

**UNIVERSITE S AAD DAHLAB DE BLIDA**

**Faculté des Sciences Agronomiques et Vétérinaires**

Département d'Agronomie

# **MEMOIRE DE MAGISTER**

Spécialité : Amélioration des productions végétales

## **VALORISATION DES EAUX NON CONVENTIONNELLES EN ARIDO CULTURE**

Par

**CHERAF Abla**

Devant le jury composé de

|                     |                         |              |
|---------------------|-------------------------|--------------|
| M. BENMOUSSA        | Professeur, U. de Blida | Président    |
| S.A. SNOUSSI        | Professeur, U. de Blida | Rapporteur   |
| L. ALLAL-BELFEKHIH  | Maître de conférence    | Examinatrice |
| M.S. ABDUL HUSSAINE | Maître assistante       | Examinatrice |

Blida, Janvier 2010

## RESUME

La salinité est un problème mondial notamment dans les milieux semi-arides et arides où la pluviométrie est faible et l'eau douce constitue le facteur majeur qui limite la production végétale. Le présent travail porte sur l'étude de l'effet de l'irrigation de deux variétés de haricot (Contender et DJadida) par une solution saline naturelle, ensuite alternée par différentes fréquences d'irrigations par une solution saline corrigée. Les observations et mesures ont porté sur les paramètres de croissance, de production et technologiques durant quatre stades de développement. Les résultats obtenus ont montré que le stress salin provoque la réduction de croissance, de l'absorption hydrominérale, de la production des gousses ainsi que du taux de sucre au niveau des gousses. Néanmoins, la teneur en eau n'est pas influencée par la salinité au niveau des gousses.

En revanche, la correction de l'eau saline naturelle permet d'augmenter tous les paramètres mesurés. Cependant, l'effet de l'alternance de l'irrigation par la solution saline naturelle par la solution saline corrigée s'exprime par une amélioration de la croissance, de l'alimentation hydrominérale et de la production, où l'on enregistre des accroissements considérables notamment au niveau du traitement T7 (amélioration de 30.19%), suivi par T5 et T6 (améliorations de 28.87% et 28.56%).

Concernant l'effet variétal, il s'est avéré que la variété Djadida est plus vigoureuse et plus productive que la variété Contender.

**Mots clé** : salinité, hors sol, haricot, solution nutritive, stress salin, stress hydrique.

## ملخص

تعتبر الملوحة مشكل عالمي خاصة في الأوساط الجافة والشبه الجافة، أين يكون تساقط الأمطار ضعيف والمياه العذبة تشكل العامل الرئيسي الذي يحد الإنتاج النباتي.

هذا العمل يهدف إلى دراسة فعالية سقي نوعين من الفاصوليا (جديدة وكونتوندار) بمحلول ملحي طبيعي فقط ، ثم يكون متناوبا لفترات دورية مختلفة مع السقي بمحلول ملحي معدل.

الملاحظات والقياسات تتناول متغيرات النمو ، الإنتاج، والمتغيرات التكنولوجية وذلك خلال أربع مراحل من تطور النمو. النتائج المتحصل عليها أثبتت أن الإجهاد الملحي احدث تراجع النمو، امتصاص الماء والأملاح المعدنية ، إنتاج قرون الفاصوليا وأيضا نسبة السكر في الثمار

بالمقابل تعديل الماء المالح استطاع أن يرفع من نتائج المتغيرات التي قمنا بقياسها. في حين فعالية التناوب في السقي بالمحلول الملحي الطبيعي والمحلول الملحي المعدل سمح بتحسين كل المتغيرات المدروسة، فقد سجلنا أحسن النتائج على مستوى العامل T7 (نسبة التحسين 30.19%) متبوعا بـ T5 و T6 (نسبة التحسين 28.87% و 28.56% على التوالي) .

فيما يخص فعالية أنواع الفاصوليا ، اتضح أن نوع جديدة تسجل نمو أحسن وإنتاج أكثر من نوع كونتوندار.

الكلمات الدالة: الملوحة، الفاصوليا، زراعة بدون تربة، المحلول المغذي.

## REMERCIEMENTS

Grâce à dieu le tout puissant qui ma donné le courage et la volonté, ce mémoire a été concrétisé.

Mes remerciements du fonds du cœur vont droit à ma famille qui a met à ma disposition tout les moyens nécessaires pour me permettre de réaliser mes objectifs, et qui n'a ménagé aucun effort pour cela.

Je tiens à remercier Pr. Snoussi mon promoteur, d'avoir accepté de diriger ce travail, sa gentillesse, sa compréhension, son soutien et ses conseil s éclairés.

A Monsieur Benmoussa va toute ma gratitude pour avoir accepté de présider ce travail.

Je tiens à remercier Mme. Allal et Mme. Abdulhousseine de m'avoir fait l'honneur d'être mes examinatrices.

Mes remerciements sont également adressés à Monsieur Ait saâdi pour ses conseils et son aide.

J'adresse aussi mes remerciement à Ryad (centre de calcule), Malika, Hasina et à tous mes enseignants.

## LISTE DES FIGURES

|  |    |
|--|----|
| Figure 1.1 : La répartition des sols salins dans le monde..... | 13 |
| Figure 3.1: Le système NFT.....                                | 33 |
| Figure 3.2 : Le système aéroponique.....                       | 33 |
| Figure 5.1 : Le schéma du dispositif expérimental.....         | 55 |
| Figure 5.2 : Le dispositif expérimental.....                   | 56 |
| Figure 5.3 : La germination du haricot.....                    | 57 |
| Figure 6.1 : Les différents traitements comparés au T1.....    | 70 |
| Figure 6.2 : Les racines de différents traitements.....        | 78 |
| Figure 6.3 : La première récolte des gousses.....              | 85 |



## LISTE DES TABLEAUX

|  |    |
|--|----|
| Tableau 1.1 : Classification des eaux salines.....   | 8  |
| Tableau 1.2 : Localisation géographique de la salinité dans certaines wilayas.....                           | 10 |
| Tableau 1.3 : Pourcentage des terres irriguées atteintes par la salinisation dans certains pays.....         | 11 |
| Tableau 1.4 : Superficies affectées par la salinité dans le monde.....                                       | 12 |
| Tableau 1.5 : Tolérance relative de quelques plantes cultivées à la salinité du sol.....                     | 16 |
| Tableau 2.1 : Exemples de teneurs en eau pour différents organes d'un végétal.                               | 18 |
| Tableau 2.2 : Principale forme chimique absorbée par la plante.....  | 28 |
| Tableau 4.1 : Composition du haricot vert (teneurs pour 100 grammes).....                                    | 41 |
| Tableau 4.2 : Classification des principaux types de haricot commun.....                                     | 42 |
| Tableau 4.3 : Les besoins en température selon les stades de développement...                                | 44 |
| Tableau 4.4 : L'influence de la carence hydrique sur la production du haricot....                            | 46 |
| Tableau 4.5 : Fumures apportées pour la culture du haricot.....  | 47 |
| Tableau 4.6 : La production du haricot vert et sec en Algérie 2001- 2005.....                                | 49 |
| Tableau 4.7 : Principaux pays producteurs du haricot.....  | 49 |
| Tableau 5.1 : Moyennes des températures par décade au milieu de la semaine..                                 | 52 |
| Tableau 5.2 : Traitements phytosanitaires réalisés.....  | 58 |
| Tableau 5.3 : Teneurs des différents éléments minéraux dans l'eau de robinet de Blida (mg/l) et (még/l)..... | 59 |
| Tableau 5.4 : Les composants des solutions nutritives.....   | 61 |
| Tableau 5.5 : Composition de la solution nutritive de base à partir de l'eau de Blida.....                   | 62 |
| Tableau 5.6 : Solution saline naturelle.....   | 63 |
| Tableau 5.7 : Solution saline naturelle d'oued Cheliff reconstitué avec l'eau de Blida.....                  | 63 |
| Tableau 5.8 : Solution saline naturelle d'oued Cheliff reconstituée avec l'eau de Blida et corrigée.....     | 64 |

|   |    |
|---|----|
| Tableau 5.9 : Composition de la solution complémentaire d'oligo-éléments (A et B).....        | 65 |
| Tableau 6.1 : La hauteur finale des plantes (cm).....   | 71 |
| Tableau 6.2 : La vitesse de croissance des plantes (cm/j).....                                | 72 |
| Tableau 6.3 : Le nombre des feuilles par plant.....   | 73 |
| Tableau 6.4 : Le poids frais des feuilles (g).....  | 74 |
| Tableau 6.5 : Le poids frais des tiges.....   | 75 |
| Tableau 6.6 : Le poids frais total (feuilles + tiges) (g).....                                | 76 |
| Tableau 6.7 : Le poids frais des racines (g).....   | 77 |
| Tableau 6.8 : Le poids sec des feuilles (g).....  | 79 |
| Tableau 6.9 : Le poids sec des tiges (g).....   | 79 |
| Tableau 6.10 : Le poids sec total (feuilles + tiges) (g).....                                 | 80 |
| Tableau 6.11 : Le poids sec des racines (g).....  | 81 |
| Tableau 6.12 : Le taux de la matière sèche des feuilles.....                                  | 82 |
| Tableau 6.13 : Le taux de la matière sèche des tiges.....                                     | 82 |
| Tableau 6.14 : Le taux de la matière sèche totale (feuilles + tiges).....                     | 82 |
| Tableau 6.15 : Le taux de la matière sèche des racines.....                                   | 84 |
| Tableau 6.16 : Le poids frais, le poids sec et le nombre des gousses .....                    | 86 |
| Tableau 6.17 : Taux d'avortement des fleurs.....  | 87 |
| Tableau 6.18 : Taux de sucres et taux d'humidité des gousses .....                            | 88 |
| Tableau 6.19 : Bilan d'absorption hydrominérale de la coupe 1 (54 jours après le semis).....  | 89 |
| Tableau 6.20 : Bilan d'absorption hydrominérale de la coupe 2 (66 jours après le semis).....  | 99 |
| Tableau 6.21 : Bilan d'absorption hydrominérale de la coupe 3 (83 jours après le semis).....  | 90 |
| Tableau 6.22 : Bilan d'absorption hydrominérale de la coupe 4 (120 jours après le semis)..... | 90 |

## TABLE DES MATIERES

|   |    |
|---|----|
| RESUME  |    |
| REMERCIEMENTS   |    |
| TABLE DES MATIERES  |    |
| LISTE DES TABLEAUX  |    |
| LISTE DES FIGURES   |    |
| INTRODUCTION.....   | 1  |
| <br><u>Chapitre 01 : la salinité</u>                                |    |
| 1.1 Définition de la salinité.....                                  | 4  |
| 1.2 Origines et causes de la salinité.....                          | 4  |
| 1.3 Types de la salinité.....                                       | 5  |
| 1.4 Facteurs intervenants dans le processus de la salinisation..... | 6  |
| 1.5 Classification des eaux salées.....                             | 8  |
| 1.6 Répartition de la salinité.....                                 | 9  |
| 1.7 Repense des plantes à la salinité.....                          | 14 |
| 1.8 Différentes méthodes de lutte contre la salinité.....           | 16 |
| <br><u>Chapitre 02 : l'absorption hydrominérale</u>                 |    |
| 2.1 Importance de l'eau dans la matière végétale.....               | 18 |
| 2.2 Besoins en eau éléments nutritifs.....                          | 19 |
| 2.3 Mécanisme de l'absorption des ions minéraux par la plante.....  | 19 |
| 2.4 Facteurs contrôlant l'absorption d'eau et sels minéraux.....    | 20 |
| 2.5 Principaux éléments minéraux indispensables à la plante.....    | 21 |
| 2.6 Principale forme chimique absorbée par la plante.....           | 28 |
| 2.7 Sources des éléments minéraux.....                              | 29 |

### chapitre 03 : Notion générale du procédé hors- sol

|  |    |
|--|----|
| 3.1 Définition du système hydroponique.....                | 30 |
| 3.2 Objectifs de l'hydroponie.....                         | 30 |
| 3.3 Avantages et inconvénients de la culture hors sol..... | 31 |
| 3.4 Composantes de l'hydroponie.....                       | 32 |

### Chapitre 04 : généralités sur la culture de haricot

|   |    |
|---|----|
| 4.1 Origine et Historique du haricot..... | 38 |
| 4.2 Description de la plante.....         | 39 |
| 4.3 Classification botanique.....         | 42 |
| 4.4 Exigences de la plante.....           | 44 |
| 4.5 Principaux travaux d'entretien.....   | 47 |
| 4.6 Le haricot en Algérie.....            | 48 |
| 4.7 Le haricot dans le monde.....         | 49 |

### Chapitre05 : Matériel et méthodes

|  |    |
|--|----|
| 5.1 Objectif de l'expérimentation.....                                 | 50 |
| 5.2 Matériel végétal.....  | 50 |
| 5.3 Conditions expérimentales.....                                     | 51 |
| 5.4 Dispositif expérimental.....                                       | 54 |
| 5.5 Semis et repiquage.....  | 57 |
| 5.6 Traitements phytosanitaires utilisés durant l'expérimentation..... | 57 |
| 5.7 Récolte.....   | 58 |
| 5.8 Préparation des différentes solutions utilisées.....               | 58 |
| 5.9 Estimation du bilan d'absorption hydrominérale.....                | 65 |
| 5.10 Paramètres étudiés.....   | 66 |

## Chapitre 06 : Résultats et discussions

|   |    |
|---|----|
| 6.1 Paramètres de croissance.....                       | 71 |
| 6.2 Paramètres de production.....                       | 85 |
| 6.3 Paramètres technologiques.....                      | 88 |
| 6.4 Estimation du bilan d'absorption hydrominérale..... | 89 |
| CONCLUSION .....  | 93 |
| ANNEXES   | 95 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE                              |    |

## SUMMARY

Salinity is a global problem specially in semi-arid and arid areas where rainfall is low and fresh water is the major factor limiting crop production. This study focuses on the study of the effect of irrigation of two varieties of beans (Contender and Djadida) by a natural saline solution alone, followed by alternating different frequencies of irrigation by saline corrected. The comments and actions focused on the parameters of development, production and technology for four stages of development. The results showed that salt stress causes a reduction in growth, hydromineral absorption, production of pods and the blood sugar level pods. Nevertheless, the water content and rate of total nitrogen are not affected by salinity at the pods.

However, the correction of the saline water can be increased all parameters measured. However the effect of the alternation of irrigation by the natural saline solution and saline Corrected be by improving the growth, food hydromineral and production, where we recorded the best results in the T7 treatment (improvement of 30.19%), followed by T5 and T6 (Improvements to 28.87% and 28.56%).

Concerning the effect of varieties, it was found that the Djadida variety is more vigorous and productive than Contender variety.

**Keywords:** salinity, above ground, beans, nutrient solution, saline stress, water stress.

## INTRODUCTION

L'eau est l'élément le plus 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 aléatoire 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.

DE FORGES [1], note que La salinité est la concentration des solutions en sels solubles présents dans l'eau ou dans le sol. La présence de ces sels en grande quantité peut modifier la vie des végétaux et les caractéristiques des sols.

En effet, la salinité est un problème d'actualité, HAMDY [2] note qu'environ 340 millions hectares soit 23% des terres cultivées dans le monde sont des sols salins. Les données actuelles se résument dans le bassin méditerranéen où l'on enregistre 16 millions hectares de sols salés dont 3.2 millions hectares en Algérie [3]

La salinisation des sols nous inquiète de plus en plus notamment dans les zones sèches parce qu'elle provoque une grande menace pour la sécurité alimentaire.

Une forte concentration du sel dans la solution du sol entrave considérablement le développement et la croissance des plantes cultivées.

La concentration totale en ions minéraux influe par diverses manières, sur l'intensité globale de l'absorption, mais pas de façon systématique 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. [4]

GOUNY et CORNILLON [5] notent que l'effet de la salinité sur les plantes se traduit par une dégradation des conditions internes ayant pour conséquence un arrêt de la croissance.

DUTHIL [6] confirme 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.

Le rendement des cultures est affecté négativement par le stress salin car la fermeture stomatique, même partielle entraîne une diminution de la photosynthèse [7].

Pour limiter le problème de la salinité, il y a des solutions préconisables pour une meilleure gestion des systèmes de production :

- Réduire le gaspillage des eaux douces en adoptant des doses et des fréquences d'arrosage correspondantes aux besoins réels des plantes cultivées. A ce propos LOYER [8] note que l'utilisation des techniques d'irrigations bien adaptées aux climats et aux sols est également un moyen efficace d'économiser l'eau. Par exemple l'irrigation sous terrainne par tubes microporeux, permet de limiter les pertes par évaporation et les remontés de sels.
- Réduire la concentration saline par l'évacuation des sels solubles présents dans le sol. Cette opération se fait par la pratique de lessivage et de drainage. La FAO [9] montre qu'il est nécessaire d'utiliser 300mm d'eau douce pour lessiver 30cm de sol et enlever 80% de sels.

- Exploiter les ressources existantes en eau et en même temps minimiser les risques de stress salin. Cela peut être possible par des rééquilibrages des eaux salines afin d'améliorer leurs qualité.
- Mettre en pratique une utilisation alternée des eaux salines et des eaux douces sur les plantes cultivées.
- Créer des variétés capables de supporter les effets de l'excès de sels dans leurs rhizosphères.

C'est dans ce contexte de gestion des systèmes de production que nous proposons d'alterner dans le cycle de l'irrigation du haricot par une eau saline naturelle, la même eau, transformée en solution nutritive et ce à différentes fréquences.

## CHAPITRE 1 LA SALINITE

### 1.1 Définition de la salinité

La salinité est la teneur du sol en sels solubles préjudiciables à la production végétale. D'une façon générale, il y a salinité, chaque fois que la présence des sels vient modifier la vie végétale ou les caractéristiques des sols [1].

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 millisiemens [10].

La salinité (s‰) est définie conventionnellement comme poids en grammes des composés solides séchés à poids constant à 480C<sup>0</sup>, obtenu à partir de 1Kg d'eau de mer [11].

### 1.2 Origines et causes de la salinité

D'après DE FORGES [1], en premier lieu, la salinité est due à la présence des horizons supérieurs du sol qui sont salés avant toute intervention humaine. En second lieu elle provient de l'emploi d'eau salée sur des sols initialement sains.

Les sols salés résultent du processus pédologique selon lequel le sol s'enrichit anormalement en sels solubles, acquérant ainsi le caractère salin [12].

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.

GAUCHER et BURDIN [13] notent que, la salure peut avoir trois origines distinctes :

- Salure d'origine marine : Peut être provoquée par le contact de la mer.
- Salure d'origine continentale ou géologique : Elle peut provenir de couches sédimentaires salifères.
- Salure d'origine volcanique : Elle peut se rattacher à certaines manifestations, généralement poshumes, du volcanisme.

### 1.3 Types de la salinité

#### 1.3.1 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.

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 [14].

La salinisation primaire est due à l'origine géologique du sol et sa formation. Souvent il se produit autour des marges naturelles grâce à l'accumulation des sels provenant des roches salines qui sont attaquées par l'eau. A cause de la capillarité

l'eau remonte vers la surface du sol, après l'évaporation de l'eau le sol devient salin [15].

### 1.3.2 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'absorbent 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 [1].

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 [16].

Les eaux salées utilisées faiblement peuvent conduire une salinisation des sols. Le cas s'est produit où l'application en trop faibles quantités d'eaux salines a une accumulation de sels dans le sol, gênante pour les cultures [17].

## 1.4 Facteurs intervenants dans le processus de la salinisation

### 1.4.1 Source de sels

Selon RHOADES et al., [18], la salinisation d'un milieu implique la présence d'une source de sel. Cette source peut être soit l'eau de mer, soit un matériau géologique, soit l'eau d'irrigation, soit la nappe phréatique.

#### 1.4.2 Le climat

Le climat est un facteur qui favorise les processus de salinisation. La température et l'humidité relative provoquent une grande influence sur les besoins des plantes en eau. Les très faibles précipitations et les fortes températures augmentent l'évapotranspiration. Cela entraîne une augmentation de l'absorption d'eau par la plante, ce qui donne une concentration des sels très élevés dans la solution de sol [19].

Dans les milieux semi-arides la sécheresse de l'air ambiante et la faiblesse de la pluviométrie engendrent une forte évaporation dont les conséquences sont la migration et la concentration des sels dans les horizons superficiels de la couche arable [20].

#### 1.4.3 Caractéristiques des sols irrigués

DAOUD [16] a montré que la texture du sol influe sur la salinisation du sol. Pour la texture argileuse le diamètre des pores est très faible surtout pour les argiles gonflantes. Dans ce cas, il y a une forte hydratation où la remontée des eaux salines à partir de la nappe par capillarité est très forte, d'où l'importance des propriétés de sol dans le contrôle des processus de salinisation.

#### 1.4.4 Système d'irrigation

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 quand 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 quand la concentration de Na et de Cl est supérieure à 20 méq/l [19].

#### 1.4.5 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 [17].

#### 1.5 Classification des eaux salées

Tableau 1.1 : Classification des eaux salines [21].

| 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                                    |

## 1.6 Répartition de la salinité

### 1.6.1 Salinité en Algérie

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 [22].

Les données actuelles se résument dans le bassin méditerranéen à 16 millions d'hectares de sols salés dont 3.2 millions en Algérie [3].

Selon DROUHIN [23], l'Algérie est un pays de sels, et le plus souvent d'origine sédimentaire.

DAOUD et HALITIM [24] ajoutent qu'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.

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 [25].

Tableau 1.2 : Localisation géographique de la salinité dans certaines wilayas [26].

| 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  |

### 1.6.2 La salinité dans le monde

DURAND [17] note que les sols salés se rencontrent dans toutes les parties du monde. Ils ont un caractère azonal. Ils se trouvent non seulement dans les milieux arides et semi-arides mais aussi dans les milieux subhumides et même humides.

La salinité du sol est le problème le plus répandu et constitue un facteur limitant pour la production des cultures irriguées. Elle intéresse environ un milliard d'hectares dans le monde situés principalement dans les régions arides et semi-arides. Vingt millions d'hectares sont atteints par la salinité correspondent à 27% de la surface irriguées affectés par un excès de sel [27].

Actuellement dans le monde, sur les 280 millions d'hectares irrigués, 27% sont affectés par la salinisation secondaire, et 50% sont menacés [25].

Tableau 1.3 : Pourcentage des terres irriguées atteintes par la salinisation dans certains pays [3].

| 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                  | Israël      | 13                    |
| Jordanie | 16                    | Etats unies | 20-25                 |
| Colombia | 20                    | Pakistan    | <40                   |
| Peru     | 12                    | Seri Lanka  | 13                    |
| La Chine | 15                    | Syria       | 30-35                 |

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 % [15].

Tableau 1.4 : Superficies affectées par la salinité dans le monde [27].

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

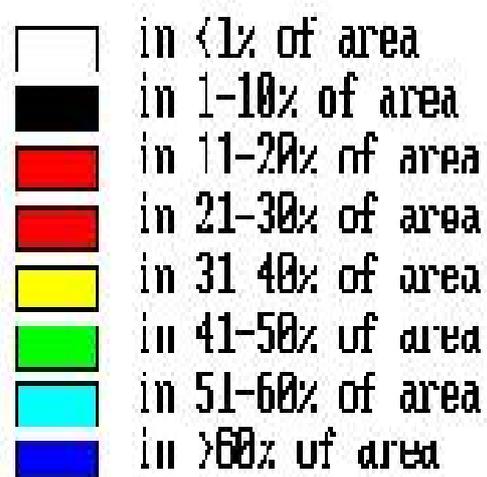
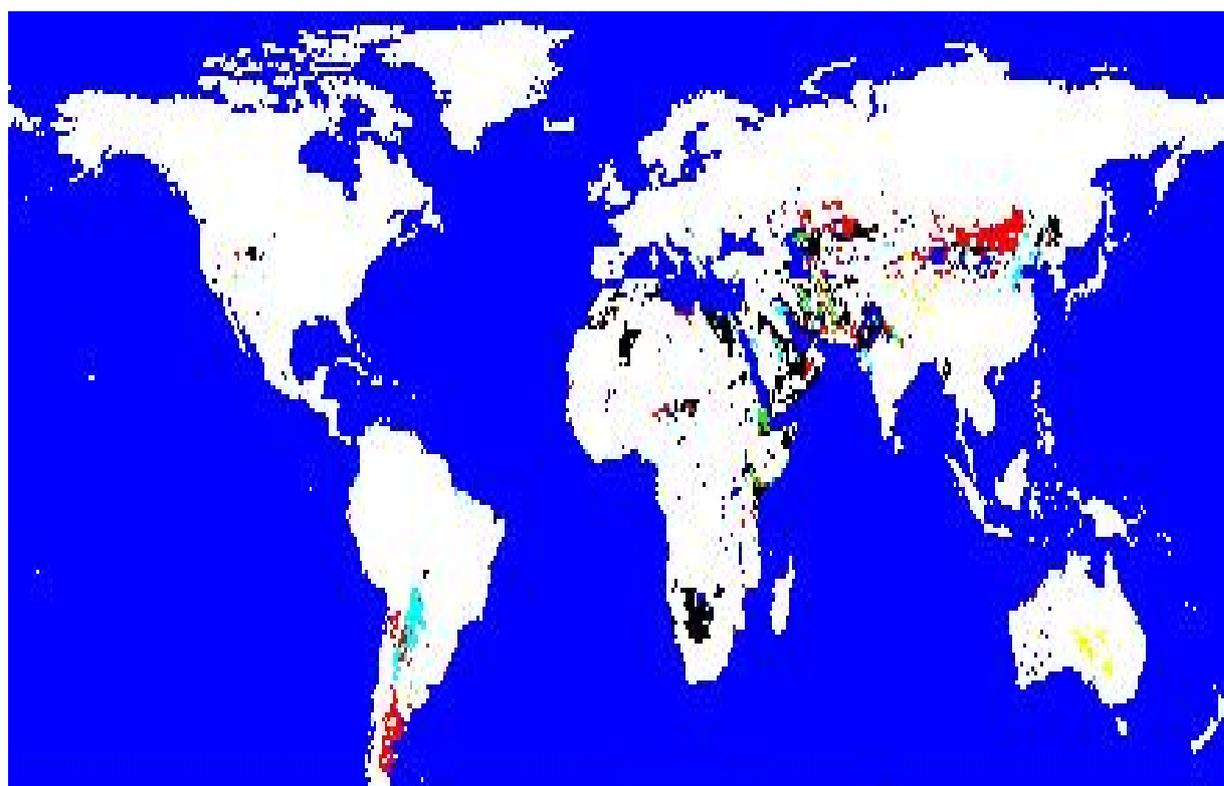


Figure 1.1 : la répartition des sols salés dans le monde en 2001 [28].

## 1.7 Réponse des plantes à la salinité

La réponse à la salinité se manifeste généralement chez la plupart des plantes cultivées par un effet dépressif sur la croissance et le développement [29]; [30] et [31]. Cette réponse varie considérablement en fonction du genre, de l'espèce et même de l'écotype ou de la variété [32]; [33]; [34] et [35].

La diminution de la croissance est une réponse à la déshydratation. Elle contribue à la conservation des ressources en eau, ce qui permet la survie de la plante [36]; [37] et [38]. Chez la tomate, la diminution de la croissance n'est pas considérée comme une conséquence des perturbations osmotiques, mais comme une stratégie qui permet à la plante de limiter les pertes d'eau par transpiration et de maintenir ainsi une bonne valeur de l'efficacité d'utilisation de l'eau [39].

Les végétaux sont capables de supporter le déficit hydrique engendré par le stress salin, en ajustant plus ou moins rapidement leur potentiel osmotique avec celui du milieu extérieur, de manière à maintenir un gradient de potentiel hydrique entre la plante et le milieu salin [40]. Une fois que la plante s'est ajustée osmotiquement au milieu salin et que sa turgescence est restaurée, le déficit hydrique n'apparaît plus comme un facteur limitant la croissance sur milieu salin [29] et [41].

BRESSAN et al ; [42] notent que les cellules de tabac adaptées au stress salin continuent de présenter une limitation de croissance, même quand leurs réajustements osmotiques sont réalisés. Les plantes régénérées à partir de cellules, adaptées au stress salin, continuent de montrer une croissance limitée, même en l'absence de stress salin [43].

La diminution de l'expansion foliaire est soumise à un double contrôle, comprenant les équilibres hydriques et les signaux hormonaux provenant des racines. Dans le cas de brusques variations environnementales d'humidité, de lumière ou de salinité, les relations hydriques sont les responsables des perturbations de la vitesse d'élongation. Alors que pour des stress hydriques ou salins, dont la durée est de l'ordre de quelques jours, ce sont les signaux hormonaux qui

conditionnent le niveau de croissance ; cependant, à ce niveau, durant les périodes de forte transpiration, c'est l'état hydrique qui redevient le facteur limitant, malgré le contrôle exercé par les hormones [44].

Les pertes d'eau induites par les exigences atmosphériques sont régulées par les stomates ; mais c'est au niveau des racines que se situe le maillon faible de la chaîne du flux hydrique [45]. À ce niveau, des canaux hydriques, ou aquaporines, induits en réponse à tout déficit hydrique, ont été mis en évidence [46] et [47].

La plante, du fait de la diminution de la croissance de la partie aérienne, doit réguler plus 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 [38]. La diminution de la productivité des plantes en déficit hydrique est due au fait que ces dernières, en réduisant leur croissance, diminuent leurs surfaces foliaires, ce qui a pour conséquence une diminution de la capacité photosynthétique de la plante entière [48].

Les halophytes n'utilisent pas la diminution de croissance comme un moyen de survie dans les conditions salines, mais continuent de puiser l'eau dans le sol, et les ions absorbés sont, soit éliminés par excrétion [49], soit dilués au niveau de la plante au cours de la croissance [50].

Tableau 1.5 : Tolérance relative de quelques plantes cultivées à la salinité du sol [51].

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

### 1.8 Différentes méthodes de lutte contre la salinité

D'après AYERS et WESCOTTD [52], 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 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.

## CHAPITRE 2

### L'ABSORPTION HYDROMINERALE

#### 2.1 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 [53].

DUTHIL [54] et LAF ON et al [57] notent que l'eau est le principal constituant des végétaux frais (60 à 90% en moyenne). 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.

Tableau 2.1:exemples de teneurs en eau pour différents organes d'un végétal [56].

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

MORARD [57] note que l'eau est un facteur limitant le développement et la croissance des végétaux. 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.

## 2.2 Besoins en eau et éléments nutritifs

LESAIN [58] note que 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.

Le déficit létal, ou valeur critique du déficit hydrique au-delà de laquelle 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 [59].

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 [60].

## 2.3 Mécanisme de l'absorption des ions minéraux par la plante

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 [60].

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 [61].

DUVIVIER et [62] notent que la pénétration de l'eau et les éléments minéraux de la solution minérale vers le poil absorbant se fait selon deux mécanismes :

- Soit les minéraux pénètrent suivant les lois de diffusion, sans dépense d'énergie de la part de la cellule;
- Soit les ions pénètrent dans la cellule par transport actif, nécessitant une dépense d'énergie de la part de la cellule.

## 2.4 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. [63]

D'après [64], l'absorption de l'eau et des éléments minéraux varient en fonction de plusieurs facteurs :

### 2.4.1 La température

Selon MAZLIAK [64], 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 [65].

### 2.4.2 L'oxygène

MAZLIAK [64] note que pour une absorption normale il faut que les racines soient aérées.

### 2.4.3 La lumière

Au dessous d'une certaine intensité énergétique (point de compensation) l'assimilation nette est nulle [6].

#### 2.4.4 La composition du milieu (équilibre minéral)

D'après MAZLIAK [64], 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.

#### 2.4.5 Le pH

MAZLIAK [64] montre que la majorité des sels minéraux sont plus sensibles en milieu acide qu'en milieu alcalin. Donc l'absorption varie selon le pH du milieu.

#### 2.4.6 Autres facteurs

Selon MAZLIAK [64], les auxines facilitent la pénétration de l'eau vers les racines, par contre les toxines réduisent l'alimentation hydrique des racines.

### 2.5 Principaux éléments minéraux indispensables à la plante

D'après MAZLIAK [64], Les éléments minéraux sont indispensables à la croissance des tissus, aux organes ou organismes végétaux.

Ils interviennent comme constituants ou cofacteurs obligatoires de nombreuses enzymes.

