = 911.97 mg /l;
- ☞ NH₄NO₃ = 1.80 × 80.40 = 144.07mg/l;
- ☞ Élément dans l'eau de Blida = 433.9 mg/l ;
- ☞ Oligo-élément A et B = 14.8 mg/l ;
- ☞ Total = 3098.33 mg/l.

Tableau 5.13 : Eau d'oued Chélif corrigée reconstituée avec l'eau Blida (T3C) où le sodium et le magnésium sont liés en fraction avec les chlorures et aux sulfates

(pH = 5,87) :

Eau de Blida	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Total
K ⁺ 0,00	5.85	0,00	0,80	0,60	5.85
Na ⁺ 01,30			4.30	4.30	09,90
Ca ⁺⁺ 02,80				6,45	09,25
Mg ²⁺⁺ 01,80			4.30	3.10	09,20
NH ₄ ⁺ 0	1.80				0
HCO ₃ ⁻ 0	2.20	1.10			3.30
Total	10.2	3.30	09,40	14,45	

5.8.7. Quantités et ordre de dissolution des sels de la solution nutritive T3C :

- ☞ KNO₃ = 5.85 × 101.10 = 591.43 mg/l;
- ☞ Na₂ SO₄ = 4.30 × 71.02 = 305.38 mg/l;
- ☞ Na Cl = 4.30 × 58.44 = 251.29 mg/l;
- ☞ Ca Cl₂ = 6.45 × 73.51 = 474.13 mg /l;
- ☞ Mg SO₄ = 4.30 × 123.24 = 529.93 mg/l;
- ☞ Mg Cl₂ = 3.10 × 101.65 = 315.11 mg /l;
- ☞ NH₄ NO₃ = 1.80 × 80.40 = 144.07 mg/l;
- ☞ Élément dans l'eau de Blida = 433.9 mg/l ;
- ☞ Oligo-élément A et B = 14.8 mg/l ;
- ☞ Total = 3060.04 mg/l.

Tableau 5.14 : Récapitulatif des sels entrant dans la fabrication des différentes solutions nutritives (mg/l).

Produit	S .M.C [g/l]	T1 ml	T1C ml	T2 ml	T2C ml	T3 ml	T3C ml	T4 ml
HNO ₃	-	-	22.68	-	22.68	-	22.68	22.68
H ₃ PO ₄	-	-	13.68	-	13.68	-	13.68	13.68
KNO ₃	118.20	-	439.78	-	439.78	-	591.43	358.90
NH ₄ NO ₃	28.81	-	144.07	-	144.07	-	-	144.07
Ca(NO ₃) ₂	54.31	-	177.10	-	177.10	-	144.07	271.56
CaCl ₂	94.82	474.13	474.13	474.13	474.13	474.13	474.13	-
Mg Cl ₂	150.44	752.21	752.21	-	-	315.11	315.11	-
MgSO ₄	182.39	-	-	911.97	911.97	529.93	529.93	-
NaCl	100.51	-	-	502.58	502.58	251.29	251.29	-
Na ₂ SO ₄	122.00	610.77	610.77	-	-	305.38	305.38	-
K ₂ SO ₄	12.19	-	-	-	-	-	-	60.99
Mg SO ₄	89.07	-	-	-	-	-	-	-
Oligoéléments	48.00	-	0.1ml	-	0.1ml	-	0.1ml	0.1ml
Fer	2.00	-	5ml	-	5ml	-	5ml	5ml

5.9 Essai de germination:

En général, l'essai de germination est effectué au laboratoire en utilisant une étuve réglée à une température de 25°C. On dépose ces graines sur des papiers filtres imbibés d'eau. Le premier comptage des graines germées s'est fait après 03 jours sur les quatre répétitions de 100 graines. Le pourcentage de la germination, est calculé à partir de la moyenne des quatre répétitions.



Figure 5. 4: Essai de germination dans l'étuve.

5.9.1 Semis et repiquage:

Après la germination des graines mises dans l'étuve, un repiquage dans des pots a été réalisé le 01.12.2011 à raison de deux a trois graines par pot.

Le semis à été réalisé le 01/12/2011 dans des pots remplis de gravier de rivière, et arrosés avec de l'eau de robinet jusqu'à la levée. A ce stade, nous avons réalisé un éclaircissage afin de laisser une graine germée par pot (le démariage).



Figure 5.5 : Levée des plantules.

Les jeunes plantules ont été arrosées toujours avec l'eau de robinet pendant 8 jours (jusqu'à apparition des feuilles cotylédonaires). En suite nous avons procédé à l'application de la solution nutritive standard (T). Au 29^{ème} jour après le semis, nous avons commencé l'application des différents traitements.

5.10. Entretien de la culture:

La culture du haricot a nécessité des opérations d'entretien suivantes :

5.10.1. Irrigation:

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

Il est important de noter qu'en hors-sol, il est recommandé de connaître les besoins journaliers en eau des cultures, afin de pouvoir rationaliser les besoins selon les stades de développement du végétal et ce pour éviter les déficits et les éventuels excès de solution nutritive.

Le tableau 5.11 montre les doses et les fréquences apportées pendant la période de l'expérimentation

Tableau 5.15 : Doses et fréquence nécessaires pour la culture du haricot

Dates	Stade végétatif	La dose d'irrigation	La fréquence
30.11.2010 au 20.12.2010	Germination au stade trois feuilles	20ml	3fois / jours
21.12.2011 au 15.01.2011	Stade trois feuilles au début floraison	30ml	3fois / jours
16.01.2011 Au 10.02.2011	Début floraison à la formation des gousses	40ml	3fois / jours
11.02.2011 au 15.03.2011	Formation des gousses à la récolte	60ml	4fois / jours

5.10.2. Traitements phytosanitaires :

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

Tableau 5.16: Programme des traitements phytosanitaires réalisés:

Dates	Produit	Matière active	Désignation	Dose	Fréquence du traitement
02.02.2011	Duresban	Chorpyriphos-éthyle (50g/kg)	Traitement préventif contre les insectes	3 g / l	1 fois/ semaine
17.02.2011	Medomyl	Mancozeb 64% Metaloxyl 8%	Traitement préventif contre les maladies cryptogamiques	3 g / l	1 fois/ semaine

5.10.3. Palissage:

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

5.10.4 Récolte:

Elle a été échelonnée. Nous avons effectué trois récoltes. Les gousses récoltées sont de type haricot mangetout.

Récolte 1 : le 07/02/2011 soit 73 jours après semis ;

Récolte 2 : le 14/02/2011 soit 81 jours après semis ;

Récolte 3 : le 21/02/2011 soit 88 jours après semis.

5.11. Dosage des paramètres physiologiques:

5.11.1. Dosage de la chlorophylle

L'extraction de la chlorophylle (a) et (b) a été réalisé selon la méthode de Francis et al (1970). La méthode d'extraction consiste en 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 deux longueurs d'ondes : (645 et 663 nm).

La détermination des teneurs réalisée selon les formules

$$\text{➤ Chl a } (\mu\text{g/g MF}) = 12,7 \times \text{DO}_{(663)} - 2,59 \times \text{DO}_{(645)} \times V / (1000 \times W);$$

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

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

5.11.2. Dosage des sucres solubles

Nous avons procédé au dosage des sucres solubles dans les feuilles des plantes selon la méthode de Dubois, (1956). Pour l'extraction des sucres solubles : Mettre 100 mg de matière fraîche végétale dans des tubes à essai puis ajouter 2 ml d'éthanol à 80%. Laisser les tubes fermés au repos pendant 48h. Faire évaporer l'alcool en mettant les tubes à essai dans un bain Marie à 70°C.

Après refroidissement, on ajoute 20 ml d'eau distillée dans chaque tube à essai. Prendre 1 ml de la solution et ajouter 1 ml de phénol à 5 % et bien agiter. Ajouté 5 ml d'acide sulfurique concentré, dans chaque tube à essai puis les passer au vortex, puis les laisser au repos pendant 10mn puis les passer au bain Marie pendant 15 mn à 30°C. Procéder à la lecture au spectrophotomètre (UV) à la longueur d'onde de 490 nm.

La détermination de la teneur des sucres solubles est réalisée selon la formule:
Sucres solubles ($\mu\text{g/g MF}$) = $DO_{490} \times 1.657$.

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

Après refroidissement, 1 ml de la solution a été prélevé de chaque tube et mis dans de nouveaux tubes auxquels, nous avons ajouté 1 ml d'acide acétique et 25 mg de ninhydrine.

Ensuite, on ajoute, dans chaque tube, 1 ml d'un mélange contenant; 120 ml d'eau distillée, 300 ml d'acide acétique, 80 ml d'acide ortho phosphorique

On porte les tubes à essai à ébullition au bain Marie durant 30 min. Après refroidissement des solutions, on ajoute 5 ml de toluène dans chaque tube. Après agitation au vortex deux phases apparaissent. On prélève la phase supérieure à laquelle on ajoute 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:

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

5.12. Dosage des paramètres technologiques

5.12.1. Détermination de l'extrait sec:

On opérant cette dessiccation (à 70°C) jusqu'à stabilité du poids sec, Ramener la valeur obtenue à celle du produit totalement desséché, ce qui revient à la réduire de 1/10^{ème} de la valeur.

5.12.2. Dosage des sucres dans les gousses:

Le taux du sucre est déterminé par le réfractomètre dont le principe consiste à déposer une goutte de jus du broyat de gousses sur une lame en verre et de faire la lecture par transparence à la lumière du jour.

5.13 Estimation du bilan d'absorption hydrominérale

Afin d'estimer la quantité d'eau absorbée par les plantes de haricot, nous avons mis en place le dispositif suivant :

- On met sous chaque pot en culture un gobelet non perforé afin de recueillir l'éventuel excès de la solution drainée;
- Nous avons irrigué les plantes avec des doses d'irrigation connues (le pH_i et la conductivité électrique (CE_i) sont mesurés à l'avance) ;
- Après 24 heures, on récupère le volume percolé au niveau de chaque pot ;
- On mesure le volume des différents percolats, puis on calcule la moyenne des percolats au niveau d'un même traitement ;
- On calcule le pourcentage d'absorption qui est obtenu par la relation suivante :

$$\% \text{ d'absorption} = \frac{\text{Volume apporté} - \text{Volume percolé}}{\text{Volume apporté}} \times 100$$

5.14. Analyse statistique:

Les données obtenues sont soumises à une analyse de la variance à un facteur étudié (solution d'irrigation). Les moyennes sont comparées selon la méthode de Newman et Keuls qui est basée sur la plus petite valeur significative, réalisés par le logiciel STAT ITCF version 13.31. On considère que les résultats sont significatifs quand $P \leq 0,05$.

CHAPITRE 6

RESULTATS ET DISCUSSION

6.1 Paramètres de croissance :

6.1.1 - Aspect général des plantes :

Les plantes irriguées par les solutions salines naturelles (T1-T2-T3), sont chétives, de couleur verte jaunâtre avec un nombre réduit de feuilles et de fleurs et de gousses de classe B (6 - 12 cm).

Les plantes irriguées par les solutions salines corrigées (T1C - T2C - T3C), sont vigoureuses, de couleur vert foncé avec un nombre élevé de feuilles, de fleurs et de gousses de classe A (supérieure à 12 cm).



Figure 6.1 : Aspect général des plants de haricot alimentés par les Traitements salins corrigés comparés au traitement standard (T)



Figure 6.2 : Aspect général des plants de haricot alimentés par les Traitements salins naturels comparés au traitement standard (T).



Figure 6.3 : Comparaison entre les plantes irriguées par les eaux salines naturelles (T1 - T2 - T3) et les eaux salines corrigées (T1C - T2C - T3C) par rapport au traitement témoin (T).

6.1.2 Vitesse de croissance des plantes:

Les résultats sont exprimés en cm/j^{-1} après l'application des différentes solutions nutritives après repiquage (du 38^{ème} aux 90 jours) et sont représentés dans la figure 6.4.

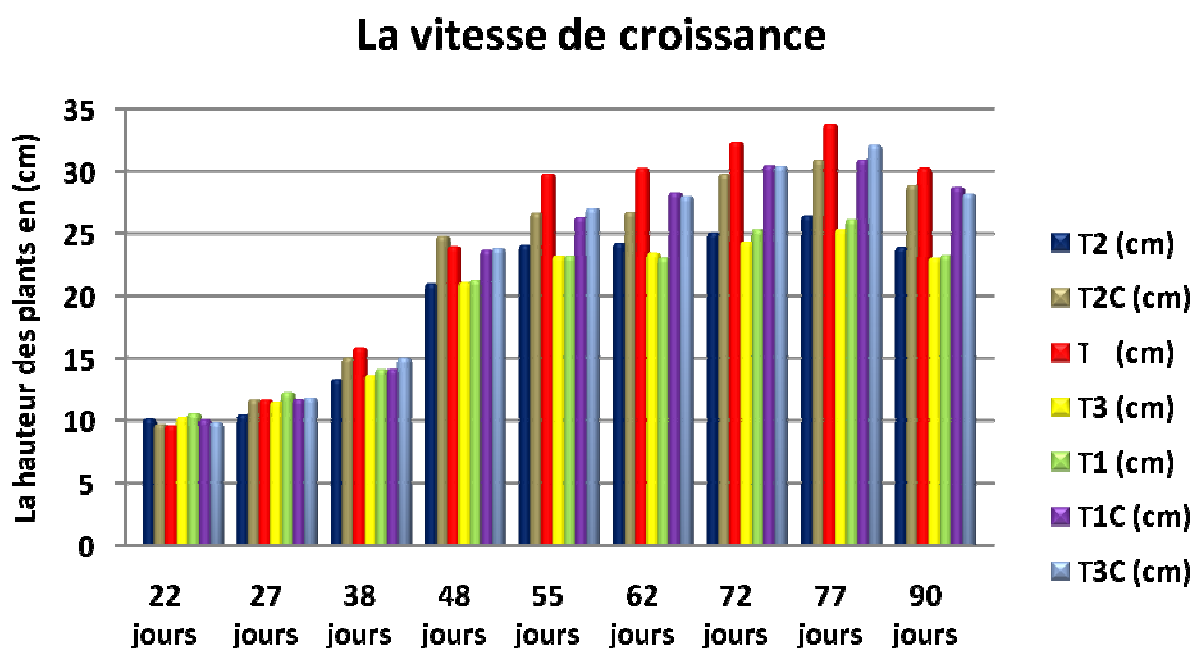


Figure 6.4: Vitesse de croissance des plants (cm/j)

Selon la figure 6.4 : la période qui sépare le 22^{ème} et le 27^{ème} jours après application des traitements ne marque aucun effet remarquable de l'action des traitements sur la vitesse de croissance des plantes. Cette phase stationnaire est expliquée par la période d'adaptation des jeunes plantules de l'espèce étudiée dans leurs milieux nutritifs après repiquage avec une légère augmentation pour l'ensemble des traitements à compter du 38^{ème} jour après traitement.

Dès le 48^{ème} jour, on remarque que la vitesse de croissance des plantes au niveau des traitements salins corrigés (T1C, T2C, T3C) et le traitement standard (T4) devient important et ce aux alentours de 25 cm/jour et même jusqu'à 34 cm. ce qui signifie que l'action des eaux salines corrigées influe de façon significative sur la vitesse de la croissance des plants et ce par rapport aux plants alimentés par les traitements salins naturels (T1, T2, T3).

Ceci peut être expliqué par la présence des éléments nutritifs favorables à la croissance des plantes notamment le N,P,K et les oligo-éléments et surtout le pH

de 5,8 de ces solutions nutritives qui est considéré comme étant le facteur déterminant dans l'absorption hydrominérale des plantes dans un environnement salin.

Par contre, les traitements salins naturels (T1, T2, T3) présentent une vitesse de croissance moins importante que celle observée chez les traitements salins corrigés. Ils atteignent au maximum jusqu'au 26 cm/j ceci est du au déséquilibre ionique et aux déficiences en éléments fertilisants (macro et micro éléments), tels que l'azote, le phosphore et également le potassium dont son absence ralentit la croissance des plantes. Les travaux de [192] ont montré que la salinité provoque une réduction de la taille de tous les organes de la plante tels que :

- ✓ Le faible allongement des organes et leurs ramifications ;
- ✓ La diminution de la surface foliaire ;
- ✓ Le raccourcissement des entre nœuds des tiges.

Il est nécessaire d'ajouter que de l'azote qui est un élément indispensable à la multiplication cellulaire puisqu'il intervient dans la composition du noyau.

6.1.3 - Hauteur finale des plantes [cm]:

Les résultats relatifs à la hauteur finale des plantes sont présentés dans le tableau 6.1.

Tableau 6.1 : Hauteur finale des plantes en (cm):

T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T
23.24	28.70	23.90	28.87	23.03	28.17	30.31
±	±	±	±	±	±	±
0.24	0.79	3.10	1.6	1.24	0.35	1.43
b	ab	b	ab	b	ab	a

L'analyse de la variance a révélé une différence hautement significative ($P < 0,001$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré. Les résultats obtenus durant la coupe finale montre qu'il y a une augmentation de la hauteur des plantes au niveau des traitements salins corrigés (T1C, T2C, T3C) et (T) et ce par rapport aux autres traitements salins naturels.

La hauteur finale la plus élevée est enregistrée au niveau du témoin T, suivi par les solutions saline corrigées (T2C, T1C et T3C). Ceci peut s'expliquer par l'équilibre ionique parfait dans les solutions salines corrigées et de leur richesse en éléments fertilisants, notamment la présence des éléments utilisés tels que l'azote, le phosphore, le potassium et les oligo-éléments.

Le test de Newman-Keuls ($\alpha = 5\%$) classe les traitements testés en trois groupes homogènes à savoir le groupe (a), (ab) et (b).

A l'inverse, les solutions salines naturelles (T1, T2 et T3) donnent les hauteurs les plus faibles et ce en raison des points suivants :

- ☛ Le déséquilibre ionique entre les éléments et notamment la déficience en éléments majeurs utiles et en oligo-éléments ;
- ☛ Le pH alcalin défavorable pour une meilleure absorption hydrominérale des plantes dans ces milieux.

Ces carences en éléments minéraux provoquent d'abord l'arrêt de la croissance des tissus jeunes, puis rapidement cet état de déficience s'uniformise dans les différents organes, provoquant des troubles de la fonction de la plante, entraînant aussi un ralentissement et un retard de croissance avec des symptômes de nanisme et de rabougrissement des plantes.

Des résultats similaires ont été confirmés par Hela et Al, (2007) où ils ont montré que les deux principales manifestations de la salinité sont la réduction de la taille des plantes, et l'apparition des nécroses foliaires dues aux concentrations plus élevées, signes d'une toxicité par excès d'accumulation du sel dans les feuilles.

6.1.4 - Diamètre des tiges:

Les résultats de ce paramètre sont présentés dans le tableau 6.2.

Tableau 6.2 : Diamètre moyen des tiges en (cm):

T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T
3.68	5.32	3.63	5.34	3.38	5.75	5.47
±	±	±	±	±	±	±
0.42	0.35	0.21	0.29	0.08	0.03	0.62
b	a	b	a	b	a	a

L'analyse de la variance nous renseigne l'existence d'une différence significative pour ($P < 0,001$). Les mesures effectuées ont montré que les traitements salins corrigés (T1C, T2C, T3C) et (T) enregistrent une augmentation du diamètre par rapport aux traitements salins naturels notamment au niveau du traitement (T3C) avec une valeur de 5.75 cm.

Le test de Newman-Keuls ($\alpha = 5\%$) classe les traitements testés en deux groupes homogènes (a) et (b). Le diamètre le plus faible est celui des plants alimentés par le (T3) qui est égal à 3.38 cm.

L'accroissement des tiges est sous l'influence de l'azote et du potassium, qui agissent sur les cellules méristématiques notamment sur les méristèmes secondaires.

Les carences en éléments essentiels entraînent inévitablement un ralentissement et un retard de croissance avec apparition de phénomène de plasmolyse aboutissant ainsi à la formation des tiges moins rigides et donc peu développées.

6.1.5 - Nombre de feuilles:

Le nombre de feuilles par plante est présenté dans le tableau 6.3.

Tableau 6.3: Nombre de feuilles

T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T
6.15	24.85	5.55	23.75	6.00	21.95	28.42
±	±	±	±	±	±	±
0.07	1.20	0.92	0.07	0.85	0.21	1.87
d	b	d	bc	d	c	a

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative pour ($P < 0,001$) du facteur traitement sur le nombre de feuille par plante.

Pour ce qui est du nombre de feuilles, les meilleures valeurs sont enregistrées par les traitements salins corrigés (T1C, T2C, T3C) et le traitement (T) avec 28.42 feuilles. Les traitements salins naturels sont classés dans le groupe homogène (d) avec une réduction de 78% du nombre de feuilles par rapport au témoin.

La présence marquée du sodium (Na^+) que ce soit en combinaison avec les chlorures ou les sulfates dans les traitements salins naturels exerce une nocivité accrue en bloquant le transfert de certains éléments vers la partie aérienne des plantes. Par conséquent, il en résulte des difficultés d'ajustement osmotique rendant les plantes très sensibles au déficit hydrominéral, induisant par la même une diminution de la croissance végétative, soit une réduction du nombre de feuilles.

La première réponse des plantes du haricot face à la concentration élevée en sel au niveau des traitements salins naturels (T1, T2, T3) est la réduction de la vitesse d'extension de la surface foliaire, et du nombre de feuilles suivi par l'arrêt de l'extension.

La chute des feuilles peut être aussi liée à des perturbations du taux de régulateurs de croissance (cytokinines et l'acide abscissique) induites par les sels.

Aussi, la faible activité photosynthétique induisant un nombre réduit de feuilles déformées portant de petites taches sur les bords, se nécrosent rapidement amenant une dessiccation prématurée suite à une diminution de la conductance stomatique du CO_2 sous la contrainte saline.

Des résultats similaires ont été trouvés par [195], où ils ont montré que le sel provoque un effet défavorable à la formation des feuilles. Il diminue leur masse individuelle, et finit par entraîner leur dessèchement.

En revanche, l'effet de la correction des solutions salines naturelles améliore la production de la biomasse des feuilles. Ceci permet d'affirmer que la formation de nouvelles feuilles est dépendante du milieu de culture et tout particulièrement de sa composition ionique.

6.1.6 - Biomasse fraîche des feuilles, des tiges et des racines [g]:

Les résultats du poids de la biomasse fraîche des feuilles, des tiges et des racines sont présentés au niveau du tableau 6.4.

Tableau 6.4: Biomasse fraîche des feuilles, des tiges et racines [g]:

	T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T
Biomasse fraîche des racines	13.13	20.61	9.74	26.42	23.47	22.99	31.25
	±	±	±	±	±	±	±
	0.72	4.70	0.11	4.23	0.31	4.16	3.39
	c	b	c	ab	ab	ab	a
Biomasse fraîche des Tiges	4.38	14.38	3.66	14.10	3.72	15.19	14.66
	±	±	±	±	±	±	±
	0.52	1.89	1.00	0.11	0.02	0.05	0.06
	b	a	b	a	b	a	a
Biomasse fraîche des Feuilles	11.10	71.82	7.87	70.01	8.60	66.75	57.97
	±	±	±	±	±	±	±
	2.76	2.89	1.07	2.82	0.59	2.67	0.94
	c	a	c	a	c	a	b

L'analyse de la variance révèle une différence très hautement significative ($p < 0.001$) du facteur traitement sur les trois paramètres mesurés.

Les paramètres mesurés les plus élevés sont enregistrés par les solutions salines corrigées (T1C, T2C, T3C).

La solution alimentaire saline naturelle (T3) où la combinaison des ions sodium (Na^+) sont liés aux chlorures (Cl^-) et aux sulfates (SO_4^{2-}) enregistre la meilleure valeur avec 23.47 g de la biomasse fraîche des racines.

La biomasse fraîche des racines est influencée par le stress salin. En effet, les plantes issues de la solution saline naturelle (T2), donnent un chevelu racinaire chétif. Ceci peut être expliqué par l'accumulation des sels nocifs au niveau des racines de la plante tels que le HCO_3^- et le NaCl .

A l'inverse les plantes issues des solutions salines corrigées produisent une biomasse racinaire bien développée et dense.

L'effet de correction des solutions salines naturelles améliore le développement du chevelu racinaire par rapport au témoin (T). A cet effet [163], note également que la concentration élevée du sel dans le sol peut augmenter la pression osmotique qui devient égale ou dépasse celle de suc cellulaire des racines. Dans ce

cas, le végétal subit un flétrissement temporaire qui peut devenir permanent en cas de déficit hydrique durable.

Pour ce qui est de la biomasse fraîche des tiges, on remarque que la salinité provoque une réduction du poids frais des tiges. Ce résultat est confirmé par [157] ; qui ont montré que la réponse à la salinité se manifeste généralement chez la plupart des plantes cultivées par une réduction de la croissance et du développement des plantes. Il est à noter que le poids frais des tiges des plantes traitées par les solutions salines naturelles (T1, T2, T3) présente le paramètre le plus faible se traduisant par l'aspect mince des tiges. La biomasse fraîche des tiges la plus faible est enregistrée chez le traitement T2 (3.66 g) ce qui correspond à un abaissement de 75% par rapport au témoin. Cette solution saline naturelle est composée de l'ion Sodium lié aux chlorures (Na^+/Cl^-) et de l'ion magnésium totalement lié aux sulfates ($\text{Mg}^{+2}/\text{SO}_4^{2-}$).

Les meilleures valeurs mesurées ont été enregistrées au niveau des traitements corrigés (T1C, T2C, T3C) (T) dont la biomasse des tiges la plus élevée est celle du traitement (T3C) qui correspond à 15.19 g.

De nombreux travaux ont mis en évidence l'effet de la correction des eaux salines dans l'amélioration de l'alimentation minérale des plantes.

Enfin, pour ce qui est de la biomasse fraîche des feuilles, on peut noter que selon les résultats obtenus dans le tableau, on remarque une différence très hautement significative de l'effet du traitement sur la biomasse fraîche des feuilles. Les plantes irriguées par les solutions salines naturelles (T1, T2 et T3), présentent une biomasse fraîche des feuilles faible quelque soit le type de combinaison des sels dans ces trois traitements correspondant à un abaissement de 85% par rapport à la biomasse produite au niveau du témoin (T). Ceci peut être expliqué par le manque des éléments essentiels pour le développement et la croissance des plantes tels que : N, P, K, Mg, Fe,...

Des résultats similaires ont été trouvés par les travaux de [196] ; où il a montré que les ions sodium et de chlorite peuvent être absorbés par les racines et s'accumuler dans les feuilles. Dès lors, ces ions peuvent provoquer les brûlures et le jaunissement prématuré des feuilles. En revanche, la correction des eaux salines

naturelles (T1C, T2C, T3C) manifeste un développement important de la biomasse fraîche des feuilles remettant d'un équilibre ionique parfait des milieux nutritifs et permettant d'affirmer que la formation de nouvelles feuilles est dépendante du milieu de culture et tout particulièrement de sa composition ionique. Le sel provoque un effet défavorable à la formation des feuilles. Il diminue leur masse individuelle, et finit par entraîner leur dessèchement.

6.1.7 - Biomasse fraîche totale [g]:

Les résultats sont présentés dans le tableau 6.5

Tableau 6.5 Biomasse fraîche totale [g]:

T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T
15.40	86.01	11.50	84.12	12.32	81.95	72.81
±	±	±	±	±	±	±
2.34	1.05	2.11	2.93	0.57	2.71	1.25
c	a	c	a	c	a	b

L'analyse de la variance révèle l'existence d'une action hautement significative de l'effet traitement sur la biomasse fraîche totale.

Le test de Newman et keuls au seuil ($\alpha = 5\%$) fait ressortir trois groupes homogène durant tous les stades de développement, le poids frais total le plus élevé est enregistré au niveau des plantes alimentées par les traitements salins corrigés groupe (a), dont la biomasse fraîche totale la plus élevée est celle de (T1C) correspondant à 86.01g.

Le groupe (c) correspondant aux traitements salins naturels (T1, T2, T3) enregistre une chute de 83% de la biomasse fraîche total en comparaison avec le témoin, les solutions salines naturelles (T1, T2, T3) ont données respectivement aussi les plantes les moins vigoureuses sont celles du traitement T2 où le Sodium (Na^+) est lié aux Chlorures (Cl^-) et le Magnésium (Mg^{+2}) est lié aux sulfates (SO_4^{-2}) avec une valeur de 11.5 g.

En effet, la correction des solutions salines 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.

La concentration élevée en sels au niveau des traitements salins naturels (T1, T2, T3) a un triple effet : elle réduit le potentiel hydrique, cause un déséquilibre ionique ou des perturbations en homéostasie ionique et provoque une toxicité ionique. Cet état hydrique altéré conduit à une croissance réduite et à une limitation de la biomasse fraîche totale.

La diminution de la croissance apicale et radiale est une réponse à la déshydratation. Elle contribue à la conservation des ressources en eau, ce qui permet la survie de la plante.

[94], confirme que dans un milieu salin, la vigueur du plant est réduite et la biomasse fraîche des organes est proscrite.

6.1.8 - Biomasse sèche des feuilles, des tiges et des racines [g]:

Les résultats sont présentés dans le tableau 6.6.

Tableau 6.6: Biomasse sèche des feuilles, des tiges et des racines [g]

	T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T
Biomasse sèche des racines	1.51 ± 0.01 a	2.63 ± 0.68 a	1.34 ± 0.57 a	2.85 ± 0.15 a	1.33 ± 0.13 a	2.04 ± 0.04 a	3.27 ± 0.14 a
Biomasse sèche des Tiges	0.91 ± 0.11 c	2.51 ± 0.23 b	0.72 ± 0.22 c	2.40 ± 0.02 b	0.76 ± 0.04 c	2.36 ± 0.10 b	3.22 ± 0.19 a
Biomasse sèche des Feuilles	1.45 ± 0.36 c	8.25 ± 0.17 ab	0.95 ± 0.24 c	8.42 ± 1.33 ab	0.99 ± 0.01 c	7.00 ± 0.18 b	9.85 ± 0.66 a

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence significative de l'effet du traitement sur la biomasse sèche des feuilles, des tiges et des racines de la variété de haricot testée.

Les plantes issues des solutions salines corrigées révèlent un poids sec des racines élevé par rapport à celui des plantes alimentées par les eaux salines naturelles. Ceci peut être expliqué par la meilleure répartition spatiale des racines

suite à l'équilibre ionique des milieux et surtout leur richesse en éléments minéraux indispensables à la croissance racinaire.

La présence des ions magnésiens (Mg^{+2}) et sodiques (Na^{+}) liés totalement avec les chlorures et les sulfates respectivement des milieux nutritifs (T1 et T2) ainsi que la combinaison des ions sodique avec les chlorures (Cl^{-}) et les sulfates (SO_4^{-2}) dans la solution saline naturelle (T3) révèlent les plus faibles biomasses sèches des racines.

Aussi, on peut noter que l'effet de sel empêche le développement des racines, et donc la réduction de la surface d'exploration au niveau des plantes alimentées par les eaux salines naturelles. Les mêmes constatations sont faites par [197].

Pour ce qui est de la biomasse sèche des tiges, la meilleure valeur enregistrée est celle du témoin (T) avec un poids qui correspond à 3.22 g, suivi par les traitements salins corrigés (T1C, T2C, T3C).

Les solutions salines naturelles (T1, T2, T3) révèlent des biomasses sèches des tiges les plus faibles, et où le traitement (T2) ayant les ions sodiques (Na^{+}) liés aux chlorures (Cl^{-}) et les ions (Mg^{+2}) liés aux sulfates (SO_4^{-2}) enregistre la plus faible valeur (0.72g).

Vu la présence des sels de différentes formes ($NaCl$, Na_2SO_4 , $MgCl_2$ et $MgSO_4$) dans les solutions d'irrigation testées ce qui engendre une conductivité électrique et une pression osmotique élevées, causant un déséquilibre ionique et une mauvaise alimentation hydrominérale des plantes du haricot dans ces milieux, ce qui se traduit par une faible production de matière sèche des tiges.

La présence de $NaCl$ dans le milieu, même à faible dose (50 mM), entraîne, après 21 jours de la culture, une baisse de la matière sèche des plantes, (racines et parties aériennes) [195]. La concentration en $NaCl$ qui provoque 50% d'inhibition de la croissance pondérale des plantes est de l'ordre de 75 mM.

Enfin, pour ce qui est de la biomasse sèche des feuilles, les résultats montrent que le témoin (T) a enregistré une valeur maximale de 9.85 g, suivi par les solutions naturelles corrigées (T2C, T1C et T3C).

La biomasse sèche produite par les plantes alimentées par les traitements salins corrigés est due essentiellement à la richesse de ces solutions en macros et en micro-éléments, et ayant un potentiel hydrique (pH) le plus favorable facilitant l'absorption de ces derniers par les plantes du haricot.

Ce résultat confirme le travail de [41], qui ont montré que la correction des eaux salines provoque l'augmentation de la biomasse sèche des feuilles du haricot.

Les résultats révélés par les plantes alimentées par les eaux salines naturelles sont réduits d'environ 80% par rapport au traitement témoin (T).

Selon [198], les ions de sodium et de chlorures peuvent être adsorbés par les racines et s'accumulés dans les feuilles. Dès lors, ces ions peuvent provoquer les brûlures et le jaunissement prématuré des feuilles.

6.1.9 - Biomasse sèche totale [g]:

Les résultats sont présentés dans le tableau 6.7.

Tableau 6.7: Biomasse sèche totale [g]:

T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T
2.36	10.76	1.67	10.82	1.75	9.35	13.08
±	±	±	±	±	±	±
0.25	0.41	0.45	1.34	0.03	0.08	0.86
c	b	c	b	c	b	a

Les résultats obtenus révèlent que les traitements testés ont une influence significative sur la production de la biomasse sèche totale durant le cycle du développement de l'espèce étudiée. Les plantes issues des solutions salines corrigées, donnent la biomasse sèche totale la plus élevée.

Le test de Newman et keuls révèle l'existence de trois groupes homogènes dont le premier groupe (a) représente la solution nutritive standard (T) avec une valeur qui correspond à 13.08 g et qui représente un accroissement de 86% par rapport au deuxième groupe homogène (b) représenté par les traitements salins naturels corrigés (T1C, T2C, T3C).

Le troisième groupe homogène à savoir le groupe (c) représente les traitements (T1, T2 et T3) enregistrent les faibles biomasses sèches totales de la partie aérienne. Ceci peut être expliqué par une conductivité électrique (CE) très élevée, associée à un pH alcalin causent un déséquilibre ionique des traitements d'irrigation des milieux et une mauvaise alimentation hydrominérale suite à une pression osmotique très élevée du milieu extérieur.

[122]; confirme que la salinité des eaux d'irrigation inhibe la croissance des organes de la partie aérienne ce qui se manifeste très visiblement sur l'ossature de ces plantes, et qui se traduit sur un faible taux de la biomasse totale de la plante.

Aussi, les travaux de (BRESSAN, 1984) ont montré qu'en milieu salin la plante doit réguler strictement la pénétration des ions à travers les racines pour empêcher une accumulation trop rapide des ions au niveau aérien ; ceci conduit à une accentuation du déficit hydrique.

6.1.10 - Taux de la matière sèche totale, des feuilles et des tiges:

Les résultats sont présentés dans le tableau 6.8

Tableau 6.8: Taux de la matière sèche des feuilles, des tiges et totale [%].

	T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T
Taux de matière sèche Feuilles	13,00 ± 0.00 b	11.50 ± 0.71 b	12,00 ± 1.41 b	12,00 ± 1.41 b	11.50 ± 0.71 b	10.50 ± 0.71 b	17,00 ± 1.41 a
Taux de matière sèche Tiges	21,00 ± 0.00 a	17.50 ± 0.71 b	19.50 ± 0.71 a	17,00 ± 0.00 b	20.50 ± 0.71 a	15.50 ± 0.71 b	22,00 ± 1.41 a
Taux de matière sèche Totale	15.39 ± 0.71 b	12.51 ± 0.62 bc	14.39 ± 1.36 bc	12.84 ± 1.15 bc	14.23 ± 0.86 bc	11.43 ± 0.48 c	17.97 ± 1.48 a

En ce qui concerne le taux de la matière sèche des feuilles, nous constatons que l'analyse de la variance montre un effet significatif de l'effet traitement sur le taux de la matière sèche des feuilles.

Le test de Newman et keuls au seuil $\alpha = 5\%$, fait ressortir deux groupements homogènes qui nous indiquent que les traitements testés sont approximativement similaires entre les plants irrigués par les solutions salines naturelles et les eaux salines naturelles corrigées.

Les taux de la matière sèche les plus faibles semblent être enregistrés au niveau des plantes alimentées par les traitements salins corrigés. A l'inverse les plantes irriguées par les traitements salins naturels présentent les taux de matière sèche les plus élevées. A ce propos, HOPKINS, (2003) ; note que les concentrations salines élevées provoquent une sécheresse physiologique précoce, ce qui rend de plus en plus difficiles l'absorption d'eau et de nutriments par les plantes stressées et par conséquent le taux de la matière fraîche est proche de celui de la matière sèche.

Les traitements salins corrigés (T1C, T2C, et T3C) sont aussi classés dans le deuxième groupe homogène (b) qui montrent que la correction des solutions salines naturelles améliore l'état hydrique de la plante. En effet, l'élimination plus ou moins équilibrée provoque la diminution du taux de la matière sèche de cet organe.

Il est également important de noter que la présence des ions sodique (Na^+) liés aux chlorures (Cl^-) et aux sulfates (SO_4^{2-}) dans la solution saline que ce soit naturelle (T3) ou corrigée (T3C) diminue le taux de la matière sèche des feuilles.