Les éléments minéraux interviennent dans la construction de la plante (synthèse de certaines molécules organiques) ou dans son métabolisme [62].

On classe généralement les éléments minéraux nécessaires à la plante en macro-éléments dont la plante a besoin en quantité élevée; et en micro-éléments dont la plante a besoin en petite quantité [66].

### 2.5.1 Macro – éléments

#### ❖ L'Azote (N)

Selon DUTHIL [6], l'azote est un élément plastique. Il entre dans la composition des végétaux. Il est considéré comme un facteur de production. Il rentre dans la composition de cytoplasme, les organites, les protéines, les enzymes et les acides nucléiques.

L'azote est nécessaire à la multiplication cellulaire et au développement des organes végétatifs. Il accroît la surface foliaire et la masse protoplasmique [60].

Selon MAZLIAK [64], une carence en Azote donne des plantes naines, de couleur vert pâle. Les bourgeons se développent mal ou n'évoluent pas [6].

ELIARD [67] a montré que l'excès d'azote provoque une végétation excessive, avec un retard de maturation, et la plante devient sensible aux maladies.

#### ❖ Phosphore (P)

DUTHIL [6] note que le phosphore est un élément plastique. C'est un constituant de la matière vivante végétale. Dans les tissus des végétaux, la teneur de phosphore augmente avec N.

Le phosphore intervient d'une façon déterminante dans la constitution de certains éléments structuraux essentiels à la vie cellulaire (phospho-lipides et les acides nucléiques) [59].

Le phosphore rentre dans la composition d'une molécule organique. L'ATP, spécialisée dans le stockage, le transport et la libération d'énergie dans la cellule [62].

MAZLIAK [64] note que le phosphore est absorbé sous forme d'ions phosphoriques  $PO_4^{-3}$  ou  $PO_4H^{-2}$ .

D'après [6], une carence en phosphore présente un aspect chétif des plantes, des feuilles très allongées et de couleur pâle, une coloration pourpre apparaît sur le bord du limbe; qui peut se nécrosés en suite.

DIEHL [68] note qu'un excès de phosphore provoque un déséquilibre N/P, et une insolubilisation du fer dans le sol.

#### ❖ Potassium (K)

Selon MAZLIAK [64], il rentre dans les liquides cellulaires et équilibre les charges négatives des macro-molécules biologiques. Il intervient dans les processus de catabolisme et métabolisme cellulaire.

Le potassium diminue la transpiration et réduit le risque de flétrissement en cas de sécheresse et confère aux plantes une meilleure résistance au froid et aux maladies [69].

Le potassium est nécessaire à de nombreuses synthèses cellulaires mais son mode d'action est mal connu. Il favorise le développement et la coloration des fruits [62].

La carence de potassium se traduit par des anomalies de pigmentation du feuillage d'abord vert bleuté, comme le cas d'un excès d'azote, elle présente au bout d'un certain temps des tâches qui se nécrosent amenant une dessiccation prématurée [68].

#### ❖ Le Calcium (Ca)

Le calcium intervient dans la structure de la paroi cellulosique [62].

Selon MAZLIAK [64], le calcium joue un rôle dans l'assimilation des nitrates. Il rentre dans les parois cellulaires et souvent neutralise les charges négatives des macromolécules, comme les protéines du phospholipide.

Le calcium est lié au maintien de la structure cellulaire. Il intervient dans l'hydratation et la perméabilité cellulaire [70].

HELLER [59] montre que le calcium freine la pénétration de l'eau et des éléments minéraux tels que le potassium et le fer, quand ces ions sont toxiques ou présents en excès.

Une carence de calcium provoque la nécrose des feuilles [64].

Selon HELLER [59], l'excès de calcium provoque le calcifuges ou malnutrition ferrique, et le dessèchement des plantes.

#### ❖ Le Magnésium (Mg)

Le magnésium est un constituant de la chlorophylle. Mais c'est aussi l'élément activateur par excellence de la plus part des ATPase qui assurent les transferts de groupements phosphorylés. Il assure la phosphorylation des sucres dans la glycolyse [59].

D'après DUTHIL [54], le magnésium joue un rôle plastique fondamental dans le développement et la croissance des plantes. Les principaux rôles de cet élément :

- il est nécessaire à la formation des pigments des plantes;
- intervient dans la fabrication des sucres;
- joue un rôle important dans l'absorption et l'assimilation des engrais phosphatés;
- Il favorise la formation des lipides complexes;
- Il favorise la turgescence et rétablit l'équilibre hydrique;
- Augmente la valeur alimentaire des fourrages;

Une carence en magnésium se traduit par la chlorose des limbes entre les nervures principales des feuilles inférieures, typiquement sans nécroses [64].

#### ❖ Le Sodium (Na)

Selon [59], le sodium est un élément chimiquement proche du potassium mais il ne peut le remplacer. Les toxicités observées dans les sols sont dues au chlorure de sodium (NaCl) [68].

#### ❖ Le Soufre (S)

Le soufre est un élément constitutif de nombreuses protéines indispensables (méthionine, cystine ...) [67].

COÏC [70] montre que le soufre est un élément constitutif des enzymes fondamentales du métabolisme et des composés soufrés spéciaux de certaines familles végétales.

Selon DUTHIL [54], le soufre participe à la construction des éléments indispensables comme les protéines, indispensables à la formation de la chlorophylle.

HELLER [59] note qu'une carence de soufre provoque la disparition de la chlorophylle, ce qui influe sur le métabolisme.

D'après DUTHIL [6], la carence de soufre se traduit par un jaunissement des feuilles, et les nodosités des légumineuses sont difficilement formées.

### 2.5.2 Les oligo-éléments

Les oligo-éléments sont aussi bien des éléments indispensables au développement des végétaux. C'est au début du 20<sup>ème</sup> siècle que G. BERTRAND propose le nom, oligo-éléments, auquel il consacre d'importants travaux tout en s'intéressant particulièrement aux éléments Mn, Zn, B.

En 1943 E.GRIS propose un premier traitement par l'utilisation des composés ferrugineux pour lutter contre le « chlorose » [71].

Selon [72], les oligo-éléments sont des éléments indispensables à la vie, se trouvant à des doses évidemment très faibles dans les tissus végétaux. Ceux qui sont nécessaires chez les plantes supérieures sont: Fer(Fe), le manganèse (Mn), le Zinc(Zn), le cuivre(Cu), le Bore (B), et le Molybdène (Mo).

D'autres éléments jouent un rôle essentiel chez certaines plantes comme le chlore (Cl), le silicium (Si), le cobalt (Co).

Les oligo-éléments présentent trois caractéristiques essentielles :

- Ils sont nécessaires en très petite quantité : quelques grammes ou quelques centaines de grammes selon l'oligo-élément et la nature des cultures.
- Ils exercent un rôle métabolique ou enzymatique n'entrant pas dans les constituants élaborés.
- Ils agissent de manière très efficace. Un apport sur une culture carencée décuple parfois le rendement [60].

#### ❖ Le fer (Fe)

Le Fer rentre dans la constitution de plusieurs protéines catalytiques comme le cytochrome et ferrédoxine. Ces protéines jouent un rôle capital dans les transports d'électron lié au métabolisme énergétique [64].

Selon LOUE [72], le fer intervient dans les phénomènes vital comme la respiration, la biosynthèse de chlorophylle, la photosynthèse, les métabolismes de protéines, la réduction de l'Azote, et la réduction des nitrates.

D'après COIC et COPPENET [66], la carence en fer provoque la maladie de chlorose ferrique. On observe un jaunissement internervaire, commençant par les feuilles les plus jeunes puis les feuilles âgées [54].

#### ❖ Le Manganèse (Mn)

Le Manganèse joue un rôle dans diverses oxydoréductions (réduction de nitrates et de l'hydroxylamine), dans l'hydrolyse des peptides et certaines décarboxylations [59].

LOUE [72] note que le manganèse a un rôle dans l'activation de certaines enzymes, la photosynthèse et le photosystème.

Selon COIC et COPPENET [66], la carence en Mn apparaît sous forme de chloroses marginales et internervaires, mais en général la carence diffère d'une espèce à l'autre.

#### ❖ Le Bore (B)

D'après LOUE [72], le bore intervient dans le transport des glucides, le métabolisme des acides nucléiques et synthèse des protéines et dans la croissance méristématique.

COIC et COPPENET [66] notent qu'une déficience de bore entraîne un mauvais développement du bourgeon terminal puis sa destruction. La carence se traduit par des troubles dans le fonctionnement des méristèmes et la différenciation des organes (HELLER, 1981).

Dans ce sens MAZLIAK [64] ajoute que la carence provoque des accumulations anormales des sucres ou d'amidon.

#### ❖ Le ZINC (Zn)

IL intervient dans la synthèse des acides nucléiques et des protéines ainsi que dans le métabolisme des auxines [72].

D'après HELLER [59], l'absence de Zinc entraîne des troubles dans le métabolisme de l'auxine et une perturbation dans la croissance.

## ❖ Le Cuivre (Cu)

DUTHIL [6] note que le cuivre agit comme un catalyseur des oxydoréductions. Il intervient dans la photosynthèse. Il est un constituant de nombreuses enzymes.

Selon COIC et COPPENET [66], une carence du Cu provoque une mauvaise levée, une mauvaise croissance. Pour les légumineuses, la carence entraîne l'avortement.

2.7 Principale forme chimique absorbée par la plante

Tableau 2.2 : Principale forme chimique absorbée par la plante [63]

| Les éléments nutritifs | La forme chimique absorbée par la plante |
|------------------------|--|
| <u>Macro-éléments</u>  |  |
| Azote (N)              | $\text{NH}_4^+$ , $\text{NO}_3^-$        |
| Phosphore (P)          | $\text{H}_2\text{PO}_4^-$                |
| Potassium (K)          | $\text{K}^+$                             |
| Soufre (S)             | $\text{SO}_4^{--}$                       |
| Magnésium (Mg)         | $\text{Mg}^{++}$                         |
| Calcium (Ca)           | $\text{Ca}^{++}$                         |
| <u>Micro-éléments</u>  |  |
| Chlore)                | $\text{Cl}^-$                            |
| Fer (Fe)               | $\text{Fe}^+_{2}$                        |
| Manganèse (Mn)         | $\text{Mn}^+_{2}$                        |
| Zinc (Zn)              | $\text{Zn}^+_{2}$                        |
| Cuivre (Cu)            | $\text{Cu}^+_{2}$                        |
| Bore (B)               | $\text{H}_3\text{BO}_3$                  |
| Molybdène (Mo)         | $\text{MoO}_4^{--}$                      |

## 2.8 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) ;
- Engrais minéraux ;
- La fixation biologique de l'azote ;
- Dépôts aériens. [63].

## CHAPITRE 3

### NOTION GENERALE DU PROCEDURE HORS- SOL

#### 3.1 Définition du système hydroponique

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 » [7].

Une culture «hydroponique» est une culture sur un milieu aqueux qui doit contenir les éléments minéraux dont les plantes à besoin [66].

Le terme « culture hors-sol » regroupe un ensemble de systèmes de production qui permettent aux plantes de se développer en faisant abstraction du sol en place [73].

Au sens strict, la culture la culture hors-sol est la culture dans un milieu racinaire qui n'est pas le sol naturel, mais un milieu reconstitué et isolé du sol [74].

#### 3.2 Objectifs de l'hydrophone

Selon JEANNEQUIN [73], les cultures hydroponiques sont développées pour trois raisons :

- Eviter la fatigue rapide du sol de serre à cause des attaques parasitaires avec prolifération de nématodes et de champignons ;
- Elles offrent la possibilité d'implanter des serres à des endroits où l'énergie est meilleur marché, 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.

Selon LESAINTE et COÏC [75], les avantages de la culture hors sol sont :

- Gain de précocité ;
- Élimination des contraintes liées au sol (sols inadaptés ou de mauvaises qualités agronomiques, présence d'agents pathogènes, de polluants,...)
- Simplification des techniques culturales (absence de préparation du sol, rotations culturales rapides et mise en œuvre facile)
- Meilleure qualité du produit (augmentation du poids moyen du fruit, amélioration de la qualité ; coloration, fermeté et capacité de conservation et réduction de l'utilisation de produits phytosanitaires).
- Meilleure productivité de la plante (optimisation du potentiel de la plante, réduction des pertes en culture).

D'après les mêmes auteurs, le rôle essentiel de l'hydroponie est l'amélioration de nos connaissances sur les besoins de diverses espèces végétales.

### 3.3 Inconvénients de la culture hors sol

D'après MORARD [57] les inconvénients de la culture hydroponique sont :

- Coût d'installation et d'entretien important (investissement station de tête, charges proportionnelles (substrat, solution nutritive).
- Utilisation d'une haute technologie (absence d'un système tampon, formation des agriculteurs).
- La qualité des produits (pas de différence sur critères mesurés).
- Maîtrise incomplète des déchets (rejets de solution nutritive, certains substrats non recyclables).

### 3.4 Les composantes de l'hydroponie:

#### 3.4.1 Substrat

On parle souvent de cultures sur substrat, car ce milieu reconstitué repose souvent sur l'adoption d'un matériau physique stable: le substrat, parfois d'origine manufacturé et industriel, parfois d'origine naturelle. Il existe cependant des cas de cultures hors-sol n'utilisant pas de substrats: NFT (nutrient film technique). [74].

Le terme de substrat en agriculture s'applique à tout matériau naturel ou artificiel qui, placé en conteneur, pur ou en mélange permet l'ancrage du système racinaire et joue ainsi vis-à-vis de la plante le rôle du support [76].

Selon ZANG et MUSARD [77], le substrat est le milieu dans le quel les racines s'installent et où elles sont mises en contact avec la solution nutritive.

##### 3.4.1.1 Critères de choix d'un substrat

Selon ZANG et MUSARD [77], le substrat idéal doit :

- Permettre une bonne circulation de la solution;
- Ne pas se tasser;
- Ne pas se dégrader;
- Ne pas blesser les racines;
- Ne pas contenir d'éléments toxiques pour les plantes;
- Avoir une capacité d'échange nulle ou faible;
- Ne pas renfermer d'organismes pathogènes;
- Etre facile à désinfecter.

Le substrat idéal n'existe pas; il existe seulement des substrats possédant des avantages et des inconvénients engendrant des contraintes qu'il faut connaître pour optimiser l'utilisation [78].

D'après le même auteur, avant d'utiliser le substrat, il est nécessaire d'avoir des connaissances sur les caractéristiques physiques et chimiques du substrat. Il faut que le substrat soit en compatibilité avec les exigences propre du végétal, et du type de culture.

### 3.4.1.2 Classification des substrats :

- ❖ Milieu fluide: (absence de substrat)
  - Système N.F.T. : (Nutrient Film Technique)

Les racines se développent dans une lamelle d'eau courante.

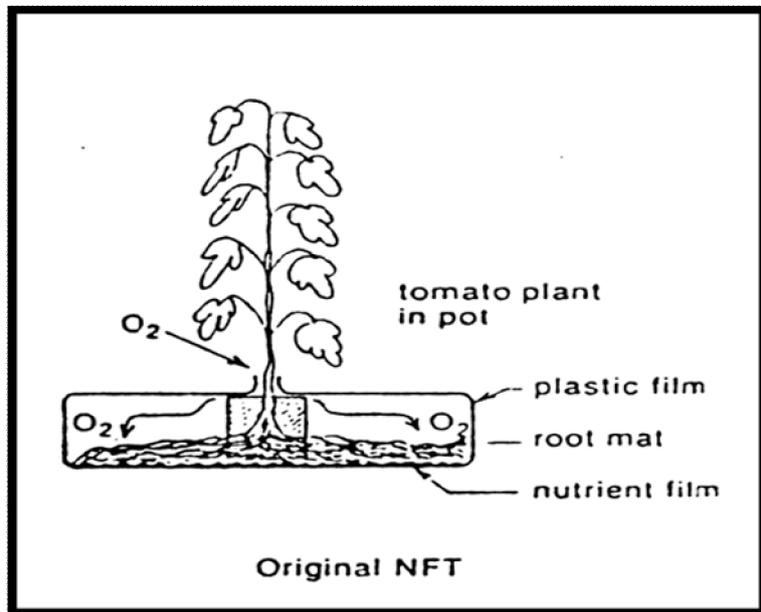


Figure 3.1: le système NFT [74].

- Système aéroponique:

Les racines sont maintenues dans l'air alimentées en solution nutritive par des Pulvérisations régulières.

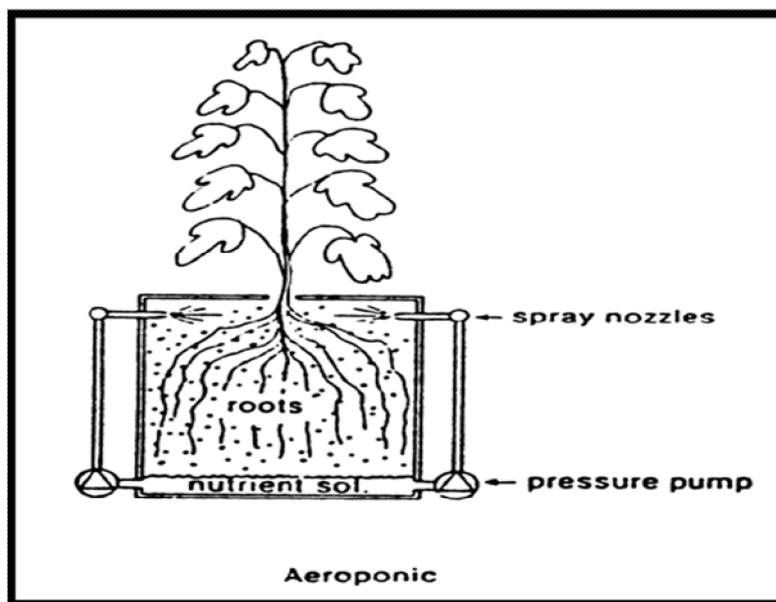


Figure 3.2 : le système aéroponique [74].

- ❖ milieu solide: (présence d'un substrat)

Selon ZUAUNG et MUSARD [77], les substrats sont classés selon leur nature et leur propriété:

➤ Classification selon la nature des matériaux:

- D'origine minérale:
  - Naturels (extraits) : graviers, sables, pouzzolane .
  - Manufacturés: laine de roche, laine de verre, argile expansée, vermiculite, perlite.
- D'origine organique:
  - Naturels: tourbe, terreau, cèdre rouge, écorces de pin, fibres de coco .
  - Synthétiques: matériaux plastiques expansés, billes de polystyrène, mousse. de polyuréthane, grains d'eaux (polycrylamides).

➤ Classification selon les propriétés de matériaux :

- Les matériaux chimiquement neutres: matériaux minéraux ou synthétique.
- Les matériaux chimiquement actifs: les matériaux d'origine végétale et quelques matériaux minéraux et synthétiques .
- Les matériaux ne se dégradant pas: gravier, sable, briques, concassées, argile expansée.
- Matériaux se dégradant lentement: marc de raisin, écorce, tourbes blondes
- Matériaux se dégradant: sciure, tourbes noires, vermiculites.

### 3.4.2 Conteneurs

D'après FEVERAU [79], ce sont des récipients qui contiennent la plante et le substrat isolement du sol .Le choix des conteneurs doit se faire en fonction de l'espèce cultivée et de son système racinaire .En général les contenaires sont en matière plastique chimiquement inerte, étanche et durable.

### 3.4.2.1 Caractéristiques idéales des conteneurs

- Etre rigide (mais souples), bord supérieur renforcé (plus de rigidité prise pour les pinces);
- Etre résistant (protection mécanique);
- Etre de couleur sombre, pour mieux exploiter les premières chaleurs;
- Etre résistant au soleil;
- Etre stable vis à vis du vent (nécessité d'une surface de base importante);
- Etre léger, pour faciliter le transport, les manipulations;
- Assurer un bon drainage; trous au fond ;
- Autoriser une bonne aération du substrat [80].

### 3.4.2.2 Conditions de réussite des cultures en conteneurs

Selon LEMAIRE [78], les conditions de réussite des cultures en conteneurs sont :

- Evacuation rapide des eaux en excès;
- Circulation facile dans les cultures;
- Protection contre le vent;
- Protection contre le froid.

### 3.4.3 Solution nutritive

La solution nutritive est la composante fondamentale des cultures hors sol puisqu'elle constitue le seul vecteur d'alimentation hydrominérale des végétaux. Elle doit satisfaire de manière non limitant les besoins des systèmes racinaires.

#### 3.4.3.1 Définition

Les solutions nutritives sont fabriquées à partir des eaux naturelles qui peuvent renfermer des sels. Certains sels sont indésirables, mais la technologie de fabrication permet de tenir en compte ou de corriger les teneurs [58].

D'après LESANT et COÏC [75], les solutions nutritives seront composées d'eau et de sels dissous apportant les ions indispensables.

Les solutions nutritives renferment des macroéléments et des oligo-éléments. Pour les caractériser on utilise deux unités :

- Millimole;
- Le milliéquivalent [53].

En hydroponique les solutions nutritives sont considérées comme la seule source d'alimentation en eau et ions minéraux; Il est nécessaire que cette solution renferme tous les éléments nutritifs et équilibrés par rapport au besoin en eau et en ions [75].

Une solution nutritive donnée, fabriquée avec des sels chimiques totalement dissociés, renferme un nombre total égal l'équivalent de cations et d'anions [53].

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 [75].

#### 3.4.3.2 contrôles de la solution nutritive

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 [75].

- Le pH

Selon VILAIN (1989) lors de la préparation des solutions nutritives, il faut prendre en considération le pH, qu'il doit être adapté à la nature des plantes (neutrophiles ou acidophiles). Le pH dépend des sels utilisés pour la réparation.

D'après LESAINT et COÏC [75], la mesure du pH, permet de vérifier la teneur en bicarbonates de l'eau et les erreurs éventuelles concernant l'apport d'acide nitrique. Le pH mesuré par le pH mètre.

La maîtrise du pH a quatre objectifs principaux :

- Eviter le précipité des éléments minéraux, et notamment de phosphate de calcium, dont une fraction croissante précipité lorsque le pH augmente.

- Neutraliser l'alcalinité naturelle de l'eau essentiellement due aux carbonates, pour éviter la toxicité, et éviter les précipités de carbonate de calcium

- Amener le PH de la solution dans une zone favorable à l'absorption de la majorité des éléments minéraux.

- Ajuster le PH de la solution aux exigences de l'espèce [81].

- o La conductivité électrique :

La conductivité est la mesure dans la solution du substrat de la concentration totale en engrais (salinité de la solution). Plus la solution est salée en engrais, plus la conductivité mesurée électriquement est grande [74].

Selon LESANT et COÏC [75], la mesure de la conductivité électrique de la solution nutritive permet de connaître la concentration globale en ions minéraux.

D'après VILAIN [53] la concentration ionique totale et la somme des concentrations molaires des ions. Elle détermine la pression osmotique de la solution. La conductivité électrique représente la concentration totale en éléments minéraux contenus dans la solution nutritive, pour apporter les éléments nécessaire à la culture [82].

## CHAPITRE 4

### GENERALITE SUR LA CULTURE DE HARICOT

#### 4.1 Origine et Historique du haricot

Le haricot est originaire d'Amérique du Sud de sa zone tropicale de moyenne montagne. Sa domestication date de plus de 9700 ans [83].

L'archéobotanique fait remonter le début de la culture du haricot à environ 9000 ans dans les Andes. Il était cultivé il y a 7000 ans en Amérique centrale et des haricots retrouvés au Pérou ont pu être datés d'il y a 8000 ans [84].

La première découverte du haricot par un Européen est le fait de Christophe Colomb à Cuba en 1492. Il rapporte dès son premier voyage des graines qu'il nomme *faxones* et *fabas*. Il est cultivé dès le milieu du XVI<sup>e</sup> siècle [84].

Les lianes à petits grains ont été domestiquées et sélectionnées afin d'augmenter la taille des graines, diminuer la tendance des gousses à s'ouvrir spontanément à maturité, choisir les couleurs des grains [85]

## 4.2 Description de la plante

Le genre *Phaseolus* appartient à la famille des *Fabaceae*, sous famille des *Faboideae* (anciennement connu sous le nom de « *Papilionacées* » en référence à la forme caractéristique de la corolle florale), tribu des *Phaseoleae*, sous-tribu des *Phaseolinae*.

Le genre *Phaseolus* et le genre *Vigna* qui lui est très proche forment un groupe taxonomique compliqué, parfois appelé « complexe *Phaseolus-Vigna* ». Le nombre d'espèces initialement rattachées au genre *Phaseolus* s'élevait à environ 200 [86].

Toutes les espèces du genre sont diploïdes et ont 22 chromosomes ( $2n = 22$ ), à l'exception de quelques unes qui ont subi une réduction aneuploïde à 20 chromosomes [86].

Les espèces du genre *Phaseolus* sont des plantes herbacées généralement annuelles, parfois bisannuelles ou vivaces pour certaines d'entre elles, dans des conditions de milieu favorables [86].

D'après ORIA [87], le haricot est une plante à un cycle végétatif court (3 à 4 mois), elle comprend les organes suivants :

### 4.2.1 Les 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<sup>ème</sup> feuille trifoliolée et dépassent 30cm au début de floraison [88].

#### 4.2.2 La tige

La tige est herbacée, très flexible. Elle présente toujours un bourgeon terminal. A l'aisselle des feuilles, on trouve les bourgeons axillaires. Elle mesure de 30 à 60 cm de haut. Elle peut être aussi, chez certaines variétés grimpantes (volubiles); elle atteint alors 2,5 à 4 m de haut.

#### 4.2.3 Les feuilles

Les deux premières feuilles comprennent 1 seul limbe, et sont opposées. Toutes les autres feuilles sont alternées de grande dimension et sont composées de 3 folioles non dentées.

#### 4.2.4 Les fleurs

Les fleurs sont réunies en grappes de 4 à 10 fleurs. Elles sont de couleur blanche crème ou rose. Elles apparaissent à l'aisselle des feuilles. La fleur est papilionacée, autogame, composée d'un calice à 5 sépales soudés, une corolle à 5 pétales libres, 10 étamines, dont 9 soudées.

#### 4.2.5 Les fruits

Les fruits sont des gousses vertes, ou jaunes, parfois striées de rouge ou de pourpre. Leur paroi intérieure est doublée chez certaines variétés d'une membrane appelée parchemin. Leur longueur peut, dans certains cas, avoisiner les 25 à 30 cm; ces gousses ont une section arrondie ou bien aplatie.

Tableau 4.1: Composition du haricot vert (teneurs pour 100 grammes) [89].

|           |                       |           |        |               |         |
|-----------|-----------------------|-----------|--------|---------------|---------|
| Energie   | 19 K cal ou<br>80 k j | Calcium   | 43 mg  | Provitamine A | 260 ug  |
| Eau       | 92 g                  | Magnésium | 13 mg  | Vitamine B1   | 0.02 mg |
| Protéines | 1.3 g                 | Phosphore | 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 |
| Fibres    | 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 |

#### 4.2.6 Les graines

La graine a deux cotylédons, en forme de rein (réniformes) ou arrondies (globuleuses), ayant une couleur unie (blanche, beige, rougeâtre, noire). La graine peut aussi être striée ou tachetée.

Selon LAUMONIER [90], la graine possède une grande valeur alimentaire. Elle renferme:

- Eau.....12.5g.
- Matières azotés.....22.5g.
- Matières hydrocarbonées.....5g.
- Matières grasses.....3g.
- Divers.....3g.

Selon CHAUX et FOURY [88], le PMG du haricot est de 140 à 800 g et le volume 730 à 850 graines / litre.

### 4.3 Classification botanique

Selon CHAUX [91], le nombre des variétés du haricot est très élevé et à une grande diversité d'adaptation.

D'après CHAUX et FOURY [88], la classification du haricot se fait selon le mode de croissance et la structure de la gousse.

Tableau 4.2 : Classification des principaux types de haricot commun [88].

| Mode de croissance                | Structure de la gousse  |  |   |   |
|-----------------------------------|---|--|---|---|
|                                   | Gousse à fil et à parachemin  |  | Gousse sans fil et avec peu de parachemin   |   |
|                                   | Haricot grains nains ou à écosser nains   | Haricot filets nains   | Haricot mangetout nains   | Haricots filets mangetout ou faux- filet  |
| Croissance apparemment déterminée | Gousse plate ;<br>± courte ;<br>couleur du grain :<br>- blanc<br>- panaché<br>- vert pâle<br>(flageolet vert) | Gousse longue de section ronde verte soutenue à vert foncé, parfois panachée de violet ou lie-de-vin | Gousse à section ovale, courte à demi longue, vert moyen à vert clair: mangetout nains verts<br>Jaune: mangetout nains beurre | Gousse voisine du type filet mais de couleur plus claire.<br>Apparition du fil ± tardive selon les variétés |
| Croissance indéterminée           | Haricot à écosser et à rames  | Haricots filets à rames  | Haricots mangetout à rames vertes ou beurre   | Haricots "faux-filet" à rames.  |

### 4.3.1 Principales variétés cultivées en Algérie

#### 4.3.1.1 Haricot à rames

- Phénomène: Plante robuste avec un feuillage cloqué et des fleurs blanches. Les gousses sont longues, un peu arqué et verte. Les graines sont blanches de très bonne qualité. Les variétés sont très productives. Elles sont à consommer en mangetout et en grains frais ou secs [92].
- Michelet à rames: Plante vigoureuse avec des gousses longues et plates, vertes claires, les grains sont blancs de bonne qualité, variété précoce à consommer en grains frais ou secs [92].

#### 4.3.1.2 haricots nains

- Triomphe de Farey : C'est une variété précoce et productive. Les filets sont longs, fins, cylindriques et droits, légèrement marbrés, les grains sont colorés [92].
- Fin de Bagnolet : C'est une variété très hâtive, les filets sont cylindriques longs, très fin, verts, les grains sont panachés [92].
- Arian : C'est une variété précoce et très productive, les gousses sont fines, vertes rondes, les grains sont noirs, variété résistante au virus [92].
- Processor : C'est une variété demi-précoce et très productive, les filets sont ronds, verts et suffisamment longs, les grains sont blancs [92].
- Contender : C'est une variété demi-précoce et très productive, résistante au virus. Les filets sont très longs, ronds et sans fils, les grains sont beiges [92].

## 4.4 Exigences de la plante

### 4.4.1 Exigences climatiques

#### 4.4.1.1 Température

D'après PERON [83], Les haricots verts sont cultivés en zone tempérée comme en zone tropicale. La température optimum pour sa culture est entre 20°C et 25°C, le zéro végétatif est à 10°C et les fortes chaleurs sont néfastes à la fécondation des fleurs.

Le haricot est une plante de climat chaud, nécessitant donc des températures assez élevée. Sa germination n'est normale qu'au dessus de 14 à 15°C [91].

Selon LAUMONIER [90], le haricot est une plante très sensible à l'influence de la température. Cette sensibilité varie selon les variétés. Les haricots à rames demandent une température un peu élevée que les haricots nains.

Tableau 4.3: Les besoins en température selon les stades de développement [88].

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

#### 4.4.1.2 La lumière

La plante présente une forte sensibilité à l'intensité lumineuse, notamment au moment de la floraison. Une déficience de lumière entraîne l'avortement des fleurs [83].

#### 4.4.2 Exigences édaphiques

L'idéal pour le haricot est un sol argilo siliceux profond. Un sol léger peut être très favorable. On évitera en particulier les terres lourdes et froides, et les sols calcaires [91]

Les sols destinés à la culture du haricot doivent présenter des caractéristiques générales de perméabilité. Et bon état sanitaire et de richesse relative [90].

##### 4.4.2.1 La salinité

Le haricot est une espèce sensible aux excès de la salinité. Il redoute le chlorure de sodium et le bore [91].

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 [90].

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 ; le gradient du potentiel hydrique est négatif, la turgescence s'annule et les feuilles se fanent), et par une faible vitesse d'absorption et de transport du chlore et du sodium dans les feuilles. Le retard observé chez le haricot est dû également à l'exclusion totale du sodium de ses feuilles. Cet élément n'y est remplacé que partiellement par le potassium venu des racines. L'excès de chlore est équilibré par une chute importante de la teneur des acides organiques [93].

##### 4.4.2.2 Le pH

Le pH optimum se situe entre 6 et 7.5, fourchette qui correspond à l'optimum pour le développement de *rhizobium phaseoli*, bactérie fixatrice de l'azote de l'air pour le haricot [83].

La chute de rendement est relativement lente lorsque l'alcalinité croît, alors qu'elle est très brutale lorsque le pH descend au-dessous de 6 [88].

#### 4.4.3 Exigences hydriques

Selon CHAUX et FOURY [88], du fait que le haricot exige beaucoup de chaleur ; l'évapotranspiration est importante, ce qui résulte les besoins très important en eau.

Tableau 4.4: L'influence de la carence hydrique sur la production du haricot [88].

| Stade végétatif            | Effet d'une carence hydrique   | Niveau du préjudice  |
|----------------------------|--|--|
| Levée                      | Retard mais surtout irrégularité de levée  | Important :<br>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 augmentation du calibre |
| Grossissement de la gousse | Apparition précoce des grains ; perte de qualité ; réduction de densité des gousses. | Important sur rendement pondéral et qualitatif.  |
| Mangetout, filet           | Apparition précoce du fil et du parachemin.  | 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.   |

#### 4.4.4 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), étant donné la brièveté du cycle de culture. 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 [90].

Tableau 4.5: Fumures apportées pour la culture du haricot [90].

| 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 exprimé en Kg            | 50                                    | 70   | 150 | 50                                   | 110 | 150 |
| Ordre de grandeur de l'équilibre minéral. | 1                                     | 1.40 | 3   | 1                                    | 2.2 | 3   |

#### 4.5 Principaux travaux d'entretien

##### 4.5.1 Travaux d'entretien

###### 4.5.1.1 Binage et buttage

Deux binages assurés au tracteur léger. Le premier est effectué quelques jours après la levée, le second, qui sert de buttage, un peu avant la floraison, c'est-à-dire sensiblement un mois plus tard, on peut effectuer un léger buttage. Ces soins culturaux visent à maintenir l'aération et la fraîcheur du sol et favoriser l'assimilation des fumures [90].

#### 4.5.1.2 Désherbage

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 [90].

#### 4.5.1.3 Arrosage

Les arrosages distribués par aspersion sont à exécuter le soir pour écarter tout risque de grillage du feuillage [90].

#### 4.5.1.4 Tuteurage

Seuls les haricots grimpants, réservés à la culture potagère nécessitent l'installation des rames [90]

#### 4.5.2 Récolte

Il est recommandé de commencez à cueillir, en filets. Les haricots à parachemin environ 2 mois après le semis, lorsque ceux ci on atteint le tiers ou la moitié de leur grosseur maximum. La récolte doit ensuite se pour suivre régulièrement tous les deux ou trois jours pour éviter la formation des fils.

Les variétés sans parachemin seront récoltées à plus parfait développement et les cueillettes es pourront être moins fréquentes que pour les filets.

La récolte des grains frais commence 3 mois après le semis, lorsque les grains sont bien formés mais avant que les gousses ne se rident [94].

#### 4.6 Le haricot en Algérie

D'après le ministère de l'agriculture [95], le haricot est une plante cultivée dans tout le territoire Algérien. Le haricot est placé en 13<sup>eme</sup> position des cultures maraîchères, soit 2.16% de la production totale produite.

Parmi les légumes, le haricot occupe la 3<sup>ème</sup> position par une surface de 14.57% et ce par rapport à la superficie totale réservée au maraîchage.

Tableau 4.6: La production du haricot vert et sec en Algérie 2001- 2005 [96].

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

#### 4.7 Le 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 [97].

Tableau 4.7: Principaux pays producteurs du haricot [97].

| Principaux pays producteurs en 2006 | Surface cultivée (milliers d'hectares) | Rendement (t/ha) | Production (milliers de tonnes) |
|-------------------------------------|--|------------------|---------------------------------|
| Chine                               | 213,0                                  | 11,4             | 2 424,2                         |
| Indonésie                           | 150,0                                  | 5,5              | 830,0                           |
| Turquie                             | 68,0                                   | 8,3              | 563,8                           |
| Inde                                | 150,0                                  | 2,8              | 420,0                           |
| Égypte                              | 21,3                                   | 10,1             | 215,0                           |
| Espagne                             | 17,5                                   | 12,3             | 214,7                           |
| Italie                              | 21,8                                   | 8,7              | 190,7                           |
| Maroc                               | 6,6                                    | 21,4             | 141,6                           |
| Belgique                            | 9,6                                    | 11,5             | 110,0                           |
| États-Unis                          | 96,6                                   | 1,0              | 97,1                            |
| Thaïlande                           | 23,0                                   | 4,0              | 92,0                            |
| Pays-Bas                            | 7,0                                    | 10,0             | 70,0                            |

## CHAPITRE 5

### MATERIELS ET METHODES

#### 5.1 Objectif de l'expérimentation

Notre étude vise à réaliser les objectifs suivants:

- Gestion des eaux non conventionnelles;
- Valorisation des eaux salines;
- Réduire les coûts des produits nécessaires pour la correction des eaux salines, par l'utilisation alternée des eaux salines corrigées.
- Etude de comportement de deux variétés de haricot (Contender et Djadida) vis-à-vis de différents traitements salins et d'adjonction d'irrigation avec une eau saline corrigée dans le cycle des irrigations par une eau saline non conventionnelle.

#### 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 testés deux variétés du haricot: Jadida et Contender.

D'après L'ITCMI (2005), Djadida et contender sont des variétés très cultivées en Algérie qui possèdent les caractéristiques suivantes :

▪ pour la variété Djadida

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

▪ Pour la variété contender

- variété fixée hâtive,
- feuille verte gaufrée,
- gousses charnues de 12cm de longueur;
- grains marbrés;
- résistante au virus de la mosaïque;
- sensible à la salinité;
- poids de mille graines est de 406.50g.

### 5.3 Conditions expérimentale

#### 5.3.1 Lieu de l'expérience

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

L'aération est assurée par des fenêtres placées latéralement de part et d'autres de la serre.

Afin de suivre l'évolution de la température nous avons installé un thermomètre au milieu de la serre. Les relevés quotidiens ont été effectués à trois moments de la journée (9h, 12h, 16h). Le tableau n°5.1 indique les moyennes des températures par décade.

Tableau 5.1 : Moyennes des températures par décade en °C

| Période                  | Températures moyennes en °C |       |       |
|--------------------------|-----------------------------|-------|-------|
|                          | 9h                          | 12h   | 16h   |
| 18 /11/08 au<br>27/11/08 | 7.85                        | 13.85 | 12.21 |
| 28/11/08 au<br>07/12/08  | 9.10                        | 20.00 | 19.42 |
| 08/12/08 au<br>17/12/08  | 12.42                       | 17.14 | 17.42 |
| 18/12/08 au<br>27/12/08  | 11.85                       | 22.71 | 25.07 |
| 28/12/08 au<br>06/01/09  | 14.71                       | 21.42 | 21.28 |
| 07/01/09 au<br>16/01/09  | 18.57                       | 26.57 | 25.42 |
| 17/01/09 au<br>26/01/09  | 21.00                       | 24.78 | 24.50 |
| 27/01/09 au<br>05/02/09  | 16.85                       | 23.28 | 22.57 |
| 06/02/09 au<br>15/02/09  | 20.92                       | 26.07 | 27.00 |

D'après les données du tableau (5.1), nous constatons que durant les cinq premières décades, les températures moyennes étaient défavorables à la croissance du haricot et ce par rapport aux données préconisées par CHAUX et FOURY (88) qui se situent entre 15 et 30°C. A partir de la 6<sup>ème</sup> décade, les températures moyennes sont devenues plus favorables à la croissance et au développement de la plante testée.

### 5.3.2 Le 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 réalisés 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'eau de javel;
- Couverture du substrat traité à l'eau javalisée pendant deux jours avec un film plastique;
- Rinçage abondant à l'eau pour éliminer toute trace de javel fortement nocive pour les jeunes plantules.

### 5.3.3 Containers

Nous avons utilisés deux types de containers:

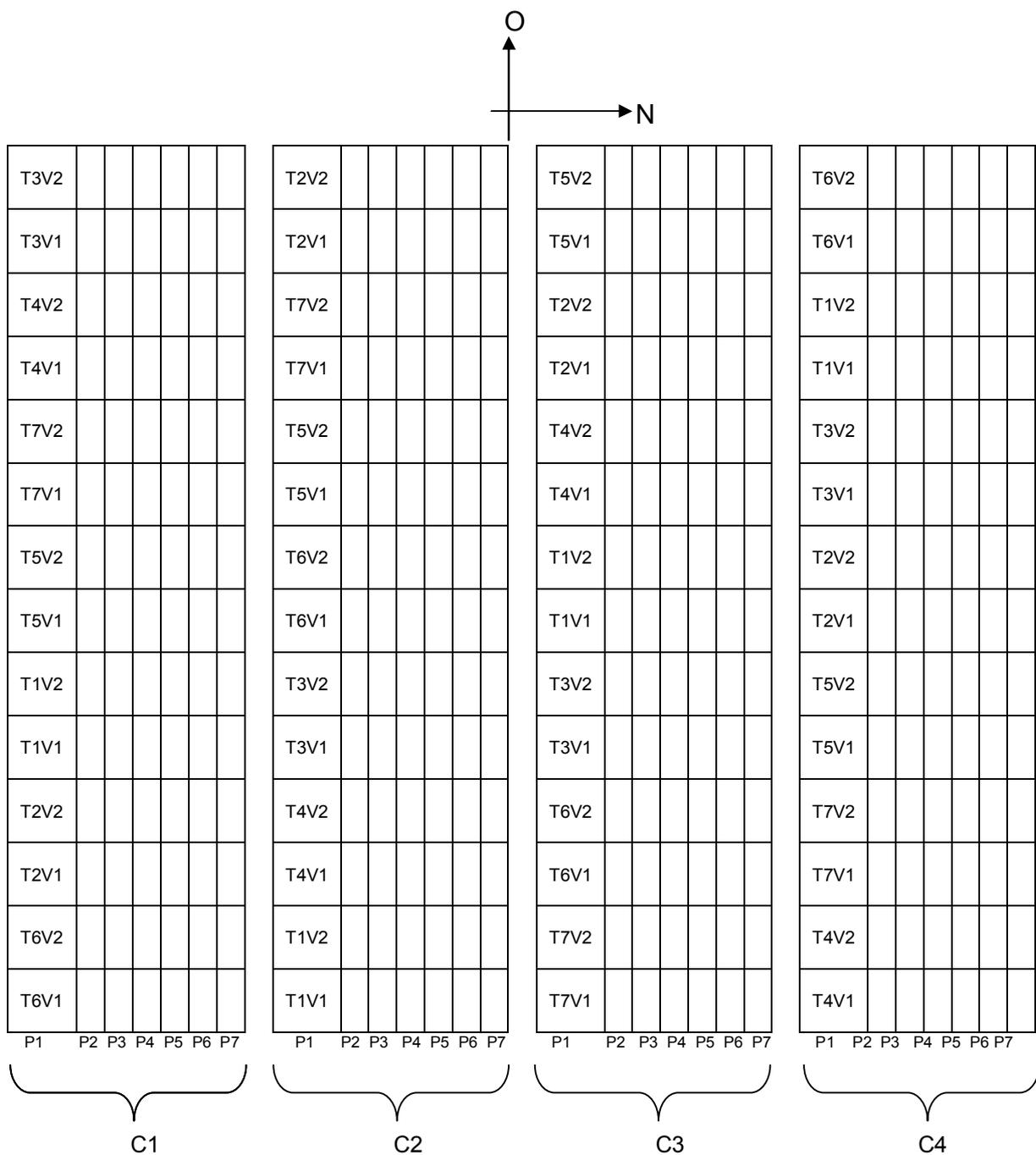
- Le premier type de pot correspondait aux pots en plastiques de couleur marron foncé, de volume égal 0.8 l et qui servaient aux plantes des coupes 1, 2, et 3.

- Le deuxième type de pot correspondait aux pots en plastique de couleur marron clair, de volume égal 1l et qui servaient aux plantes des coupes 4. Les pots sont munis à leur base des orifices de drainage permettant l'évacuation de la solution nutritive excédentaire.

#### 5.4 Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental adopté est un plan sans contrôle d'hétérogénéité (randomisation totale), dont l'affectation des traitements s'est faite d'une manière aléatoire selon la table des permutations des nombres aléatoires de (01) à (50).

Le dispositif expérimental est constitué par la combinaison de deux facteurs: (facteur solution à 7 niveaux et facteur variété à 2 niveaux), L'ensemble donne donc quatorze (14) traitements, et pour chaque traitement, nous avons sept (7) observations et ce durant les 4 coupes, soit 392 unités expérimentales au total.



P : plant

C : coupe

Figure 5.1 : Le schéma du dispositif expérimental.



Figure 5.2 : Le dispositif expérimental

Les traitements utilisés sont:

T1 = la solution saline naturelle oued Cheliff durant tout le cycle de la plante.

T2 = la solution saline naturelle corrigée durant tout le cycle de la plante.

T3 = 3 jours d'irrigation avec la solution saline naturelle, + irrigation le 4<sup>ème</sup> jour avec la solution saline corrigée.

T4 = 3 jours d'irrigation avec la solution saline naturelle, + irrigation le 4<sup>ème</sup> et le 5<sup>ème</sup> jour avec la solution saline corrigée.

T5 = 2 jours d'irrigation avec la solution saline naturelle, + irrigation le 4<sup>ème</sup> et le 5<sup>ème</sup> jour avec la solution saline corrigée.

T6 = 3 jours d'irrigation avec la solution saline naturelle, + irrigation le 4<sup>ème</sup>, le 5<sup>ème</sup> et 6<sup>ème</sup> jour avec la solution saline corrigée.

T7 = 1 journée d'irrigation avec de l'eau saline naturelle, + irrigation le 2<sup>ème</sup> jour avec la solution saline corrigée.

Pour montrer convenablement l'effet des différents traitements sur le développement, la croissance et la production des deux variétés du haricot, nous avons réalisés 4 coupes:

- Coupe 1: le 15/12/2008 soit 54 jours après le semis (stade plantule).
- Coupe 2: le 27/12/2008 soit 66 jours après le semis (stade début floraison).
- Coupe 3: le 02/02/2009 soit 83 jours après le semis (stade début nouaison).
- Coupe 4: le 18/02/2009 soit 120 jours après le semis (stade récolte).

### 5.5 Semis et repiquage

Le semis à été réalisé le 21/10/2008 dans des pots remplis de gravier de rivière, et arrosés avec de l'eau de robinet jusqu'à la germination. A ce stade, nous avons réalisé un éclaircissage afin de laisser une graine germée par pot; soit 11 jours après semis.



Figure 5.3 : La germination du haricot.

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 (complète et équilibrée). Au 29<sup>ème</sup> jour après semis, nous avons commencé l'application des différents traitements.

### 5.6 Traitements phytosanitaires utilisé durant l'expérimentation

Nous avons utilisé un fongicide préventif combinant deux matières actives à savoir le Mancozeb 40% et le Cymoxaamil 4%

Tableau 5.2 : Traitements phytosanitaires réalisés.

| Date     | Produit | Matière active                | Désignation  | Dose |
|----------|---------|-------------------------------|--|------|
| 22/11/08 | Curzate | Mancozeb 40%<br>Cymoxaamil 4% | Traitement préventif contre les maladies cryptogamiques. | 2g/l |
| 23/12/08 | Curzate | Mancozeb 40%<br>Cymoxaamil 4% | Traitement préventif contre les maladies cryptogamiques  | 2g/l |

### 5.7 Récolte

Au niveau du stade final (3<sup>ème</sup> coupe), nous avons effectué deux récoltes. Les gousses récoltées sont de type haricot mangetout.

Récolte 1 : le 08/02/09 soit 110 jours après semis.

Récolte 2 : le 17/02/09 soit 119 jours après semis.

### 5.8 Préparation des différentes solutions utilisées

#### 5.8.1 Caractéristique de l'eau utilisée pour la préparation des solutions testées

Selon MAZLIAK [64], l'eau est un facteur très important au niveau de l'organisme. C'est le milieu de diffusion de tous les ions qui sont indispensables à la croissance des végétaux.

Pour couvrir les besoins en eau des plantes nous avons utilisé l'eau de robinet pour l'élaboration des solutions nutritives en cours de notre culture. Du fait que la concentration globale des sels contenus dans cette eau dépasse 0.2g/l, l'analyse de celle-ci a été jugée nécessaire afin d'en tenir compte lors de la préparation des solutions nutritives.

Tableau 5.3 : Teneurs des différents éléments minéraux de l'eau potable de Blida (mg/l) et (méc/l) [14].

| ions                          | Teneurs |       |
|-------------------------------|---------|-------|
|                               | mg/l    | méc/l |
| K <sup>+</sup>                | 0.00    | 0.00  |
| Na <sup>+</sup>               | 29.90   | 1.30  |
| Mg <sup>++</sup>              | 43.20   | 1.80  |
| Ca <sup>++</sup>              | 56.00   | 2.80  |
| No <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | 21.70   | 0.35  |
| So <sub>4</sub> <sup>-</sup>  | 76.80   | 0.80  |
| Hco <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 248.88  | 4.08  |
| Cl <sup>-</sup>               | 21.00   | 0.60  |
| Co <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | 0.00    | 0.00  |
| Total                         | 497.48  | 11.73 |

pH=7.3

Nous remarquons que le pH de l'eau de Blida est peu élevé. Une correction du pH est nécessaire. Elle consiste à ramener le pH de 7.3 à 5.5 (pH favorable à la croissance et développement des plantes).

La correction consiste donc à utiliser deux acides afin d'une part de réduire la nocivité des ions bicarbonates et de ramener le pH au voisinage de 5.5 et d'autre part fournir les éléments indispensables à la croissance et développement des plantes tels que l'azote et le phosphore. Ces acides sont l'acide phosphorique et l'acide nitrique.

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

$$Q \text{ (méc/l)} = \text{quantité de Hco}_3 \text{ dans l'eau en méq/l} \times 0.833$$

$$Q \text{ (méc/l)} = 4.08 \times 0.833 = 3.30 \text{ méq/l}$$

$$\text{Donc H}_3\text{Po}_4 + \text{HNO}_3 = 3.30 \text{ méq/l}$$

H<sub>3</sub> Po<sub>4</sub> = 1.10 méq/l correspondant à un besoin de 3.30 méq/l compte tenu que le H<sub>3</sub> Po<sub>4</sub> est trivalent.

$$\text{HNO}_3 = 3.30 - 1.10 = 2.20 \text{ méq/l (besoins partiel en nitrate).}$$

### 5.8.2 Composition des solutions nutritives et techniques de préparations des différentes solutions

Dans notre expérimentation nous avons testé deux solutions nutritives :

T1 : eau saline naturelle d'oued Chellif reconstituée avec l'eau de Blida.

T2 : eau saline naturelle d'oued Chellif corrigée reconstituée avec l'eau de Blida.

Les solutions ont été reconstituées au laboratoire. Le principe consiste à compléter la différence par des apports de sels minéraux.

La pratique la plus courante est de préparer des solutions mères de macro et de micro-éléments concentrés, puis dilués au moment de la préparation des solutions prêtes à l'utilisation.

Dans le réservoir de préparation on met d'abord les sels les plus solubles à fonction acide, afin d'éviter toute précipitation. Ensuite on rajoute au fur et à mesure les autres éléments. En dernier lieu, nous rajoutons les solutions complémentaires d'oligo-éléments.

Pour le fer, il est préférable de préparer une solution mère distincte afin d'éviter le phénomène d'oxydation.

Tableau 5.4 : Les composants des solutions nutritives.

| Eléments  | Concentration<br>g/l | T1   |        | T2   |        |
|---|----------------------|------|--------|------|--------|
|   |                      | ml/l | ml/40l | ml/l | ml/40l |
| HNO <sub>3</sub>  |                      |      |        | 0.16 | 6.4    |
| H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>                                |                      |      |        | 0.17 | 6.8    |
| MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O<br>[200]                 | 178.14               | 5    | 200    | 5    | 200    |
| Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O<br>[200] | 138.06               |      |        | 5    | 200    |
| NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub><br>[200]                      | 28.81                |      |        | 5    | 200    |
| NaCl<br>[200]   | 95.70                | 4.50 | 182    | 5    | 200    |
| KCl<br>[200]  | 64.86                | 0.40 | 16     | 5    | 200    |
| CaCl <sub>2</sub><br>[200]                                    | 94.82                | 5    | 200    | 0.46 | 18.4   |
| Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub><br>[100]                      | 8.09                 | 10   | 400    | 3.68 | 147.2  |
| Oligo-éléments  |                      |      |        | 0.1  | 4      |
| Fer   |                      |      |        | 5    | 200    |

Solution nutritive standard

Tableau 5.5 : Composition de la solution nutritive de base élaborée avec l'eau de Blida.

| anions<br>cations              | No <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Po <sub>4</sub> <sup>---</sup> | So <sub>4</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | Total |
|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|-----------------|-------|
| K <sup>+</sup> 0               | 0.35                         | 0                              | 0.8                          | 0.6             |       |
| Na <sup>+</sup> 1.3            | 3.55                         |                                | 0.70                         |                 | 4.25  |
| Ca <sup>++</sup> 2.8           |                              |                                |                              |                 | 1.30  |
| Mg <sup>++</sup> 1.8           | 2.30                         |                                |                              |                 | 5.10  |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 0 |                              |                                |                              |                 | 1.80  |
| H <sup>+</sup> 0               | 1.8                          |                                |                              |                 | 1.80  |
|                                | 2.20                         | 1.10                           |                              |                 | 3.30  |
| Total                          | 10.20                        | 3.30                           | 1.50                         | 0.60            |       |

pH=5.8

Quantités et ordre de dissolution des éléments :

$$\text{HNO}_3 = 2.20 \times 63 = 138.60 \text{ mg/l.}$$

$$\text{H}_3\text{PO}_4 = 1.10 \times 98 = 107.80 \text{ mg/l.}$$

$$\text{KNO}_3 = 3.55 \times 101 = 358.55 \text{ mg/l.}$$

$$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} = 2.30 \times 118 = 271.40 \text{ mg/l.}$$

$$\text{NH}_4\text{NO}_3 = 1.80 \times 80 = 144 \text{ mg/l.}$$

$$\text{K}_2\text{SO}_4 = 0.70 \times 87 = 60.90 \text{ mg/l.}$$

Composition de l'eau de Blida = 497.48 mg/l.

Composition des oligo-éléments = 14.80 mg/l.

Concentration totale = 1.59 g/l.

## T1

Tableau 5.6 : Solution saline naturelle de oued Cheliff reconstitué avec l'eau de Blida.

| Eau de Blida                  | No <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Po <sub>4</sub> <sup>---</sup> | So <sub>4</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | Total |
|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|-----------------|-------|
|                               | 0.35                         | 0                              | 0.8                          | 0.6             |       |
| K <sup>+</sup>                |                              |                                |                              | 0.35            | 0.35  |
| 0                             |                              |                                |                              |                 |       |
| Na <sup>+</sup>               |                              |                                | 1.14                         | 7.46            | 9.90  |
| 1.3                           |                              |                                |                              |                 |       |
| Ca <sup>++</sup>              |                              |                                |                              | 6.45            | 9.25  |
| 2.8                           |                              |                                |                              |                 |       |
| Mg <sup>++</sup>              |                              |                                | 7.40                         |                 | 9.20  |
| 1.8                           |                              |                                |                              |                 |       |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>  |                              |                                |                              |                 | 0     |
| 0                             |                              |                                |                              |                 |       |
| HCo <sub>3</sub> <sup>-</sup> |                              |                                |                              |                 | 4.08  |
| 4.08                          |                              |                                |                              |                 |       |
| Total                         | 0.35                         | 0                              | 9.34                         | 14.86           |       |

Tableau 5.7 : Solution saline naturelle de oued Cheliff.

| Eau de Cheliff                | No <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Po <sub>4</sub> <sup>---</sup> | So <sub>4</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | Total |
|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|-----------------|-------|
|                               | 0.35                         | 0                              | 9.34                         | 14.86           |       |
| K <sup>+</sup>                |                              |                                |                              |                 | 0.35  |
| 0.35                          |                              |                                |                              |                 |       |
| Na <sup>+</sup>               |                              |                                |                              |                 | 9.90  |
| 9.90                          |                              |                                |                              |                 |       |
| Ca <sup>++</sup>              |                              |                                |                              |                 | 9.25  |
| 9.25                          |                              |                                |                              |                 |       |
| Mg <sup>++</sup>              |                              |                                |                              |                 | 9.20  |
| 9.20                          |                              |                                |                              |                 |       |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>  |                              |                                |                              |                 | 0     |
| 0                             |                              |                                |                              |                 |       |
| HCo <sub>3</sub> <sup>-</sup> |                              |                                |                              |                 | 6.51  |
| 6.51                          |                              |                                |                              |                 |       |
| Total                         | 0.35                         | 0                              | 9.34                         | 14.86           |       |

Quantité et ordre de dissolution des sels :

$$\text{MgSo}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = 7.40 \times 123 = 910.20 \text{ mg/l.}$$

$$\text{NaCl} = 7.46 \times 58.44 = 436 \text{ mg/l.}$$

$$\text{KCl} = 0.35 \times 74.56 = 26.09 \text{ mg/l.}$$

$$\text{Na}_2\text{So}_4 = 1.14 \times 71 = 80.94 \text{ mg/l.}$$

$$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 6.45 \times 73.51 = 474.14 \text{ mg/l.}$$

L'eau de Blida contient 497.48 mg/l de sel.

La concentration totale est de 2.42 g/l

Le traitement T1 ne renferme pas la solution complémentaire d'oligo-éléments.

## T2

Tableau 5.8 : Solution saline naturelle d'oued Cheliff corrigée et reconstituée avec l'eau de Blida

|                                   |                                      |                                     |                                       |                         |       |
|-----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-------|
| H <sub>2</sub> O de Blida         | No <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>0.35 | Po <sub>4</sub> <sup>---</sup><br>0 | So <sub>4</sub> <sup>--</sup><br>0.80 | Cl <sup>-</sup><br>0.60 | Total |
| K <sup>+</sup><br>0               |                                      |                                     |                                       | 4.35                    | 4.35  |
| Na <sup>+</sup><br>1.3            |                                      |                                     | 0.42                                  | 8.18                    | 9.90  |
| Ca <sup>++</sup><br>2.8           | 5.85                                 |                                     |                                       | 0.60                    | 9.25  |
| Mg <sup>++</sup><br>1.8           |                                      |                                     | 7.40                                  |                         | 9.20  |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup><br>0 | 1.80                                 |                                     |                                       |                         | 1.80  |
| H <sup>+</sup><br>0               | 2.20                                 | 1.10                                |                                       |                         | 3.30  |
| Total                             | 10.20                                | 3.30                                | 8.62                                  | 13.73                   |       |

pH = 5.50

Quantités et ordre de dissolution des sels :

$$\text{HNO}_3 = 2.20 \times 63 = 138.60 \text{ mg/l.}$$

$$\text{H}_3\text{Po}_4 = 1.10 \times 98 = 107.7 \text{ mg/l.}$$

$$\text{MgSo}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{o} = 7.40 \times 123 = 910.90 \text{ mg/l.}$$

$$\text{Ca}(\text{No}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{o} = 5.85 \times 118.07 = 690.70 \text{ mg/l.}$$

$$\text{NH}_4\text{No}_3 = 1.80 \times 80.04 = 144.07 \text{ mg/l.}$$

$$\text{NaCl} = 8.18 \times 58.44 = 478.03 \text{ mg/l.}$$

$$\text{KCl} = 4.35 \times 74.56 = 324.33 \text{ mg/l.}$$

$$\text{Na}_2\text{So}_4 = 0.42 \times 71 = 29.82 \text{ mg/l.}$$

$$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{o} = 0.60 \times 73.51 = 44.10 \text{ mg/l.}$$

Composition de l'eau de Blida = 497.48 mg/l.

La solution complémentaire contient 14.80 mg/l.

L'eau saline corrigée contient: 3.38 g/l.

Tableau 5.9 : Composition de solutions complémentaires d'oligo-éléments (A et B) [14].

| Solution A   |          |                  | Solution B         |          |                  |
|--|----------|------------------|--------------------|----------|------------------|
| Eléments   | Dose g/l | Prélèvement ml/l | Elément            | Dose g/l | Prélèvement ml/l |
| Molybdates D'ammonium<br>(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> (MO <sub>7</sub> O <sub>24</sub> )4H <sub>2</sub> O | 0.50     | 0.10             | Séquestrène de Fer | 2        | 5                |
| Acide borique<br>(H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> )   | 15       |                  |                    |          |                  |
| Sulfate de manganèse<br>(MnSO <sub>4</sub> 5H <sub>2</sub> O)  | 20       |                  |                    |          |                  |
| Sulfate de cuivre<br>(CuSO <sub>4</sub> 5H <sub>2</sub> O)   | 2.50     |                  |                    |          |                  |
| Sulfate de zinc<br>(ZnSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O)   | 10       |                  |                    |          |                  |

### 5.9 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<sub>i</sub> et la conductivité électrique (CE<sub>i</sub>) sont mesurés à l'avance).
- Après 24 heures, on récupère le volume percolé au niveau de chaque pot.
- On mesure le volume des différents percolas, puis on calcule la moyenne des 4 répétitions au niveau d'un même traitement.
- On mesure le pH<sub>f</sub> et CE<sub>f</sub> du percola de chaque traitement.
- On calcule le pourcentage d'absorption qui est obtenu par la relation suivante :

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

- On calcule par la suite la quantité de sel donnée, drainée et absorbée en mg selon la relation de JEANNQUIN [98]:

- ❖ La quantité de sel donnée en mg =  $(CE_i - CE_e) \times 0.85$
- ❖ La quantité de sel drainée en mg =  $(CE_f - CE_e) \times 0.85$
- ❖ La quantité de sel absorbée en mg = quantité des sels donnée – quantité de sel drainée.

$CE_e$ : la conductivité électrique de l'eau et qui est égal 0.412 ms/cm

$CE_i$ : la conductivité électrique de la solution initiale.

$CE_f$ : la conductivité électrique de la solution finale.

## 5.10 Paramètres étudiés

Afin d'évaluer le comportement du haricot, nous avons étudiés les paramètres de croissance, de production et de qualité durant 4 stades de développement.

### 5.10.1 Aspect général des plantes du haricot

Nous avons pris des photos pour bien illustrer l'aspect général des plantes.

### 5.10.2 Paramètres de croissance

- Hauteurs des plantes

Afin de calculer les vitesses de croissance nous avons mesuré les hauteurs des plantes en centimètre du collet jusqu'à l'apex (2 fois par semaine jusqu'à la réalisation des différents coupes).

- Hauteur finale

Elle a été effectuée au moment de chaque coupe.

- Nombre des feuilles

Ce paramètre a été réalisé au moment de la coupe, du collet des plantes jusqu'à l'apex.

- Biomasse fraîche produite

A chaque coupe, nous avons pesé les différents organes (feuilles, tiges, racines) à l'aide d'une balance. L'opération a été réalisée comme suite :

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

- Biomasse sèche produite

Après le séchage de la matière fraîche dans un étuve à 70°C jusqu'à stabilité du poids sec, nous avons pesé :

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

- Matière sèche produite en pourcentage

Le taux de la matière sèche est calculé par la relation suivante :

$$\frac{\text{Poids sec}}{\text{Poids frais}} \times 100$$

Nous avons calculé 4 variables :

- Taux de la matière sèche des feuilles (%).
- Taux de la matière sèche des tiges (%).
- Taux de la matière sèche totale (feuilles + tiges) (%).
- Taux de la matière sèche des racines %.

### 5.10.3 Paramètres de production

- Taux d'avortement des fleurs

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

- Nombre de gousses

Nous avons compté toutes les gousses qui sont arrivées à la maturation (longueur moyenne de 11 à 13cm )

- Poids frais moyen des gousses

La récolte est échelonnée donc nous avons pesé chaque gousse récoltée par plante puis nous avons calculés le poids moyen des gousses par plante.

- Poids frais des gousses par plant

Nous avons calculé le poids total de la production pour chaque plant.

- Poids sec moyen des gousses

#### 5.10.4 Paramètres de qualité des gousses

- Taux d'humidité des gousses

Le taux d'humidité est calculé par la formule suivante :

$$TH = 100 - MS.$$

MS : taux de matière sèche qu'est estimé selon la formule suivante :

$$\frac{\text{Poids sec}}{\text{Poids frais}} \times 100$$

- Sucres totaux

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.