Pour ce qui est du taux de matière sèche des tiges l'analyse de la variance de la matière sèche des tiges a révélé une différence significative ($p < 0.01$) de l'effet traitement sur le paramètre mesuré.

Le test de Newman et keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir deux groupements homogènes dont les valeurs les plus élevées sont celle issues des plantes irriguées par le témoin (T) et les eaux saline naturelles.

Des résultats similaires ont été rapportés par Hela et al (2007) qui confirment que les deux principales manifestations de la salinité sont la réduction de la taille des plantes et l'apparition des nécroses foliaires aux concentrations plus élevées, signes d'une toxicité par excès d'accumulation du sel dans les feuilles et les tiges ce qui reproche le taux de la matière sèche à celui de la matière fraîche des organes végétaux.

Enfin, pour ce qui est du taux de la matière sèche total, nous avons calculé comme suit :

Ce paramètre est calculé par la règle suivante :

$$\text{La matière sèche totale [\%]} = \frac{\text{Poids sec du plant}}{\text{Poids frais total du plant}} \times 100$$

Tableau 6.9: Matière sèche totale [%]

T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T
15.39	12.51	14.39	12.84	14.23	11.43	17.97
±	±	±	±	±	±	±
0.71	0.62	1.36	1.15	0.86	0.48	1.48
b	bc	bc	bc	bc	c	a

Nous remarquons selon l'analyse de la variance l'existence d'une différence significative entre les différentes moyennes mesurées de la matière sèche totale ce qui met en évidence l'influence des sels au niveau des traitements testés.

En effet, le test de Newman et keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir quatre groupements homogènes. Le groupe (a) est représenté par les moyennes mesurées chez les plantes traitées par la solution nutritive standard (T) avec le taux le plus élevé 17.97%.

Les plantes irriguées par les traitements salins corrigés (T1C, T2C, T3C) présentent un taux de la matière sèche total le moins élevé.

Par contre, les traitements salins naturels (T1, T2, T3) manifestent des taux de matière sèche les plus importants où on peut dire que la biomasse sèche produite est presque égale à celle observée.

Des résultats similaires sont observés par HOPKINS (2003), où il note que les concentrations salines élevées provoquent une sécheresse physiologique précoce ce qui rend de plus en plus difficiles l'absorption d'eau et de nutriments par les plantes stressées.

6.2 Paramètres de rendements

6.2.1 - Nombre de fleurs par plant:

L'estimation de la floraison à été faite tous les trois jours au niveau des plantes traitées, Les valeurs moyennes du nombre de fleurs par plant sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 6.10: Nombre de fleurs par plant :

	T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T
Nombre	13.8	26.6	15,0	29.8	14,0	27,0	29,0
De	±	±	±	±	±	±	±
fleurs	0.07	0.49	0.07	0.13	0.14	0.14	0.64
	b	a	b	a	b	a	a

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative entre les différentes moyennes estimées du paramètre étudié. Le test de Newman et keuls au seuil $\alpha = 5\%$ indique la présence de deux groupements homogènes. La floraison la plus importante est observée au niveau des traitements salins corrigés (T1C, T2C, T3C) et (T), et dont le traitement (T2C) manifeste le nombre de fleurs le plus élevé dans ce premier groupe avec 29.8 fleurs/plant.

Il est à noter que les premières fleurs qui sont apparues étaient observées au niveau des plants alimentés par le traitement T1. On peut noter également que la floraison est importante lorsque l'élément magnésium apporté est lié aux sulfates et l'élément sodium est lié aux chlorures pour former la solution d'irrigation (T2C).

La précocité de la mise à fleurs chez les plantes alimentées par le traitement T1 (solution saline naturelle) est l'une des conséquences de la salinité. Les plantes obtenues par les traitements (T1, T2, T3) faisant face au stress salin 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.

Par contre, les traitements salins naturels (T1, T2 et T3) manifestent des chutes de production de fleurs respectivement de (51.87 %, 50.33 % et 51.85%) par rapport aux traitements salins corrigés (T1C, T2C, T3C).

Ce résultat est similaire à celui trouvé par [78], qui ont montré que le nombre des fleurs diminue avec l'augmentation de la salinité du milieu quelque soit le type de sels testé.

6.2.2 - Taux d'avortement [%] :

Le taux de fleurs avortées est étroitement lié aux conditions climatiques et aux conditions nutritionnelles et physiologiques de la plante. L'estimation de ce facteur a été élaborée sur la base du comptage du nombre de fleurs total et du nombre de gousses par plante, par traitement et par bloc.

Les résultats relatifs aux taux de fleurs avortées par traitement sont présentés dans le tableau ci-dessous

Tableau 6.11: Taux d'avortement [%] :

T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T
65.46	39.36	71.25	42.69	67.27	34.09	34.13

En effet, les plantes irriguées par les traitements salins naturels enregistrent un taux d'avortement le plus élevé, Ce taux élevé chez les plantes alimentées par les traitements T1, T2 et T3 est l'une des conséquences de la salinité. Les plantes alimentées par ces traitements faisant face au stress salin, accélèrent leur cycle biologique ce qui se traduit par un faible taux de floraison et de nouaison accompagné par un taux d'avortement élevé.

A l'inverse les plantes alimentées par les traitements salins corrigés et le témoin (T1C, T2C, T3C) et (T), présentent un taux d'avortement faible, car les milieux présentent un équilibre parfait entre les éléments nutritifs indispensables et surtout l'inhibition des sels nocifs par l'effet d'antagonisme d'autres ions bien choisis.

La variété Djadida a montré une sensibilité vis-à-vis du traitement salin naturel (T2) où le sodium est lié aux chlorures et le magnésium est lié aux sulfates. Ces deux sels affectent la floraison et à cet effet, on enregistre le taux d'avortement le plus élevé (71.25 %). La correction de ce traitement T2 à savoir le (T2C) diminue le taux d'avortement de l'ordre de 40.08%.

Aussi, ce taux d'avortement élevé des fleurs peut aussi être expliqué par les conditions du milieu qui ne sont pas favorables à la pollinisation des fleurs. Ceci peut être lié au facteur de la baisse de la température qui pourrait agir négativement sur le phénomène de pollinisation. Cette observation est similaire à celle notée par [30] ; qui a montré que les températures diurnes supérieures à 30°C sont défavorables à la floraison et à la fécondation. A l'inverse, la chute des températures (inférieure à 15°C) provoque l'avortement de boutons floraux. On a remarqué que la température était faible (la matinée) au moment de la floraison (période du 19/01/2011 au 27/02/2011) donc elle pourrait inhiber le phénomène de la pollinisation.

6.2.2 - Estimation de la production [Kg]:

Les valeurs moyennes du poids total des gousses par traitement sont représentées dans le tableau ci-dessus

Tableau 6.12: Poids total des gousses [Kg] :

T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T
0.349	1.583	0.275	1.587	0.271	1.669	1.896
±	±	±	±	±	±	±
1.17	0.20	1.00	0.14	0.60	0.70	0.24
b	a	b	a	b	a	a

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence hautement significative entre les différentes moyennes calculées du paramètre étudié. Ces résultats montrent que l'effet de la salinité varie de façon très remarquable entre les différents traitements salins.

Le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ indique la présence de deux groupements homogènes. Ce paramètre est plus important au niveau des traitements salins corrigés (T1C, T2C, T3C et le témoin T) qui sont classés dans le même groupe (a) avec une valeur de 1.896 Kg au niveau de T.

Par contre les traitements T1, T2 et T3 manifestent les valeurs les plus faibles. Ceci est dû d'une part, au retard de la fructification causée par le déséquilibre ionique de ces milieux nutritifs et d'autre part, par le taux d'avortement élevé observé au niveau des plants irrigués par ces traitements précités.

Aussi, le faible rendement au niveau des traitements (T1, T2, T3) peut expliquer par le fait que le haricot commun est extrêmement sensible à la salinité et enregistre des pertes de rendement dans des sols de moins de 2 dSm⁻¹ de la salinité [39].

Nos résultats au niveau des traitements corrigés concordent avec ceux de SATTI et al, (1994) ; où ils montrèrent que le nombre de fruit dépend de l'alimentation hydrominérale et notamment de la présence de l'équilibre parfait de K⁺ et de Ca²⁺.

6.2.4. Classification des gousses :

La répartition des Classes de calibre en % du poids total des fruits récoltés est présentée dans le tableau ci après.

Tableau 6.13: Répartition des classes de calibre en (%) et taux d'extrait sec des gousses.

		T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T
TOTAL Classe A > 12 cm	Nbre (%)	24,21	68,01	14,77	61,58	4,39	64	60,47
	Poids (%)	28,8	77,52	19,46	71,62	6,7	73,83	70,53
TOTAL Classe B [6 - 12 cm]	Nbre (%)	75,79	31,99	85,23	38,42	95,61	36	39,53
	Poids (%)	71,2	22,48	80,54	28,38	93,3	26,17	29,47
Extrait sec (%)		7,10	7,51	7,24	7,52	6,78	7,48	7,22

D'après le tableau 6.13, on peut remarquer que les traitements salins naturels affectent négativement la classe (A) des gousses du haricot. On remarque aussi que la présence des deux sels nocifs (NaCl, Na₂SO₄) dans la solution saline naturelle (T3) affectant très négativement la classe (A) et par conséquent les gousses ont pratiquement toute une longueur comprise entre 6 et 12 cm c'est-à-dire classe (B).

En revanche, les solutions salines corrigées et le témoin (T1C, T2C, T3C et T) ont permis la formation de gousses ayant la classe A >12 cm. Aussi, on peut noter une légère augmentation de la longueur des gousses chez les plantes irriguées par la solution (T1C), et ce lorsque le magnésium apporté est lié aux chlorures et au sodium est lié aux sulfates.

Des observations similaires ont été notées par [136] et [137] où ils rapportèrent que la taille des fruits diminue avec la salinité car l'accumulation de matière sèche dans les fruits est réduite.

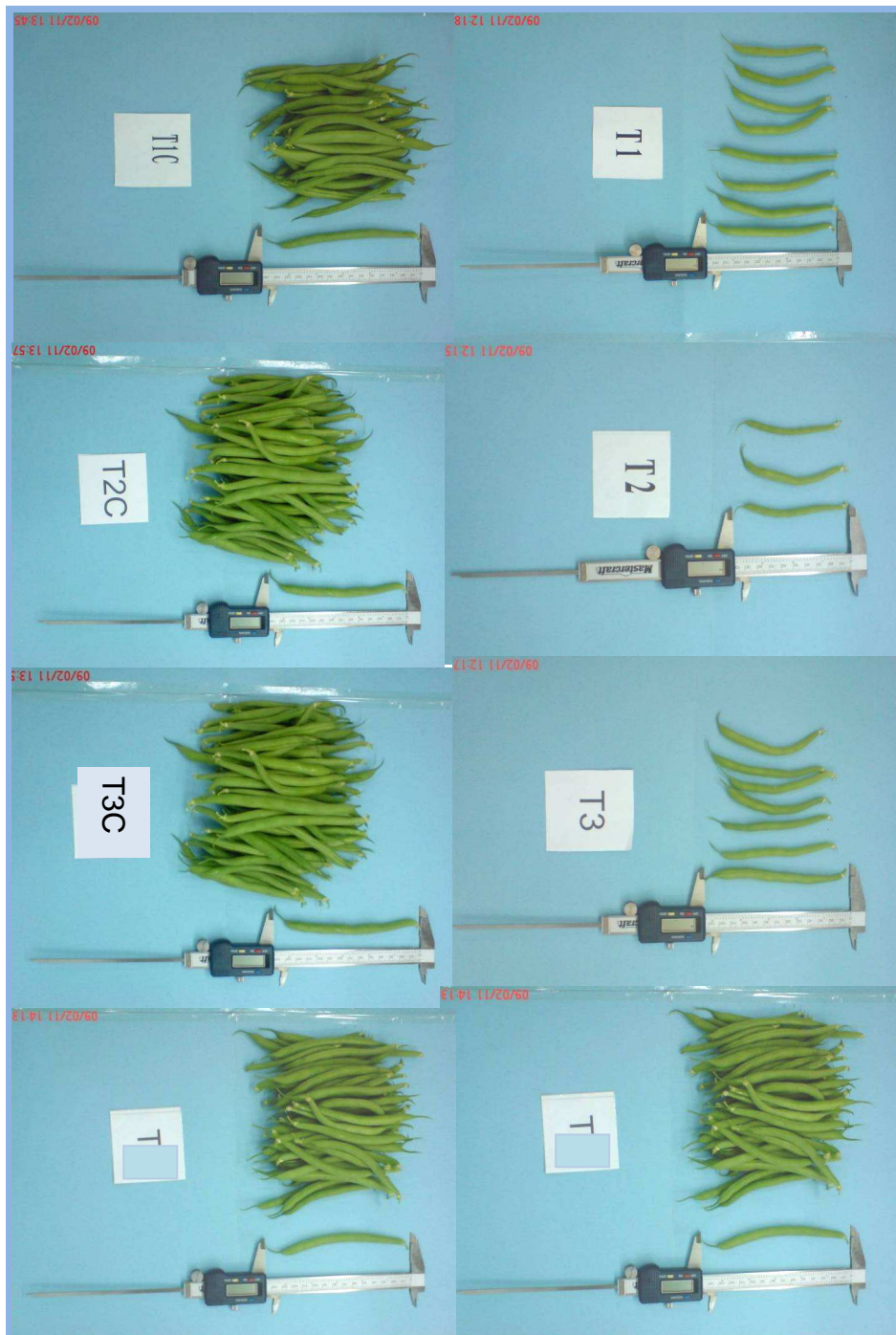


Figure 6.5 : Aspect général des gousses récoltées à partir des plants irrigués par les différents traitements.

6.3 - Estimation du bilan d'absorption hydrominérale [%]:

Les résultats relatifs au taux d'absorption hydrominérale sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 6.14: Taux d'absorption hydrominérale (%):

T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T
17.84	91.71	28.01	93.27	18.05	66.81	98.77
±	±	±	±	±	±	±
4.36	12.37	6.29	0.9	4.41	18.40	1.66
c	b	c	b	c	b	a

L'analyse de la variance a révélé une différence hautement significative entre les traitements vis à vis du paramètre étudié. En effet, le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir trois groupes homogènes qui sont dominés par le traitement standard (T) avec une valeur de (98.77%), suivi par les traitements salins corrigés (T2C, T1C et T3C) qui sont classés dans le deuxième groupe homogène (b).

Comparativement aux traitements salins corrigés, les traitements salins naturels ont enregistré les taux d'absorptions les plus faibles en raison du déséquilibre ionique des milieux et de la basicité du milieu provoquent de l'antagonisme entre les éléments présents dans le milieu nutritif et de l'absence de macro et de micro éléments nutritifs utiles aux plantes.

La teneur élevée en sel dans les traitements (T1, T2, T3) abaisse le potentiel hydrique des racines, et ceci cause rapidement des réductions du taux de la croissance, avec une suite des changements métaboliques identiques à ceux provoqués par le stress hydrique [117].

Il est à noter que les pH et les CE des solutions de drainage sont plus élevés par rapport aux solutions mères. Ceci peut être expliqué par l'accumulation des sels non absorbés et qui sont lessivés avec la solution nutritive excédentaire non retenue par le substrat et le chevelu racinaire des plantes.

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 se traduit par un gradient du potentiel hydrique négatif, la turgescence s'annule et les feuilles se fanent) [193].

Aussi, les travaux de [188] et [198], ajoutent que l'irrigation avec les eaux salines réduit la faculté des racines des plantes à tirer de l'eau du sol. Avec l'évaporation de l'eau, les sels de la solution du sol peuvent se concentrer autour de 2 à 5 fois leur valeur initiale. Ceci cause une augmentation de la pression osmotique de la solution du sol et rend encore plus difficile pour les racines l'extraction de l'eau du sol. C'est ce qu'on appelle une sécheresse physiologique. L'alimentation en eau du végétal devient impossible et les diverses fonctions physiologiques étant alors bloquées, le végétal s'arrête de croître et flétrit.

A l'inverse, les plantes alimentées par les solutions salines corrigées (T1C, T2C et T3C) présentent une absorption hydrominérale élevée, ceci en raison de l'équilibre ionique parfait et les quantités adéquates en éléments nutritifs ainsi que le pH favorable à l'absorption à savoir 5.5 - 5.8.

L'effet du (Mg) lié aux sulfates de la solution saline naturelle T2 et de la solution saline corrigée T2C améliore l'absorption hydrominérale. Cette combinaison nutritionnelle est moins nocive que celle du (Mg) lié aux chlorures.

Dans une étude effectuée sur plusieurs espèces sur le genre *Phaseolus*, la salinité a un effet significatif sur la concentration des tissus en Na^+ , K^+ , Ca^{2+} et Cl^- et sur leur vitesse d'absorption. En plus de l'effet toxique des concentrations élevées en Na^+ et Cl^- dans les tissus végétaux, les changements qui se passent dans les conditions de salinité de l'absorption de nutriments semblent contribuer dans la réduction de la croissance [152].

6.4 - Paramètres de la qualité :

6.4.1 Teneur en sucres totaux dans les gousses [%] :

Les teneurs moyennes en sucres totaux au niveau des gousses indiquées trouvées sont mentionnées dans le tableau suivant :

Tableau 6.15 : Teneur en sucres totaux (%)

T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T
4.5	4.87	4.67	5.07	4.17	4.94	4.67
±	±	±	±	±	±	±
0.14	0.0	0.09	0.05	0.14	0.19	0.47
ab	ab	ab	a	b	ab	b

L'analyse de la variance à un critère de classification montre qu'il y a une différence hautement significative entre les différentes moyennes mesurées de la teneur en sucres totaux dans les gousses de la variété Djadida. Le test de Newman et keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir trois groupes homogènes.

Les gousses récoltées à partir des plantes traitées par les solutions salines corrigées (T2C, T3C et T1C) ont permis d'améliorer la teneur en sucres totaux au niveau des gousses et ce par rapport aux mêmes eaux salines naturelles. Cette amélioration de la teneur en sucres totaux des fruits est due selon BALIBREA et al, (1997) ; à une baisse d'utilisation des sucres pour la croissance, et donc dépend de l'aptitude de la plante à croître dans un milieu salin.

Concernant le taux du sucre dans les gousses de haricot traités par les solutions salines naturelles, on constate une baisse du taux compte tenu que ces plantes produisent des gousses petites taille d'une part et un déséquilibre ionique des milieux nutritifs d'autre part.

Dans ce contexte, HOPKINS (2003) montre que l'excès du sel peut provoquer des problèmes au niveau membranaire, des inhibitions enzymatiques ou un dysfonctionnement métabolique général d'où une photosynthèse réduite induisant une réduction de la synthèse glucidique.

Les sucres solubles contribuent jusqu'à 50% de l'ajustement osmotique chez les glycophytes en conditions salines. Les sucres solubles accumulés sous stress sont considérés comme des osmo-régulateurs et des osmo-protecteurs HOUSNA, (1998).