## CHAPITRE 6

### RÉSULTATS ET DISCUSSIONS



Figure 6.1: Les différents traitements comparés au T1

## 6.1 Paramètres de croissance

Tableau 6.1 : La hauteur finale des plantes (cm)

| T<br>C | T1                      |                         | T2                      |                          | T3                       |                         | T4                       |                         | T5                       |                          | T6                      |                         | T7                       |                         |
|--------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
|        | V1                      | V2                      | V1                      | V2                       | V1                       | V2                      | V1                       | V2                      | V1                       | V2                       | V1                      | V2                      | V1                       | V2                      |
| C1     | 13.13<br>±<br>0.24<br>j | 13.56<br>±<br>0.63<br>j | 22.71<br>±<br>0.51<br>b | 24.27<br>±<br>1.03<br>a  | 16.66<br>±<br>0.45<br>h  | 15.30<br>±<br>0.39<br>i | 18.16<br>±<br>1.08<br>fg | 17.60<br>±<br>0.42<br>g | 18.54<br>±<br>0.59<br>f  | 16.47<br>±<br>0.36<br>h  | 19.86<br>±<br>0.49<br>e | 19.71<br>±<br>0.54<br>e | 21.61<br>±<br>0.49<br>c  | 20.74<br>±<br>0.28<br>D |
| C2     | 25.41<br>±<br>0.96<br>f | 23.86<br>±<br>1.00<br>g | 35.96<br>±<br>0.76<br>a | 34.27<br>±<br>0.48<br>a  | 27.93<br>±<br>1.07<br>e  | 29.14<br>±<br>0.68<br>d | 28.81<br>±<br>0.85<br>b  | 30.81<br>±<br>1.26<br>c | 31.94<br>±<br>0.80<br>bc | 31.66<br>±<br>0.71<br>bc | 31.43<br>±<br>1.34<br>c | 28.94<br>±<br>1.07<br>d | 30.57<br>±<br>1.05<br>c  | 29.50<br>±<br>0.93<br>D |
| C3     | 26.95<br>±<br>0.38<br>h | 25.96<br>±<br>0.61<br>i | 35.67<br>±<br>0.42<br>a | 35.10<br>±<br>0.44<br>ab | 32.41<br>±<br>0.43<br>de | 28.99<br>±<br>0.49<br>f | 33.94<br>±<br>0.71<br>c  | 30.84<br>±<br>0.69<br>e | 33.94<br>±<br>0.51<br>c  | 34.83<br>±<br>0.68<br>b  | 32.93<br>±<br>0.41<br>d | 32.07<br>±<br>0.57<br>E | 32.30<br>±<br>0.49<br>de | 33.81<br>±<br>0.53<br>c |
| C4     | 25.49<br>±<br>0.41<br>i | 28.71<br>±<br>0.46<br>h | 35.47<br>±<br>0.58<br>a | 35.69<br>±<br>0.59<br>a  | 29.11<br>±<br>0.29<br>gh | 29.50<br>±<br>0.63<br>g | 30.66<br>±<br>0.66<br>f  | 31.24<br>±<br>0.25<br>e | 31.67<br>±<br>0.55<br>e  | 33.86<br>±<br>0.30<br>c  | 31.56<br>±<br>0.65<br>e | 33.06<br>±<br>0.39<br>c | 32.51<br>±<br>0.31<br>d  | 34.04<br>±<br>0.63<br>b |

L'analyse de la variance montre une différence significative entre les traitements, quelque soit le stade de coupe.

Les plantes alimentées par la solution saline naturelle (T1) ont données les hauteurs de plants les plus faibles. A ce propos IBRAHIM KHALIL [99] note que la présence d'une grande quantité de sel dans le sol provoque la diminution de la moyenne de la division et l'allongement cellulaire, et par conséquent une réduction de la croissance de la plante.

A l'inverse les plantes irriguées par la solution corrigée (T2) présentent une hauteur de plant la plus élevée et ce en raison de l'équilibre ionique parfait du milieu alimentaire.

L'effet de l'alternance entre la solution saline naturelle et la solution saline corrigée a montré une amélioration de la hauteur finale des plantes notamment pour les plantes traitées par T4, T5, T6, T7.

Concernant l'effet variétal, il n'est pas très visible pour ce paramètre. Par exemple, on constate au niveau de la coupe1, que les plantes irriguées par le traitement T2, la V2 est supérieur à la variété V1, avec un effet inverse au niveau de la coupe 3.

Tableau 6.2: La vitesse de croissance des plantes (cm/j)

| T<br>C | T1                     |                        | T2                     |                        | T3                     |                        | T4                     |                        | T5                     |                        | T6                     |                        | T7                     |                        |
|--------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|        | V1                     | V2                     |
| 16j/T  | 1.37<br>±<br>0.03<br>d | 1.45<br>±<br>0.02<br>c | 1.56<br>±<br>0.04<br>a | 1.59<br>±<br>0.02<br>a | 1.47<br>±<br>0.02<br>c | 1.52<br>±<br>0.04<br>b | 1.57<br>±<br>0.03<br>a | 1.44<br>±<br>0.04<br>c | 1.45<br>±<br>0.06<br>c | 1.37<br>±<br>0.03<br>d | 1.40<br>±<br>0.01<br>d | 1.58<br>±<br>0.01<br>a | 1.57<br>±<br>0.03<br>a | 1.45<br>±<br>0.03<br>c |
| 35j/T  | 0.68<br>±<br>0.02<br>h | 0.73<br>±<br>0.02<br>g | 1.02<br>±<br>0.02<br>a | 1.03<br>±<br>0.02<br>a | 0.78<br>±<br>0.02<br>f | 0.80<br>±<br>0.02<br>e | 0.87<br>±<br>0.01<br>c | 0.83<br>±<br>0.01<br>d | 0.83<br>±<br>0.01<br>d | 0.88<br>±<br>0.01<br>c | 0.82<br>±<br>0.02<br>d | 0.84<br>±<br>0.02<br>d | 0.88<br>±<br>0.01<br>c | 0.9<br>±<br>0.02<br>b  |
| 64j/T  | 0.38<br>±<br>0.01<br>h | 0.39<br>±<br>0.01<br>g | 0.53<br>±<br>0.01<br>b | 0.55<br>±<br>0.01<br>a | 0.44<br>±<br>0.01<br>f | 0.46<br>±<br>0.00<br>e | 0.50<br>±<br>0.00<br>c | 0.48<br>±<br>0.01<br>d | 0.50<br>±<br>0.00<br>c | 0.50<br>±<br>0.00<br>c | 0.46<br>±<br>0.00<br>e | 0.51<br>±<br>0.01<br>c | 0.48<br>±<br>0.01<br>d | 0.51<br>±<br>0.01<br>c |
| 91j/T  | 0.27<br>±<br>0.01<br>h | 0.31<br>±<br>0.01<br>g | 0.53<br>±<br>0.01<br>b | 0.5<br>±<br>0.01<br>a  | 0.44<br>±<br>0.01<br>f | 0.46<br>±<br>0.00<br>e | 0.50<br>±<br>0.00<br>c | 0.48<br>±<br>0.01<br>d | 0.50<br>±<br>0.00<br>c | 0.50<br>±<br>0.00<br>c | 0.46<br>±<br>0.00<br>e | 0.51<br>±<br>0.01<br>c | 0.48<br>±<br>0.01<br>d | 0.51<br>±<br>0.01<br>c |

Selon les résultats obtenus dans le tableau (6-2), nous avons constatés que l'analyse de la variance montre un effet hautement significatif des traitements sur la vitesse de croissance.

Nous remarquons que la vitesse de croissance pendant la première période (16 jours après l'utilisation des traitements) qu'elle varie entre 1.37cm/j et 1.59cm/j ce qui n'est pas très important.

A partir de 35 jours après l'utilisation des traitements, l'effet traitement sur la vitesse de croissance est bien distingué. En effet, les meilleurs résultats sont issus des plantes traitées par la solution saline corrigée (T2). Par contre, l'effet de sel provoque la réduction de la vitesse de croissance au niveau des plantes irriguées par la solution saline naturelle (T1). Les travaux de HAMZA [100] 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.

L'alternance de la solution saline corrigée (T2) avec la solution saline brute améliore la vitesse de croissance, dont le meilleur résultat est enregistré avec le traitement T7V2. Concernant l'effet variétal, nous avons constaté que la variété Contender présente une vitesse de croissance la plus élevée par rapport à la variété Jadida.

Tableau 6.3: Le nombre des feuilles par plant

| T<br>C | T1                     |                        | T2                      |                         | T3                      |                         | T4                      |                         | T5                      |   | T6                      |                           | T7                       |                          |
|--------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---|-------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
|        | V1                     | V2                     | V1                      | V2                      | V1                      | V2                      | V1                      | V2                      | V1                      | V2                                      | V1                      | V2                        | V1                       | V2                       |
| C1     | 3.00<br>±<br>0.00<br>g | 2.00<br>±<br>0.00<br>h | 7.57<br>±<br>0.53<br>a  | 4.14<br>±<br>0.38<br>e  | 6.00<br>±<br>0.00<br>d  | 3.00<br>±<br>0.00<br>g  | 6.00<br>±<br>0.00<br>d  | 3.00<br>±<br>0.00<br>g  | 6.43<br>±<br>0.53<br>c  | 3 <sup>3</sup><br>.57<br>±<br>0.53<br>f | 6.71<br>±<br>0.49<br>bc | 4.14<br>±<br>0.38<br>e    | 7.00<br>±<br>0.00<br>b   | 4.00<br>±<br>0.00<br>e   |
| C2     | 3.14<br>±<br>0.38<br>h | 2.00<br>±<br>0.00<br>i | 7.14<br>±<br>0.38<br>a  | 6.00<br>±<br>0.00<br>b  | 4.00<br>±<br>0.00<br>f  | 3.00<br>±<br>0.00<br>h  | 4.71<br>±<br>0.49<br>de | 3.57<br>±<br>0.53<br>g  | 5.14<br>±<br>0.38<br>cd | 5.29<br>±<br>0.49<br>c                  | 4.71<br>±<br>0.49<br>de | 4.14<br>±<br>0.38<br>f    | 5.00<br>±<br>0.00<br>cd  | 4.29<br>±<br>0.49<br>ef  |
| C3     | 4.43<br>±<br>0.53<br>f | 2.57<br>±<br>0.53<br>g | 10.00<br>±<br>0.00<br>a | 6.43<br>±<br>0.53<br>bc | 5.29<br>±<br>0.49<br>e  | 4.57<br>±<br>0.53<br>f  | 6.57<br>±<br>0.53<br>b  | 5.57<br>±<br>0.53<br>de | 6.57<br>±<br>0.53<br>b  | 6.14<br>±<br>0.38<br>bcd                | 6.57<br>±<br>0.53<br>b  | 5.86<br>±<br>0.38<br>bcde | 6.29<br>±<br>0.49<br>bcd | 5.71<br>±<br>0.49<br>cde |
| C4     | 4.00<br>±<br>0.00<br>k | 5.29<br>±<br>0.49<br>j | 26.29<br>±<br>0.49<br>a | 17.00<br>±<br>0.00<br>c | 14.29<br>±<br>0.49<br>g | 10.00<br>±<br>0.00<br>i | 14.86<br>±<br>0.38<br>f | 12.43<br>±<br>0.53<br>h | 16.00<br>±<br>0.00<br>e | 16.00<br>±<br>0.00<br>e                 | 17.43<br>±<br>0.53<br>b | 16.57<br>±<br>0.53<br>d   | 17.57<br>±<br>0.53<br>b  | 14.14<br>±<br>0.38<br>g  |

Les résultats obtenus montrent que l'effet du stress salin est bien illustré pendant tous les stades de développement.

En effet, les plantes irriguées par la solution saline corrigée (T2) présentent le nombre de feuilles le plus élevé, 26 feuilles en coupe 4.

Par contre, le nombre de feuilles le plus faible est observé sur les plantes qui sont alimentées par la solution saline brute (T1). Ce résultat confirme le travail de SNOUSSI et HALITIM [101] qui ont montré que la salinité provoque la réduction du nombre des feuilles de haricot et de la tomate. En revanche, l'effet de l'alternance qui est représenté par les traitements T3, T4, T5, T6 et T7, provoque

une amélioration considérable du nombre de feuilles par rapport au témoin T1, et dont le nombre de feuilles le plus élevé est enregistré au niveau des traitements T7V1 au niveau des coupes1 et 4, et T5V2 pour la coupe 2 et T5V1 et T6V1 pour la coupe3.

Concernant les variétés, on remarque que la variété Djadida a produit le nombre de feuille le plus élevé quelque soit le stade de coupe .

Tableau 6.4: Le poids frais des feuilles (g)

| T<br>C | T1                     |                        | T2                      |                         | T3                      |                        | T4                      |                         | T5                      |                         | T6                      |                         | T7                      |                         |
|--------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|        | V1                     | V2                     | V1                      | V2                      | V1                      | V2                     | V1                      | V2                      | V1                      | V2                      | V1                      | V2                      | V1                      | V2                      |
| C1     | 1.92<br>±<br>0.26<br>h | 1.33<br>±<br>0.19<br>i | 7.28<br>±<br>0.10<br>a  | 5.12<br>±<br>0.44<br>b  | 2.99<br>±<br>0.23<br>f  | 2.42<br>±<br>0.26<br>g | 4.64<br>±<br>0.25<br>c  | 3.30<br>±<br>0.26<br>de | 4.79<br>±<br>0.16<br>c  | 3.22<br>±<br>0.11<br>ef | 5.36<br>±<br>0.26<br>b  | 3.39<br>±<br>0.26<br>de | 4.81<br>±<br>0.19<br>c  | 3.57<br>±<br>0.16<br>d  |
| C2     | 2.23<br>±<br>0.19<br>h | 1.56<br>±<br>0.34<br>i | 8.72<br>±<br>0.21<br>a  | 6.20<br>±<br>0.34<br>b  | 4.12<br>±<br>0.28<br>ef | 2.34<br>±<br>0.24<br>h | 4.36<br>±<br>0.35<br>de | 3.41<br>±<br>0.25<br>g  | 4.89<br>±<br>0.31<br>c  | 3.86<br>±<br>0.37<br>f  | 4.41<br>±<br>0.39<br>de | 3.45<br>±<br>0.29<br>d  | 4.66<br>±<br>0.16<br>cd | 3.39<br>±<br>0.42<br>G  |
| C3     | 1.93<br>±<br>0.36<br>h | 1.74<br>±<br>0.29<br>h | 10.68<br>±<br>0.55<br>a | 8.26<br>±<br>0.43<br>b  | 3.73<br>±<br>0.32<br>fg | 3.30<br>±<br>0.32<br>g | 6.44<br>±<br>1.61<br>c  | 4.17<br>±<br>0.44<br>d  | 6.53<br>±<br>0.33<br>c  | 5.12<br>±<br>0.29<br>d  | 6.01<br>±<br>0.52<br>c  | 5.17<br>±<br>0.51<br>d  | 6.03<br>±<br>0.51<br>c  | 4.67<br>±<br>0.20<br>de |
| C4     | 1.55<br>±<br>0.36<br>j | 1.65<br>±<br>0.19<br>j | 31.91<br>±<br>0.67<br>a | 25.26<br>±<br>0.51<br>b | 11.30<br>±<br>0.38<br>h | 8.64<br>±<br>0.31<br>i | 13.82<br>±<br>0.56<br>f | 11.62<br>±<br>0.35<br>h | 18.31<br>±<br>0.73<br>e | 13.28<br>±<br>0.44<br>g | 20.80<br>±<br>0.65<br>d | 11.57<br>±<br>0.50<br>h | 22.03<br>±<br>0.53<br>c | 11.99<br>±<br>0.57<br>h |

Selon les résultats qui sont enregistrés dans le tableau (6.5), on remarque que les traitements exercent un effet significatif sur le poids frais des feuilles durant tous les stades de développement de la plante.

Les plantes irriguées par la solution saline naturelle (T1), présentent une biomasse fraîche faible quelque soit la variété testée. Ceci peut être expliqué par le manque des éléments essentiels pour le développement et la croissance tels que : N, P, K, Mg, Fe,... Selon MAILLARD [28], les ions de 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 de l'eau saline manifeste un développement important de la biomasse fraîche des feuilles remettant d'un équilibre ionique parfait du milieu alimentaire.

L'effet de l'alternance a amélioré le poids frais de feuilles, dont le meilleur résultat est enregistré au niveau des traitements T6V1 pour la coupe1, T5V1 pour la coupe 2 et 3 et T7V1 pour la coupe4.

Egalement l'effet variétal est bien remarquable. En effet, la variété Djadida (V1) présente le poids frais des feuilles le plus élevé par rapport à la variété Contender.

Tableau 6.5: Le poids frais des tiges.

| T<br>C | T1                     |                          | T2                     |                         | T3                       |                          | T4                        |                         | T5                      |                          | T6                       |                          | T7                       |                           |
|--------|------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
|        | V1                     | V2                       | V1                     | V2                      | V1                       | V2                       | V1                        | V2                      | V1                      | V2                       | V1                       | V2                       | V1                       | V2                        |
| C1     | 1.13<br>±<br>0.09<br>e | 1.25<br>±<br>0.05<br>e   | 2.35<br>±<br>0.11<br>b | 2.80<br>±<br>0.27<br>a  | 1.50<br>±<br>0.23<br>d   | 2.10<br>±<br>0.21<br>bc  | 1.89<br>±<br>0.05<br>c    | 2.16<br>±<br>0.37<br>bc | 1.86<br>±<br>0.22<br>c  | 2.30<br>±<br>0.48<br>b   | 1.82<br>±<br>0.02<br>c   | 2.15<br>±<br>0.19<br>bc  | 1.90<br>±<br>0.13<br>c   | 2.66<br>±<br>0.26<br>a    |
| C2     | 1.59<br>±<br>0.09<br>g | 1.94<br>±<br>0.14<br>efg | 3.76<br>±<br>0.31<br>a | 3.07<br>±<br>0.14<br>b  | 2.21<br>±<br>0.18<br>cde | 2.42<br>±<br>0.24<br>cd  | 2.93<br>±<br>0.37<br>b    | 1.67<br>±<br>0.24<br>fg | 2.98<br>±<br>0.46<br>b  | 2.22<br>±<br>0.22<br>cde | 2.54<br>±<br>0.28<br>c   | 2.01<br>±<br>0.36<br>def | 2.27<br>±<br>0.33<br>cde | 2.34<br>±<br>0.34<br>cde  |
| C3     | 1.35<br>±<br>0.31<br>f | 1.47<br>±<br>0.28<br>f   | 3.20<br>±<br>0.26<br>a | 3.04<br>±<br>0.25<br>ab | 2.27<br>±<br>0.28<br>e   | 2.76<br>±<br>0.25<br>bcd | 2.71<br>±<br>0.50<br>bcde | 2.32<br>±<br>0.32<br>e  | 2.38<br>±<br>0.24<br>de | 2.30<br>±<br>0.25<br>de  | 2.53<br>±<br>0.33<br>cde | 2.86<br>±<br>0.33<br>abc | 2.50<br>±<br>0.28<br>cde | 2.67<br>±<br>0.23<br>bcde |
| C4     | 2.06<br>±<br>0.27<br>h | 2.72<br>±<br>0.12<br>g   | 7.74<br>±<br>0.5<br>a  | 6.06<br>±<br>0.22<br>bc | 3.36<br>±<br>0.27<br>f   | 4.26<br>±<br>0.23<br>e   | 4.74<br>±<br>0.16<br>d    | 4.16<br>±<br>0.39<br>e  | 6.23<br>±<br>0.53<br>b  | 5.03<br>±<br>0.26<br>d   | 3.94<br>±<br>0.51<br>e   | 6.06<br>±<br>0.18<br>bc  | 6.08<br>±<br>0.39<br>bc  | 5.66<br>±<br>0.36<br>c    |

D'après les résultats obtenus, nous constatons que la salinité provoque une réduction du poids frais des tiges pendant les 4 stades de développement étudiés du haricot. Ce résultat est confirmé par MUNNS et TERMAAT [29]; MUNNS [30] et MUNNS et al., [31] 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 le développement.

Par contre les plantes alimentées par la solution saline corrigée (T2) présentent une biomasse fraîche des tiges importante. Ce résultat est dû à l'équilibre ionique parfait du milieu ce qui favorise une meilleure absorption hydrominérale.

Les plantes irriguées avec les traitements T3, T4, T5, T6 et T7 ont montrés une amélioration du poids frais des tiges.

Tableau 6.6: Le poids frais total (feuilles + tiges) (g)

| T<br>C | T1                     |                        | T2                     |                         | T3                      |                         | T4                      |                         | T5                      |                         | T6                       |                         | T7                      |                         |
|--------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|        | V1                     | V2                     | V1                     | V2                      | V1                      | V2                      | V1                      | V2                      | V1                      | V2                      | V1                       | V2                      | V1                      | V2                      |
| C1     | 3.05<br>±<br>0.27<br>g | 2.59<br>±<br>0.20<br>h | 9.62<br>±<br>0.12<br>a | 7.77<br>±<br>0.46<br>b  | 4.57<br>±<br>0.46<br>f  | 4.39<br>±<br>0.36<br>f  | 6.53<br>±<br>0.22<br>d  | 5.32<br>±<br>0.34<br>e  | 6.65<br>±<br>0.22<br>d  | 5.37<br>±<br>0.36<br>e  | 7.16<br>±<br>0.25<br>c   | 5.50<br>±<br>0.15<br>e  | 6.71<br>±<br>0.10<br>d  | 6.37<br>±<br>0.24<br>d  |
|        | C2                     | 3.83<br>±<br>0.22<br>k | 3.55<br>±<br>0.27<br>k | 12.47<br>±<br>0.33<br>a | 9.24<br>±<br>0.36<br>b  | 6.47<br>±<br>0.30<br>f  | 4.76<br>±<br>0.26<br>j  | 7.29<br>±<br>0.28<br>d  | 5.07<br>±<br>0.19<br>i  | 8.01<br>±<br>0.27<br>c  | 6.04<br>±<br>0.28<br>g   | 9.25<br>±<br>0.18<br>e  | 5.33<br>±<br>0.32<br>hi | 6.79<br>±<br>0.12<br>e  |
| C3     |                        | 3.28<br>±<br>0.42<br>k | 3.21<br>±<br>0.39<br>g | 13.88<br>±<br>1.14<br>a | 11.32<br>±<br>0.61<br>b | 6.00<br>±<br>0.35<br>f  | 6.07<br>±<br>0.19<br>f  | 8.64<br>±<br>0.88<br>cd | 6.40<br>±<br>0.3<br>f   | 8.91<br>±<br>0.25<br>c  | 7.42<br>±<br>0.31<br>e   | 8.54<br>±<br>0.57<br>cd | 8.05<br>±<br>0.53<br>d  | 8.52<br>±<br>0.62<br>cd |
|        | C4                     | 3.61<br>±<br>0.32<br>k | 4.38<br>±<br>0.21<br>j | 39.65<br>±<br>1.14<br>a | 31.61<br>±<br>0.63<br>b | 14.56<br>±<br>0.30<br>i | 12.90<br>±<br>0.36<br>h | 18.52<br>±<br>0.56<br>e | 15.78<br>±<br>0.50<br>g | 24.69<br>±<br>0.32<br>d | 18.30<br>±<br>0.43<br>ef | 24.88<br>±<br>0.42<br>d | 17.58<br>±<br>0.44<br>f | 28.07<br>±<br>0.64<br>c |

L'analyse de la variance révèle l'existence d'une action hautement significative de l'effet traitement sur le poids frais total.

Durant tous les stades de développement, le poids frais total le plus élevé est enregistré au niveau des plantes alimentées par la solution saline corrigée. En effet, la correction de l'eau saline à un effet bénéfique sur la croissance du haricot, parce qu'elle fournit tous les éléments nécessaires aux besoins des plantes à des proportions convenables.

A l'inverse la salinité provoque un effet négatif sur le poids fais total. A cet effet, les plantes irriguées par la solution saline brute (T1) enregistrent un très faible poids total des feuilles + tiges. La diminution de la croissance est une réponse à la déshydratation. Elle contribue à la conservation des ressources en eau, ce qui permet la survie de la plante [36]; [37] et [38].

En ce qui concerne l'effet d'adjonction, on constate qu'il améliore la biomasse fraîche totale puisque les meilleurs sont représentés par les traitements T5, T6 et T7.

L'effet variétal est très remarquable. La variété Djadida enregistre un poids frais total le plus élevé par rapport à la variété Contender.

Tableau 6.7: Le poids frais des racines (g)

| T<br>C | T1   |      | T2    |       | T3   |      | T4    |      | T5    |      | T6    |      | T7    |      |
|--------|------|------|-------|-------|------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
|        | V1   | V2   | V1    | V2    | V1   | V2   | V1    | V2   | V1    | V2   | V1    | V2   | V1    | V2   |
| C1     | 2.35 | 2.37 | 7.07  | 7.45  | 3.78 | 3.65 | 4.74  | 4.31 | 5.49  | 3.59 | 7.31  | 5.32 | 6.01  | 5.86 |
|        | ±    | ±    | ±     | ±     | ±    | ±    | ±     | ±    | ±     | ±    | ±     | ±    | ±     | ±    |
|        | 0.15 | 0.20 | 0.86  | 0.28  | 0.30 | 0.26 | 0.23  | 0.22 | 0.22  | 0.27 | 0.39  | 0.34 | 0.51  | 0.22 |
|        | h    | h    | a     | a     | g    | g    | e     | f    | cd    | g    | a     | d    | b     | bc   |
| C2     | 6.34 | 3.66 | 10.82 | 9.39  | 7.46 | 5.39 | 7.91  | 5.96 | 10.09 | 6.63 | 10.00 | 6.26 | 8.39  | 6.66 |
|        | ±    | ±    | ±     | ±     | ±    | ±    | ±     | ±    | ±     | ±    | ±     | ±    | ±     | ±    |
|        | 0.38 | 0.32 | 0.53  | 0.44  | 0.38 | 0.20 | 0.25  | 0.59 | 0.38  | 0.35 | 0.39  | 0.36 | 0.13  | 0.20 |
|        | ef   | g    | a     | b     | cd   | f    | c     | ef   | ab    | de   | ab    | ef   | c     | de   |
| C3     | 7.46 | 5.28 | 15.02 | 11.13 | 9.13 | 7.46 | 11.75 | 8.53 | 13.72 | 9.26 | 12.27 | 8.66 | 13.74 | 7.90 |
|        | ±    | ±    | ±     | ±     | ±    | ±    | ±     | ±    | ±     | ±    | ±     | ±    | ±     | ±    |
|        | 0.38 | 0.30 | 0.53  | 0.59  | 0.45 | 0.24 | 0.26  | 0.26 | 0.25  | 0.48 | 0.51  | 0.43 | 0.76  | 0.58 |
|        | i    | j    | a     | e     | fg   | i    | d     | h    | b     | f    | c     | gh   | b     | i    |

L'analyse de la variance montre un effet significatif du facteur solution et facteur variété sur le poids frais des racines.

Comme la biomasse fraîche aérienne, la biomasse fraîche des racines est aussi influencée par le stress salin. En effet, les plantes issues de la solution saline naturelle (T1), 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  $\text{HCO}_3$  et  $\text{NaCl}$ . Dans ce contexte, DUTHIL [6], note que la concentration élevée du sol en sel peut augmenter leur pression osmotique qui devient égale ou dépasse celle du suc cellulaire des racines. Dans ce cas, le végétale subit un flétrissement.

A l'inverse les plantes issues de la solution saline corrigée produisent une biomasse racinaire bien développée et dense.

L'effet de l'alternance de la solution nutritive corrigée dans le cycle des irrigations par la solution saline naturelle est remarquable, il améliore le développement du chevelu racinaire par rapport au témoin (T1). Dont les meilleurs sont présentés par les traitements T6V1 pour la coupe 1, T5V1 et TV6 pour la coupe 2 et T5V1 et T7V1 pour la coupe 3.

Concernant l'effet variétal, on remarque que la variété Djadida donne un poids frais des racines plus élevé que la variété Contender.



Figure 6.8 : Les racines de différents traitements.

Tableau 6.8: Le poids sec des feuilles (g)

| T<br>C | T1                     |                        | T2                     |                         | T3                      |                        | T4                      |                         | T5                     |                         | T6                       |                         | T7                     |                        |
|--------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
|        | V1                     | V2                     | V1                     | V2                      | V1                      | V2                     | V1                      | V2                      | V1                     | V2                      | V1                       | V2                      | V1                     | V2                     |
| C1     | 0.28<br>±<br>0.01<br>h | 0.19<br>±<br>0.03<br>i | 0.87<br>±<br>0.01<br>a | 0.64<br>±<br>0.06<br>cd | 0.44<br>±<br>0.03<br>f  | 0.33<br>±<br>0.04<br>g | 0.64<br>±<br>0.04<br>cd | 0.42<br>±<br>0.03<br>f  | 0.61<br>±<br>0.02<br>d | 0.42<br>±<br>0.01<br>f  | 0.74<br>±<br>0.04<br>b   | 0.44<br>±<br>0.02<br>f  | 0.66<br>±<br>0.03<br>c | 0.48<br>±<br>0.04<br>e |
| C2     | 0.21<br>±<br>0.02<br>h | 0.24<br>±<br>0.04<br>h | 0.98<br>±<br>0.02<br>a | 0.90<br>±<br>0.05<br>b  | 0.61<br>±<br>0.04<br>cd | 0.36<br>±<br>0.04<br>g | 0.58<br>±<br>0.05<br>de | 0.54<br>±<br>0.04<br>de | 0.64<br>±<br>0.04<br>c | 0.54<br>±<br>0.05<br>de | 0.60<br>±<br>0.05<br>cde | 0.55<br>±<br>0.05<br>de | 0.54<br>±<br>0.02<br>e | 0.45<br>±<br>0.06<br>f |
| C3     | 0.52<br>±<br>0.05<br>g | 0.25<br>±<br>0.04<br>g | 1.62<br>±<br>0.08<br>a | 1.39<br>±<br>0.08<br>b  | 0.51<br>±<br>0.04<br>f  | 0.49<br>±<br>0.05<br>f | 0.89<br>±<br>0.06<br>d  | 0.65<br>±<br>0.07<br>e  | 0.98<br>±<br>0.05<br>c | 0.85<br>±<br>0.05<br>d  | 0.86<br>±<br>0.07<br>d   | 0.85<br>±<br>0.08<br>d  | 0.89<br>±<br>0.07<br>d | 0.81<br>±<br>0.03<br>d |
| C4     | 0.18<br>±<br>0.04<br>j | 0.22<br>±<br>0.02<br>j | 3.98<br>±<br>0.09<br>a | 3.62<br>±<br>0.06<br>b  | 1.50<br>±<br>0.05<br>H  | 1.24<br>±<br>0.04<br>i | 1.59<br>±<br>0.014<br>h | 1.78<br>±<br>0.05<br>g  | 2.55<br>±<br>0.10<br>e | 2.14<br>±<br>0.07<br>f  | 2.89<br>±<br>0.09<br>d   | 1.55<br>±<br>0.07<br>h  | 3.17<br>±<br>0.08<br>c | 1.51<br>±<br>0.07<br>h |

Tableau 6.9: Le poids sec des tiges (g)

| T<br>C | T1                     |                         | T2                       |                        | T3                     |                        | T4                       |                         | T5                     |                          | T6                      |                          | T7                      |                         |
|--------|------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|
|        | V1                     | V2                      | V1                       | V2                     | V1                     | V2                     | V1                       | V2                      | V1                     | V2                       | V1                      | V2                       | V1                      | V2                      |
| C1     | 0.20<br>±<br>0.02<br>d | 0.30<br>±<br>0.01<br>c  | 0.32<br>±<br>0.02<br>bc  | 0.47<br>±<br>0.15<br>a | 0.28<br>±<br>0.05<br>c | 0.48<br>±<br>0.05<br>a | 0.32<br>±<br>0.01<br>bc  | 0.38<br>±<br>0.03<br>b  | 0.31<br>±<br>0.03<br>c | 0.39<br>±<br>0.05<br>b   | 0.30<br>±<br>0.00<br>c  | 0.49<br>±<br>0.03<br>a   | 0.31<br>±<br>0.03<br>bc | 0.53<br>±<br>0.05<br>a  |
| C2     | 0.32<br>±<br>0.02<br>f | 0.48<br>±<br>0.03<br>cd | 0.53<br>±<br>0.04<br>c   | 0.66<br>±<br>0.03<br>a | 0.42<br>±<br>0.03<br>e | 0.59<br>±<br>0.06<br>b | 0.50<br>±<br>0.06<br>cb  | 0.43<br>±<br>0.06<br>de | 0.58<br>±<br>0.04<br>b | 0.51<br>±<br>0.05<br>cd  | 0.49<br>±<br>0.06<br>cd | 0.49<br>±<br>0.09<br>cd  | 0.32<br>±<br>0.02<br>F  | 0.50<br>±<br>0.05<br>cd |
| C3     | 0.29<br>±<br>0.07<br>f | 0.35<br>±<br>0.07<br>f  | 0.64<br>±<br>0.05<br>bcd | 0.78<br>±<br>0.06<br>a | 0.48<br>±<br>0.06<br>e | 0.79<br>±<br>0.07<br>a | 0.60<br>±<br>0.11<br>cde | 0.57<br>±<br>0.08<br>de | 0.49<br>±<br>0.05<br>e | 0.64<br>±<br>0.07<br>bcd | 0.52<br>±<br>0.07<br>e  | 0.70<br>±<br>0.15<br>abc | 0.51<br>±<br>0.06<br>e  | 0.73<br>±<br>0.06<br>ab |
| C4     | 0.41<br>±<br>0.05<br>j | 0.56<br>±<br>0.03<br>i  | 1.75<br>±<br>0.11<br>a   | 1.77<br>±<br>0.06<br>a | 0.78<br>±<br>0.05<br>h | 1.22<br>±<br>0.06<br>e | 1.08<br>±<br>0.04<br>f   | 1.29<br>±<br>0.12<br>de | 1.40<br>±<br>0.12<br>c | 1.52<br>±<br>0.08<br>b   | 0.94<br>±<br>0.08<br>g  | 1.80<br>±<br>0.05<br>a   | 1.36<br>±<br>0.09<br>cd | 1.49<br>±<br>0.09<br>b  |

D'après les résultats enregistrés dans le tableau (6-11) nous avons constaté que le poids sec des feuilles et des tiges sont influencés par les différents traitements testés.

La solution saline brute (T1), manifeste une biomasse sèche faible quelque soit le stade de développement. Ceci peut être expliqué par l'absence des éléments nécessaires pour la fabrication des produits de métabolisme de la plante. Des résultats similaires sont obtenues par SNOUSSI [14] où il a montré

que la salinité provoque un effet dépressif sur le poids frais des feuilles et des tiges. Tandis que la solution saline corrigée (T2), enregistre des poids secs des feuilles et des tiges élevés. On peut expliquer ce résultat par l'équilibre quantitatif et qualitatif des ions minéraux dans le milieu alimentaire ou nutritif, ce qui favorise l'absorption hydrominérale et augmente l'activité photosynthétique se traduisant par une biomasse importante.

L'effet de l'alternance de la solution saline naturelle corrigée et la solution saline naturelle dans le cycle des irrigations pratiqué par les traitements T3, T4, T5, T6 et T7, exerce une amélioration considérable sur la biomasse sèche des feuille et des tiges.

Concernant le facteur variété, nous avons remarqué que la variété Djadida produit une biomasse sèche des feuilles plus importante que la variété Contender. Un effet inverse est observé pour la biomasse sèche des tiges.

Tableau 6.10: Le pois sec total (feuilles + tiges) (g)

| T<br>C | T1                     |                        | T2                     |                        | T3                      |                         | T4                      |                         | T5                      |                         | T6                      |                        | T7                      |                         |
|--------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
|        | V1                     | V2                     | V1                     | V2                     | V1                      | V2                      | V1                      | V2                      | V1                      | V2                      | V1                      | V2                     | V1                      | V2                      |
| C1     | 0.48<br>±<br>0.03<br>h | 0.49<br>±<br>0.03<br>h | 1.19<br>±<br>0.02<br>a | 1.15<br>±<br>0.08<br>a | 0.70<br>±<br>0.05<br>g  | 0.81<br>±<br>0.06<br>f  | 0.96<br>±<br>0.03<br>cd | 0.81<br>±<br>0.06<br>f  | 0.92<br>±<br>0.03<br>de | 0.81<br>±<br>0.06<br>f  | 1.04<br>±<br>0.04<br>b  | 0.90<br>±<br>0.02<br>e | 0.96<br>±<br>0.01<br>cd | 1.01<br>±<br>0.06<br>bc |
| C2     | 0.53<br>±<br>0.03<br>i | 0.73<br>±<br>0.04<br>h | 1.51<br>±<br>0.04<br>b | 1.57<br>±<br>0.07<br>a | 1.03<br>±<br>0.05<br>de | 0.95<br>±<br>0.06<br>f  | 1.08<br>±<br>0.05<br>d  | 0.98<br>±<br>0.04<br>ef | 1.22<br>±<br>0.04<br>c  | 1.06<br>±<br>0.04<br>b  | 1.10<br>±<br>0.03<br>d  | 1.04<br>±<br>0.10<br>d | 0.86<br>±<br>0.02<br>g  | 0.84<br>±<br>0.06<br>f  |
| C3     | 0.54<br>±<br>0.08<br>g | 0.61<br>±<br>0.08<br>g | 2.25<br>±<br>0.09<br>a | 2.27<br>±<br>0.33<br>a | 1.00<br>±<br>0.06<br>f  | 1.28<br>±<br>0.04<br>de | 1.48<br>±<br>0.16<br>bc | 1.28<br>±<br>0.05<br>e  | 1.47<br>±<br>0.04<br>bc | 1.55<br>±<br>0.17<br>bc | 1.39<br>±<br>0.09<br>cd | 1.61<br>±<br>0.09<br>b | 1.40<br>±<br>0.11<br>cd | 1.54<br>±<br>0.07<br>bc |
| C4     | 0.59<br>±<br>0.05<br>m | 0.81<br>±<br>0.05<br>l | 5.73<br>±<br>0.19<br>a | 5.38<br>±<br>0.12<br>b | 2.26<br>±<br>0.08<br>k  | 2.46<br>±<br>0.07<br>j  | 2.75<br>±<br>0.09<br>i  | 3.05<br>±<br>0.09<br>h  | 3.95<br>±<br>0.06<br>d  | 3.67<br>±<br>0.09<br>f  | 3.83<br>±<br>0.07<br>e  | 3.35<br>±<br>0.09<br>g | 4.53<br>±<br>0.11<br>c  | 3.00<br>±<br>0.16<br>h  |

Les résultats obtenus révèlent que les traitements testés ont une influence très hautement significative sur la production de la matière sèche totale au niveau les quatre stades de développement étudiés.

Les plantes issues de la solution saline corrigée, donnent la biomasse sèche la plus élevée, quelque soit le stade de coupe étudié et la variété testée.

L'effet de l'alternance de la solution corrigée et la solution saline brute améliore d'avantage le poids sec total, dont les meilleurs résultats sont observés au niveau des traitements T6V1 et T7V2 pour la coupe 1, T5V1 pour la coupe 2, T6V2 pour la coupe 3 et T7V1 pour la coupe 4.

En revanche la salinité au niveau de la solution saline naturelle, provoque la réduction de la matière sèche totale, conséquence d'une réduction de croissance des plantes. A cet effet, 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 [36] ; [37] ; [38].

Tableau 6.11: Le poids sec des racines (g)

| T<br>C | T1                     |                        | T2                     |                         | T3                      |                        | T4                       |                        | T5                       |                         | T6                     |                         | T7                      |                        |
|--------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
|        | V1                     | V2                     | V1                     | V2                      | V1                      | V2                     | V1                       | V2                     | V1                       | V2                      | V1                     | V2                      | V1                      | V2                     |
| C1     | 0.22<br>±<br>0.02<br>g | 0.21<br>±<br>0.02<br>g | 0.57<br>±<br>0.03<br>b | 0.54<br>±<br>0.01<br>b  | 0.39<br>±<br>0.03<br>de | 0.40<br>±<br>0.03<br>d | 0.36<br>±<br>0.02<br>e   | .31<br>±<br>0.01<br>f  | 0.50<br>±<br>0.05<br>c   | 0.38<br>±<br>0.03<br>de | 0.65<br>±<br>0.03<br>a | 0.49<br>±<br>0.03<br>c  | 0.49<br>±<br>0.04<br>c  | 0.49<br>±<br>0.03<br>c |
| C2     | 0.60<br>±<br>0.03<br>h | 0.45<br>±<br>0.04<br>i | 1.13<br>±<br>0.06<br>a | 0.97<br>±<br>0.05<br>c  | 0.75<br>±<br>0.04<br>ef | 0.66<br>±<br>0.04<br>g | 0.85<br>±<br>0.03<br>d   | 0.66<br>±<br>0.07<br>g | 1.02<br>±<br>0.04<br>b   | 0.66<br>±<br>0.04<br>g  | 0.95<br>±<br>0.04<br>c | 0.71<br>±<br>0.04<br>fg | 0.78<br>±<br>0.01<br>e  | 0.78<br>±<br>0.05<br>e |
| C3     | 0.69<br>±<br>0.04<br>f | 0.51<br>±<br>0.03<br>g | 1.32<br>±<br>0.05<br>a | 1.22<br>±<br>0.07<br>bc | 0.85<br>±<br>0.04<br>e  | 0.84<br>±<br>0.05<br>e | 1.26<br>±<br>0.03<br>abc | 0.85<br>±<br>0.03<br>e | 1.26<br>±<br>0.02<br>abc | 0.94<br>±<br>0.05<br>d  | 1.21<br>±<br>0.05<br>c | 0.90<br>±<br>0.05<br>de | 1.28<br>±<br>0.07<br>ab | 0.86<br>±<br>0.06<br>e |

Les résultats obtenus (tableau 6-13), mettent en évidence l'intérêt de l'alternance de la solution corrigée (T2) dans le cycle des irrigations du haricot par la solution saline naturelle (T1). En effet l'effet de l'alternance a permis une augmentation du poids sec des racines. Par contre la solution saline naturelle produit le poids sec des racines le plus faible. Ceci peut être expliqué par l'effet de sel qui empêche le développement des racines, et donc la réduction de la surface d'exploration. Les mêmes constatations sont faites par KULKARNI et KARADGE [102].

Concernant l'effet variétal on remarque que la variété Djadida est la variété la plus vigoureuse.

Tableau 6.12: Le taux de la matière sèche des feuilles

| T<br>C | T1                      |                         | T2                      |                         | T3                      |                          | T4                      |                         | T5                      |                         | T6                      |                         | T7                      |                         |
|--------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|        | V1                      | V2                      | V1                      | V2                      | V1                      | V2                       | V1                      | V2                      | V1                      | V2                      | V1                      | V2                      | V1                      | V2                      |
| C1     | 14.38<br>±<br>0.15<br>c | 14.57<br>±<br>0.09<br>a | 12.08<br>±<br>0.36<br>h | 12.78<br>±<br>0.14<br>f | 13.84<br>±<br>0.15<br>c | 14.42<br>±<br>0.19<br>ab | 13.79<br>±<br>0.07<br>c | 13.43<br>±<br>0.05<br>d | 12.80<br>±<br>0.08<br>f | 12.84<br>±<br>0.15<br>c | 13.75<br>±<br>0.07<br>c | 13.44<br>±<br>0.10<br>d | 13.70<br>±<br>0.07<br>c | 13.06<br>±<br>0.09<br>e |
| C2     | 14.70<br>±<br>0.06<br>c | 15.93<br>±<br>0.08<br>a | 9.10<br>±<br>0.12<br>k  | 13.17<br>±<br>0.09<br>h | 13.69<br>±<br>0.08<br>f | 15.92<br>±<br>0.21<br>a  | 13.30<br>±<br>0.06<br>g | 15.35<br>±<br>0.13<br>b | 11.25<br>±<br>0.10<br>j | 14.08<br>±<br>0.09<br>e | 13.12<br>±<br>0.05<br>h | 14.51<br>±<br>0.10<br>d | 11.57<br>±<br>0.08<br>i | 14.50<br>±<br>0.09<br>d |
| C3     | 15.14<br>±<br>0.03<br>f | 7.24<br>±<br>0.06<br>a  | 12.91<br>±<br>0.22<br>l | 14.53<br>±<br>0.18<br>i | 15.12<br>±<br>0.08<br>f | 16.81<br>±<br>0.14<br>b  | 14.97<br>±<br>0.05<br>g | 16.63<br>±<br>0.03<br>c | 13.70<br>±<br>0.07<br>k | 14.79<br>±<br>0.08<br>h | 14.36<br>±<br>0.03<br>j | 16.42<br>±<br>0.05<br>d | 14.69<br>±<br>0.05<br>h | 15.47<br>±<br>0.04<br>e |
| C4     | 14.38<br>±<br>0.01<br>d | 16.09<br>±<br>0.12<br>a | 11.69<br>±<br>0.63<br>i | 12.58<br>±<br>0.03<br>g | 13.93<br>±<br>0.01<br>e | 15.32<br>±<br>0.03<br>b  | 13.78<br>±<br>0.30<br>e | 14.69<br>±<br>0.01<br>c | 12.09<br>±<br>0.25<br>g | 13.24<br>±<br>0.10<br>f | 13.22<br>±<br>0.04<br>f | 14.37<br>±<br>0.03<br>d | 12.47<br>±<br>0.00<br>g | 13.43<br>±<br>0.03<br>f |

Tableau 6.13: Le taux de la matière sèche des tiges

| T<br>C | T1                      |                         | T2                      |                         | T3                      |                         | T4                      |                         | T5                      |                         | T6                      |                         | T7                      |                         |
|--------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|        | V1                      | V2                      |
| C1     | 18.59<br>±<br>0.23<br>f | 23.63<br>±<br>0.20<br>a | 13.57<br>±<br>0.07<br>l | 17.88<br>±<br>0.1<br>h  | 17.48<br>±<br>0.28<br>h | 23.29<br>±<br>0.44<br>b | 16.75<br>±<br>0.18<br>i | 19.02<br>±<br>0.20<br>e | 16.40<br>±<br>0.14<br>j | 18.12<br>±<br>0.08<br>g | 16.49<br>±<br>0.18<br>j | 20.47<br>±<br>0.09<br>c | 15.82<br>±<br>0.14<br>k | 19.77<br>±<br>0.21<br>d |
| C2     | 19.84<br>±<br>0.27<br>g | 25.95<br>±<br>0.07<br>a | 13.99<br>±<br>0.08<br>k | 21.63<br>±<br>0.05<br>f | 18.88<br>±<br>0.12<br>h | 25.16<br>±<br>0.18<br>b | 18.68<br>±<br>0.12<br>h | 24.35<br>±<br>0.16<br>c | 17.32<br>±<br>0.30<br>i | 23.04<br>±<br>0.11<br>d | 19.47<br>±<br>0.08<br>g | 24.60<br>±<br>0.18<br>c | 14.67<br>±<br>1.46<br>j | 22.58<br>±<br>0.4<br>e  |
| C3     | 21.99<br>±<br>0.12<br>g | 28.58<br>±<br>0.12<br>a | 19.91<br>±<br>0.10<br>k | 23.93<br>±<br>0.18<br>f | 21.68<br>±<br>0.12<br>h | 27.77<br>±<br>0.09<br>b | 21.31<br>±<br>0.33<br>h | 25.41<br>±<br>0.10<br>c | 20.45<br>±<br>0.06<br>j | 25.66<br>±<br>0.15<br>e | 20.60<br>±<br>0.12<br>j | 26.56<br>±<br>0.10<br>d | 20.43<br>±<br>0.17<br>j | 25.77<br>±<br>0.05<br>e |
| C4     | 22.90<br>±<br>0.00<br>g | 30.89<br>±<br>0.08<br>a | 19.68<br>±<br>0.19<br>n | 20.52<br>±<br>0.12<br>m | 22.79<br>±<br>0.08<br>h | 30.29<br>±<br>0.06<br>b | 22.67<br>±<br>0.02<br>i | 29.66<br>±<br>0.05<br>c | 22.52<br>±<br>0.04<br>j | 28.64<br>±<br>0.10<br>e | 22.27<br>±<br>0.00<br>l | 29.20<br>±<br>0.05<br>c | 22.41<br>±<br>0.09<br>k | 26.41<br>±<br>0.06<br>f |

Tableau 6.14: Le taux de la matière sèche totale (feuilles + tiges)

| T<br>C | T1                      |                         | T2                      |                         | T3                      |                         | T4                      |                         | T5                      |                         | T6                      |                         | T7                      |                          |
|--------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
|        | V1                      | V2                       |
| C1     | 15.91<br>±<br>0.23<br>d | 18.88<br>±<br>0.54<br>a | 12.33<br>±<br>0.05<br>i | 14.77<br>±<br>0.17<br>g | 15.43<br>±<br>0.26<br>e | 18.52<br>±<br>0.26<br>b | 14.62<br>±<br>0.13<br>g | 15.15<br>±<br>0.19<br>f | 13.77<br>±<br>0.12<br>h | 14.99<br>±<br>0.12<br>f | 14.45<br>±<br>0.07<br>g | 16.29<br>±<br>0.47<br>c | 14.39<br>±<br>0.23<br>g | 16.13<br>±<br>0.21<br>cd |
| C2     | 19.92<br>±<br>0.38<br>b | 20.49<br>±<br>0.88<br>a | 11.92<br>±<br>0.37<br>k | 13.77<br>±<br>0.22<br>i | 16.17<br>±<br>0.10<br>f | 19.32<br>±<br>0.36<br>c | 14.80<br>±<br>0.22<br>h | 16.88<br>±<br>0.12<br>e | 15.29<br>±<br>0.17<br>g | 17.50<br>±<br>0.47<br>d | 15.81<br>±<br>0.23<br>f | 18.91<br>±<br>1.04<br>c | 12.73<br>±<br>0.09<br>j | 16.99<br>±<br>0.45<br>e  |
| C3     | 20.78<br>±<br>0.56<br>a | 21.08<br>±<br>0.60<br>a | 16.24<br>±<br>0.08<br>e | 17.19<br>±<br>0.25<br>d | 16.58<br>±<br>0.27<br>e | 19.18<br>±<br>0.20<br>c | 16.58<br>±<br>0.67<br>e | 18.88<br>±<br>0.53<br>c | 16.44<br>±<br>0.15<br>e | 20.07<br>±<br>0.34<br>b | 16.21<br>±<br>0.21<br>e | 19.87<br>±<br>0.59<br>b | 16.37<br>±<br>0.14<br>e | 18.85<br>±<br>0.75<br>c  |
| C4     | 17.58<br>±<br>0.08<br>e | 19.94<br>±<br>0.25<br>a | 14.48<br>±<br>0.07<br>h | 16.28<br>±<br>0.65<br>e | 16.11<br>±<br>0.19<br>e | 19.33<br>±<br>0.17<br>b | 15.48<br>±<br>0.17<br>f | 19.08<br>±<br>0.23<br>b | 14.83<br>±<br>0.10<br>g | 17.32<br>±<br>0.36<br>e | 16.11<br>±<br>0.19<br>e | 19.09<br>±<br>0.16<br>b | 15.37<br>±<br>0.26<br>f | 17.03<br>±<br>0.13<br>d  |

A partir des résultats obtenus dans les tableaux (6.1.12, 6.1.13, et 6.1.14), nous avons constatés que l'analyse de la variance montre un effet significatif des traitements testés sur le taux de la matière sèche des feuilles, des tiges et le taux de la matière sèche totale (feuilles+tiges).

Le taux de la matière sèche le plus faible est enregistré au niveau des plantes alimentées par la solution saline corrigée, aussi, il est à noter que les plantes du haricot sont riches en eau. Ceci peut être expliqué par une meilleure alimentation hydrominérale. A l'inverse les plantes irriguées par la solution saline naturelle présentent les taux de matières sèches élevées. A ce propos, HOPKINS [103] 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.

En revanche l'effet d'alternance de la solution saline naturelle par la solution saline corrigée améliore l'hydratation des feuilles et les tiges du haricot et ceci résulte d'une alimentation plus ou moins équilibrée.

En ce qui concerne l'effet variétal, nous avons observé qu'il est bien remarquable. En effet la variété Contender présente le taux de matière sèche le plus élevé et ce par rapport à la variété Djadida.

Tableau 6.15: Le taux de la matière sèche des racines

| T<br>C | T1                      |                         | T2                     |                         | T3                      |                         | T4                      |                         | T5                     |                         | T6                     |                          | T7                     |                         |
|--------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|
|        | V1                      | V2                      | V1                     | V2                      | V1                      | V2                      | V1                      | V2                      | V1                     | V2                      | V1                     | V2                       | V1                     | V2                      |
| C1     | 10.82<br>±<br>0.07<br>b | 10.92<br>±<br>0.08<br>a | 7.29<br>±<br>0.07<br>l | 7.36<br>±<br>0.05<br>l  | 9.49<br>±<br>0.10<br>d  | 10.20<br>±<br>0.11<br>c | 8.38<br>±<br>0.03<br>i  | 9.16<br>±<br>0.06<br>e  | 7.52<br>±<br>0.05<br>k | 8.80<br>±<br>0.16<br>g  | 8.92<br>±<br>0.04<br>f | 9.46<br>±<br>0.18<br>d   | 8.18<br>±<br>0.07<br>j | 8.50<br>±<br>0.06<br>h  |
| C2     | 11.49<br>±<br>0.04<br>b | 12.18<br>±<br>0.06<br>a | 9.30<br>±<br>0.04<br>k | 10.31<br>±<br>0.11<br>f | 10.11<br>±<br>0.31<br>g | 11.06<br>±<br>0.05<br>d | 10.51<br>±<br>0.11<br>e | 11.08<br>±<br>0.06<br>d | 9.94<br>±<br>0.05<br>i | 10.06<br>±<br>0.03<br>h | 9.49<br>±<br>0.04<br>j | 11.32<br>±<br>0.06<br>c  | 9.56<br>±<br>0.03<br>j | 10.43<br>±<br>0.03<br>e |
| C3     | 10.98<br>±<br>0.03<br>b | 11.43<br>±<br>0.03<br>a | 8.77<br>±<br>0.07<br>j | 9.31<br>±<br>0.03<br>h  | 9.32<br>±<br>1.02<br>h  | 10.89<br>±<br>0.03<br>b | 10.74<br>±<br>0.03<br>c | 9.93<br>±<br>0.29<br>f  | 9.15<br>±<br>0.02<br>i | 10.10<br>±<br>0.04<br>e | 9.61<br>±<br>0.04<br>g | 10.30<br>±<br>0.019<br>d | 9.34<br>±<br>0.02<br>h | 9.89<br>±<br>0.01<br>f  |

L'analyse de la variance indique que les traitements testés exercent un effet significatif sur le taux de la matière sèche racinaire.

Le stress salin affect significativement le variable mesurée. Il est à noter que le taux de la matière sèche le plus élevé est enregistré au niveau des plantes irriguées par la solution saline naturelle. Ce résultat est confirmé par KULKARNI et KARADGE [102] qui ont montré que les plantes ayant subi un stress salin produisent le maximum de la matière sèche compte tenu le raccourcissement de leur cycle de développement.

Par contre, les plantes issues de la solution saline corrigée donnent un taux de matière sèche faible par rapport au témoin T1 (solution saline naturelle).

En ce qui concerne l'effet de l'alternance de la solution saline naturelle par la solution saline corrigée, on constate une diminution du taux de la matière sèche des racines. Cette observation peut être expliquée par le fait que le milieu nutritif où reposent les plantes est plus ou moins favorable à leur croissance.

Concernant l'effet variétal on constate que la variété Contender produit plus de matière sèche que la variété Djadida.

## 6.2 Paramètres de production

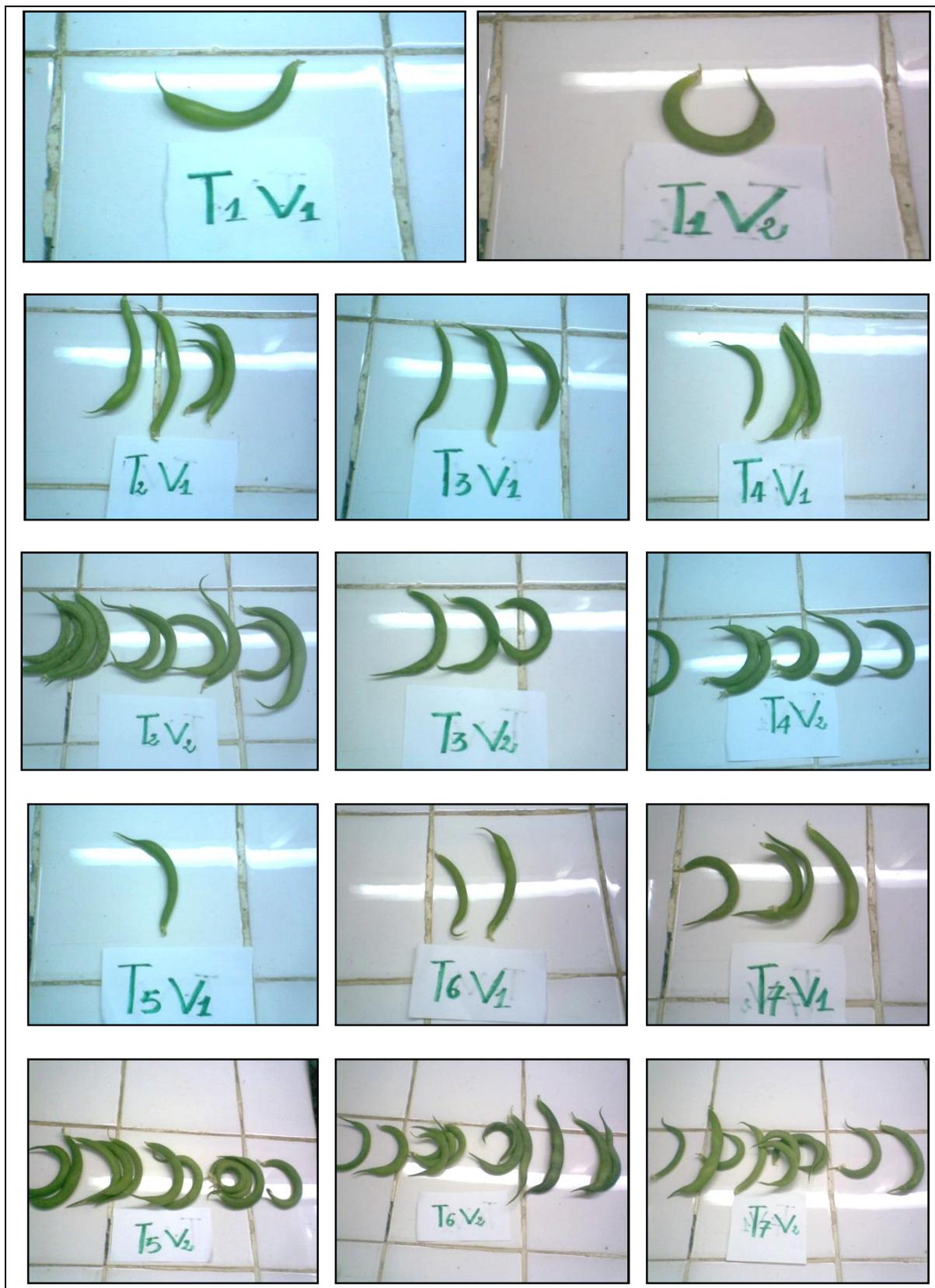


Figure 6.18 : La première récolte des gousses des haricots.

Tableau 6.16 : Le poids frais, le poids sec et le nombre des gousses.

| T                                     | T1                     |                        | T2                       |                         | T3                     |                        | T4                      |                         | T5                      |                         | T6                      |                         | T7                       |                         |
|---------------------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
|                                       | V1                     | V2                     | V1                       | V2                      | V1                     | V2                     | V1                      | V2                      | V1                      | V2                      | V1                      | V2                      | V1                       | V2                      |
| Nombre des gousses                    | 1.00<br>±<br>0.00<br>h | 1.57<br>±<br>0.58<br>g | 6.29<br>±<br>0.49<br>a   | 4.00<br>±<br>0.00<br>d  | 2.57<br>±<br>0.53<br>f | 2.57<br>±<br>0.53<br>f | 3.57<br>±<br>0.53<br>de | 3.00<br>±<br>0.00<br>ef | 4.71<br>±<br>0.49<br>c  | 3.29<br>±<br>0.49<br>e  | 5.14<br>±<br>0.38<br>bc | 3.00<br>±<br>0.00<br>ef | 5.29<br>±<br>0.49<br>b   | 3.43<br>±<br>0.53<br>e  |
| Poids frais moyen des gousses (g)     | 1.09<br>±<br>0.21<br>i | 1.70<br>±<br>0.48<br>h | 4.69<br>±<br>0.16<br>bcd | 5.35<br>±<br>0.06<br>a  | 2.55<br>±<br>0.16<br>g | 3.41<br>±<br>0.13<br>f | 3.95<br>±<br>0.07<br>e  | 4.47<br>±<br>0.19<br>d  | 4.84<br>±<br>0.11<br>bc | 4.94<br>±<br>0.18<br>b  | 4.60<br>±<br>0.3<br>cd  | 4.87<br>±<br>0.10<br>bc | 4.43<br>±<br>0.13<br>d   | 4.78<br>±<br>0.13<br>bc |
| Poids frais des gousses par plant (g) | 1.23<br>±<br>0.28<br>j | 1.85<br>±<br>0.65<br>j | 29.50<br>±<br>0.58<br>a  | 21.40<br>±<br>0.25<br>d | 6.19<br>±<br>0.69<br>i | 8.71<br>±<br>1.69<br>h | 14.22<br>±<br>0.71<br>f | 13.41<br>±<br>0.58<br>g | 22.57<br>±<br>0.29<br>c | 16.71<br>±<br>0.55<br>e | 24.57<br>±<br>1.05<br>b | 14.53<br>±<br>0.31<br>f | 22.15<br>±<br>0.65<br>cd | 16.34<br>±<br>0.38<br>e |
| Poids sec moyen des gousses (g)       | 0.10<br>±<br>0.02<br>i | 0.14<br>±<br>0.04<br>j | 0.45<br>±<br>0.01<br>b   | 0.48<br>±<br>0.00<br>a  | 0.22<br>±<br>0.02<br>h | 0.32<br>±<br>0.01<br>f | 0.30<br>±<br>0.00<br>g  | 0.36<br>±<br>0.01<br>e  | 0.34<br>±<br>0.01<br>e  | 0.43<br>±<br>0.02<br>c  | 0.38<br>±<br>0.01<br>d  | 0.40<br>±<br>0.01<br>d  | 0.35<br>±<br>0.01<br>e   | 0.49<br>±<br>0.01<br>a  |

Les résultats obtenus dans le tableau (6-20), indiquent que l'analyse de la variance révèle une influence significative des traitements étudiés sur les paramètres de production.

Les plantes issues de la solution saline naturelle produisent un très faible nombre de gousses avec un faible poids frais et sec. A cet effet, on peut dire que la salinité provoque un effet défavorable sur les paramètres de production. La diminution de la productivité des plantes est due au déficit hydrique, en réduisant leur croissance et leurs surfaces foliaires, ce qui a pour conséquence une diminution de la capacité photosynthétique de la plante entière [48].

A l'inverse, les plantes irriguées par la solution saline corrigée donnent un nombre et un poids de gousses élevés et ce en raison de l'équilibre parfait du milieu nutritif. Cependant l'effet de l'alternance de la solution saline naturelle par la solution corrigée améliore le nombre, le poids frais et le poids sec des gousses et dont les meilleurs résultats sont représentés par les traitements T5, T6 et T7.

Concernant le facteur variété, on constate que Djadida est la variété la plus productive, néanmoins elle présente le poids frais moyen et le poids sec moyen des gousses les plus faibles par rapport à la variété Contender.

Tableau .6.17 : Taux d'avortement des fleurs

| T                                | T1    |       | T2    |       | T3    |       | T4    |       | T5    |       | T6    |       | T7    |       |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                  | V1    | V2    |
| Taux d'avortement des fleurs (%) | 77.08 | 85.41 | 32.96 | 36.17 | 63.63 | 64.28 | 46.75 | 63.79 | 27.63 | 56.60 | 36.00 | 64.61 | 45.54 | 48.27 |

Les résultats du taux d'avortement des plantes du haricot obtenu par le comptage du nombre total de fleurs apparues et le nombre des fleurs transformées en gousses sont enregistrés dans le tableau (6-2-3). En effet, les plantes irriguées par la solution saline naturelle enregistrent un taux d'avortement très élevé, (85.41%) au niveau du traitement T1V2. Cependant les plantes alimentées par la solution saline corrigée (T1), présentent un taux d'avortement faible par rapport aux autres traitements.