Plusieurs fonctions de protection ont été identifiées, parmi lesquelles la stabilisation des membranes et des protéines en cas de déshydratations et la

limitation de l'agrégation des protéines dénaturées. L'accumulation des sucres solubles en réponse à la salinité se fait en dépit de la diminution de la fixation du CO₂ des feuilles MURAKEOZY, (2003).

6.5 - Paramètres physiologiques

6.5.1 - Quantité des sucres solubles dans les feuilles [$\mu\text{g/g MF}$]:

Les moyennes révélées sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 6.16 : Teneur en sucres solubles dans les feuilles.

T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T
0.41	0.45	0.57	0.62	0.30	0.41	0.46
\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm
0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.16	0.04
bc	bc	b	a	c	bc	bc

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative entre les différentes quantités de sucres solubles dans les feuilles mesurées de la variété Djadida. Le test de Newman et keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir quatre groupes homogènes.

L'irrigation des plantes par la solution saline corrigée (T2C) manifeste le taux de sucres solubles le plus élevé avec 0.62 $\mu\text{g/g MF}$. Les traitements T1C et T3C présentent une amélioration du paramètre mesuré par rapport aux mêmes solutions naturelles. Ces constatations mettent en évidence l'existence d'une corrélation positive entre la quantité des sucres solubles produit au niveau des feuilles et la correction des eaux salines.

Les travaux de Ben Khaled et al (2003) confirment ces résultats en notant que le contenu foliaire en sucres solubles est significatif lorsque la salinité des eaux d'irrigation devient très importante.

En ce qui concerne le traitement salin naturel (T3), l'accumulation des sucres solubles dans les tissus foliaires est classé dans le dernier groupe homogène (c) avec une valeur qui ne dépasse pas les 0.30 $\mu\text{g/g MF}$. Ceci peut être expliqué par une faible activité photosynthétique qui nécessite une grande quantité d'énergie sous forme d'ATP.

6.5.2 - Quantité de la chlorophylle (A) [$\mu\text{g/g MF}$]:

Les résultats obtenus sont classés dans le tableau suivant :

Tableau 6.17 : Quantité de la chlorophylle (A) [$\mu\text{g/g MF}$]:

T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T
0.22	0.26	0.17	0.27	0.16	0.25	0.27
\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm
0.09	0.01	0.01	0.07	0.01	0.06	0.08
b	b	b	b	b	b	a

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence hautement significative de l'effet du traitement sur la quantité de la chlorophylle (A). Le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir deux groupes homogènes. Les plantes traitées par la solution nutritive standard (T) représentent le groupe dominant avec une valeur de (0.27 $\mu\text{g/g MF}$). Les autres traitements corrigés (T1C, T2C et T3C) synthétisent la plus grande quantité de la fluorescence chlorophyllienne (A) par rapport aux mêmes traitements salins naturels. Ces résultats obtenus sont justifiés par une meilleure alimentation hydrominérale suite à la correction des eaux salines naturelles qui se manifeste par une production importante de masse foliaire.

Les traitements salins naturels (T1, T2 et T3) produisent des quantités de chlorophylle (A) de 0.22, 0.17 et 0.16 $\mu\text{g/g MF}$ respectivement, correspondant à des diminutions de 30.55 %, 21.61 % et 22.22 % par rapport au traitement standard (T). Ceci est lié à l'effet de sels qui limite la croissance et la productivité foliaire. Pendant le stress salin, le métabolisme de la plante à savoir tous les processus majeurs tels que : la photosynthèse, la synthèse des protéines, le métabolisme énergétique... sont affectés.

Les travaux de (Agastian et al, 2000) ont montré que le taux de la chlorophylle (A) des feuilles diminue en général sous les conditions de stress salin et les feuilles les plus âgées commencent à développer une chlorose et finissent par tomber pendant une période prolongée du stress salin.

Au niveau des traitements salins naturels, la quantité de chlorophylle (A) est la plus faible. Des travaux similaires de [108] ont montré que la diminution de la vitesse photosynthétique est due à plusieurs facteurs :

- ✓ La déshydratation des membranes cellulaires qui réduit leur perméabilité au CO₂ ;
- ✓ La toxicité du sel ;
- ✓ La réduction de l'approvisionnement en CO₂ à cause de la fermeture hydroactive des stomates ;
- ✓ La sénescence accrue induite par la salinité ;
- ✓ Le changement dans l'activité des enzymes causée par le changement dans la structure cytoplasmique.

6.5.3 - Quantité de la chlorophylle (B) [µg/g MF]:

Les résultats obtenus sont classés dans le tableau suivant :

Tableau 6.18 : Quantité de la chlorophylle (B) en [µg/g MF]

T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T
0.06	0.24	0.10	0.31	0.08	0.23	0.27
±	±	±	±	±	±	±
0.04	0.03	0.05	0.09	0.08	0.10	0.07
b	b	b	a	b	a	a

L'analyse de la variance à un critère de classification montre qu'il y a une différence hautement significative entre les différentes moyennes mesurées concernant la quantité du chlorophylle (B) dans les feuilles médianes de la variété Djadida en présence du stress salin. Le test de Newman et keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir deux groupes homogènes.

Les résultats présentés dans le tableau (6-18) sont similaires à ceux trouvés pour le facteur précédent (quantité de la chlorophylle (A)). Ce sont toujours les plantes traitées par la solution nutritive standard (T) et les solutions salines corrigées (T1C, T2C et T3C) qui synthétisent la plus grande quantité de la chlorophylle (B).

Grace aux équilibres ioniques et à la richesse de ces solutions d'irrigations en éléments minéraux (notamment l'azote qui donnent un aspect verdâtres aux plantes),

Par contre, au niveau des traitements salins naturels (T1, T2 et T3), on remarque que les quantités de chlorophylle (B) sont faibles. Ceci peut être expliqué par l'oxydation des pigments chlorophylliens à cause de la salinité des eaux d'irrigation.

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.

6.5.4 - Quantité du proline dans la plante [$\mu\text{g/g}$ MF]:

Les résultats du dosage de la proline dans les différentes parties de la plante sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 6.19 : Teneur en proline dans les différentes parties de la plante [$\mu\text{g/g}$ MF].

	T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T
Racines	0.05 ± 0.04 b	0.09 ± 0.01 ab	0.05 ± 0.02 b	0.13 ± 0.01 a	0.04 ± 0.00 b	0.07 ± 0.00 ab	0.08 ± 0.00 ab
Tiges	0.07 ± 0.03 b	0.35 ± 0.12 a	0.10 ± 0.01 b	0.23 ± 0.01 ab	0.10 ± 0.02 b	0.19 ± 0.07 ab	0.05 ± 0.01 b
Feuilles basales	0.10 ± 0.01 c	0.22 ± 0.00 c	0.08 ± 0.01 d	0.15 ± 0.00 a	0.16 ± 0.00 e	0.26 ± 0.00 b	0.07 ± 0.00 d
Feuilles médianes	0.05 ± 0.01 b	0.12 ± 0.00 b	0.06 ± 0.00 b	0.13 ± 0.00 b	0.05 ± 0.01 b	0.50 ± 0.10 a	0.08 ± 0.00 b
Feuilles apicales	0.06 ± 0.00 b	0.10 ± 0.02 ab	0.05 ± 0.00 b	0.14 ± 0.04 ab	0.08 ± 0.01 b	0.18 ± 0.05 a	0.05 ± 0.01 b

Pour adapter l'équilibre ionique dans la vacuole, le cytoplasme accumule des composés de petite masse moléculaire nommés solutés compatibles parce qu'ils n'interfèrent pas avec les réactions normales biochimiques (Parida et Das, 2005) en revanche, il remplace l'eau dans les réactions chimiques. Ces solutés compatibles comprennent principalement la proline, la glycine bêtaïne, les sucres et les polyols [138].

La proline agit en deux manières qui sont difficiles à séparer : l'ajustement osmotique et l'osmoprotection. Dans l'ajustement osmotique, ils agissent comme des osmolytes pour faciliter la rétention de l'eau dans le cytoplasme et permettant la séquestration du NaCl dans la vacuole ou l'apoplaste. Les osmolytes protègent la structure cellulaire en interagissant avec les membranes, les complexes protéiques ou les enzymes. Ces composés ont des caractéristiques de liaisons d'hydrogène qui leurs permettent de protéger des macromolécules des effets néfastes de l'augmentation de la force ionique dans les milieux avoisinants.

L'analyse de la variance montre l'existence d'une action significative de l'effet du traitement sur la production de la proline synthétisée par les plantes et ce quelque soit l'organe végétal testé (tiges, racines et feuilles) de la plante.

Les données du tableau (6.19), montrent d'une manière globale que l'augmentation de la teneur en proline s'élève dans tous les organes de la plante en fonction de l'augmentation de la salinité. Aussi, on remarque que cet osmoprotecteur migre vers les tissus foliaires de manière progressive notamment en milieu salin.

Cet acide aminé s'accumule de préférence dans les tiges pour les traitements (T1C, T2C). On note également que les feuilles médianes sont plus riches en proline que les feuilles basales et apicales au niveau du traitement salin corrigé T3C, et ce par rapport aux plantes alimentées par les solutions salines corrigées T1C et T2C et le témoin T.

Il a été précédemment constaté que les plantes irriguées par les solutions salines corrigées (T1C, T2C et T3C) poussent mieux que les plantes irriguées par les traitements salins naturels et produisent plus de proline. La correction de l'eau saline naturelle améliore considérablement l'absorption hydrominérale des plantes ce qui montre bien que le milieu nutritif est convenable pour la plante. Cependant ces traitements salins corrigés (T1C, T2C et T3C) présentent une concentration en sel plus forte que les traitements salins naturels (T1, T2 et T3), par conséquent, l'osmolarité externe est donc plus forte, ce qui nécessite un réajustement de l'osmolarité interne se traduisant par une production accrue de la proline.

En revanche, les plantes alimentées par les traitements salins naturels (T1, T2, et T3) accumulent moins de la proline dans toutes les parties du végétal par rapport aux plantes alimentées par les eaux salines corrigées. Ceci est dû au fait que les milieux sont chargés en sels qui crée un déséquilibre du potentiel osmotique extérieur qui sera plus fort. Le stress osmotique perçu chez les plantes arrosées par les eaux salines naturelles induit une réponse de défense qui se traduit par la production de proline pour ajuster l'osmolarité interne mais qui reste inférieure à celle produite dans les plantes alimentées par le traitement témoin T.

Les travaux d'El Midaoui et al (2007) ont mis en évidence que l'un des principaux caractères physiologiques de tolérance aux contraintes du milieu est l'ajustement osmotique. Celui-ci est réalisé grâce à une accumulation de composés osmo-régulateurs conduisant à une réduction du potentiel osmotique permettant ainsi le maintien du potentiel de turgescence.

Nous constatons également que l'accumulation du composé azoté dans les tiges est plus élevée que dans les feuilles basales au niveau de (T1C, T2C). A l'inverse, le traitement (T3C) accumule une quantité de la proline la plus élevée au niveau des feuilles médianes.

La correction des eaux salines naturelles permet aux plantes du haricot d'absorber l'eau et les éléments nutritifs contenant dans les milieux correspondants ce qui entraîne une accumulation des sels dans les racines en premier lieu. Cette accumulation de sels déclenche une activité biochimique pour réduire l'effet nocif des sels sur les tissus radiculaires et ce par la production de molécules caractéristiques du stress à savoir la proline ; ce qui explique la quantité importante de cet osmo-régulateur dans les racines des plantes irriguées par les traitements salins corrigés.

Il est à noter qu'au niveau des tiges et des feuilles, la teneur en proline la plus élevée est enregistrée chez les plantes alimentées par les traitements salins corrigés (T1C, T2C et T3C). Des résultats similaires ont été trouvés par Djerroudi (2009), où il indique que, l'augmentation de la teneur en proline dans tous les organes de la plante est en fonction de l'augmentation de la salinité, et que les tiges et les feuilles sont plus riches en proline que les autres organes.

6.6 Discussion

Le présent travail a été réalisé dans le but de déterminer la combinaison des sels la plus nocive à savoir (Na_2SO_4 , NaCl , MgSO_4 , MgCl_2) sur la croissance et le développement du haricot variété Djadida cultivée en hors-sol et l'irrigation par sept traitements dont (trois eaux salines naturelles, trois eaux salines corrigées et un standard).

L'essai expérimental effectué a démontré des modifications tant sur le plan de la croissance que sur le plan du développement des plantes du haricot. L'irrigation avec les traitements salins naturels conduit à l'augmentation de la salinité dans le milieu racinaire. Le déséquilibre ionique accentue l'effet de la salinité au niveau des traitements salins naturels T1, T2 et T3 ce qui limite la croissance des plantes du haricot, et réduit en conséquence, les consommations hydriques et minérales qui sont en relation avec l'évapotranspiration et les stades physiologiques des plants. Par contre, la concentration élevée de sels en milieux salés corrigés et équilibrés favorise le développement végétatif des plantes de la variété étudiée notamment lorsque le magnésium est lié aux sulfates ce qui a stimulé l'absorption hydrominérale des plantes.

L'application des traitements salins naturels T1, T2, T3 ont eu le même effet, à savoir le retard de la floraison et de la nouaison de la variété. Par contre, la correction de ces solutions salines, à savoir T1C, T2C, T3C a permis en revanche un gain de précocité qui assure à la variété étudiée la réalisation de son cycle de développement et d'échapper à l'effet néfaste de la salinité. De plus, la production des gousses est améliorée, car une floraison tardive peut augmenter le taux d'avortement des fleurs.

Il a été observé que le déséquilibre ionique au niveau des traitements salins naturels T1, T2 et T3 affecte négativement la croissance du haricot, plus particulièrement en réduisant la hauteur des plantes, le taux de floraison ainsi que le taux d'absorption hydrominérale à cause des troubles physiologiques et en réponse à la toxicité des sels. L'abaissement de la matière sèche observée au niveau des

traitements salins naturels T1, T2, T3 est dû essentiellement à la réduction de l'indice foliaire en raison de la chute précoce des feuilles comme l'a indiqué LEVIGNERON et al. (1995).

A l'inverse, les traitements salins corrigés T1C, T2C, T3C manifestent une augmentation significative des paramètres de croissance précités, suivie par une production de matière sèche plus importante au niveau de la partie aérienne, en raison d'une adsorption hydrominérale parfaite et convenable. Aussi, il a été noté également qu'au niveau des traitements salins naturels un faible développement racinaire, ce qui a entraîné une chute du rendement en fruits. Des observations similaires ont été faites par CHI HAN et al. (1995).

Il semble que la forme sulfate liée au magnésium est moins nocive pour la plupart de ces paramètres de croissance et technologique que la forme chlorure, à l'exception du diamètre des tiges de la biomasse fraîche et sèche totale qui sont restés sans effet marqué. Les chlorures augmentent plus la pression osmotique et peuvent interférer surtout avec les nitrates, ce qui inhibe la croissance végétative. OHTA et al. (1990) ont constaté le même effet avec le cas du potassium lorsqu'il se trouve lié aux sulfates ou aux chlorures.

L'analyse des principales composantes du rendement a montré que le déséquilibre ionique des traitements salins naturels réduit significativement le nombre et le poids moyen des fruits ainsi que la longueur chez le haricot. Les mêmes résultats sont rapportés par BALIBREA et al. (1997).

La production des gousses a augmenté au niveau des traitements salins corrigés par rapport aux traitements salins naturels chez le haricot, mais elle reste assez faible par rapport à celle du témoin. En effet, le nombre de gousses par plant a augmenté, mais pas leur classe (longueur). Ainsi le poids des gousses reste faible, en raison d'une concentration élevée en sels qui a stimulé la croissance végétative aérienne au détriment de la production en gousses, notamment lorsque le magnésium est lié aux sulfates puisqu'il enregistre le taux élevé d'avortement. T2

On peut aussi expliquer la production la plus élevée en gousses observée au niveau du traitement T1 (lorsque le magnésium apporté est lié aux chlorures), par une meilleure adaptation des plantes du haricot aux conditions salines.

La composition chimique et les caractéristiques morphologiques des gousses sont remarquablement modifiées par les différents traitements. Les teneurs en matière sèche, en sucres totaux, et en sucre soluble sont significativement augmentées au niveau des traitements salins corrigés T1C, T2C, T3C par rapport aux traitements salins naturels.

Le traitement comportant le magnésium lié aux sulfates T2 contribue aussi à une qualité supérieure des gousses, et légèrement plus riche en matières sèches et ce comparativement à la forme de magnésium liée aux chlorures au niveau du traitement T1. Une mauvaise alimentation hydrominérale des plantes de haricot au niveau des traitements salins naturels T1, T2, T3 s'est traduite par une qualité médiocre des gousses.

La répartition de la proline dans les différentes parties de la plante est utilisée pour expliquer la tolérance des végétaux aux sels. Le haricot pouvant survivre à certains seuils de salinité a une aptitude supérieure à accumuler une certaine quantité de proline dans les tiges et leurs tissus foliaires (SATTI et al, 1994).

Selon les résultats du dosage de la proline, il apparaît que la variété de haricot répond globalement de manière différente aux traitements testés.

La teneur en proline est beaucoup plus importante au niveau des traitements salins corrigés dans les différents organes analysés, néanmoins les racines manifestent une faible dose de proline que les parties aériennes. Le même résultat est souligné par (BOUZID, 2010).

Aussi ; nous remarquons que la teneur en proline et en sucres solubles, est importante uniquement au niveau des feuilles et des tiges sous l'effet de la salinité, ce qui confirme sa forte mobilité à l'intérieur de la plante.

Toutefois, on note que la quantité de sucres solubles accumulée au niveau des feuilles est bien loin de la teneur critique trouvée par BOUZID, (2010) ; mais son rôle dans l'osmorégulation reste important.

La proline et les sucres solubles se sont significativement accumulés dans les tiges et les feuilles basales sous l'effet de la concentration élevée en sel dans les solutions salines naturelles.

La teneur en sucre solubles au niveau des feuilles est augmentée avec la plupart des traitements salins, notamment au niveau de traitement (T2) lorsque les ions sodiques sont liés aux chlorures et le magnésium est lié aux sulfates.

Lorsque le magnésium est lié aux chlorures T1, il semble augmenter les teneurs en chlorophylle A, mais pas celle de la chlorophylle B où le magnésium est lié aux sulfates. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par MITCHELL et al. (1991) et SATTI et al. (1996) qui ont noté que l'augmentation de la teneur totale en chlorophylle dans les feuilles est sous l'effet de la salinité.

L'effet de la salinité sur la croissance des plantes a été mis en évidence par plusieurs travaux qui expliquent que le blocage de la croissance est due à l'inhibition de la photosynthèse au niveau des chloroplastes en particulier par l'accumulation du sodium et des chlorures au niveau des jeunes feuilles qui limitent le mouvement des stomates et de la photosynthèse et ce sur différentes cultures (poivron, tomate, concombre, haricot).

La correction de ces solutions salines naturelles a conduit à une augmentation significative de la croissance des plantes et ce au niveau de tous les paramètres étudiés. Cette augmentation est aussi remarquable sur le plan de développement à travers le nombre et le poids des fruits produits.

Cette amélioration s'explique par l'équilibre ionique parfait des milieux nutritifs et par l'apport d'oligo-éléments indispensables à la croissance et au développement des plantes.

La différence remarquable au niveau des paramètres mesurés pour les traitements salins naturels et les traitements salins corrigés correspond bien à des troubles physiologiques qui se traduisent par des diminutions ou chutes des paramètres agro physiologiques étudiés. La correction des eaux salines naturelles améliore significativement les paramètres étudiés.

L'inhibition du transport du magnésium (Mg), à partir de la racine vers les feuilles stoppe la formation de la chlorophylle (A et B) et donc de la photosynthèse. Il ya apparition de tâches vertes claires sur les feuilles basales suivi d'un changement de l'aspect des feuilles. L'accumulation des sels dans les milieux salins naturels T1, T2 et T3 entraîne une toxicité partielle vis à vis des plantes en début de culture. Au

fur et à mesure de développement végétatif, on remarque plus ou moins une adaptation des plantes à ces milieux de culture, néanmoins, elles finissent par se dessécher.

Les diminutions des paramètres de croissance et de production sont en relation directe avec la concentration des sels dans les solutions naturelles. En effet, les plantes de haricot irriguées par les solutions salines naturelles T1 et T3 semblent présenter des paramètres de croissance et de production mesurés plus élevés que ceux des plantes irriguées par le milieu T2, là où l'ion sodium (Na) est lié aux (SO_4^{-2}) et le (Mg) est lié aux chlorures (Cl^-).

L'addition d'éléments nutritifs majeurs et mineurs aux eaux salines naturelles à conduit à un accroissement significatif de la croissance des plantes de haricot.

En effet la variété Djadida, présente un indice de sensibilité à la salinité. La correction des eaux salines naturelles modifie le schéma morphogénétique des plantes, puisque le nombre de feuilles issues des plantes cultivées avec les solutions salines corrigées est statistiquement différent de celui des plantes alimentées par les traitements salines naturelles.

Le taux d'avortement pour le haricot est de 65.46 % (T1) ; 71.25 % dans le traitement (T2), 67.27 % dans le traitement (T3).

La salinité du milieu naturelle agit sur la croissance des plantes en diminuant la biomasse totale en faisant tomber les feuilles qui atteignent le seuil d'accumulation toxique de Na^+ . Cette toxicité est observée au niveau des plantes des traitements naturels (T1, T2 et T3) et peut être associée à la présence de sels tels que le Na_2SO_4 , NaCl , MgSO_4 , Mg Cl_2 à des concentrations très élevée. La concentration saline accélère la sénescence en réduisant ainsi la durée de vie des feuilles. Un nouvel ajustement de l'offre minérale à la demande réelle de la plante devait permettre encore d'accroître significativement d'une part le nombre de gousses par plante, et d'autre part la production totale des gousses récoltées. La comparaison des productions obtenues en milieu salin corrigé révèle que la production de haricot est améliorée de 58.96% par rapport aux eaux salines naturelles.

Comme le révèlent les résultats d'une part des analyses chimiques concernant la qualité organoleptique du haricot et d'autre part des caractéristiques

morphologiques des gousses, la correction des traitements salins naturels fait varier significativement la composition chimique du haricot et dans une moindre mesure les caractéristiques morphologiques des gousses. Nous avons vérifié que les gousses de haricot cultivé dans les eaux salines corrigées présentent une quantité de matière sèche plus élevée que les traitements produits en eaux salines naturelles. A l'inverse, le haricot produit au niveau des traitements salins naturels des gousses contenant plus de sucres totaux que celles produites avec les solutions salines corrigées à l'exception du traitement T3.

Concernant les caractéristiques morphologiques des gousses de haricot mesurées au cours de cet essai, on peut dire qu'elles constituent un indicateur d'amélioration du fonctionnement hydrique et photosynthétique en réponse à la correction des eaux salines

Aussi ; la correction des eaux salines joue au maximum en accroissant de façon très significative, l'extrait sec, ainsi que le taux de sucres la longueur des gousses.

CONCLUSION

Notre travail avait pour objectif la valorisation et la gestion des eaux non conventionnelles en agriculture. Pour cela, nous avons étudié les effets de sept traitements sur la croissance et le développement de la variété « Djadida » du haricot (*Phaseolus vulgaris*), cultivée en hors sol.

Les solutions salines corrigées montrent un effet bénéfique sur les paramètres précédemment signalés et ce durant tous les stades du développement étudiés. En effet, nous avons obtenu des plantes vigoureuses avec un nombre de feuilles élevé, et un chevelu racinaire développé, une production importante, des gousses sucrées et une absorption hydrominérale optimale. Ceci, nous a permis de conclure que la correction des eaux salines joue un rôle prépondérant sur la conduite des plantes du haricot, tout en limitant les dommages provoqués par les sels nocifs en cours de culture.

La combinaison chlorure-magnésium apportée au niveau du traitement T1 ralentie la croissance végétative des plantes comparée à la combinaison magnésium-sulfates apportée et ce en raison de l'augmentation de la pression osmotique et de l'effet inhibiteur des chlorures.

La teneur en potassium, même assez faible, suffit à assurer les besoins de croissance des plantes. La combinaison Mg So₄ participe à une meilleure résistance du haricot aux conditions salines du faite qu'elle maintient l'accumulation du potassium au niveau des feuilles, et favorise l'inclusion des ions en excès dans les tiges, notamment le sodium et le magnésium.

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 à la salinité.

Les traitements salins naturels ont une action directe sur le taux de la chlorophylle. Par ailleurs, il faut signaler que la teneur en chlorophylle (A et B) est plus sensible à l'effet du stress salin et de ce fait leurs teneurs sont moindres.

La réponse du végétal face à un stress salin se manifeste par le déclenchement du métabolisme secondaire et par la synthèse des osmo-régulateurs tel que la proline qui agit directement sur le l'équilibre osmotique qui assure la vie du végétal.

Les teneurs en matière sèche, en sucres totaux, sucres solubles, sont significativement augmentés au niveau des traitements salins corrigés par rapport aux traitements salins naturels, qui représentent une accumulation accrue des ions au niveau des tissus et une diminution de la biomasse fraîche. Cet effet sur la qualité des gousses est plus notable chez le haricot. Aussi, la qualité des gousses est très dépréciée au niveau des traitements salins naturels, en raison d'une mauvaise alimentation hydrominérale. La combinaison magnésium sulfates contribue aussi à une qualité supérieure des gousses en formant des gousses plus longues, plus riches en sucres totaux, et même légèrement plus riches en matières sèches comparée à la combinaison magnésium-chlorures.

La teneur en proline, même assez faible, suffit d'assurer le réajustement de l'équilibre ionique. La combinaison magnésium-sulfates participe à une meilleure résistance du haricot aux conditions salines du fait qu'elle favorise l'inclusion des ions en excès dans les tiges et les feuilles basales, notamment le sodium et le magnésium Djerroudi (2009).

Enfin, ces résultats seront d'un apport important pour participer à une meilleure conduite de la culture du haricot dans les zones arides où la qualité des eaux fournie 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

- [1] - DORE, C et VAROQUAUX, F., « Histoires et amélioration de cinquante plantes cultivées », Ed INRA, Paris, 2006.
- [2] - HEKIMIAN et al, (2002). « Cultures légumières », Ed J.B234p.
- [3] - CHAUX, C., « Production légumières », Ed J.B Baillière, 1972, 414p.
- [4] - Kolev, N., “ Les cultures maraîchères en Algérie ”, Tome I, “légumes fruits”, I.T.C.M.I. Staouili, (1976), 6-33.
- [5] - PERON, J.Y. 2006, « Référence, productions légumières », 2eme édition, Ed Lavoisier, 613 p.
- [6] - LAUMONIER, R., « Cultures légumières et maraîchères », Tome III, Ed J.B Baillière, Paris, 1979, 1276p
- [7] - PESSON et LOUVEAUX., Pollinisation et production végétale. INRA, Paris 1984, pp261-262.
- [8]- DORE, C et VAROQUAUX, F., « Histoires et amélioration de cinquante plantes cultivées », Ed INRA, Paris, 2006.
- [9] - SALONTAI et MUNTEAN., Cours de phytotechnie, Tipo - agronomia Cluz Napoka 1982, pp-264-282.
- [10] - HEKIMIAN LETHEVE C, CABURET A. et FOLLIN J.C. Agriculture spéciale. Les plantes à autres usages : les plantes médicinales, cosmétiques, à parfum et à huiles. 2002. In : *Mémento de l'agronome*. Montpellier : CIRAD, p. 1203-1222
- [11] - GOUST, J., « Le haricot, L'encyclopédie du potager, Actes Sud, 2003.
- [12] - ORIA. 1969, « Biologie » Ed Hatier, Paris, 191p.
- [13] - CHAUX, C et FOURY, C. « Production légumières: Légumineuses potagères, Légumes fruits », Tome 3 , Ed Tec et Doc, Lavoisier, 1994, 563p.
- [14] - BEZPALY., Les plantes cultivées en Afrique occidentale .Ed. MIR. Moscou. 1984, 104P.

- [15] –CABURET et LETHÈVE, Agriculture spéciale. Les plantes à autres usages : les plantes médicinales, cosmétiques, à parfum et à huiles. 2002.. Montpellier : CIRAD, p. 1203-1222.
- [16] - CHAUX, C., « Production légumière », Ed J.B Baillière, 1972, 414p.
- [17] - VOINEA et MAIER, 1976., Les cultures légumières. Edition CERES, Bucaresti. 1976, pp : 115-129.
- [18] - BEZPALY., Les plantes cultivées en Afrique occidentale .Ed. MIR. Moscou, 1984. 104P
- [19] - MESSIAEN C N., Le potager tropical. Ed. Techniques vivantes, 1989. pp341-343.
- [20] - Kolev, N., “ Les cultures maraichères en Algérie ”, Tome I, “légumes fruits”, I.T.C.M.I. Staouili, (1976), 6-33.
- [21] - INDRIA et al., Guide pratique pour les cultures légumières, Cluj et Napoca 1988, pp:55-58.
- [22] - MESSIAEN, 1975., Le potager tropical 2.Cultures spéciales, pp:300-316.
- [23] - SALONTAI et MUNTEAN, (1982)., Cours de phytotechnie, Tipo - agronomia Cluz Napoka pp-264-282.
- [24] - Guide de fertilisation des cultures maraichères en Algérie. I. T. C.M.I Staoueli, (1989). 39P.
- [25] - Foury F, Roganti T, Lecrenier N, Purnelle B (1998) The complete sequence of the mitochondrial genome of *Saccharomyces cerevisiae*. FEBS Lett 440:325–331
- [26] - DORE, C et VAROQUAUX, F., « Histoires et amélioration de cinquante plantes cultivées », Ed INRA, Paris, 2006.
- [27] - CABURET et LETHÈVE, Agriculture spéciale. Les plantes. 2002.. Montpellier : CIRAD, p. 1203-1222.
- [28] - TIRILLY, Y et BOURGEOIS, C.M., « Technologie des légumes », Ed Tec et Doc Lavoisier, Paris, 1999, 588p.
- [29] - LAUMONIER, R., « Cultures légumières et maraichères », Tome III, Ed J.B Baillière, Paris, 1979, 1276p.
- [30] - CHAUX, C et FOURY, C. 1994. « Production légumière: Légumineuses potagères, Légumes fruits », Tome 3, Ed Tec et Doc, Lavoisier, 1994, 563p.
- [31] - ITCMI, 1997. Guide pratique des cultures maraichères.

- [32] - PERON, J.Y., « Référence, productions légumières », 2^{ème} édition, Ed Lavoisier, 2006, 613 p.
- [33] - FOUILLOUX., Le haricot. B.T.I. 1976, 331P.
- [34] - MASS, E.V. "Salt tolerance of plants", Appl. Agric. Res. 1, 1986, pp. 12-26.
- [35] - INDREA et al, (1988)., Guide pratique pour les cultures légumières, Cluj et Napoca pp:55-58.
- [36] - VOINEA et MAIER, (1976)., Les cultures légumières. Edition CERES, Bucaresti, pp : 115-129
- [37] - LAUMONIER, R., « Cultures légumières et maraîchères », Tome III, Ed J.B Baillière, Paris, 1979, 1276p
- [38] - HENRI, 1983. La fertilisation des cultures légumières. Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, pp:287-293.
- [39] - Gama et al, 2007. Physiological response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings to salinity stress. African Journal of Biotechnology Vol. 6 (2), pp. 079-088.
- [40] - Bayuelo-Jiménez et al, 2003., Growth, gas exchange, water relations and ion composition of *Phaseolus* species grown under saline conditions. Field crop research. Vol.80, Issue.3, pp.207-222.
- [41] - SNOUSSI et al, 2004. Absorption hydrique en milieu salin chez la tomate et le haricot. Cahiers Agricultures. Vol.13, N°3, 283-287.
- [42] - SEEMANN et SHARKEY, 1986., Salinity and nitrogen effects on photosynthesis, ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase and metabolite pool sizes in *Phaseolus vulgaris* L. Plant physiology Vol. 82, No2, pp. 555-560.
- [43] - MUNNS R, HUSAIN S, RIVELLI A.R, JAMES R.A, CONDON A.G.T, LINDSAY M. P, LAGUDAH E.S, SCHACHTMAN D.P, HARE R. A, (2002): « Avenues for increasing salt tolerance of crops, and the role of physiologically based selection traits ». Plant and Soil 247: 93–105.
- [44] - Munns et al, 2002. : Avenues for increasing salt tolerance of crops, and the role of physiologically based selection traits. Plant and Soil 247: 93–105.
- [45] - CHAUX, C et FOURY, C. 1994. « Production légumière: Légumineuses potagères, Légumes fruits », Tome 3 , Ed Tec et Doc, Lavoisier, 1994, 563p.
- [46] - INDREA et al, 1983. INDREA et al, 1983. Guide pratique pour les cultures légumières, Cluj et Napoca pp:55-58.

- [47] - LOUIS, (1979)., Cultures légumières. Ed. G.B.BAILLIERE et fils, pp167-171.
- [48] - DOOREMBOS et al, (1980)., Réponse des rendements à l'eau F.A.O. irrigation et drain. N°33, pp42-111.
- [49] - ANONYME, 1979. Les cultures maraichères en Algérie Tome IV ; I. T. C.M.I. Staoueli, pp: 102- 127.
- [50] - FAO., « La production mondiale de haricots verts », 2006.
- [51] - ANONYME, 2006. Le ministère de l'agriculture service des statistiques.
- [52] - AÏT HOUSSA al, 2005. Fertigation hors sol dans la région de Douiet (Maroc). Ecole Nationale d'Agriculture de Meknès Domaine Agricole de Douie. pp 1.15.
- [53] - ZIEGLER, 2008. L'hydroponie ou culture hydroponique » maladies des plantes, agriculture et écologie. P16.
- [54] - JEANNEQUIN, B., « Les plastiques en agriculture », C.A.P. Revue horticole, 1992, pp 153-161.
- [55] - Michaud, N. et Boudreau, M.E., "La culture hydroponique", Agriculture Canada Publication, Ottawa, (2001), 52p.
- [56] - JEANNEQUIN, B., « Les plastiques en agriculture », C.A.P. Revue horticole, 1992, pp 153-161.
- [57] - BLANC, D., « Culture hors sol », 2^{ème} édition, Ed INRA, Paris, 1987, 409p.
- [58] - LEMAIRE, F., « Culture en pots et conteneurs », Ed INARA, Paris, 1989, 184p.
- [59] - Kawanishi, T., Blank, L.M., Harootunian, A.T., Smith, M.T., and Tsien, R.Y. 1989. Ca²⁺ oscillations induced by hormonal stimulation of individual fura-2-loaded hepatocytes. *J. Biol. Chem.* 264: 12859-12866.
- [60] - URBAN, L., « Introduction à la production sous serre », Ed Tec et Doc Lavoisier, Paris, 1997, 210p.
- [61] - LESAIN, C et COÏC, Y., « Cultures hydroponiques », Ed Maison Rustique, Paris, 1983, 118p.
- [62] - VITRE, A., « Fondements & principes du hors-sol », Doc V 3.1 HRS 12 Ind A. 2003, 10p.
- [63] - Thiault, J.F., "La maîtrise de la culture hors-sol", Bulletin Détail, n° 215, (novembre, 2004), ISSN 0758-4334.
- [64] - Rahmoune et al, 2008. Les indicateurs précoces de tolérance à la salinité chez les blés durs. p.151.

- [65] - BRUN, R et MONTARON, C., « Influence de la concentration de la solution nutritive sur la réaction de la plante », Ed INRA, Paris, 1987, 165p.
- [66] - WARRENCE, N., BAUDER, J.W., Pearson, K.E., “Fondements de la salinité et des effets de la sodicité sur les propriétés physiques du sol”, Université Bozeman d'état de Montana, (2002), 13p.
- [67] - BEN KHALED, L., GÓMEZ, A.M., Honrubia, M., Oihabi, A., “Effet du stress salin en milieu hydroponique sur le trèfle inoculé par le Rhizobium”, *Agronomie* 23, (2003), 553-560.
- [68] - RODIER, J., « L'analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer », 7^{ème} édition, Ed Bordas, Paris, 1984, 1365p.
- [69] - Warren, M. F. (2003). SWARD: participatory knowledge transfer at work. *Journal of Agricultural Education and Extension* 9 (1) 43-50. March 2003
- [70] - DE FORGES, M., « irrigation et salinité. Option méditerranéennes », 14, 1972, pp40- 46.
- [71] - IPTRID, 2006., conférence électronique sur la salinisation. Extension de la salinisation et stratégie de prévention et réhabilitation. P2, 11.
- [72] - HOSNI, 2009., La tolérance au sel, *Ecophysiologie Végétale*. Pp 1-6.
- [73] - SNOUSSI, S.A., « Valorisation des eaux salines pour la nutrition des plantes cultivées », Thèse de doctorat. INA, Alger, 2001, 152p.
- [74] - DAOUD, Y., « Contribution à l'étude des plaines du Chélif. Le phénomène de salinisation, conséquence sur les propriétés des sols argileux », Thèse doctorat. INA El-harrach, 1993, 227p.
- [75] - MOSTAFAOUI R., “Effet d'un anti-stress « Le Fertiactyl » en agriculture sous conditions salines”, Thèse Magister, USD Blida, (2007), 100p
- [76] - Rhoades, J.D., Kandiah, A., Mashali, A.M., “The use of saline water for crop production”, *Irrigation and drainage paper*, F.A.O, n°48, Rome, (1992), 140p.
- [77] - ASHRAF et FOOLAD, 2007., Pre-sowing seed treatment shotgun approach to improve germination, plant growth, and crop yield under saline and non-saline conditions. *Advances in Agronomy*, 88: 223-271.
- [78] - DENDEN et al, 2005., Effet de la salinité sur la fluorescence chlorophyllienne, la teneur en proline et la production florale de trois espèces ornementales, 2005, *Tropicultura*, 220-225.
- [79] - Madhava Rao et al, 2006., Janardhan Reddy K. (2006): *Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants*. P41-99.