L'effet de l'alternance de la solution saline corrigée par la solution saline naturelle, provoque une diminution importante du taux d'avortement des fleurs, dont ce dernier est enregistré au niveau des plantes irriguées avec le traitement T5V2.

En ce qui concerne le facteur variété, on remarque que la variété Contender est plus sensible à la chute des fleurs que la variété Djadida. Ceci peut être expliqué par les conditions du milieu qui ne sont pas favorables à la pollinisation des fleurs. Ceci peut être lié au facteur température qui pourrait agir négativement sur le phénomène de pollinisation. Cette observation est similaire à celle notée par CHAUX [88] 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 remarque que la température est faible donc elle inhibe le phénomène de pollinisation.

### 6.3 Paramètres technologiques

Tableau 6.18 : Taux de sucres et taux d'humidité des gousses.

| T<br>C              | T1                      |                         | T2                      |                         | T3                      |                         | T4                      |                         | T5                      |                         | T6                      |                         | T7                      |                         |
|---------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                     | V1                      | V2                      |
| Taux de sucres (%)  | 1.81<br>±<br>0.13<br>e  | 1.91<br>±<br>0.09<br>e  | 4.64<br>±<br>0.38<br>a  | 4.54<br>±<br>0.36<br>a  | 2.36<br>±<br>0.37<br>d  | 3.03<br>±<br>0.37<br>c  | 3.24<br>±<br>0.26<br>c  | 3.93<br>±<br>0.13<br>b  | 3.91<br>±<br>0.23<br>b  | 3.77<br>±<br>0.45<br>b  | 3.43<br>±<br>0.31<br>c  | 3.37<br>±<br>0.31<br>c  | 4.10<br>±<br>0.24<br>b  | 4.11<br>±<br>0.23<br>B  |
| Taux d'humidité (%) | 90.94<br>±<br>0.38<br>F | 91.78<br>±<br>0.27<br>d | 90.46<br>±<br>0.09<br>g | 90.97<br>±<br>0.07<br>f | 91.27<br>±<br>0.09<br>e | 90.57<br>±<br>0.15<br>g | 92.41<br>±<br>0.14<br>b | 92.06<br>±<br>0.26<br>c | 93.00<br>±<br>0.05<br>a | 91.38<br>±<br>0.07<br>e | 91.75<br>±<br>0.50<br>d | 91.82<br>±<br>0.08<br>d | 92.13<br>±<br>0.05<br>c | 89.74<br>±<br>0.14<br>h |

Les résultats de l'analyse de variance ont mis en évidence une différence statistiquement significative des différents traitements sur le taux d'humidité et le taux de sucre.

En ce qui concerne le taux d'humidité des gousses, nous avons remarqué que les valeurs obtenues au niveau des plantes irriguées avec les différents traitements sont de l'ordre de 91.37%. Nos résultats sont similaires à ceux de TIRILLY et BOURGEOIS [89] où ils ont montré que le taux d'humidité du haricot vert est de l'ordre de 92%.

Concernant le taux de sucre, il est à noter que la salinité manifeste un effet négatif sur le taux de sucre. De ce fait les plantes traitées par la solution saline brute produisent des gousses les moins sucrées. Dans ce contexte, HOPKINS [103] montre que l'excès de sel peut provoquer des problèmes de membranes, des inhibitions enzymatiques ou un dysfonctionnement métabolique général, d'où une photosynthèse réduite induisant une réduction de la synthèse glucidique.

En revanche, les plantes issues de la solution saline corrigée présente des gousses les plus sucrées résultant d'un développement végétatif intense accompagné d'un métabolisme accrue. Pour ce qui est de l'effet de l'alternance de la solution saline naturelle par la solution saline corrigée on note une amélioration du taux de sucre des gousses. Des résultats similaires sont obtenus par TIRILLY et BOURGEOIS [89], où ils notent que le taux de sucre des gousses vertes est de 3.1%.

#### 6.4 Estimation du bilan d'absorption hydrominérale

Tableau 6.19: Bilan d'absorption hydrominérale de la coupe 1 (54 jours après le semis).

|      | Vol donné (ml) | Moyen de pèrcolat (ml) | % d'absorption | pH <sub>i</sub> | CE <sub>i</sub> (ms) | Quantité de sel donnée | Quantité de sel en percolat | pH <sub>f</sub> | CE <sub>f</sub> (ms) | Quantité de sel absorbée |
|------|----------------|------------------------|----------------|-----------------|----------------------|------------------------|-----------------------------|-----------------|----------------------|--------------------------|
| T1V1 | 20             | 14.12                  | 29.40          | 7.97            | 3.21                 | 0.047                  | 0.033                       | 8.84            | 3.23                 | 0.014                    |
| T1V2 | 20             | 12.50                  | 37.50          | 7.97            | 3.21                 | 0.047                  | 0.031                       | 8.77            | 3.37                 | 0.016                    |
| T2V1 | 20             | 5.00                   | 57.00          | 5.62            | 4.10                 | 0.062                  | 0.015                       | 6.45            | 4.12                 | 0.047                    |
| T2V2 | 20             | 4.22                   | 79.40          | 5.62            | 4.10                 | 0.062                  | 0.013                       | 6.86            | 4.09                 | 0.049                    |
| T3V1 | 20             | 12.00                  | 40.00          | 5.62            | 4.10                 | 0.062                  | 0.032                       | 7.90            | 3.62                 | 0.030                    |
| T3V2 | 20             | 10.75                  | 46.25          | 5.62            | 4.10                 | 0.062                  | 0.025                       | 7.82            | 3.52                 | 0.037                    |
| T4V1 | 20             | 10.37                  | 48.15          | 7.97            | 3.21                 | 0.047                  | 0.027                       | 8.72            | 3.57                 | 0.035                    |
| T4V2 | 20             | 9.75                   | 51.25          | 7.97            | 3.21                 | 0.047                  | 0.025                       | 8.70            | 3.52                 | 0.037                    |
| T5V1 | 20             | 8.62                   | 56.90          | 5.62            | 4.10                 | 0.062                  | 0.026                       | 6.38            | 4.04                 | 0.036                    |
| T5V2 | 20             | 7.12                   | 64.40          | 5.62            | 4.10                 | 0.062                  | 0.021                       | 6.79            | 4.00                 | 0.041                    |
| T6V1 | 20             | 8.62                   | 56.90          | 5.62            | 4.10                 | 0.062                  | 0.026                       | 6.93            | 4.07                 | 0.036                    |
| T6V2 | 20             | 7.75                   | 61.25          | 5.62            | 4.10                 | 0.062                  | 0.023                       | 7.15            | 3.97                 | 0.039                    |
| T7V1 | 20             | 9.12                   | 54.40          | 5.62            | 4.10                 | 0.062                  | 0.028                       | 6.82            | 4.07                 | 0.034                    |
| T7V2 | 20             | 8.66                   | 57.20          | 5.62            | 4.10                 | 0.062                  | 0.026                       | 7.44            | 3.98                 | 0.036                    |

Tableau 6.20: Bilan d'absorption hydrominérale de la coupe 2 (66 jours après le semis).

|      | Vol donné (ml) | Moyen de pèrcolat (ml) | % d'absorption | pH <sub>i</sub> | CE <sub>i</sub> (ms) | Quantité de sel donnée | Quantité de sel en percolat | pH <sub>f</sub> | CE <sub>f</sub> (ms) | Quantité de sel absorbée |
|------|----------------|------------------------|----------------|-----------------|----------------------|------------------------|-----------------------------|-----------------|----------------------|--------------------------|
| T1V1 | 20             | 12.62                  | 36.90          | 7.90            | 3.19                 | 0.047                  | 0.029                       | 8.78            | 3.13                 | 0.018                    |
| T1V2 | 20             | 10.50                  | 47.50          | 7.90            | 3.19                 | 0.047                  | 0.025                       | 8.48            | 3.30                 | 0.022                    |
| T2V1 | 20             | 4.50                   | 77.50          | 5.40            | 4.05                 | 0.061                  | 0.015                       | 7.34            | 4.27                 | 0.046                    |
| T2V2 | 20             | 4.75                   | 76.25          | 5.40            | 4.05                 | 0.061                  | 0.016                       | 6.98            | 4.41                 | 0.045                    |
| T3V1 | 20             | 10.00                  | 50.00          | 5.40            | 4.05                 | 0.061                  | 0.024                       | 8.76            | 3.34                 | 0.037                    |
| T3V2 | 20             | 9.12                   | 54.40          | 5.40            | 4.05                 | 0.061                  | 0.024                       | 8.79            | 3.51                 | 0.037                    |
| T4V1 | 20             | 9.12                   | 54.40          | 7.90            | 3.19                 | 0.047                  | 0.023                       | 8.86            | 3.43                 | 0.024                    |
| T4V2 | 20             | 8.83                   | 55.85          | 7.90            | 3.19                 | 0.047                  | 0.024                       | 8.79            | 3.71                 | 0.023                    |
| T5V1 | 20             | 6.75                   | 66.25          | 5.40            | 4.05                 | 0.061                  | 0.019                       | 8.17            | 3.86                 | 0.042                    |
| T5V2 | 20             | 6.66                   | 66.70          | 5.40            | 4.05                 | 0.061                  | 0.020                       | 8.13            | 4.03                 | 0.041                    |
| T6V1 | 20             | 7.16                   | 64.20          | 5.40            | 4.05                 | 0.061                  | 0.021                       | 8.83            | 3.87                 | 0.040                    |
| T6V2 | 20             | 6.87                   | 65.65          | 5.40            | 4.05                 | 0.061                  | 0.020                       | 8.91            | 3.95                 | 0.041                    |
| T7V1 | 20             | 8.00                   | 60.00          | 5.40            | 4.05                 | 0.061                  | 0.022                       | 8.98            | 3.68                 | 0.039                    |
| T7V2 | 20             | 7.50                   | 62.50          | 5.40            | 4.05                 | 0.061                  | 0.023                       | 8.80            | 4.11                 | 0.038                    |

Tableau 6.21: Bilan d'absorption hydrominérale de la coupe 3 (83 jours après le semis).

|      | Vol donné (ml) | Moyen de percolat (ml) | % d'absorption | pH <sub>i</sub> | CE <sub>i</sub> (ms) | Quantité de sel donnée | Quantité de sel en percolat | pH <sub>f</sub> | CE <sub>f</sub> (ms) | Quantité de sel absorbée |
|------|----------------|------------------------|----------------|-----------------|----------------------|------------------------|-----------------------------|-----------------|----------------------|--------------------------|
| T1V1 | 20             | 9.75                   | 51.25          | 7.73            | 3.10                 | 0.045                  | 0.024                       | 7.92            | 3.34                 | 0.021                    |
| T1V2 | 20             | 9.00                   | 55.00          | 7.73            | 3.10                 | 0.045                  | 0.022                       | 8.50            | 3.36                 | 0.023                    |
| T2V1 | 20             | 3.00                   | 85.00          | 5.32            | 3.95                 | 0.060                  | 0.009                       | 6.77            | 4.18                 | 0.051                    |
| T2V2 | 20             | 3.00                   | 85.00          | 5.32            | 3.95                 | 0.060                  | 0.009                       | 7.39            | 4.28                 | 0.051                    |
| T3V1 | 20             | 8.16                   | 59.20          | 7.73            | 3.10                 | 0.045                  | 0.021                       | 8.08            | 3.50                 | 0.024                    |
| T3V2 | 20             | 7.62                   | 61.90          | 7.73            | 3.10                 | 0.045                  | 0.019                       | 8.04            | 3.49                 | 0.026                    |
| T4V1 | 20             | 6.00                   | 70.00          | 7.73            | 3.10                 | 0.045                  | 0.016                       | 8.04            | 3.63                 | 0.029                    |
| T4V2 | 20             | 5.52                   | 73.40          | 7.73            | 3.10                 | 0.045                  | 0.016                       | 8.86            | 3.84                 | 0.029                    |
| T5V1 | 20             | 4.25                   | 78.75          | 7.73            | 3.10                 | 0.045                  | 0.012                       | 7.74            | 4.01                 | 0.033                    |
| T5V2 | 20             | 3.33                   | 83.75          | 7.73            | 3.10                 | 0.045                  | 0.008                       | 8.15            | 3.38                 | 0.037                    |
| T6V1 | 20             | 4.62                   | 76.90          | 7.73            | 3.10                 | 0.045                  | 0.013                       | 8.96            | 3.97                 | 0.032                    |
| T6V2 | 20             | 4.50                   | 77.50          | 7.73            | 3.10                 | 0.045                  | 0.013                       | 8.77            | 3.82                 | 0.032                    |
| T7V1 | 20             | 6.00                   | 70.00          | 7.73            | 3.10                 | 0.045                  | 0.015                       | 9.02            | 3.46                 | 0.030                    |
| T7V2 | 20             | 4.016                  | 79.20          | 7.73            | 3.10                 | 0.045                  | 0.012                       | 9.02            | 4.05                 | 0.033                    |

Tableau 6.22: Bilan d'absorption hydrominérale de la coupe 4 (120 jours après le semis).

|      | Vol donné (ml) | Moyen de percolat (ml) | % d'absorption | pH <sub>i</sub> | CE <sub>i</sub> (ms) | Quantité de sel donnée | Quantité de sel en percolat | pH <sub>f</sub> | CE <sub>f</sub> (ms) | Quantité de sel absorbée |
|------|----------------|------------------------|----------------|-----------------|----------------------|------------------------|-----------------------------|-----------------|----------------------|--------------------------|
| T1V1 | 40             | 18.12                  | 54.70          | 7.52            | 3.14                 | 0.092                  | 0.043                       | 9.53            | 3.24                 | 0.049                    |
| T1V2 | 40             | 18.75                  | 53.12          | 7.52            | 3.14                 | 0.092                  | 0.046                       | 9.63            | 3.33                 | 0.046                    |
| T2V1 | 40             | 0.00                   | 100            | 5.54            | 4.01                 | 0.122                  | 0.00                        | /               | /                    | 0.122                    |
| T2V2 | 40             | 1.75                   | 95.62          | 5.54            | 4.01                 | 0.122                  | 0.005                       | 7.96            | 4.44                 | 0.117                    |
| T3V1 | 40             | 9.62                   | 75.95          | 5.54            | 4.01                 | 0.122                  | 0.031                       | 9.18            | 4.30                 | 0.091                    |
| T3V2 | 40             | 13.12                  | 67.20          | 5.54            | 4.01                 | 0.122                  | 0.040                       | 9.22            | 4.04                 | 0.082                    |
| T4V1 | 40             | 5.87                   | 85.32          | 7.52            | 3.14                 | 0.092                  | 0.017                       | 9.62            | 4.00                 | 0.075                    |
| T4V2 | 40             | 10.75                  | 73.12          | 7.52            | 3.14                 | 0.092                  | 0.035                       | 8.64            | 4.32                 | 0.057                    |
| T5V1 | 40             | 3.37                   | 91.57          | 5.54            | 4.01                 | 0.122                  | 0.012                       | 9.26            | 4.88                 | 0.110                    |
| T5V2 | 40             | 4.12                   | 89.70          | 5.54            | 4.01                 | 0.122                  | 0.014                       | 9.02            | 4.68                 | 0.108                    |
| T6V1 | 40             | 8.00                   | 80.00          | 7.52            | 3.14                 | 0.092                  | 0.027                       | 9.45            | 4.46                 | 0.065                    |
| T6V2 | 40             | 9.12                   | 77.20          | 7.52            | 3.14                 | 0.092                  | 0.030                       | 9.33            | 4.32                 | 0.062                    |
| T7V1 | 40             | 2.62                   | 93.45          | 5.54            | 4.01                 | 0.122                  | 0.008                       | 9.32            | 4.39                 | 0.114                    |
| T7V2 | 40             | 10.62                  | 73.45          | 5.54            | 4.01                 | 0.122                  | 0.038                       | 9.30            | 4.68                 | 0.084                    |

D'après les résultats enregistrés dans les tableaux (6.19, 6.20, 6.21, et 6.22) nous avons constaté que l'absorption hydrominérale est faible durant les trois premières coupes. Ceci peut être expliqué par les conditions climatiques (la température et la lumière) qui ne sont pas favorables pour une absorption optimale. Il est à noter que les pH et les CE des solutions drainées sont élevés par rapport aux solutions données. Ceci peut être expliqué par l'accumulation des sels non absorbés et qui sont lessivés avec la solution nutritive excédentaire.

Concernant les traitements utilisés, nous avons remarqué que les plantes irriguées par la solution saline naturelle présentent une absorption hydrominérale faible durant tous les stades de développement. Ceci en raison de déséquilibre nutritionnel et ainsi le pH basique du milieu provoquant le blocage de l'absorption de certains éléments nécessaires à la croissance des plantes tels que le Fer, le Phosphore ...

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 ; le gradient du potentiel hydrique est négatif, la turgescence s'annule et les feuilles se fanent) [93].

MAILLARD [28] ajoute que l'irrigation avec les eaux salines réduisent la faculté des racines des plantes à puiser de l'eau du sol. Avec l'évaporation de l'eau, les sels de la solution du sol peuvent se concentrer à hauteur 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 [6].

Par contre les plantes alimentées par la solution salines corrigée présentent une absorption hydrominérale élevée, ceci en raison de l'équilibre ionique parfait et les quantités adéquates en éléments nutritifs ainsi le pH qui est favorable à l'absorption.

L'effet de l'alternation de la solution saline naturelle par la solution corrigée améliore l'absorption hydrominérale par rapport au témoin T1.

## 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 deux variétés du haricot (*Phaseolus vulgaris*), cultivées en hors sol.

Il a été constaté au niveau des plantes irriguées par la solution saline naturelle d'Oued Chellif, des altérations et des perturbations physiologiques très importantes et très sévères chez les deux variétés testées, et notamment au niveau de la variété contender, aussi bien au stade plantule qu'au stade adulte. Le stress salin s'exprime par une réduction des paramètres de croissance, tels que la hauteur finale des plants, la vitesse de croissance, le nombre de feuilles, le poids frais (feuilles, tiges, et racines), et le poids sec (feuilles, tiges, et racines). A l'inverse le taux de la matière sèche (feuilles, tiges, et racines) présentent des proportions élevées par rapport aux autres traitements testés. Egalement, au niveau des paramètres de production, de l'absorption hydrominérale et au niveau des paramètres technologiques, il a été constaté une action significative de l'effet salinité.

En revanche, la solution saline corrigée montre un effet marqué sur les paramètres précédemment signalé et ce durant tous les stades de développement étudiés. En effet, nous avons obtenu des plantes vigoureuses avec un nombre de feuilles élevé, 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 bénéfique sur la conduite des plantes de haricots, tout en limitant les dommages provoqués par la salinité.

Concernant l'effet de l'alternance de la solution saline corrigée T2 dans le cycle des irrigations du haricot par la solution saline naturelle T1, nous avons recensé les points importants suivants :

- Le traitement T3 qui représente l'alternance de 3 journées d'irrigation par la solution saline naturelle et une seule journée d'irrigation par la solution saline corrigée, enregistre une légère amélioration des paramètres étudiés par rapport à ceux obtenus au niveau de l'irrigation par la solution saline naturelle T1. L'accroissement obtenu représente 68.48%.
- Les traitements T4, T5, T6, T7 qui représentent ceux ayant subi une alternance d'irrigation (solution saline naturelle / solution saline corrigée) enregistrent une augmentation considérable de tous les paramètres étudiés. Les traitements T7, T5 et T6 enregistrent successivement des améliorations de 130.19%, 128.87% et 128.56%.

En ce qui concerne l'effet variétal, nous avons observé que la variété Djadida est plus vigoureuse et plus productive que la variété Contender. De ce fait, il apparaît que la variété Djadida manifeste une amélioration de 45% sur tous les paramètres mesurés.

A travers nos résultats, nous avons constaté que parmi les ressources existantes dans notre pays ; il existe les eaux salines non conventionnelles où leur valorisation et leur gestion s'avèrent indispensable pour une agriculture développée et durable.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. DE FORGES, M., « irrigation et salinité. Option méditerranéennes », 14, 1972, pp40- 46.
2. HAMDY, A., "Saline irrigation: Assessment and management techniques", h: Marcel Dekker, Inc. (eds), Halo-phytes and Biosaline Agriculture, 1995.
3. HAMDY, A., « Saline irrigation assessment for a sustainable use. Saline irrigation. Halophyte production and utilization », Project N°IC 18 CT 960055, 1999. pp152-226.
4. HELLER, R., « Physiologie végétale, nutrition », Ed Masson, Paris, 1977, 332 p.
5. GOUNY, et CORNILLON, P., « La salinité : Aspect théorique et pratique. Mode de contrôle », P.H.M. 142, 1973, pp 79-85.
6. DUTHIL, D., « Eléments d'écologie et d'agronomie, tome III. Exploitation et amélioration du milieu, emploi des facteurs de la production végétal », Ed J.B Baillièrre, Paris, 1973b, 392p.
7. URBAN, L., « Introduction à la production sous serre », Ed Tec et Doc Lavoisier, Paris, 1997, 210p.

8. LOYER, J.Y., « Salinité des eaux d'irrigation. Problèmes et solutions », Conférence I.A.M. BARI, Italie, 1999, pp 1-11.
9. FAO., "Water Quality for Agriculture", FAO, Rome, vol, 29, revue 1, 1985.
10. BRUN, R et MONTARON, C., « Influence de la concentration de la solution nutritive sur la réaction de la plante », Ed INRA, Paris, 1987, 165p.
11. RODIER, J., « L'analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer », 7<sup>ème</sup> édition, Ed Bordas, Paris, 1984, 1365p.
12. AUBERT, G., « Les sols sodiques en Afrique du Nord », Ann. I.N.A, Alger, 1975, pp 185-195.
13. GAUCHER, G et BURDIN, S., « Géologie, géologie et hydrologie des terrains salés », Ed C.I.L, 1974, 234p.
14. SNOUSSI, S.A., « Valorisation des eaux salines pour la nutrition des plantes cultivées », Thèse de doctorat. INA, Alger, 2001, 152p.
15. "Advances in soil salinity and drainage, management to save water and protect the environment", Ed Ministry of agriculture A, Algeria, 2002, 508 p.
16. 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.
17. DURAND, I., « Les sols irrigables », Ed Presse Universitaire de France, 1983, 339p.
18. RHOADES, J.D., KANDIAH, a. and MASHALI, A.M., "the use of saline water for crop production", irrigation and drainage paper, FAO, n°48, Rome, 1992, 140p.

19. 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, 98 p.
20. DJILI, K et DAOUD, Y., « Influence des hauteurs des précipitations sur la répartition du calcaire et du pourcentage de sodium échangeable dans les sols du nord de l'Algérie », Sécheresse, 11, 2004, pp 37-43.
21. FAO., « Irrigation & drainage », 2007.
22. HALITIM, A., « Sols des régions arides d'Algérie », Ed O.P.U, 1988, 384P.
23. DROUHIN, G., « Expérience Algérienne d'utilisation des eaux saumâtres pour l'irrigation avec référence particulière aux sols salins », Ed Unisco, Paris, 1961, 150p.
24. DAOUD, Y et HALITIM, A., « Irrigation et salinisation au Sahara Algérienne », sécheresse n°3, vol 5, 1994, pp 151-160.
25. 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.
26. « Rapport de ministère de l'agriculture », Localisation géographique de la salinité dans certaines wilayas, 1998.
27. LASRAM, M., « Comportement des plantes en milieu salé et placé en pourtour méditerranéen », ACR, Acad Agri c, 1995, pp 47.
28. MAILLARD, J., « Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone aride : Risques et Recommandati ons », 2001, pp1- 34.

29. MUNNS, R et TERMAAT, A., « Whol-plant responses to salinity”, Aust. J. Plant, Physiol, 13, 1986, pp 143-160.
30. MUNNS, R., “Physiological processes limiting plant growth in saltines soils: some dogmas and hypotheses”, Plant Cell Environ, 16, 1993, pp 15-24.
31. MUNNS, R., SCHACHTMAN, D.P., et CONDON, A.G., “The significance of a two-phase growth reponse to salinity in wheat and barley”, Aust. J. Plant Physiol. 22, 1995, pp. 561-569.
32. EPSTEIN, E; NORLYN, J.D., RUCH, D.W., KINSBURY, R.W., CUNNINGHAM, A.F et WRONA, A.F., “Saline culture of crops: a genetic approach”, Science (2310), 1980, pp 399-404.
33. MASS, E.V., “Salt tolerance of plants”, Appl. Agric. Res. 1, 1986, pp. 12-26.
34. KINGSBURY, R.W., EPSTEIN, E et R.W., PEARCY, R.W., “Physiological responses to salinity in selected lines of wheat”, Plant Physiol. 74, 1984, pp 417-423.
35. CRAMER, G.R., ALBERICO, G.J et SCHMIDT, C., “Leaf expansion limits dry matter accumulation of salt-stressed maize”, Aust. J. Plant Physiol. 21, 1994, pp 663-674.
36. BINZET, M.L., HESS, F.D., BRESSAN, R et HASEGAWA, P.M., “Intracellular compartimentation of ions in salt adapted tobacco cells”, Plant Physiol. 86, 1988, pp 607-614.
37. HASAGAWA, P.M., BRESSAN, R.A., HANDA, S et HANDA, A.K., “Cellular mechanisms of tolerance to water stress”, Hortic. Sci.19 3, 1984, pp 371-376.
38. SING, N.K., LA ROSA, P.C., NELSON, D., IRAKI, N., CAPRITA, N.C., HASEGAWA, P.M et BRESSAN, R.A., “Reduced growth rate and change in cell-wall

protein of plant cell adapted to NaCl”, In: J Cherry, Editor, Biochemical and physiological mechanism associated with environmental stress tolerance in plant, Springer Verlag, Berlin, 1989.

39. ROMERO-ARANDA, R., SOTIA, T et CUARTO, J., “Tomato plant-water uptake and plant-water relationships under saline growth conditions”, *Plant Sci.* 160 2, 2001, pp 265-272.

40. GREENWAY, H et MUNS, R., “Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes”, *Ann. Rev. Plant Physiol.* 31, 1980, pp. 149-190.

41. ZHAO, K., MUNNS, R et KING, R.W., “Abscisic acid synthesis in NaCl-treated barley, cotton and saltbush”, *Aust. J. Plant Physiol.* 18, 1991, pp 17-24.

42. BRESSAN, R.A., SINGH, N.K., HANDA, A.K., KONOWICZ, A. et HASEGAWA, P.M., “Stable and unstable tolerance to NaCl in cultured tobacco cells”, Editor, UCLA Symposium on plant genetics, A.R. Liss, New York, 1985, pp. 755-779.

43. IRAKI, N. M., SINGH, N., BRESSAN, K., CAPRITA, R.A et CELL, N.C., “ Walls of tobacco cell and changes in composition associated with reduced growth upon adaptation to water and saline stress”, *Plant Physiol.* 91, 1989, pp 48-53.

44. MUNNS, R., PASSIOURA, J.B., GUO, J., CHAZEN, O et CRAMER, G.R., « Water relation and leaf expansion: importance of time scale”, *J. Exp. Bot.* 51 350, 2000, pp 1495-1504.

45. JACKSON, R.B., SPERRY, J.S et DAWSTON, T.E., “Root water uptake and transport: using physiological processes in global predictions”, *Trends Plant Sci.* 5 11, 200, pp 482-488.

46. JOHANSSON, I., KARLSSON, M., JOHANSON, U., LARSON, C et KJELLBOM, P., "The role of aquaporins in cellular and whole plant water balance", BBA/Biomembranes 1465 1-2 (2000), 2000, pp 324-342.
47. LU, Z et NEUMANN, P.M., "Water stress inhibits hydraulic conductance and leaf growth in rice seedling but not the transport of water via mercury-sensitive water channels in the root", Plant. Physiol. 120 1, 1999, pp 143-152.
48. STEDUTO, P., ALBRIZIO, R., GIORIO, P et SORRENTINO, G., "Gas exchange response and stomatal and non-stomatal limitations to carbon assimilation of sunflower under salinity ", 144 3, 2000, pp 243-255.
49. BINET, P., « Production primaire et accumulation des bio-éléments au niveau d'une population pure d'*Atriplex hastata* L », des rives de l'estuaire de la seine. Oecol. Plant 317, 1982, pp 219-230.
50. LEVITT, J., "Response of plants to environmental stress" , Academic Press, New York and London, 1972.
51. TIRICELIN, J.R., «Traité d'irrigation », Ed Tec et Doc Lavoisier, Paris, 1998, 1011p.
52. AYERS, R et WESCOTT, D., « Qualité des eaux d'irrigation » Ed FAO. Rome. 1976, 81p.
53. VILAIN, M., « La production végétale. Les composantes de la production », Vol1 3<sup>eme</sup> édition, Ed technique et documentati on, Paris, 1997, 478 p.
54. DUTHIL, D., « Eléments d'écologie et d'agronomie, Exploitation et amélioration du milieu bases d'une nutrition efficace du végétal », tome II. Ed J.B Baillièrè, Paris, 1973, 392p.

55. LAFON, J.P., THARAUD-PRAYER, C et LEVY, G., « Biologie des plantes cultivées » Tome 1, 2. Ed Technique et Documentation, 1996, 233p.
56. 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.
57. MORARD, P., "Les cultures végétales en hors sol », Pub. Agri, Paris, 1995, 301p.
58. LESAIN, C., «Evolution de la fertilisation et de l'irrigation vers l'utilisation des solutions nutritives équilibrés », Ed INRA, Versailles, 1974, 118p.
59. HELLER, R., «Physiologie végétale, nutrition », 2<sup>ème</sup> édition. Ed Masson, Paris, 1981, 244p.
60. VILAIN, M., «la production végétale. La maîtrise technique de la production », Volume2, 2<sup>ème</sup> éditions. Ed technique et documentation, Paris, 1997, 449 p.
61. DEMOLON, A. , « Principe d'agronomie : dynamique du sol », Tome 1, Ed Dunod, 1960, 520p.
62. DUVIVER, P., DE BUEGER-VAN et DER BORGHT, C., «Biologie dynamique 4 », Ed Deboeck, Bruxelles, 1984, 1968p.
63. OLUF, C.B; OLA, K., OLE, H .L et IAN, R. , «Agriculture et fertilisation », Ed Norsk Hydro, 1990, 258 p.
64. MAZELIAK, D., «Physiologie végétale. Nutrition et métabolisme », Ed Hermann, 1974, 349p.
65. INRA. , «L'INRA et les cultures sous serre » Ed INRA, Paris, 1983, 230p.

66. COÏC, Y et COPPENET, M., « Les oligo-éléments en agriculture et élevage » Ed INRA, Paris, 1989, 289p.
67. ELIARD, J.L., « Manuel d'agriculture générale », Ed J.B Baillière, Paris. 1987, 415p.
68. DIEHIL, R., « Agriculture générale », Ed J.B Baillière, 1975, 396p.
69. SOLTNER, D., « Les bases de la production végétale », Tome II, le sol, Ed collections science et technique agricole, 1988, 466p.
70. COÏC, Y., « Culture sans sol », Rev science et vie, 1984, pp 68-75.
71. MOREL, R., « Les sols cultivés », Ed Tec et Doc, Lavoisier, Paris, 1989, 362p.
72. LOUE, A., « Les oligo-éléments en agriculture », Ed Agri Nathan international, Paris, 1986, 339p.
73. JEANNEQUIN, B., « Les plastiques en agriculture », C.A.P. Revue horticole, 1992, pp 153-161.
74. VITRE, A., « Fondements & principes du hors-sol », Doc V 3.1 HRS 12 Ind A. 2003, 10p.
75. LESAIN, C et COÏC, Y., « Cultures hydroponiques », Ed Maison Rustique, Paris, 1983, 118p.
76. BLANC, D., « Culture hors sol », 2<sup>ème</sup> édition, Ed INRA, Paris, 1987, 409p.
77. ZANG, H et MUSARD, M., « Les cultures sur substrats », Ed C.T.I.F.L, Paris, 1986, 276p.

78. LEMAIRE, F., « Culture en pots et conteneurs », Ed INARA, Paris, 1989, 184p.
79. FEVERAU.J., « Culture en containers, revue horticole », 1976.
80. NICOLAS, J et ROCHE HAMON, Y., « La pépinière » Ed Tec et Doc, Lavoisier, Paris, 1987, 280p.
81. BRUN, R., « Maîtrise de la nutrition des cultures florales en hors sol sur substrat inerte », The Pennsylvania state University Press, 1989, 277p.
82. LETARD, M et PATRICIA, P., « Maîtrise de l'irrigation fertilisante de la tomate » Ed C.T.I.F.L, Paris, 1995, 220p.
83. PERON, J.Y., « Référence, productions légumières », 2<sup>eme</sup> édition, Ed Lavoisier, 2006, 613 p.
84. PITRAT, M et FOURY, C., « Histoires de légumes, des origines à l'orée du XXI<sup>e</sup> siècle », Ed INRA, Paris, 2003.
85. DORE, C et VAROQUAUX, F., « Histoires et amélioration de cinquante plantes cultivées », Ed INRA, Paris, 2006.
86. GOUST, J., « Le haricot, L'encyclopédie du potager, Actes Sud, 2003.
87. ORIA, M., « Biologie » Ed Hatier, Paris, 1969, 191p.
88. CHAUX, C et FOURY, C. 1994. « Production légumière: Légumineuses potagères, Légumes fruits », Tome 3 , Ed Tec et Doc, Lavoisier, 1994, 563p.
89. TIRILLY, Y et BOURGEOIS, C.M., « Technologie des légumes », Ed Tec et Doc Lavoisier, Paris, 1999, 588p.

90. LAUMONIER, R., « Cultures légumières et maraîchères », Tome III, Ed J.B Baillière, Paris, 1979, 1276p.
91. CHAUX, C., « Production légumière », Ed J.B Baillière, 1972, 414p.
92. ITCMI., « Le maraîchage des zones Sahariennes », Tome II, Ed ITCMI, 1979, 105p.
93. HAMZA, M., « Réponse des végétaux à la salinité », Physiologie végétale, 18, 1980, pp 69-81.
94. JARDIN, C., « Le guide, traité pratique du jardinage », 31<sup>eme</sup> édition, Ed Glause Jardin, Paris, 1995, 895p.
95. « Rapport de ministère de l'agriculture, les statistiques agricoles », série « B ». 2002, 59p
96. FAO., « La production du haricot gousse et graine en Algérie », 1997.
97. FAO., « La production mondiale de haricots verts », 2006.
98. JEANNEQUIN, B., « Les cultures hors sol », Ed.J.B.INRA, 1987, 20p
99. IBRAHIM KHALIL, M. A., « les relations hydriques et l'irrigation (les sols salins, les cultures protégées et les productions légumières) », Ed Menchaat El Maarif, Egypt, 1998, 442p.
100. HAMZA, M., « Adaptation physiologiques à la salinité des eaux d'irrigation », Bull. Soc. Physio, 1982, pp 169-184.
101. SNOUSSI, S.A et HALITIM, A. « Valorisation des eaux saline pour la nutrition minérale des plantes cultivées. Cas de la tomate et le haricot. Etude et gestion des sols », 1998, pp 289-298.

102. KULKARNI, H et KARADGE, B.A., "Growth and mineral nutrition of moth Bean under salin conditions", Indian, 1990, pp 14-23.

103. HOPKINS, W., « Physiologie végétale », 2<sup>ème</sup> édition, Ed de boeck et Larcier s.a, Bruxelles, 2003, 514P.

## Annexes

Annexe 01 : Analyse de la variance de la hauteur finale des plantes.

|            |                  | S.C.E   | DDL | Carrés<br>moyens | Test F | Proba  | E.T  | C.V  |
|------------|------------------|---------|-----|------------------|--------|--------|------|------|
| Coupe<br>1 | Var. Totale      | 1016.18 | 97  | 10.48            |        |        |      |      |
|            | Var. Facteur 1   | 952.92  | 6   | 158.82           | 462.40 | 0.0000 |      |      |
|            | Var. Facteur 2   | 4.54    | 1   | 4.54             | 13.23  | 0.0006 |      |      |
|            | Var. Inter F1.2  | 29.87   | 6   | 4.98             | 14.49  | 0.0000 |      |      |
|            | Var. Résiduelle1 | 28.85   | 84  | 0.34             |        |        | 0.59 | 3.2% |
| Coupe<br>2 | Var. Totale      | 1580.53 | 97  | 16.29            |        |        |      |      |
|            | Var. Facteur 1   | 807.29  | 6   | 134.55           | 15.40  | 0.0000 |      |      |
|            | Var. Facteur 2   | 1.74    | 1   | 1.74             | 0.20   | 0.6605 |      |      |
|            | Var. Inter F1.2  | 37.37   | 6   | 6.23             | 0.71   | 0.6423 |      |      |
|            | Var. Résiduelle1 | 734.13  | 84  | 8.74             |        |        | 2.96 | 9.9% |
| Coupe<br>3 | Var. Totale      | 831.24  | 97  | 8.57             |        |        |      |      |
|            | Var. Facteur 1   | 712.60  | 6   | 118.77           | 410.79 | 0.0000 |      |      |
|            | Var. Facteur 2   | 22.06   | 1   | 22.06            | 76.32  | 0.0000 |      |      |
|            | Var. Inter F1.2  | 72.28   | 6   | 12.05            | 41.67  | 0.0000 |      |      |
|            | Var. Résiduelle1 | 24.29   | 84  | 0.29             |        |        | 0.54 | 1.7% |
| Coupe<br>4 | Var. Totale      | 728.12  | 97  | 7.51             |        |        |      |      |
|            | Var. Facteur 1   | 642.72  | 6   | 107.12           | 427.78 | 0.0000 |      |      |
|            | Var. Facteur 2   | 41.67   | 1   | 41.67            | 166.39 | 0.0000 |      |      |
|            | Var. Inter F1.2  | 22.70   | 6   | 3.78             | 15.11  | 0.0000 |      |      |
|            | Var. Résiduelle1 | 21.03   | 84  | 0.25             |        |        | 0.50 | 1.6% |

Annexe 02: Analyse de la variance du poids frais des feuilles.

|         |                  | S.C.E   | DDL | Carrés moyens | Test F  | Proba  | E.T  | C.V   |
|---------|------------------|---------|-----|---------------|---------|--------|------|-------|
| Coupe 1 | Var. Totale      | 228.03  | 97  | 2.35          |         |        |      |       |
|         | Var. Facteur 1   | 170.66  | 6   | 28.44         | 502.30  | 0.0000 |      |       |
|         | Var. Facteur 2   | 44.62   | 1   | 44.62         | 787.97  | 0.0000 |      |       |
|         | Var. Inter F1.F2 | 7.99    | 6   | 1.33          | 23.53   | 0.0000 |      |       |
|         | Var. Résiduelle1 | 4.76    | 84  | 0.06          |         |        | 0.24 | 6.2%  |
| Coupe 2 | Var. Totale      | 296.92  | 97  | 3.06          |         |        |      |       |
|         | Var. Facteur 1   | 238.71  | 6   | 39.79         | 437.10  | 0.0000 |      |       |
|         | Var. Facteur 2   | 42.12   | 1   | 42.12         | 462.77  | 0.0000 |      |       |
|         | Var. Inter F1.F2 | 8.44    | 6   | 1.41          | 15.45   | 0.0000 |      |       |
|         | Var. Résiduelle1 | 7.65    | 84  | 0.09          |         |        | 0.30 | 7.3%  |
| Coupe 3 | Var. Totale      | 544.33  | 97  | 5.61          |         |        |      |       |
|         | Var. Facteur 1   | 460.87  | 6   | 76.81         | 228.95  | 0.0000 |      |       |
|         | Var. Facteur 2   | 39.83   | 1   | 39.83         | 118.73  | 0.0000 |      |       |
|         | Var. Inter F1.F2 | 15.45   | 6   | 2.58          | 7.68    | 0.0000 |      |       |
|         | Var. Résiduelle1 | 28.18   | 84  | 0.34          |         |        | 0.58 | 11.0% |
| Coupe 4 | Var. Totale      | 6593.40 | 97  | 67.97         |         |        |      |       |
|         | Var. Facteur 1   | 5649.07 | 6   | 941.51        | 3698.71 | 0.0000 |      |       |
|         | Var. Facteur 2   | 627.19  | 1   | 627.19        | 2463.91 | 0.0000 |      |       |
|         | Var. Inter F1.F2 | 295.76  | 6   | 49.29         | 193.64  | 0.0000 |      |       |
|         | Var. Résiduelle1 | 21.36   | 84  | 0.25          |         |        | 0.50 | 3.5%  |

Annexe 03 : Analyse de la variance du poids frais des tiges.

|         |                  | S.C.E  | DDL | Carrés moyens | Test F | Proba  | E.T  | C.V   |
|---------|------------------|--------|-----|---------------|--------|--------|------|-------|
| Coupe 1 | Var. Totale      | 25.24  | 97  | 0.26          |        |        |      |       |
|         | Var. Facteur 1   | 15.50  | 6   | 2.58          | 49.44  | 0.0000 |      |       |
|         | Var. Facteur 2   | 4.38   | 1   | 4.38          | 83.81  | 0.0000 |      |       |
|         | Var. Inter F1.F2 | 0.98   | 6   | 0.16          | 3.12   | 0.0084 |      |       |
|         | Var. Résiduelle1 | 4.39   | 84  | 0.05          |        |        | 0.23 | 11.5% |
| Coupe 2 | Var. Totale      | 38.61  | 97  | 0.40          |        |        |      |       |
|         | Var. Facteur 1   | 21.11  | 6   | 3.52          | 43.81  | 0.0000 |      |       |
|         | Var. Facteur 2   | 3.35   | 1   | 3.35          | 41.68  | 0.0000 |      |       |
|         | Var. Inter F1.F2 | 7.42   | 6   | 1.24          | 15.39  | 0.0000 |      |       |
|         | Var. Résiduelle1 | 6.74   | 84  | 0.08          |        |        | 0.28 | 11.7% |
| Coupe 3 | Var. Totale      | 32.10  | 97  | 0.33          |        |        |      |       |
|         | Var. Facteur 1   | 22.74  | 6   | 3.79          | 45.11  | 0.0000 |      |       |
|         | Var. Facteur 2   | 0.08   | 1   | 0.08          | 0.96   | 0.3316 |      |       |
|         | Var. Inter F1.F2 | 2.22   | 6   | 0.37          | 4.41   | 0.0007 |      |       |
|         | Var. Résiduelle1 | 7.06   | 84  | 0.08          |        |        | 0.29 | 11.8% |
| Coupe 4 | Var. Totale      | 230.22 | 97  | 2.37          |        |        |      |       |
|         | Var. Facteur 1   | 183.99 | 6   | 30.67         | 268.26 | 0.0000 |      |       |
|         | Var. Facteur 2   | 0.02   | 1   | 0.02          | 0.18   | 0.6779 |      |       |
|         | Var. Inter F1.F2 | 36.61  | 6   | 6.10          | 53.38  | 0.0000 |      |       |
|         | Var. Résiduelle1 | 9.60   | 84  | 0.11          |        |        | 0.34 | 7.0%  |

Annexe 04 : Analyse de la variance du poids frais total.

|         |                  | S.C.E   | DDL | Carrés moyens | Test F  | Proba  | E.T  | C.V  |
|---------|------------------|---------|-----|---------------|---------|--------|------|------|
| Coupe 1 | Var. Totale      | 318.62  | 97  | 3.26          |         |        |      |      |
|         | Var. Facteur 1   | 278.30  | 6   | 46.38         | 602.09  | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Facteur 2   | 24.43   | 1   | 24.43         | 317.09  | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Inter F1.F2 | 9.42    | 6   | 1.57          | 20.39   | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Résiduelle1 | 6.47    | 84  | 0.08          |         |        | 0.28 | 4.8% |
| Coupe 2 | Var. Totale      | 494.51  | 97  | 5.10          |         |        |      |      |
|         | Var. Facteur 1   | 396.06  | 6   | 66.01         | 904.10  | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Facteur 2   | 75.12   | 1   | 75.12         | 1028.86 | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Inter F1.F2 | 17.19   | 6   | 2.87          | 39.25   | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Résiduelle1 | 6.13    | 84  | 0.07          |         |        | 0.27 | 4.1% |
| Coupe 3 | Var. Totale      | 735.61  | 97  | 7.58          |         |        |      |      |
|         | Var. Facteur 1   | 662.40  | 6   | 110.40        | 468.48  | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Facteur 2   | 31.21   | 1   | 31.21         | 132.42  | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Inter F1.F2 | 22.22   | 6   | 3.70          | 15.71   | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Résiduelle1 | 19.79   | 84  | 0.24          |         |        | 0.49 | 6.3% |
| Coupe 4 | Var. Totale      | 8806.92 | 97  | 90.79         |         |        |      |      |
|         | Var. Facteur 1   | 7807.36 | 6   | 1301.23       | 4086.99 | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Facteur 2   | 639.47  | 1   | 639.47        | 2008.49 | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Inter F1.F2 | 333.35  | 6   | 55.56         | 174.50  | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Résiduelle1 | 26.74   | 84  | 0.32          |         |        | 0.56 | 2.9% |

Annexe 05 : Analyse de la variance du poids frais des feuilles.

|         |                  | S.C.E   | DDL | Carrés moyens | Test F  | Proba  | E.T  | C.V  |
|---------|------------------|---------|-----|---------------|---------|--------|------|------|
| Coupe 1 | Var. Totale      | 304.12  | 97  | 3.14          |         |        |      |      |
|         | Var. Facteur 1   | 104.98  | 6   | 17.50         | 177.38  | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Facteur 2   | 177.80  | 1   | 177.80        | 1802.48 | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Inter F1.F2 | 13.06   | 6   | 2.18          | 22.07   | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Résiduelle1 | 8.29    | 84  | 0.10          |         |        | 0.31 | 6.6% |
| Coupe 2 | Var. Totale      | 166.13  | 97  | 1.71          |         |        |      |      |
|         | Var. Facteur 1   | 135.06  | 6   | 22.51         | 174.16  | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Facteur 2   | 15.52   | 1   | 15.52         | 120.08  | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Inter F1.F2 | 4.69    | 6   | 0.78          | 6.05    | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Résiduelle1 | 10.86   | 84  | 0.13          |         |        | 0.36 | 8.1% |
| Coupe 3 | Var. Totale      | 258.98  | 97  | 2.67          |         |        |      |      |
|         | Var. Facteur 1   | 178.69  | 6   | 28.95         | 123.35  | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Facteur 2   | 39.22   | 1   | 39.22         | 167.13  | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Inter F1.F2 | 26.35   | 6   | 4.39          | 18.71   | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Résiduelle1 | 19.71   | 84  | 0.23          |         |        | 0.48 | 8.2% |
| Coupe 4 | Var. Totale      | 2755.85 | 97  | 28.41         |         |        |      |      |
|         | Var. Facteur 1   | 2306.77 | 6   | 384.46        | 2511.81 | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Facteur 2   | 180.50  | 1   | 180.50        | 1179.26 | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Inter F1.F2 | 255.71  | 6   | 42.62         | 278.44  | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Résiduelle1 | 12.86   | 84  | 0.15          |         |        | 0.39 | 2.7% |

Annexe 06: Analyse de la variance du poids frais des racines.

|         |                  | S.C.E  | DDL | Carrés moyens | Test F  | Proba  | E.T  | C.V   |
|---------|------------------|--------|-----|---------------|---------|--------|------|-------|
| Coupe 1 | Var. Totale      | 273.25 | 97  | 2.82          |         |        |      |       |
|         | Var. Facteur 1   | 234.35 | 6   | 39.06         | 196.81  | 0.0000 |      |       |
|         | Var. Facteur 2   | 8.87   | 1   | 8.87          | 67.44   | 0.0000 |      |       |
|         | Var. Inter F1.F2 | 18.98  | 6   | 3.16          | 24.04   | 0.0000 |      |       |
|         | Var. Résiduelle1 | 11.05  | 84  | 0.13          |         |        | 0.36 | 7.3%  |
| Coupe 2 | Var. Totale      | 429.58 | 97  | 4.43          |         |        |      |       |
|         | Var. Facteur 1   | 218.99 | 6   | 36.50         | 63.19   | 0.0000 |      |       |
|         | Var. Facteur 2   | 145.72 | 1   | 145.72        | 252.29  | 0.0000 |      |       |
|         | Var. Inter F1.F2 | 16.35  | 6   | 2.73          | 4.72    | 0.0004 |      |       |
|         | Var. Résiduelle1 | 48.52  | 84  | 0.58          |         |        | 076  | 10.1% |
| Coupe 3 | Var. Totale      | 768.67 | 97  | 7.92          |         |        |      |       |
|         | Var. Facteur 1   | 401.00 | 6   | 66.83         | 321.21  | 0.0000 |      |       |
|         | Var. Facteur 2   | 309.22 | 1   | 30.22         | 1486.14 | 0.0000 |      |       |
|         | Var. Inter F1.F2 | 40.97  | 6   | 6.83          | 32.82   | 0.0000 |      |       |
|         | Var. Résiduelle1 | 17.48  | 84  | 0.21          |         |        | 0.46 | 4.5%  |

Annexe 07 : Analyse de la variance du poids sec des feuilles.

|         |                  | S.C.E  | DDL | Carrés moyens | Test F  | Proba  | E.T  | C.V  |
|---------|------------------|--------|-----|---------------|---------|--------|------|------|
| Coupe 1 | Var. Totale      | 3.30   | 97  | 0.03          |         |        |      |      |
|         | Var. Facteur 1   | 2.26   | 6   | 0.38          | 401.12  | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Facteur 2   | 0.85   | 1   | 0.85          | 910.03  | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Inter F1.F2 | 0.11   | 6   | 0.02          | 19.22   | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Résiduelle1 | 0.08   | 84  | 0.00          |         |        | 0.03 | 6.0% |
| Coupe 2 | Var. Totale      | 4.24   | 97  | 0.04          |         |        |      |      |
|         | Var. Facteur 1   | 3.77   | 6   | 0.63          | 353.60  | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Facteur 2   | 0.17   | 1   | 0.17          | 94.63   | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Inter F1.F2 | 0.15   | 6   | 0.03          | 14.07   | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Résiduelle1 | 0.15   | 84  | 0.00          |         |        | 0.04 | 7.6% |
| Coupe 3 | Var. Totale      | 13.45  | 97  | 0.14          |         |        |      |      |
|         | Var. Facteur 1   | 12.66  | 6   | 2.11          | 553.44  | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Facteur 2   | 0.25   | 1   | 0.25          | 66.64   | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Inter F1.F2 | 0.22   | 6   | 0.04          | 9.47    | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Résiduelle1 | 0.32   | 84  | 0.00          |         |        | 0.06 | 7.7% |
| Coupe 4 | Var. Totale      | 119.46 | 97  | 1.23          |         |        |      |      |
|         | Var. Facteur 1   | 101.70 | 6   | 16.95         | 2890.27 | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Facteur 2   | 7.16   | 1   | 7.16          | 1220.95 | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Inter F1.F2 | 10.11  | 6   | 1.68          | 287.26  | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Résiduelle1 | 0.49   | 84  | 0.01          |         |        | 0.08 | 3.8% |

Annexe 08 : Analyse de la variance du poids sec des tiges.

|         |                  | S.C.E | DDL | Carrés moyens | Test F | Proba  | E.T  | C.V   |
|---------|------------------|-------|-----|---------------|--------|--------|------|-------|
| Coupe 1 | Var. Totale      | 1.05  | 97  | 0.01          |        |        |      |       |
|         | Var. Facteur 1   | 0.26  | 6   | 0.04          | 17.19  | 0.0000 |      |       |
|         | Var. Facteur 2   | 0.49  | 1   | 0.49          | 196.07 | 0.0000 |      |       |
|         | Var. Inter F1.F2 | 0.08  | 6   | 0.01          | 5.34   | 0.0001 |      |       |
|         | Var. Résiduelle1 | 0.21  | 84  | 0.00          |        |        | 0.05 | 13.9% |
| Coupe 2 | Var. Totale      | 1.03  | 97  | 0.01          |        |        |      |       |
|         | Var. Facteur 1   | 0.41  | 6   | 0.07          | 27.21  | 0.0000 |      |       |
|         | Var. Facteur 2   | 0.13  | 1   | 0.13          | 52.30  | 0.0000 |      |       |
|         | Var. Inter F1.F2 | 0.28  | 6   | 0.05          | 18.47  | 0.0000 |      |       |
|         | Var. Résiduelle1 | 0.21  | 84  | 0.00          |        |        | 0.05 | 10.3% |
| Coupe 3 | Var. Totale      | 2.54  | 97  | 0.03          |        |        |      |       |
|         | Var. Facteur 1   | 1.25  | 6   | 0.21          | 34.70  | 0.0000 |      |       |
|         | Var. Facteur 2   | 0.54  | 1   | 0.54          | 90.40  | 0.0000 |      |       |
|         | Var. Inter F1.F2 | 0.24  | 6   | 0.04          | 6.75   | 0.0000 |      |       |
|         | Var. Résiduelle1 | 0.50  | 84  | 0.01          |        |        | 0.08 | 13.4% |
| Coupe 4 | Var. Totale      | 18.28 | 97  | 0.19          |        |        |      |       |
|         | Var. Facteur 1   | 14.13 | 6   | 2.35          | 368.89 | 0.0000 |      |       |
|         | Var. Facteur 2   | 1.86  | 1   | 1.86          | 291.77 | 0.0000 |      |       |
|         | Var. Inter F1.F2 | 1.75  | 6   | 0.29          | 45.81  | 0.0000 |      |       |
|         | Var. Résiduelle1 | 0.54  | 84  | 0.01          |        |        | 0.08 | 6.4%  |

Annexe 09 : Analyse de la variance du poids sec total.

|         |                  | S.C.E  | DDL | Carrés moyens | Test F  | Proba  | E.T  | C.V  |
|---------|------------------|--------|-----|---------------|---------|--------|------|------|
| Coupe 1 | Var. Totale      | 4.25   | 97  | 0.04          |         |        |      |      |
|         | Var. Facteur 1   | 3.83   | 6   | 0.64          | 317.24  | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Facteur 2   | 0.04   | 1   | 0.04          | 19.11   | 0.0001 |      |      |
|         | Var. Inter F1.F2 | 0.22   | 6   | 0.04          | 17.90   | 0.0000 | 0.04 | 5.1% |
|         | Var. Résiduelle1 | 0.17   | 84  | 0.00          |         |        |      |      |
| Coupe 2 | Var. Totale      | 6.84   | 97  | 0.07          | 421.86  | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Facteur 1   | 6.29   | 6   | 1.05          | 0.87    | 0.3564 |      |      |
|         | Var. Facteur 2   | 0.00   | 1   | 0.00          | 22.65   | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Inter F1.F2 | 0.34   | 6   | 0.06          |         |        | 0.05 | 4.8% |
|         | Var. Résiduelle1 | 0.21   | 84  | 0.00          |         |        |      |      |
| Coupe 3 | Var. Totale      | 23.52  | 97  | 0.24          |         |        |      |      |
|         | Var. Facteur 1   | 21.33  | 6   | 3.56          | 2.19.45 | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Facteur 2   | 0.14   | 1   | 0.14          | 8.86    | 0.0039 |      |      |
|         | Var. Inter F1.F2 | 0.69   | 6   | 0.11          | 7.08    | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Résiduelle1 | 1.36   | 84  | 0.02          |         |        | 0.13 | 9.1% |
| Coupe 4 | Var. Totale      | 199.30 | 97  | 2.05          |         |        |      |      |
|         | Var. Facteur 1   | 188.05 | 6   | 31.34         | 2998.12 | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Facteur 2   | 1.87   | 1   | 1.87          | 178.46  | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Inter F1.F2 | 8.50   | 6   | 1.42          | 135.61  | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Résiduelle1 | 0.88   | 84  | 0.01          |         |        | 0.10 | 3.2% |

Annexe 10 : Analyse de la variance du poids sec des racines.

|         |                  | S.C.E | DDL | Carrés moyens | Test F | Proba  | E.T  | C.V  |
|---------|------------------|-------|-----|---------------|--------|--------|------|------|
| Coupe 1 | Var. Totale      | 1.57  | 97  | 0.02          |        |        |      |      |
|         | Var. Facteur 1   | 1.34  | 6   | 0.22          | 268.49 | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Facteur 2   | 0.07  | 1   | 0.07          | 78.87  | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Inter F1.F2 | 0.09  | 6   | 0.02          | 18.55  | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Résiduelle1 | 0.07  | 84  | 0.00          |        |        | 0.03 | 6.7% |
| Coupe 2 | Var. Totale      | 3.25  | 97  | 0.03          |        |        |      |      |
|         | Var. Facteur 1   | 1.99  | 6   | 0.33          | 189.85 | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Facteur 2   | 0.88  | 1   | 0.88          | 503.91 | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Inter F1.F2 | 0.24  | 6   | 0.04          | 22.67  | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Résiduelle1 | 0.15  | 84  | 0.00          |        |        | 0.04 | 5.3% |
| Coupe 3 | Var. Totale      | 6.16  | 97  | 0.06          |        |        |      |      |
|         | Var. Facteur 1   | 3.89  | 6   | 0.65          | 284.50 | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Facteur 2   | 1.56  | 1   | 1.56          | 682.94 | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Inter F1.F2 | 0.52  | 6   | 0.09          | 37.84  | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Résiduelle1 | 0.19  | 84  | 0.00          |        |        | 0.05 | 4.8% |

Annexe 11 : Analyse de la variance de la matière sèche des feuilles.

|         |                  | S.C.E  | DDL | Carrés moyens | Test F   | Proba  | E.T  | C.V  |
|---------|------------------|--------|-----|---------------|----------|--------|------|------|
| Coupe 1 | Var. Totale      | 52.96  | 97  | 0.55          |          |        |      |      |
|         | Var. Facteur 1   | 44.99  | 6   | 7.50          | 365.85   | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Facteur 2   | 0.14   | 1   | 0.14          | 7.02     | 0.0094 |      |      |
|         | Var. Inter F1.F2 | 6.10   | 6   | 1.02          | 49.61    | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Résiduelle1 | 1.72   | 84  | 0.02          |          |        | 0.14 | 1.1% |
| Coupe 2 | Var. Totale      | 314.18 | 97  | 3.24          |          |        |      |      |
|         | Var. Facteur 1   | 129.87 | 6   | 21.65         | 2217.74  | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Facteur 2   | 135.05 | 1   | 135.05        | 13837.06 | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Inter F1.F2 | 48.44  | 6   | 8.07          | 827.06   | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Résiduelle1 | 0.82   | 84  | 0.01          |          |        | 0.10 | 0.7% |
| Coupe 3 | Var. Totale      | 137.30 | 97  | 1.42          |          |        |      |      |
|         | Var. Facteur 1   | 65.70  | 6   | 10.95         | 1103.44  | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Facteur 2   | 60.42  | 1   | 60.42         | 6088.72  | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Inter F1.F2 | 10.35  | 6   | 1.73          | 173.83   | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Résiduelle1 | 0.83   | 84  | 0.01          |          |        | 0.10 | 0.7% |
| Coupe 4 | Var. Totale      | 144.50 | 97  | 1.49          |          |        |      |      |
|         | Var. Facteur 1   | 46.30  | 6   | 7.72          | 188.65   | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Facteur 2   | 33.28  | 1   | 33.28         | 813.71   | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Inter F1.F2 | 61.49  | 6   | 10.25         | 250.58   | 0.0000 |      |      |
|         | Var. Résiduelle1 | 3.44   | 84  | 0.04          |          |        | 0.20 | 1.5% |

Annexe 12 : Analyse de la variance de la matière sèche des tiges.

|            |                  | S.C.E  | DDL | Carrés<br>moyens | Test F  | Proba  | E.T  | C.V  |
|------------|------------------|--------|-----|------------------|---------|--------|------|------|
| Coupe<br>1 | Var. Totale      | 695.26 | 97  | 7.17             |         |        |      |      |
|            | Var. Facteur 1   | 288.95 | 6   | 48.16            | 1154.19 | 0.0000 |      |      |
|            | Var. Facteur 2   | 357.02 | 1   | 357.02           | 8556.48 | 0.0000 |      |      |
|            | Var. Inter F1.F2 | 45.79  | 6   | 7.63             | 182.89  | 0.0000 |      |      |
|            | Var. Résiduelle1 | 3.50   | 84  | 0.04             |         |        | 0.20 | 1.1% |
| Coupe<br>2 | Var. Totale      | 1332.3 | 97  | 13.74            |         |        |      |      |
|            | Var. Facteur 1   | 271.66 | 6   | 45.28            | 257.12  | 0.0000 |      |      |
|            | Var. Facteur 2   | 987.84 | 1   | 987.84           | 5609.87 | 0.0000 |      |      |
|            | Var. Inter F1.F2 | 58.01  | 6   | 9.67             | 54.91   | 0.0000 |      |      |
|            | Var. Résiduelle1 | 14.79  | 84  | 0.18             |         |        | 0.42 | 2.0% |
| Coupe<br>3 | Var. Totale      | 895.59 | 97  | 9.23             |         |        |      |      |
|            | Var. Facteur 1   | 46.20  | 6   | 7.70             | 364.58  | 0.0000 |      |      |
|            | Var. Facteur 2   | 768.88 | 1   | 768.88           | 36404.7 | 0.0000 |      |      |
|            | Var. Inter F1.F2 | 78.73  | 6   | 13.12            | 621.30  | 0.0000 |      |      |
|            | Var. Résiduelle1 | 1.77   | 84  | 0.02             |         |        | 0.15 | 0.6% |
| Coupe<br>4 | Var. Totale      | 1405.4 | 97  | 14.49            |         |        |      |      |
|            | Var. Facteur 1   | 449.50 | 6   | 74.92            | 10876.0 | 0.0000 |      |      |
|            | Var. Facteur 2   | 814.69 | 1   | 814.69           | 118273  | 0.0000 |      |      |
|            | Var. Inter F1.F2 | 140.62 | 6   | 23.44            | 3402.22 | 0.0000 |      |      |
|            | Var. Résiduelle1 | 0.58   | 84  | 0.01             |         |        | 0.08 | 0.3% |

Annexe 13 : Analyse de la variance de la matière sèche des totales.

|            |                  | S.C.E  | DDL | Carrés<br>moyens | Test F  | Proba  | E.T  | C.V  |
|------------|------------------|--------|-----|------------------|---------|--------|------|------|
| Coupe<br>1 | Var. Totale      | 279.28 | 97  | 2.88             |         |        |      |      |
|            | Var. Facteur 1   | 163.70 | 6   | 27.28            | 421.64  | 0.0000 |      |      |
|            | Var. Facteur 2   | 91.51  | 1   | 91.51            | 1414.22 | 0.0000 |      |      |
|            | Var. Inter F1.F2 | 18.63  | 6   | 3.10             | 47.98   | 0.0000 |      |      |
|            | Var. Résiduelle1 | 5.44   | 84  | 0.06             |         |        | 0.25 | 1.7% |
| Coupe<br>2 | Var. Totale      | 649.44 | 97  | 6.70             |         |        |      |      |
|            | Var. Facteur 1   | 152.85 | 6   | 25.47            | 122.40  | 0.0000 |      |      |
|            | Var. Facteur 2   | 435.72 | 1   | 435.72           | 2093.60 | 0.0000 |      |      |
|            | Var. Inter F1.F2 | 43.39  | 6   | 7.23             | 34.75   | 0.0000 |      |      |
|            | Var. Résiduelle1 | 17.48  | 84  | 0.21             |         |        | 0.46 | 2.6% |
| Coupe<br>3 | Var. Totale      | 320.81 | 97  | 3.31             |         |        |      |      |
|            | Var. Facteur 1   | 14.87  | 6   | 2.48             | 13.13   | 0.0000 |      |      |
|            | Var. Facteur 2   | 266.74 | 1   | 266.74           | 1412.72 | 0.0000 |      |      |
|            | Var. Inter F1.F2 | 23.34  | 6   | 3.89             | 20.60   | 0.0000 |      |      |
|            | Var. Résiduelle1 | 15.86  | 84  | 0.19             |         |        | 0.43 | 2.4% |
| Coupe<br>4 | Var. Totale      | 296.45 | 97  | 3.06             |         |        |      |      |
|            | Var. Facteur 1   | 32.23  | 6   | 5.37             | 86.85   | 0.0000 |      |      |
|            | Var. Facteur 2   | 222.15 | 1   | 222.15           | 3592.45 | 0.0000 |      |      |
|            | Var. Inter F1.F2 | 36.88  | 6   | 6.15             | 99.39   | 0.0000 |      |      |
|            | Var. Résiduelle1 | 5.19   | 84  | 0.06             |         |        | 0.25 | 1.5% |