[80] - ABD ELDJOUAD, 2000, Les critères internationale pour valoriser les eaux d'irrigation dans les sols salin et non salin et point de vu du centre arabique en ces critères, Ed ACSAD, 98p.

[81] - DURAND, I., « Les sols irrigables », Ed Presse Universitaire de France, 1983, 339p.

[82] Payen, J. & Gillet, V., « Irrigation & drainage », 2007. L'irrigation informelle en Afrique de l'Ouest. FAO

[83] - MORSLI, 2007., Étude de l'intrusion marine et de ses répercussions sur la dégradation des sols : cas des zones côtières d'Alger Est.

[84] - HALITIM, A., « Sols des régions arides d'Algérie », Ed O.P.U, 1988, 384P.

[85] - HAMDY, A., « Saline irrigation assessment for a sustainable use. Saline irrigation. Halophyte production and utilization », Project N°C 18 CT 960055, 1999. pp152-226.

[86] - DAOUD, Y et HALITIM, A., « Irrigation et salinisation au Sahara Algérienne », sécheresse n°3, vol 5, 1994, pp 151-160.

[87] - CHEVERRY, C et ROBERT, M., « La dégradation des sols irrigués et la ressource en eau : une menace pour l'avenir de l'agriculture et pour l'environnement des pays au sud de la méditerranéen », Etude et gestion des sols 5, 1998, pp 217-226.

[88] –Bilan des cultures maraichères Ministère de l'agriculture, (1998).

[89] - 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. Executive concil Meeting of ICID, China, pp : 1-9.

[90] - HAMDY in CHERAFA., « Saline irrigation assessment for a sustainable use. Saline irrigation. Halophyte production and utilization », Project N°C 18 CT 960055, 1999. pp152-226.

[91] - La production mondiale des cultures légumières, La rousse agricole 2002.

[92] - LASRAM., « Comportement des plantes en milieu salé et placé en pourtour méditerranéen », ACR, Acad Agric, 1995, pp 47.

[93] - AMANE et al, 1999., Nitrogen and molybdenum fertilization of the common bean crop in the zona da mata region, Minas Gerais state, Brazil. Revista brasileira de ciência do solo. Vol. 23, no3, pp. 643-650.

- [94] - C.W. BRADFORD, (1915) Peanuts. Fayetteville, Arkansas: Arkansas Agricultural Experiment Station.
- [95] - LEVITT; ZHU; VINCENT. "Response of plants to environmental stress", Academic Press, New York and London, 2006.
- [96] - ALLAKHVERDIEV et al, 2000b in Parida et Das, 2005, Salt tolerance and salinity effect on plants: review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol.60, pp. 324-349.
- [97] – PARIDA ET DAS, 2005. Salt tolerance and salinity effect on plants: review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol.60, pp 324-349.
- [98] - Hayashi et Murata, 1998 in Parida et Das, 2005., NaCl stress causes changes in photosynthetic pigments, proteins and other metabolic components in the leaves of a true mangrove, *Bruguiera arviflora*, in hydroponic cultures. *J. Plant Biol.* 45, 28–36.
- [99] - GREENWAY, H et MUNS, R., "Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes", *Ann. Rev. Plant Physiol.* 31, 1980, pp. 149-190.
- [100] - Wang et Nil, 2000., Expressed sequence tags from *Thellungiella halophila*, a new model to study plant salt-tolerance. *Plant Science*. Vol. 166, N^o3, pp. 61-71.
- [101] - Chartzoulakis et Klapaki, 2000., Response of two green house pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Sci. Hortic.* 86, 247–260.
- [102] - Mohammad et al, 1998., Tomato root and shoot responses to salt stress under different levels of phosphorus nutrition. *J. Plant Nutr.* 21, 1667–1680.
- [103] - MELONI et al, 2001., Contribution of proline and inorganic solutes to osmotic adjustment in cotton under salt stress. *J.Plant Nutr.* 24, 599–612.
- [104] - Parida A., Das P. 2002: NaCl stress causes changes in photosynthetic pigments, proteins and other metabolic components in the leaves of a true mangrove, *Bruguiera arviflora*, in hydroponic cultures. *Jurnal Plant and Biology*, pp: 28–36.
- [105] - Parida A.K., Das A.B: Salt tolerance and salinity effect on plants: review *Ecotoxicology and Environmental Safety*. (2005) Vol.60, pp. 324-349.
- [106] - Cha-um, S., K. Supaibulwatana and C. Kirdmanee. 2004. Physiological responses of Thai neem (*Azadirachta siamensis* Val.) to salt stress for salt-tolerance screening program. *Sci. Asia*, 30:17-23.

- [107] - De Lacerda, C.F., J. Cambraia, M.A. Oliva and H.A. Ruiz. 2005. Changes in growth and in solute concentrations in sorghum leaves and roots during salt stress recovery. *Environ. Exp. Bot.*, 54:69-76.
- [108] - Parida et DAS., Salt tolerance and salinity effect on plants: review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. (2005) Vol.60, pp. 324-349.
- [109] - GADALLAH, 1999 in HAOUALA et al, 2007. Acides aminés totaux et inhibition de la phytotoxicité du Cadmium par le Zinc. *Arch. Inter. Physiol. Biochem.*, 96 (5):41.
- [110] - KHAN, 2009., Role of proline, K/Na ratio and chlorophyll content in salt tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Pak. J. Bot.*, 41(2): 633-638.
- [111] - Levitt in Haouala et al, 2007. Responses of Plant to Environmental Stress Chilling, Freezing and High Temperature Stresses, 2nd edn. Levitt, J. (ed.). Academic Press, New York, NY 1980.
- [112] - Haouala et al, 2007. Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na⁺, K⁺ et Ca²⁺) et du chlore(Cl⁻) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais du chiendent. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 11(3).235-244.
- [113] - Hamza, 1980., Réponse des végétaux a la salinité », *Physiologie végétale*, 18, pp 69-81.
- [114] - Hajji, 1980 in Haouala et al, 2007., Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na⁺, K⁺ et Ca²⁺) et du chlore(Cl⁻) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais du chiendent. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 11(3) 235 - 244.
- [115] - Parida et al., NaCl stress causes changes in photosynthetic pigments, proteins and other metabolic components in the leaves of a true mangrove, *Bruguiera ariflora*, in hydroponic cultures. *J. Plant Biol* 2002. 45, 28–36.
- [116] - Agastian et al (2000)., Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes. *Photosynthetica* 38, pp287–290.
- [117] - Agastian et al (2000)., Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes. *Photosynthetica* 38, pp287–290.
- [118] - Kennedy et De Fillippis., Role of proline, K/Na ratio and chlorophyll content in salt tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Pak. J. Bot.*, 41(2): 633- 638.
- [119] - MUNNS, R et TERMAAT, A., « Whol-plant responses to salinity”, *Aust. J. Plant, Physiol*, 13, 1986, pp 143-160.
- [120] - KAO et al, 2001 in PARIDA et DAS, 2005. Signal transduction pathways ander abiotic stress in plants. *Current Science*, Vol.88, N°11, pp.1771-1779.

[121] - URBAN et al, "Introduction à la production sous serre", Maison Rustique, Paris, (1997), 180p.

[122] - BOUZIDE., Étude de l'effet de la salinité et de la présence du molybdène sur le comportement écophysiological de deux variétés de plantes de l'espèce *Phaseolus vulgaris* L. Thèse magistère Biologie Végétale. Université Mentouri Constantine 2010.

[123] - Iyengar et Reddy, 1996 in Parida et Das, 2005., Responses of Plant to Environmental Stress Chilling, Freezing and High Temperature Stresses, 2 nd edn. Levitt, J. (ed.). Academic Press, New York.

[124] - Zhu and Meinzer, 1999 in Parida et Das, 2005. Salt and drought stress signal transduction in plants. *An. Rev. Of Plant Biol.* 53: 247- 73.

[125] - Cushman et al, 1989 in Parida et Das, 2005. Role of lipids and fatty acids in stress tolerance in cyanobacteria. *Acta Protozool.* 41, 297–308.

[126] - Gomez-Cadenas et al, 1998 in Parida et Das, 2005. Salt tolerance and salinity effect on plants: review. *Ecotoxicology and Environmental Safety.* Vol.60, pp 324-349.

[127] - Popov et al, 1995 in Parida et Das, 2005.

[128] - Vaidyanathan et al, 1999 in Parida et Das, 2005. Salt tolerance and salinity effect on plants: review. *Ecotoxicology and Environmental Safety.* (2005) Vol.60, pp. 324-349.

[129] Glenn, E.P. and J.J. Brown. 1998. Effects of soil salt levels on the growth and water use efficiency of *Atriplex canescens* (Chenopodiaceae) varieties in drying soil. *Amer. J. Bot.*, 85: 10-16.

[130] - Shinozaki et al, 1998 in Parida et Das, 2005. *Ecotoxicology and Environmental Safety* Volume 60, Issue 3, March 2005, Pages 324–349

[131] - CALU, 2006. *Arabidopsis thaliana* et *Thellungiella halophila*, plantes modèles dans l'étude du stress salin. Spectro Sciences.

[132] - GAMA et al, 2007. Physiological response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings to salinity stress. *African Journal of Biotechnology* Vol. 6 (2), pp. 079-088.

[133] - VILAIN in CHERAFA, 2009. «la production végétale. La maîtrise technique de la production », Volume2, 2^{ème} éditions. Ed technique et documentation, Paris, 1997, 449 p.

[134] - Zhifang et Loescher, 2003 in Parida et Das, 2005. Toxicity of the Salt and Pericarp Inhibition on the Germination of Some Atriplex Species. American-Eurasian Journal of Toxicologic Sciences 1 (2): 43-49.

[135] - Singh et *al.*, 2000. Effect of nitrogen deficiency, salinity and drought on proline metabolism in *Sesuvium portulacastrum*. Biosaline Agriculture and Salinity Tolerance in Plants. Pp. 65-72.

[136] – Wang et Nil, 2000 in Parida et Das, 2005. Effet du stress salin sur l'accumulation de la proline et des sucres solubles dans les feuilles de trois porte-greffes d'agrumes. Fruits. Vol. 57, no 5-6, pp. 335-340.

[137] – Pilon-Smits et *al.*, 1995 in Parida et Das, 2005., Les indicateurs précoces de tolérance à la salinité chez les blés durs. p.151. Biotech 2008.

[138] – Bohnert et *al.*, 1995 in Parida et Das, 2005., Salinity and nitrogen effects on photosynthesis, ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase and metabolite pool sizes in *Phaseolus vulgaris* L. Plant physiology Vol. 82, No 2, pp. 555-560. 99. Messedi D., Abdelly C., 2004. Physiologie de la tolérance au sel.

[139] – Zhifang et Loescher, 2003 in Parida et Das, 2005. Toxicity of the Salt and Pericarp Inhibition on the Germination of Some Atriplex Species. American-Eurasian Journal of Toxicologic Sciences 1 (2): 43-49.

[140] – Crow et *al.*, Salt tolerance and salinity effects on plants: a review 1992 in Parida et Das, 2005.

[141] – Yancey et *al.*, Plant Responses to drought and Salinity stress: Volume 57 1982 in Parida et Das, 2005.

[142] – Gadallah, 1999. Acides aminés totaux et inhibition de la phytotoxicité du Cadmium par le Zinc. Arch. Inter. Physiol. Biochem., 96 (5):41

[143] – Khavari nejad and Mostafi, 1998 in Parida et Das, 2005., Effects of NaCl on photosynthetic pigments, saccharides and chloroplast ultra structure in leaves of tomato cultivars. Photosynthetica, 35, 1, 151-154.

[144] – Aubert et *al.*, 1999 in Parida et Das, 2005., Physiological and biochemical responses of two precocious varieties of wheat to phosphate rocks and TSP fertilisation in semi-arid land. Proc XIVth. International Plant Nutrition Colloquium, July 27- August 03-2001, Hannover, Germany.

[145] – Ben Khaled, L., Gómez, A.M., Honrubia, M., Oihabi, A., “Effet du stress salin en milieu hydroponique sur le trèfle inoculé par le *Rhizobium*”, Agronomie 23, (2003), 553-560.

- [146] – MESSEDI et al, 2006., Physiologie de la tolérance au sel d'une halophyte de recouvrement: *Batis maritima*. Revue des Régions Arides, Tome 1, No spécial : 192-199.
- [147] – KHADRI et al, 2006., Alleviation of Salt Stress in Common Bean (*Phaseolus vulgaris*) by Exogenous Abscisic Acid Supply. Journal of Plant Growth Regulation. 25:110–119.
- [148] – Bayuelo-Jiménes et al, 2002 b in Gama et al, 2007., Salinity tolerance in *Phaseolus* species during early vegetative growth. Crop Science. Pp.2184.
- [149] – LÄUCHLI, 1984 in GAMA et al, 2007. Physiological response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings to salinity stress. African Journal of Biotechnology Vol. 6 (2), pp. 079-088.
- [150] - ALEXANDRE, 1984 in GAMA et al, 2007. Physiological response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings to salinity stress. African Journal of Biotechnology Vol. 6 (2).
- [151] – Bayuelo-Jiménes et al, 2002 in GAMA et al, 2007., Physiological response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings to salinity stress. African Journal of Biotechnology Vol. 6 (2).
- [152] – BAYUELO-JIMENEZ et al, 2003., Growth, gas exchange, water relations and ion composition of *Phaseolus* species grown under saline conditions. Field crop research. Vol.80, Issue.3, pp.207-222.
- [153] – KHADRI et al, 2006., Alleviation of Salt Stress in Common Bean (*Phaseolus vulgaris*) by Exogenous Abscisic Acid Supply. Journal of Plant Growth Regulation. 25:110 –119.
- [154] – SNOUSSI et al, 2004., Absorption hydrique en milieu salin chez la tomate et le haricot. Cahiers Agricultures. Vol.13, N°3, 283 -287.
- [155] – SEEMANN et SHARKEY, 1986., Salinity and nitrogen effects on photosynthesis, ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase and metabolite pool sizes in *Phaseolus vulgaris* L. Plant physiology Vol. 82, No2, pp. 555-560.
- [156] – LAHAYE and EPSTEIN, 1971 in MUNNS et al, 2002., Avenues for increasing salt tolerance of crops, and the role of physiologically based selection traits. Plant and Soil 247: 93–105
- [157] – MUNNS et al., « Water relation and leaf expansion: importance of time scale”, J. Exp. Bot. 51 350, 2002, pp 1495-1504.

- [158] – Ayers, R.S., Westcot, D.W., “La qualité de l’eau en agriculture”, Bull. d’irrigation et de drainage, F.A.O. n°29, Rome, (1976), 95-97.
- [159] – HABIB et al, 1994. « approche a l’échelle de système racinaire de l’absorption hydrominérale conséquence en matière de modalisation agronomique », p623.
- [160] – MORARD, P., "Les cultures végétales en hors sol », Pub. Agri, Paris, 1995, 301p.
- [161] – VILAIN, M., « la production végétale. La maîtrise technique de la production », Volume 2, 2^{ème} éditions. Ed technique et documentation, Paris, 1997, 449 p.
- [162] – CALU, 2006.
- [163] – DUTHIL (1997) et LAFON, J.P., THARAUD-PRAYER, C et LEVY, G., « Biologie des plantes cultivées » Tome 1, 2. Ed Technique et Documentation, 1996, 233p.
- [164] – Lesaint, C., “Evolution de la fertilisation et de l’irrigation vers l’utilisation des solutions nutritives équilibrées. Evaluation de l’état actuel des techniques et perspectives”, Ed. INRA. Versailles, (1974), 2-10.
- [165] – RIOU, C., BONHOMME, R., NEVEU, A et PAPY, F., « L’eau dans l’espace rural : production végétale et qualité de l’eau », Ed INRA, Paris, 1997, 411p. [166] – ELALAOUI, 2009
- [167] HELLER, R., « Physiologie végétale, nutrition », 2^{ème} édition. Ed Masson, Paris, 1981, 244p.
- [168] Lemaire, F., Dartigues, A., Riviere, L.M., Charpentier, S., “Cultures en pots et conteneurs. Principes agronomiques et applications”, Revue Horticole, Paris-Limoges, INRA-PHM, (1989), 184p.
- [169] – CHERAFA, 2009. Valorisation des eaux non conventionnelles en arido culture, Thèse de magister 95p
- [170] – MOUGHLI, 2000. « Adaptation physiologique a la salinité des plantes cultivées ». Facultés des sciences, Tunisie. 169 p.
- [171] – DEMOLON in CHERAFA 2009, « Principe d’agronomie : dynamique du sol », Tome 1, Ed Dunod, 1960, 520p.
- [172] – RUSSEL et BARBER (1960) in CALLOT et al (1982)., Mieux comprendre les interactions sol-racines : Incidence sur la nutrition minérale. INRA. Paris.325p.
- [173] – MORARD, P., "Les cultures végétales en hors sol », Pub. Agri, Paris, 1995, 301p.

- [174] – Soltner, D., “Les bases de la production végétale”, Tome II. Le sol, Coll. Sci. Agro, (1988), 453p.
- [175] – Morard, P., “Les cultures végétales en hors sol”, Pub. Agris, Paris, (1995), 301p.
- [176] – Heller, R., “Physiologie végétale”, Tome I. Nutrition, Ed. Masson et Cie, Paris, (1977), 332p.
- [177] – Heller, R., “Biologie végétale II : Nutrition et métabolisme”, Ed. Masson et Cie, Paris, (1969), 400p.
- [178] – Physiologie végétale. Nutrition et métabolisme. Ed Hermann, Paris. 349p
- [179] – Chouard, P., “Les cultures sans sol”, Maison Rustique, Paris, (1952), 200p.
- [180] – DEMOLON, A., « Principe d’agronomie : dynamique du sol », Tome 1, Ed Dunod, 1960, 520p.
- [181] – Heller, R., “Biologie végétale II : Nutrition et métabolisme”, Ed. Masson et Cie, Paris, (1969), 400p.
- [182] – Brun, R., Settembrino, A., “Le pilotage de la fertilisation des cultures hors-sol”, Rev.P.H.M, (1994), 8-15.
- [183] – OLUF, C.B; OLA, K., OLE, H .L et IAN, R., «Agriculture et fertilisation », Ed Norsk Hydro, 1990, 258 p.
- [184] – MAZELIAK, D., «Physiologie végétale. Nutrition et métabolisme », Ed Hermann, 1974, 349p.
- [185] – MAZELIAK, D., «Physiologie végétale. Nutrition et métabolisme », Ed Hermann, 1974, 349p.
- [186] – ANONYME, 1989. cultures légumiers et industriels ITCMI 67p.
- [187] – MAZELIAK, D., «Physiologie végétale. Nutrition et métabolisme », Ed Hermann, 1974, 349p.
- [188] – Duthil, J., “Elements d’écologie et d’agronomie”, Tome III, J.B. Ballière, Paris, (1973), 265p.
- [189] – Skiredj, A., “Besoins des plantes en eau et en éléments nutritifs”, Fertigations : guide pour améliorer la production des cultures, Rabat, (2006), 1-9.
- [190] – Diehil, R., “Agriculture générale”, J.B. Baillière, Paris, (1975), 400p.

Annexe 01 : Hauteur finale des plantes.

	SOURCE DE VARIATION	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T	C.V
COUPE Finale	VAR. TOTALE	131,05	13	10,08	7,91	0,0084	1,55	5,8%
	VAR. FACTEUR 1	114,21	6	19,03				
	VAR. RESIDUELLE 1	16,84	7	2,41				

Annexe 02 : Diamètre des tiges.

	SOURCE DE VARIATION	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T	C.V
COUPE Finale	VAR. TOTALE	13,68	13	1,05	18.53	0,0008	0,34	7,3%
	VAR. FACTEUR 1	12,87	6	2.15				
	VAR. RESIDUELLE 1	0,81	7	0,12				

Annexe 03 : Nombre de feuilles.

	SOURCE DE VARIATION	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T	C.V
COUPE Finale	VAR. TOTALE	1268,86	13	97,60	224,85	0,0000	0,97	5,8%
	VAR. FACTEUR 1	1262,31	6	210,38				
	VAR. RESIDUELLE 1	6,55	7	0,94				

Annexe 04 : Poids frais total.

	SOURCE DE VARIATION	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T	C.V
COUPE Finale	VAR. TOTALE	16171,85	13	1243,99	652,40	0,0000	2,03	3,9%
	VAR. FACTEUR 1	16142,99	6	2690,50				
	VAR. RESIDUELLE 1	28,87	7	4,12				

Annexe 05 : Poids frais feuilles.

	SOURCE DE VARIATION	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T	C.V
COUPE Finale	VAR. TOTALE	11588,21	13	891,40	396,97	0,0000	2,20	5,2%
	VAR. FACTEUR 1	11554,25	6	1925,71				
	VAR. RESIDUELLE 1	33,96	7	4,85				

Annexe 06 : Poids frais tiges.

	SOURCE DE VARIATION	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T	C.V
COUPE Finale	VAR. TOTALE	396,60	13	30,51	94,21	0,0000	0,83	8,3%
	VAR. FACTEUR 1	391,74	6	65,29				
	VAR. RESIDUELLE 1	4,85	7	0,69				

Annexe 07 : Poids frais racines.

	SOURCE DE VARIATION	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T	C.V
COUPE Finale	VAR. TOTALE	718,41	13	55,26	15,10	0,0015	2,71	12,9%
	VAR. FACTEUR 1	666,87	6	11,15				
	VAR. RESIDUELLE 1	51,53	7	7,36				

Annexe 08 : Poids sec feuilles.

	SOURCE DE VARIATION	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T	C.V
COUPE Finale	VAR. TOTALE	191,21	13	14,71	89,88	0,0000	0,59	11,2%
	VAR. FACTEUR 1	188,76	6	31,46				
	VAR. RESIDUELLE 1	2,45	7	0,35				

Annexe 09 : Poids sec tiges.

	SOURCE DE VARIATION	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T	C.V
COUPE Finale	VAR. TOTALE	12,60	13	0,97	91,63	0,0000	0,15	8,2%
	VAR. FACTEUR 1	12,44	6	2,07				
	VAR. RESIDUELLE 1	0,16	7	0,02				

Annexe 10 : Poids sec Total.

	SOURCE DE VARIATION	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T	C.V
COUPE Finale	VAR. TOTALE	300,17	13	23,09	116,28	0,0000	0,65	9,2%
	VAR. FACTEUR 1	297,19	6	49,53				
	VAR. RESIDUELLE 1	2,98	7	0,43				

Annexe 11 : Poids sec racine.

	SOURCE DE VARIATION	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T	C.V
COUPE Finale	VAR. TOTALE	9,63	13	0,74	4,08	0,0445	0,55	25,9%
	VAR. FACTEUR 1	7,49	6	1,25				
	VAR. RESIDUELLE 1	2,14	7	0,31				

Annexe 12 : Matière sèche feuilles.

	SOURCE DE VARIATION	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T	C.V
COUPE Finale	VAR. TOTALE	61,50	13	4,73	8,40	0,0071	1,04	8,3%
	VAR. FACTEUR 1	54,00	6	9,00				
	VAR. RESIDUELLE 1	7,50	7	1,07				

Annexe 13 : Matière sèche tiges.

	SOURCE DE VARIATION	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T	C.V
COUPE Finale	VAR. TOTALE	72,00	13	5,54	19,83	0,0007	0,76	4,0%
	VAR. FACTEUR 1	68,00	6	11,33				
	VAR. RESIDUELLE 1	4,00	7	0,57				

Annexe 14 : Matière sèche Total.

	SOURCE DE VARIATION	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T	C.V
COUPE Finale	VAR. TOTALE	63,18	13	4,86	8,97	0,0060	1,02	7,2%
	VAR. FACTEUR 1	55,92	6	9,32				
	VAR. RESIDUELLE 1	7,27	7	1,04				

Annexe 15 : Matière sèche racines.

	SOURCE DE VARIATION	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T	C.V
COUPE Finale	VAR. TOTALE	33,86	13	2,60	12,00	0,0027	0,65	5,8%
	VAR. FACTEUR 1	30,86	6	5,14				
	VAR. RESIDUELLE 1	3,00	7	0,43				

Annexe 16 : Sucres Totaux.

	SOURCE DE VARIATION	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T	C.V
COUPE Finale	VAR. TOTALE	1,39	13	0,11	4,05	0,0453	0,21	4,5%
	VAR. FACTEUR 1	1,08	6	0,18				
	VAR. RESIDUELLE 1	0,31	7	0,04				

Annexe 17 : Sucres solubles.

	SOURCE DE VARIATION	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T	C.V
COUPE Finale	VAR. TOTALE	0,26	20	0,01	8,31	0,0006	0,06	14,0%
	VAR. FACTEUR 1	0,21	6	0,03				
	VAR. RESIDUELLE 1	0,06	14	0,00				

Annexe 18 : Dosage de la proline.

	SOURCE DE VARIATION	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROB A	E.T	C.V
Racines	VAR. TOTALE	0,00	13	0,00	2,15	0,1698	0,01	24,0%
	VAR. FACTEUR 1	0,00	6	0,00				
	VAR. RESIDUELLE 1	0,00	7	0,00				
Tiges	VAR. TOTALE	0,15	13	0,01	38,52	0,0001	0,03	9,6%
	VAR. FACTEUR 1	0,15	6	0,02				
	VAR. RESIDUELLE 1	0,00	7	0,00				
Feuilles basales	VAR. TOTALE	0,07	13	0,01	15,17	0,0014	0,03	18,2%
	VAR. FACTEUR 1	0,07	6	0,01				
	VAR. RESIDUELLE 1	0,01	7	0,00				
Feuilles médianes	VAR. TOTALE	0,03	13	0,00	28,53	0,0003	0,01	13,9%
	VAR. FACTEUR 1	0,03	6	0,00				
	VAR. RESIDUELLE 1	0,00	7	0,00				
Feuilles apicales	VAR. TOTALE	0,03	13	0,00	11,89	0,0028	0,02	20,2%
	VAR. FACTEUR 1	0,02	6	0,00				
	VAR. RESIDUELLE 1	0,00	7	0,00				

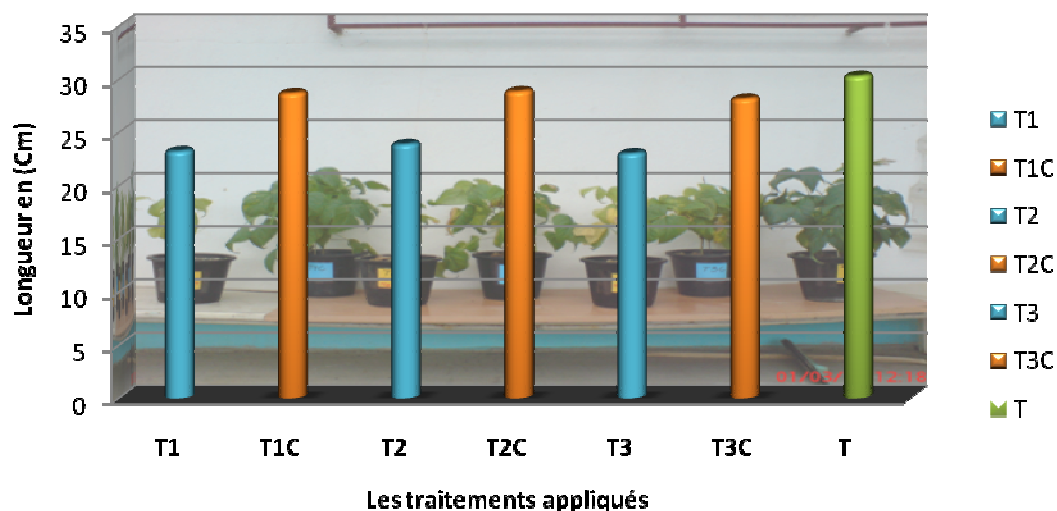
Annexe 19: Dosage Chlorophylle.

	SOURCE DE VARIATION	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T	C.V
CHL A	VAR. TOTALE	0,71	20	0,04	33,41	0,0000	0,06	19,7%
	VAR. FACTEUR 1	0,66	6	0,11				
	VAR. RESIDUELLE 1	0,05	14	0,00				
CHL B	VAR. TOTALE	20	20	0,01	7,46	0,0011	0,07	45,0%
	VAR. FACTEUR 1	0,22	6	0,04				
	VAR. RESIDUELLE 1	0,07	14	0,00				

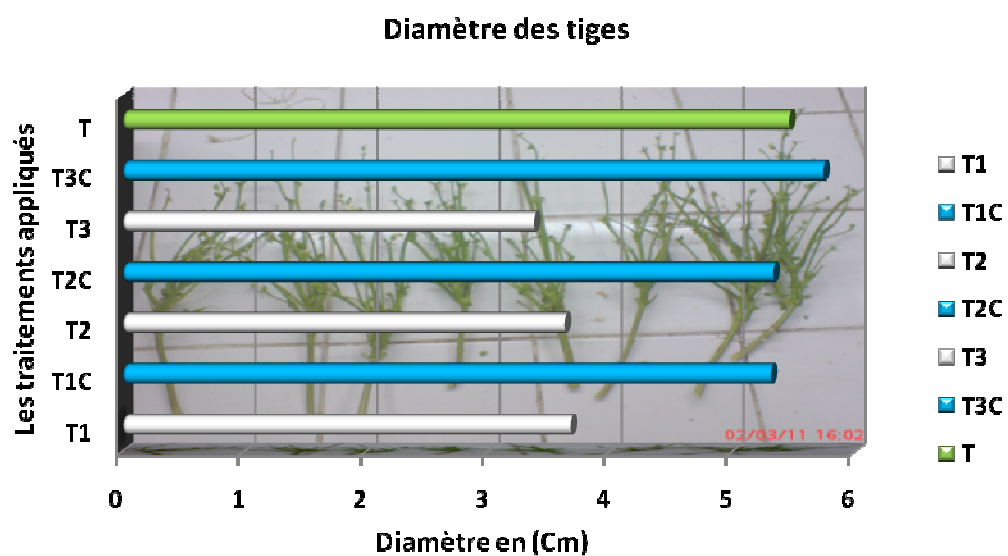
Annexe 20: Absorption hydrominérale.

	SOURCE DE VARIATION	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T	C.V
COUPE Finale	VAR. TOTALE	50370,34	27	1865,57	62,90	0,0000	11,24	23,18%
	VAR. FACTEUR 1	47715,23	6	7952,54				
	VAR. RESIDUELLE 1	2655,11	21	126,43				

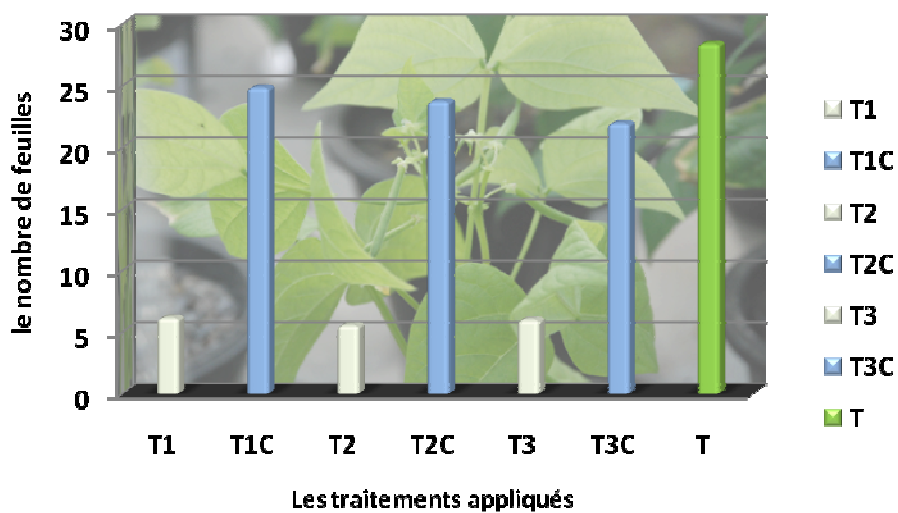
Annexe 21: Figure de la hauteur finale des plantes.



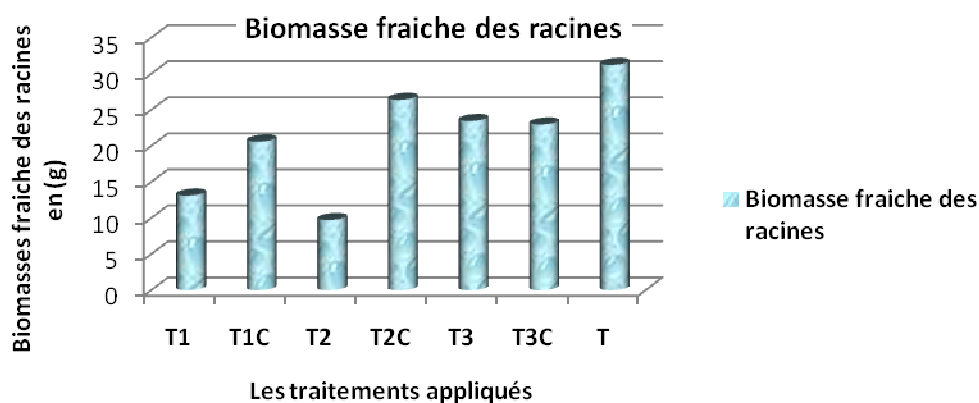
Annexe 21: Figure du diamètre des tiges.



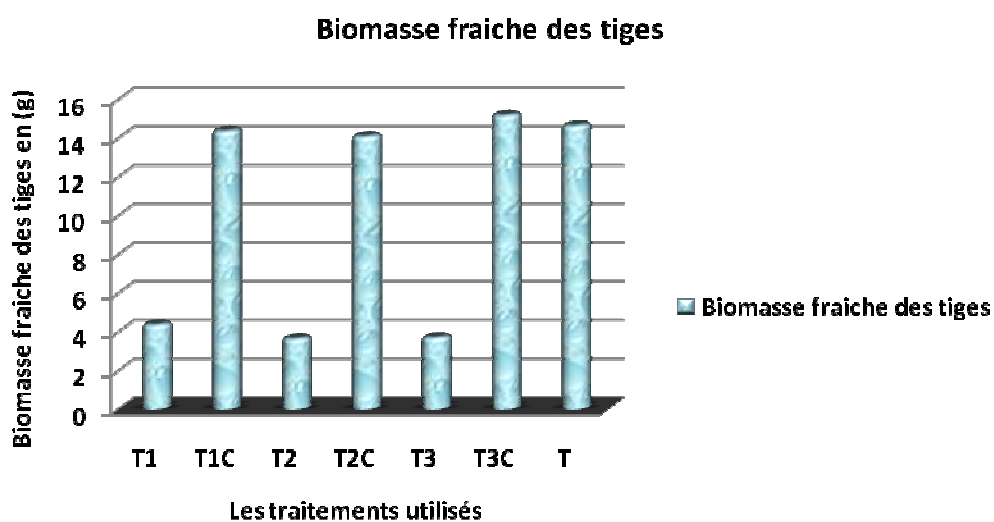
Annexe 22: Figure nombre de feuilles.



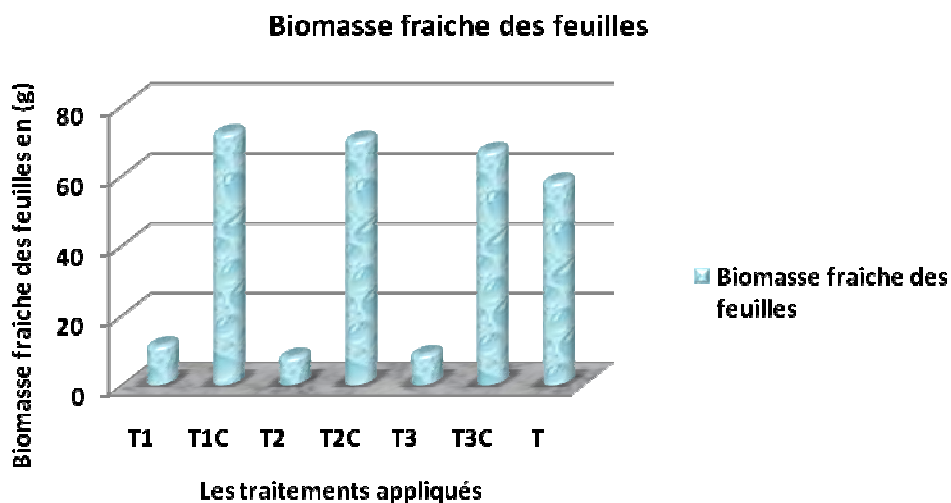
Annexe 23 : Biomasse fraîche des racines.



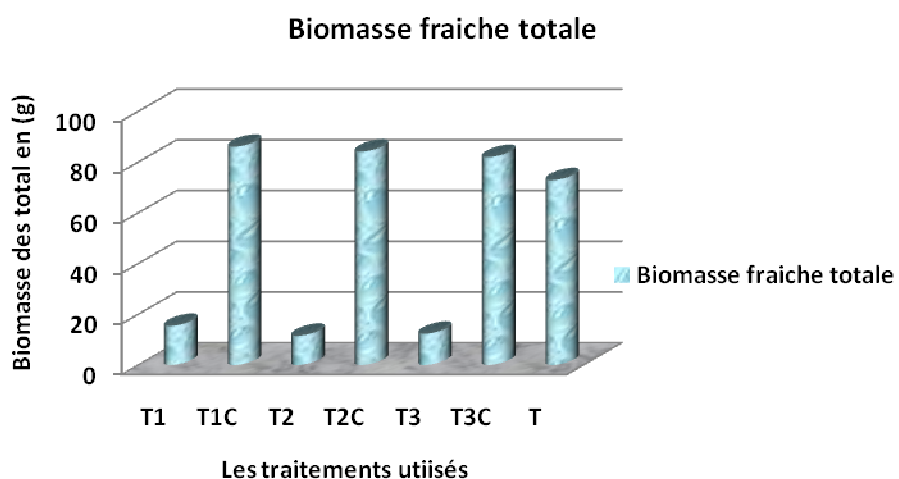
Annexe 24 : Biomasse fraiche des tiges.



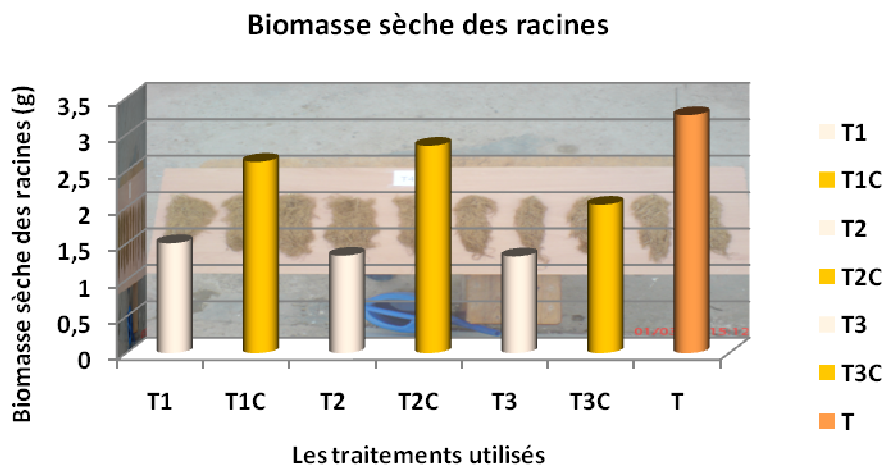
Annexe 24 : Biomasse fraiche des feuilles.



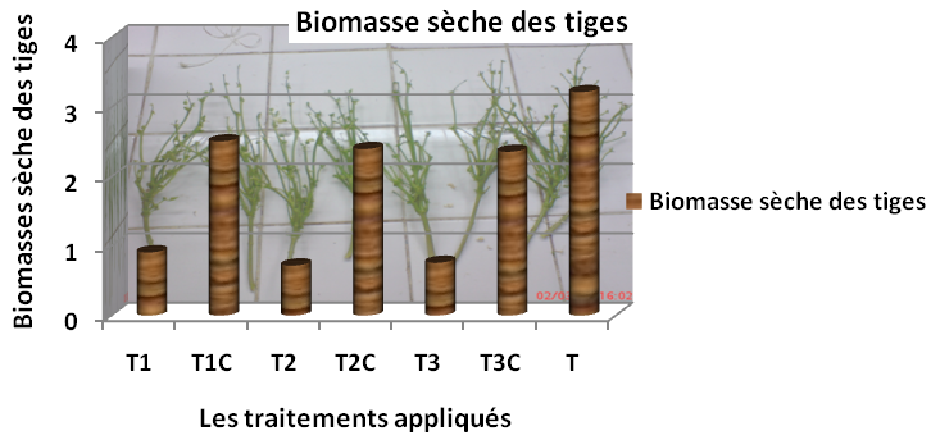
Annexe 25: Biomasse frais total.



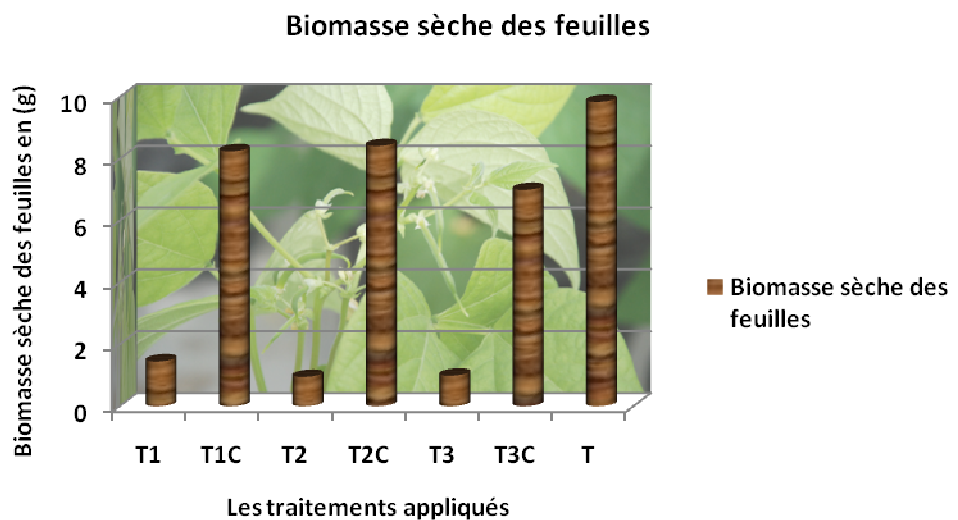
Annexe 26: Biomasse sèche des racines.



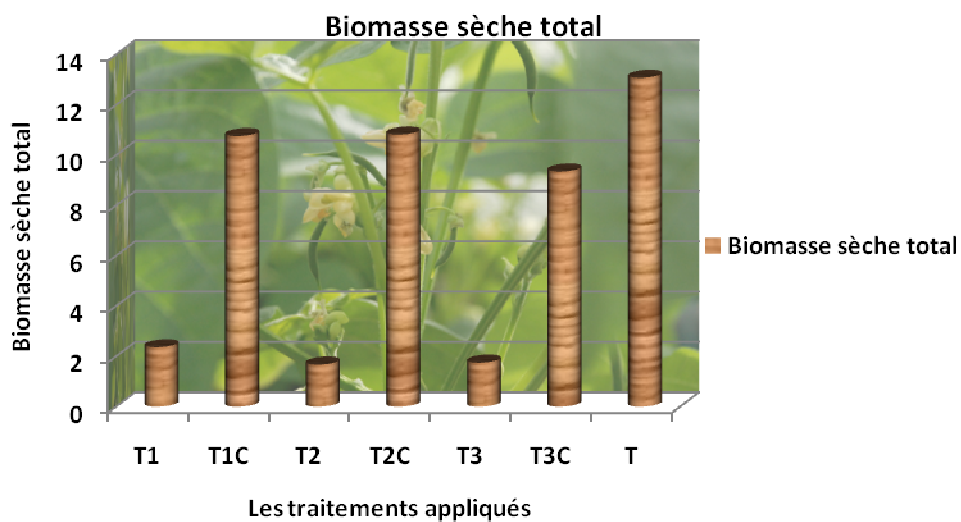
Annexe 27: Biomasse sèche des tiges.



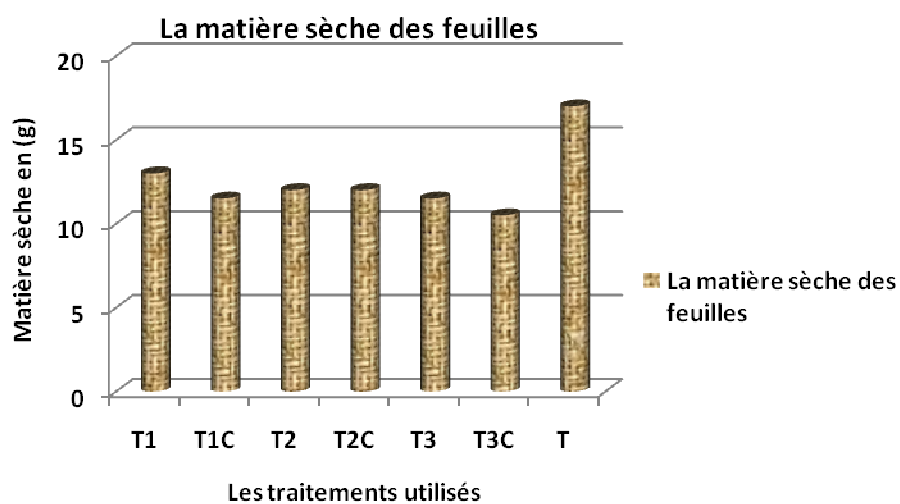
Annexe 28: Biomasse sèche des feuilles.



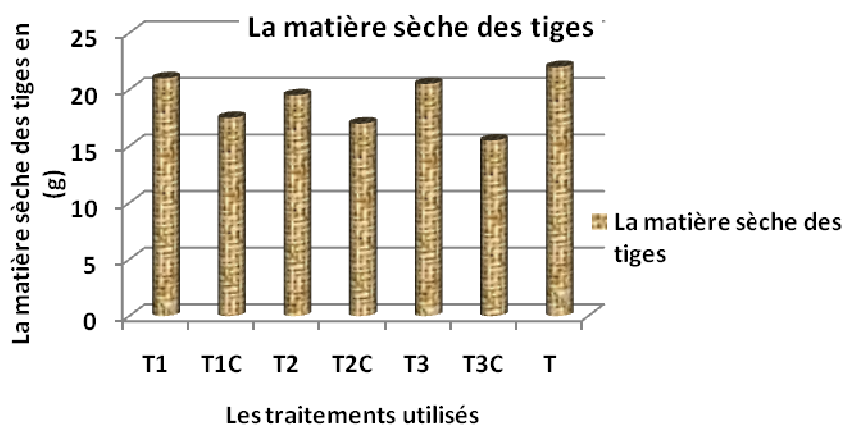
Annexe 29 : Biomasse sèche totale.



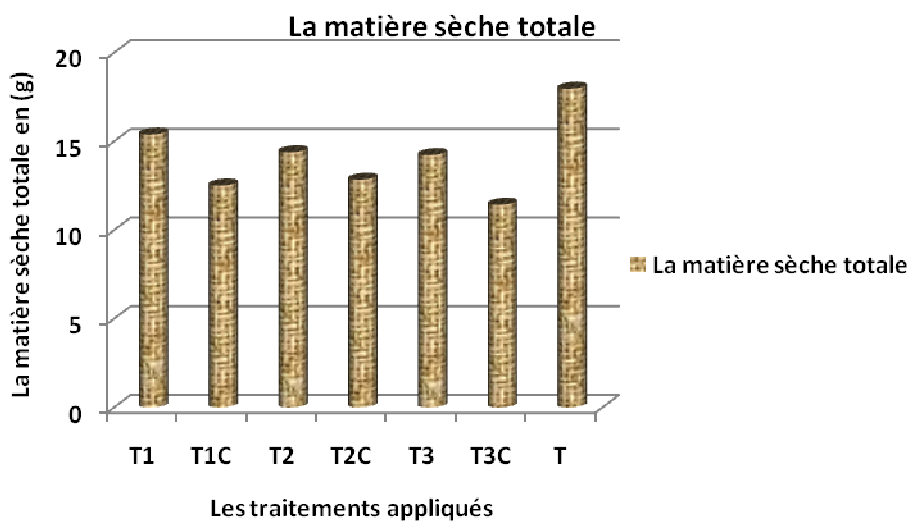
Annexe 30 : Matière sèche des feuilles.



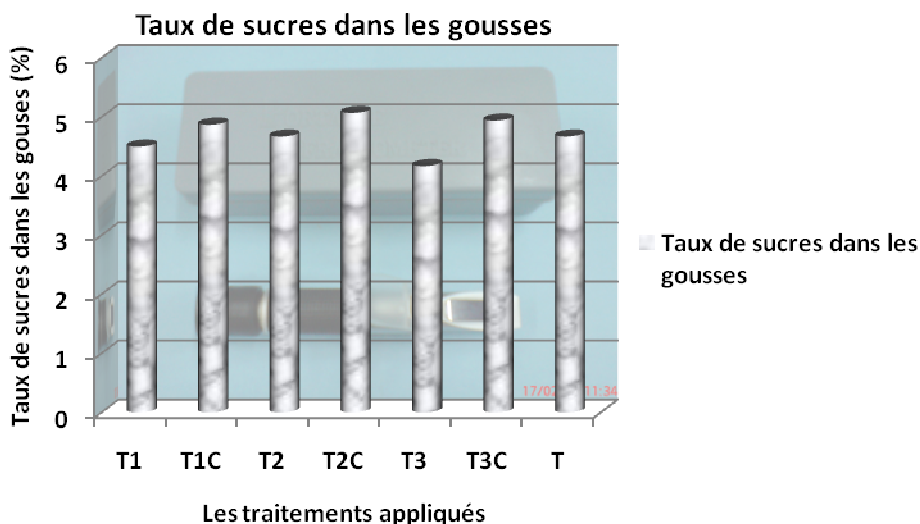
Annexe 31 : Matière sèche des tiges.



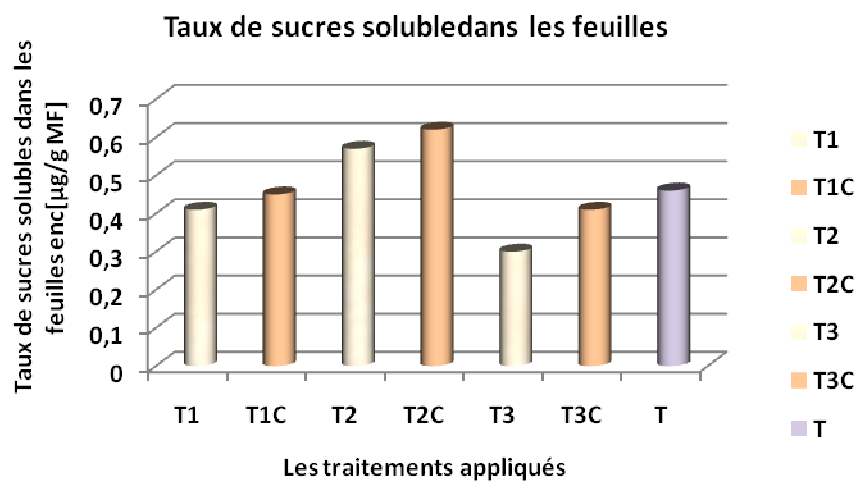
Annexe 32 : Matière sèche totale.



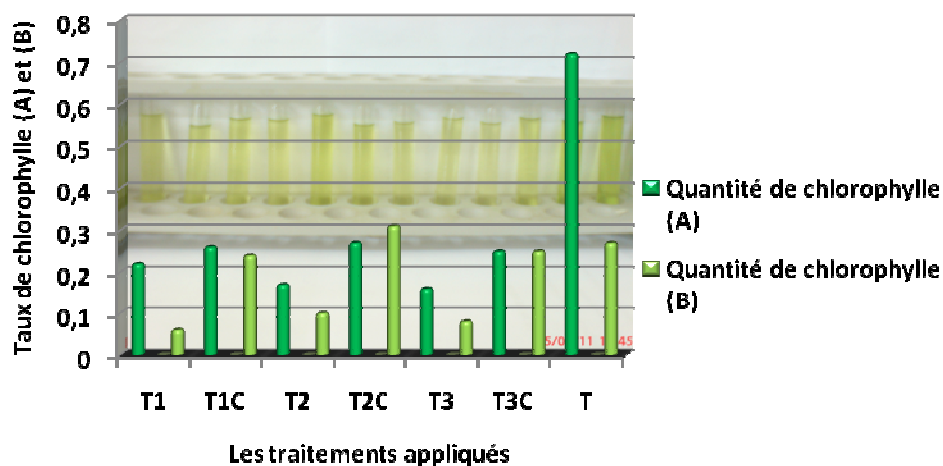
Annexe 33 : Taux de sucres dans les gousses



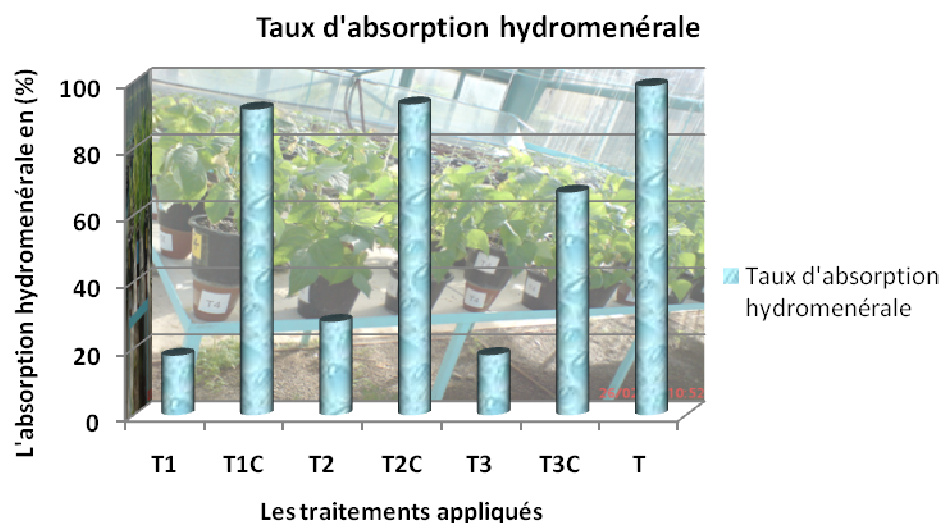
Annexe 34 : Taux des sucres solubles dans les feuilles [$\mu\text{g/g MF}$]



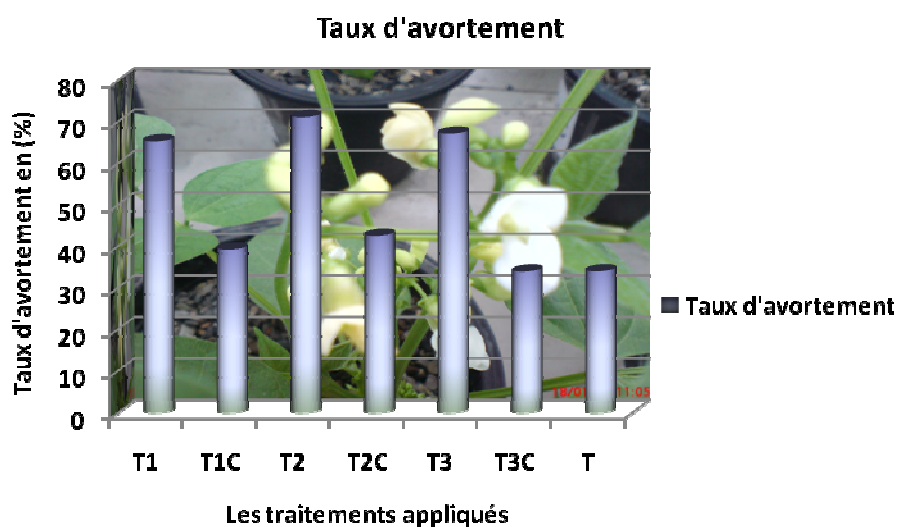
Annexe 35 : Quantité de chlorophylle (A) et (B) en [$\mu\text{g/g}$ MF]



Annexe 36 : Taux d'absorption hydrominérale en (%)



Annexe 37 : Taux d'avortement (%)



Annexe 38.: Quantité de proline en [$\mu\text{g/g}$ MF]