Annexe14 : Analyse de la variance de la matière sèche des racines.

|         | S.C.E            | DDL    | Carrés moyens | Test F | Proba   | E.T    | C.V       |
|---------|------------------|--------|---------------|--------|---------|--------|-----------|
| Coupe 1 | Var. Totale      | 126.63 | 97            | 1.31   |         |        |           |
|         | Var. Facteur 1   | 112.05 | 6             | 18.67  | 2339.43 | 0.0000 |           |
|         | Var. Facteur 2   | 0.23   | 1             | 0.23   | 29.33   | 0.0000 |           |
|         | Var. Inter F1.F2 | 13.68  | 6             | 2.28   | 285.63  | 0.0000 |           |
|         | Var. Résiduelle1 | 0.67   | 84            | 0.01   |         |        | 0.09 1.0% |
| Coupe 2 | Var. Totale      | 64.66  | 97            | 0.67   |         |        |           |
|         | Var. Facteur 1   | 13.68  | 6             | 2.28   | 222.72  | 0.0000 |           |
|         | Var. Facteur 2   | 30.77  | 1             | 30.77  | 3004.51 | 0.0000 |           |
|         | Var. Inter F1.F2 | 019.35 | 6             | 3.23   | 314.96  | 0.0000 |           |
|         | Var. Résiduelle1 | 0.86   | 84            | 0.01   |         |        | 0.10 1.0% |
| Coupe 3 | Var. Totale      | 58.36  | 97            | 0.60   |         |        |           |
|         | Var. Facteur 1   | 10.19  | 6             | 1.70   | 179.72  | 0.0000 |           |
|         | Var. Facteur 2   | 22.56  | 1             | 22.56  | 2388.25 | 0.0000 |           |
|         | Var. Inter F1.F2 | 24.82  | 6             | 4.14   | 437.94  | 0.0000 |           |
|         | Var. Résiduelle1 | 0.79   | 84            | 0.01   |         |        | 0.10 1.0% |

Annexe15 : Analyse de la variance du nombre de gousses.

|                  | S.C.E  | DDL | Carrés moyens | Test F | Proba  | E.T  | C.V   |
|------------------|--------|-----|---------------|--------|--------|------|-------|
| Var. Totale      | 208.41 | 97  | 2.15          |        |        |      |       |
| Var. Facteur 1   | 137.41 | 6   | 22.90         | 127.04 | 0.0000 |      |       |
| Var. Facteur 2   | 29.76  | 1   | 29.76         | 165.06 | 0.0000 |      |       |
| Var. Inter F1.F2 | 26.10  | 6   | 4.35          | 24.13  | 0.0000 |      |       |
| Var. Résiduelle1 | 15.14  | 84  | 0.18          |        |        | 0.42 | 12.0% |

Annexe16 : Analyse de la variance du taux de sucre au niveau des gousses.

|                  | S.C.E | DDL | Carrés moyens | Test F | Proba  | E.T  | C.V  |
|------------------|-------|-----|---------------|--------|--------|------|------|
| Var. Totale      | 80.78 | 97  | 0.83          |        |        |      |      |
| Var. Facteur 1   | 70.01 | 6   | 11.67         | 132.54 | 0.0000 |      |      |
| Var. Facteur 2   | 0.69  | 1   | 0.69          | 7.79   | 0.0064 |      |      |
| Var. Inter F1.F2 | 2.69  | 6   | 0.45          | 5.10   | 0.0002 |      |      |
| Var. Résiduelle1 | 7.39  | 84  | 0.09          |        |        | 0.30 | 8.6% |

Annexe17 : Analyse de la variance du taux de protéine au niveau des gousses.

|                  | S.C.E | DDL | Carrés moyens | Test F | Proba  | E.T  | C.V  |
|------------------|-------|-----|---------------|--------|--------|------|------|
| Var. Totale      | 2.01  | 27  | 0.07          |        |        |      |      |
| Var. Facteur 1   | 0.63  | 6   | 0.11          | 3.30   | 0.0037 |      |      |
| Var. Facteur 2   | 0.70  | 1   | 0.70          | 22.11  | 0.0004 |      |      |
| Var. Inter F1.F2 | 0.22  | 6   | 0.04          | 1.16   | 0.3726 |      |      |
| Var. Résiduelle1 | 0.45  | 14  | 0.03          |        |        | 0.18 | 7.3% |

Annexe18 : Analyse de la variance de la vitesse de croissance.

|                  | S.C.E            | DDL  | Carrés moyens | Test F | Proba  | E.T    | C.V       |
|------------------|------------------|------|---------------|--------|--------|--------|-----------|
| 16 J après semis | Var. Totale      | 0.64 | 97            | 0.01   |        |        |           |
|                  | Var. Facteur 1   | 0.28 | 6             | 0.05   | 45.78  | 0.0000 |           |
|                  | Var. Facteur 2   | 0.00 | 1             | 0.00   | 0.00   | 0.9613 |           |
|                  | Var. Inter F1.F2 | 0.28 | 6             | 0.05   | 45.31  | 0.0000 |           |
|                  | Var.Résiduelle1  | 0.09 | 84            | 0.00   |        |        | 0.03 2.2% |
| 35 J après semis | Var. Totale      | 0.84 | 97            | 0.01   |        |        |           |
|                  | Var. Facteur 1   | 0.79 | 6             | 0.13   | 460.60 | 0.0000 |           |
|                  | Var. Facteur 2   | 0.01 | 1             | 0.01   | 38.54  | 0.0000 |           |
|                  | Var. Inter F1.F2 | 0.02 | 6             | 0.00   | 10.25  | 0.0000 |           |
|                  | Var.Résiduelle1  | 0.02 | 84            | 0.00   |        |        | 0.02 2.0% |
| 64 J après semis | Var. Totale      | 0.22 | 97            | 0.00   |        |        |           |
|                  | Var. Facteur 1   | 0.20 | 6             | 0.03   | 486.17 | 0.0000 |           |
|                  | Var. Facteur 2   | 0.01 | 1             | 0.01   | 80.93  | 0.0000 |           |
|                  | Var. Inter F1.F2 | 0.01 | 6             | 0.00   | 26.10  | 0.0000 |           |
|                  | Var.Résiduelle1  | 0.01 | 84            | 0.00   |        |        | 0.01 1.7% |
| 91 J après semis | Var. Totale      | 0.09 | 97            | 0.00   |        |        |           |
|                  | Var. Facteur 1   | 0.08 | 6             | 0.01   | 348.06 | 0.0000 |           |
|                  | Var. Facteur 2   | 0.00 | 1             | 0.00   | 130.86 | 0.0000 |           |
|                  | Var. Inter F1.F2 | 0.00 | 6             | 0.00   | 16.16  | 0.0000 |           |
|                  | Var.Résiduelle1  | 0.00 | 84            | 0.00   |        |        | 0.01 1.8% |

Annexe 19 : Analyse de la variance du poids frais moyen des gousses.

|                  | S.C.E  | DDL | Carrés moyens | Test F | Proba  | E.T  | C.V  |
|------------------|--------|-----|---------------|--------|--------|------|------|
| Var. Totale      | 159.01 | 97  | 1.64          |        |        |      |      |
| Var. Facteur 1   | 148.52 | 6   | 24.75         | 608.31 | 0.0000 |      |      |
| Var. Facteur 2   | 5.69   | 1   | 5.69          | 139.82 | 0.0000 |      |      |
| Var. Inter F1.F2 | 1.38   | 6   | 0.23          | 5.67   | 0.0001 |      |      |
| Var. Résiduelle1 | 3.42   | 84  | 0.04          |        |        | 0.20 | 5.1% |

Annexe 20 : Analyse de la variance du poids frais des gousses par plante.

|                  | S.C.E   | DDL | Carrés moyens | Test F  | Proba  | E.T  | C.V  |
|------------------|---------|-----|---------------|---------|--------|------|------|
| Var. Totale      | 6610.40 | 97  | 68.15         |         |        |      |      |
| Var. Facteur 1   | 5720.54 | 6   | 953.42        | 1841.40 | 0.0000 |      |      |
| Var. Facteur 2   | 377.42  | 1   | 377.42        | 728.93  | 0.0000 |      |      |
| Var. Inter F1.F2 | 468.95  | 6   | 78.16         | 150.95  | 0.0000 |      |      |
| Var. Résiduelle1 | 43.49   | 84  | 0.52          |         |        | 0.72 | 4.7% |

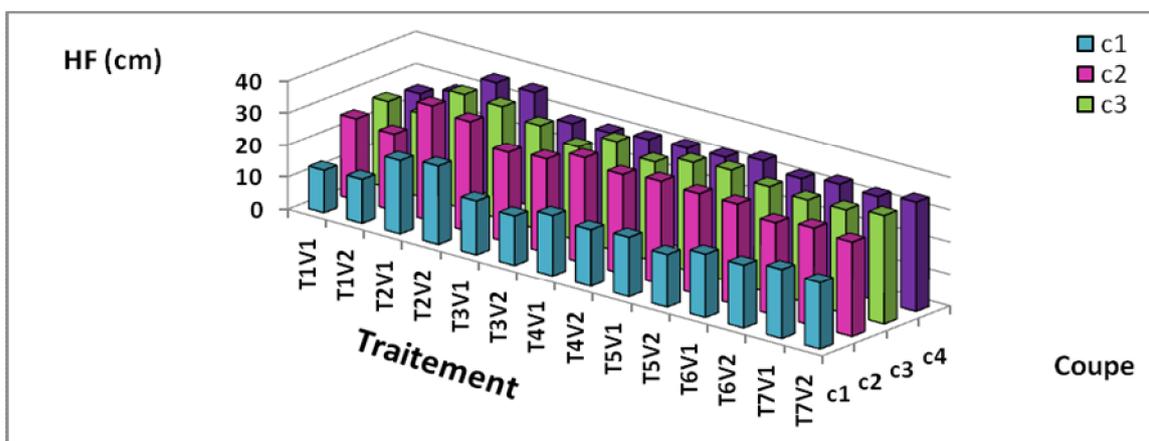
Annexe 21 : Analyse de la variance du poids sec moyen des gousses.

|                  | S.C.E | DDL | Carrés moyens | Test F | Proba  | E.T  | C.V  |
|------------------|-------|-----|---------------|--------|--------|------|------|
| Var. Totale      | 1.29  | 97  | 0.01          |        |        |      |      |
| Var. Facteur 1   | 1.12  | 6   | 0.19          | 705.10 | 0.0000 |      |      |
| Var. Facteur 2   | 0.12  | 1   | 0.12          | 439.06 | 0.0000 |      |      |
| Var. Inter F1.F2 | 0.04  | 6   | 0.01          | 24.95  | 0.0000 |      |      |
| Var. Résiduelle1 | 0.02  | 84  | 0.00          |        |        | 0.02 | 4.8% |

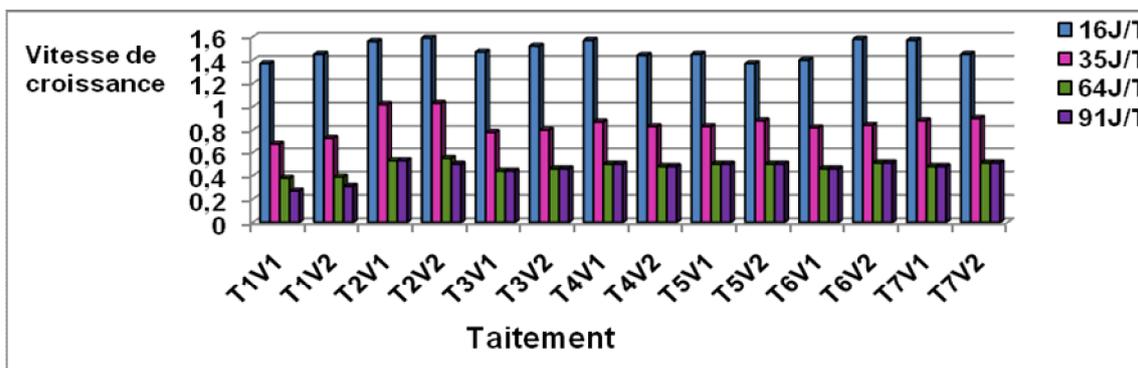
Annexe 22 : Analyse de la variance du taux d'humidité des gousses.

|                  | S.C.E | DDL | Carrés moyens | Test F | Proba  | E.T  | C.V  |
|------------------|-------|-----|---------------|--------|--------|------|------|
| Var. Totale      | 71.65 | 97  | 0.74          |        |        |      |      |
| Var. Facteur 1   | 33.11 | 6   | 5.52          | 121.47 | 0.0000 |      |      |
| Var. Facteur 2   | 6.63  | 1   | 6.63          | 145.95 | 0.0000 |      |      |
| Var. Inter F1.F2 | 28.10 | 6   | 4.68          | 103.12 | 0.0000 |      |      |
| Var. Résiduelle1 | 3.82  | 84  | 0.05          |        |        | 0.21 | 0.2% |

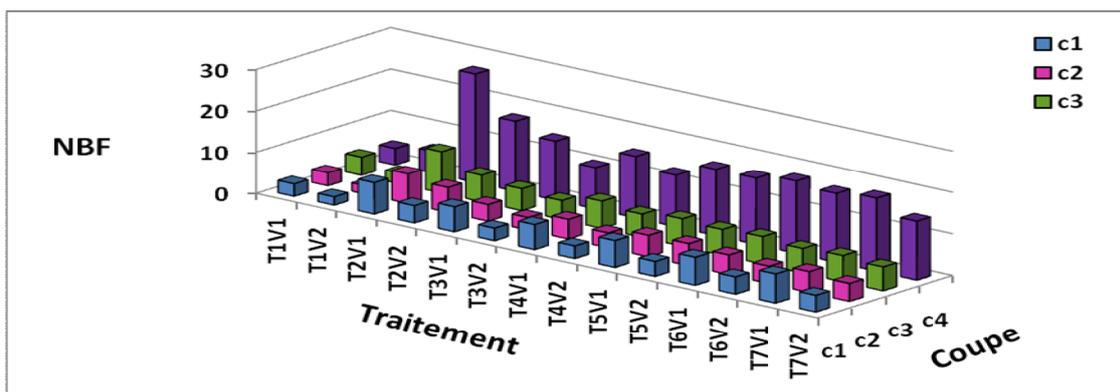
Annexe 23: Figure de la hauteur finale des plantes (cm).



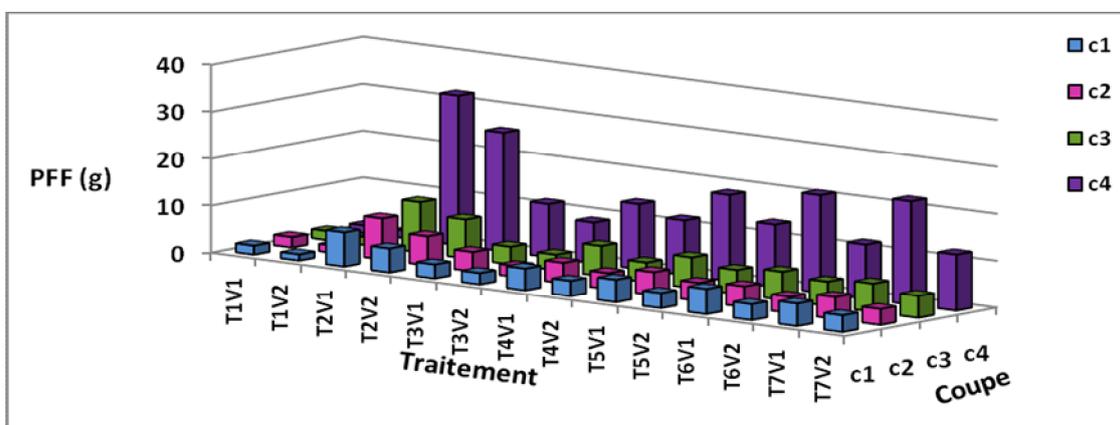
Annexe 24 : Figure de la vitesse de croissance des plantes (cm/j).



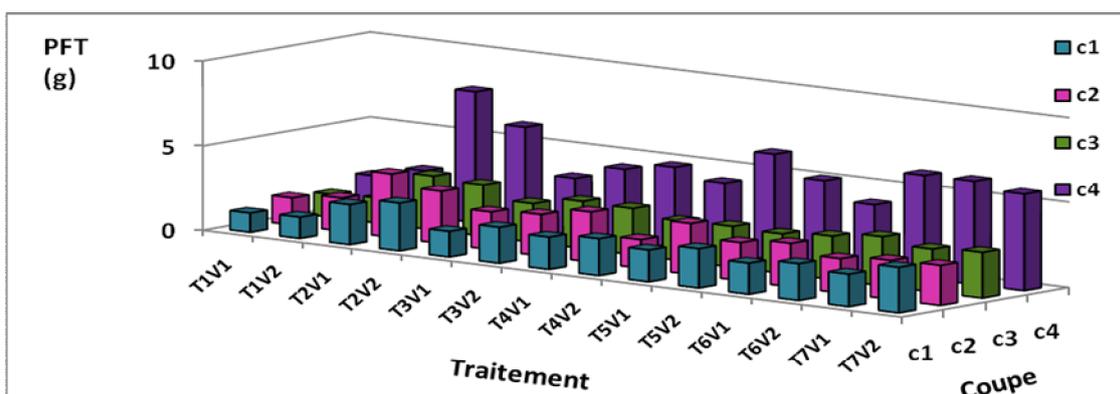
Annexe 25 : Figure du nombre des feuilles par plant.



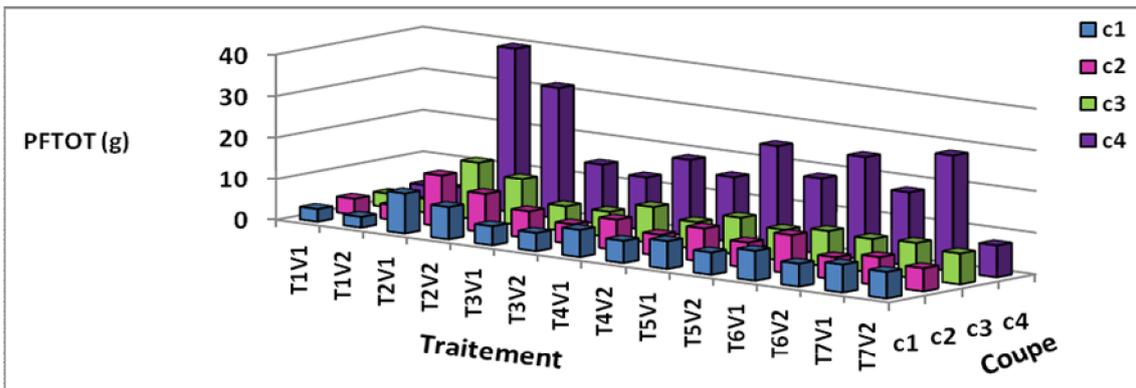
Annexe 26 : Figure du Poids frais des feuilles (g).



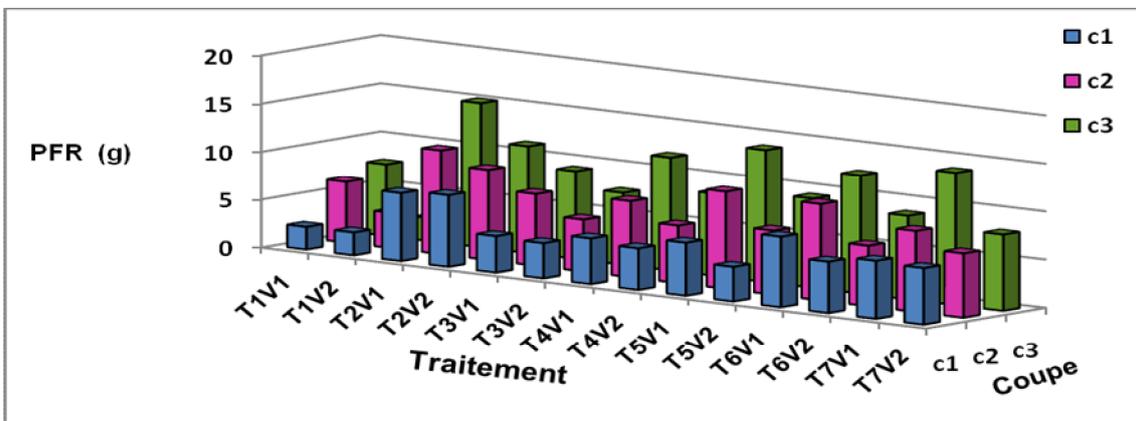
Annexe 27 : Figure du poids frais des tiges (g).



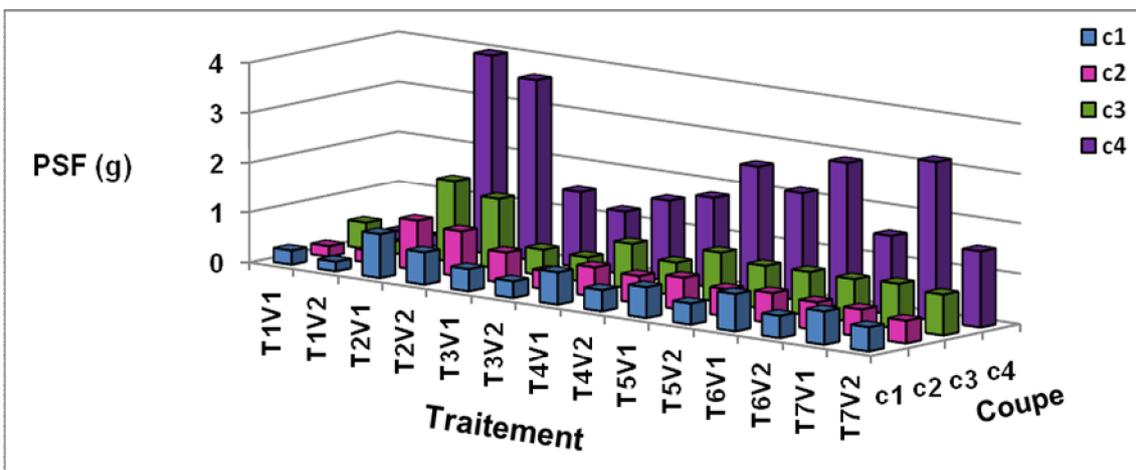
Annexe 28 : Figure du Poids frais total (feuilles +tiges) en (g).



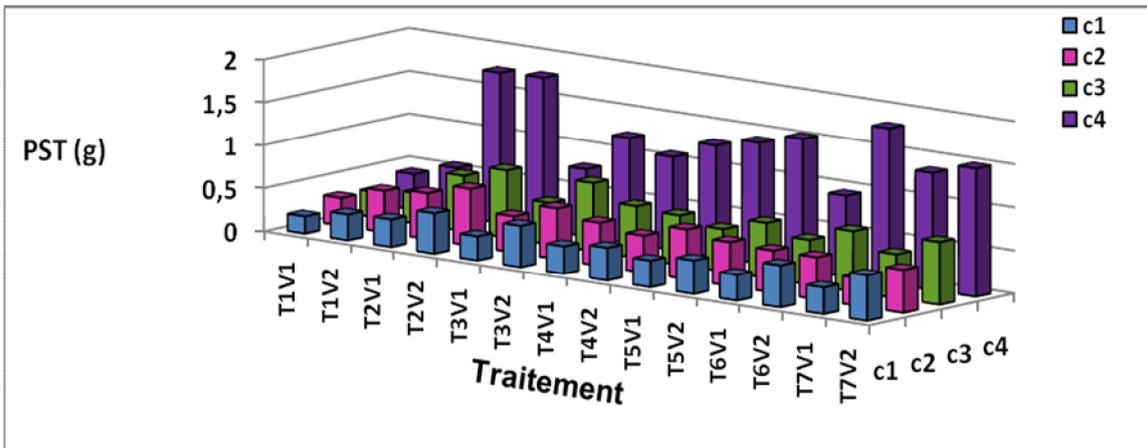
Annexe 29 : Figure du Poids frais des racines (g).



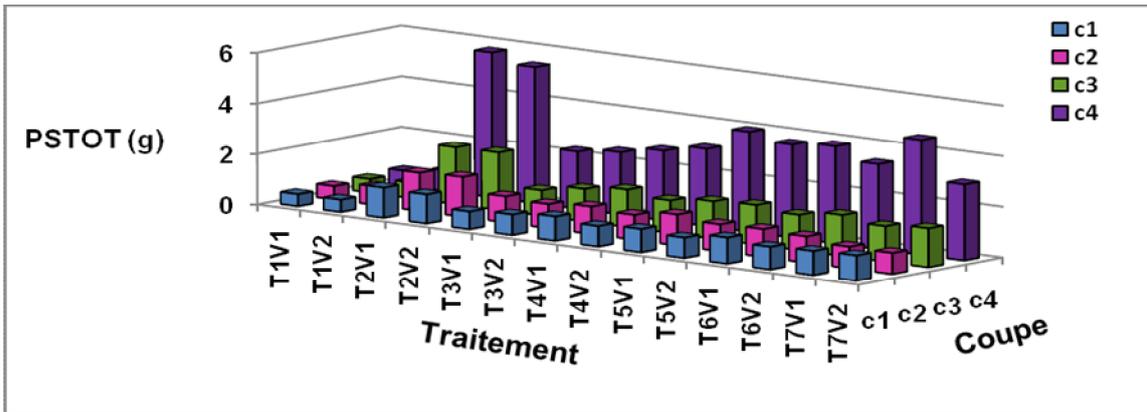
Annexe 30 : Figure du poids sec des feuilles (g).



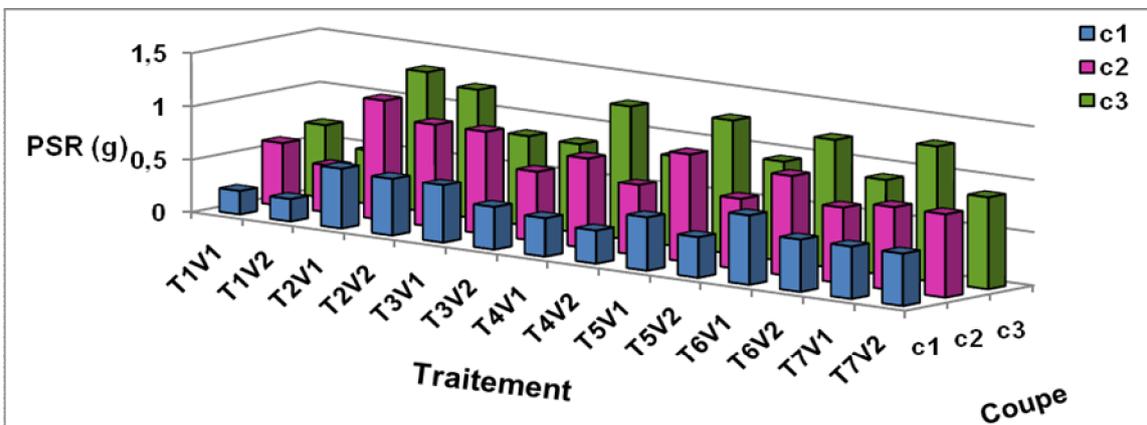
Annexe 31 : Figure du poids sec des tiges (g).



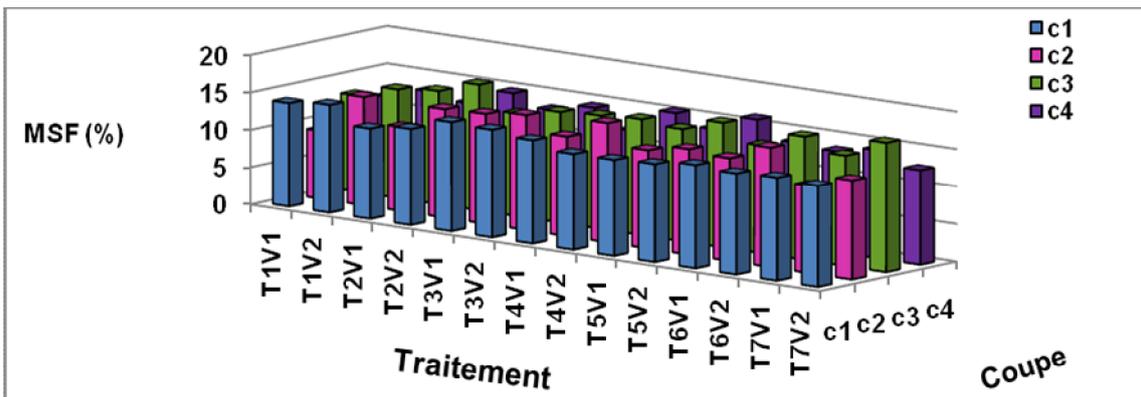
Annexe 32 : Figure du poids sec total (feuilles + tiges) en (g).



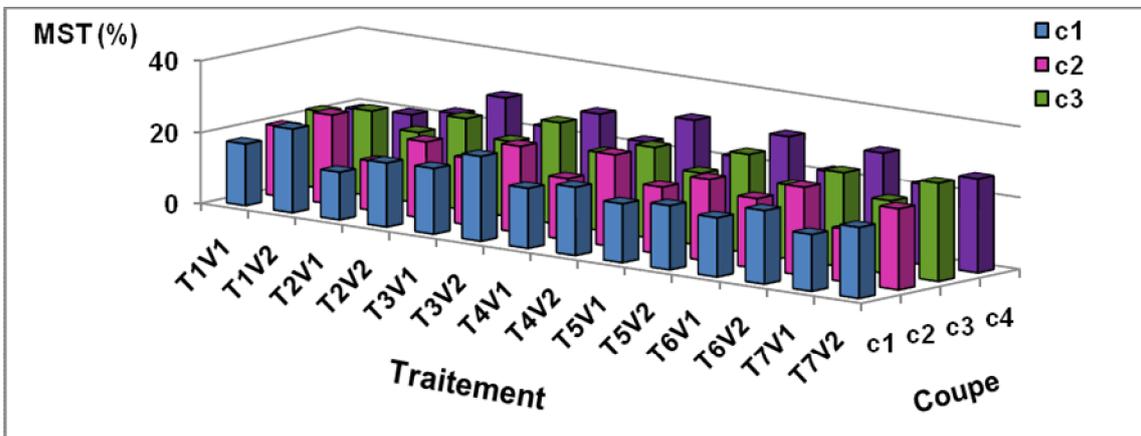
Annexe 33 : Figure du poids sec des racines (g).



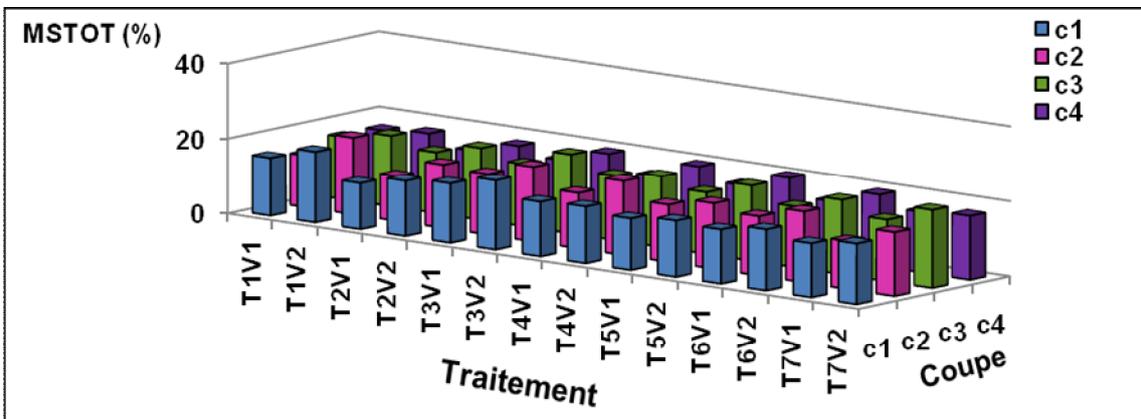
Annexe 34 : Figure du taux de matière sèche des feuilles.



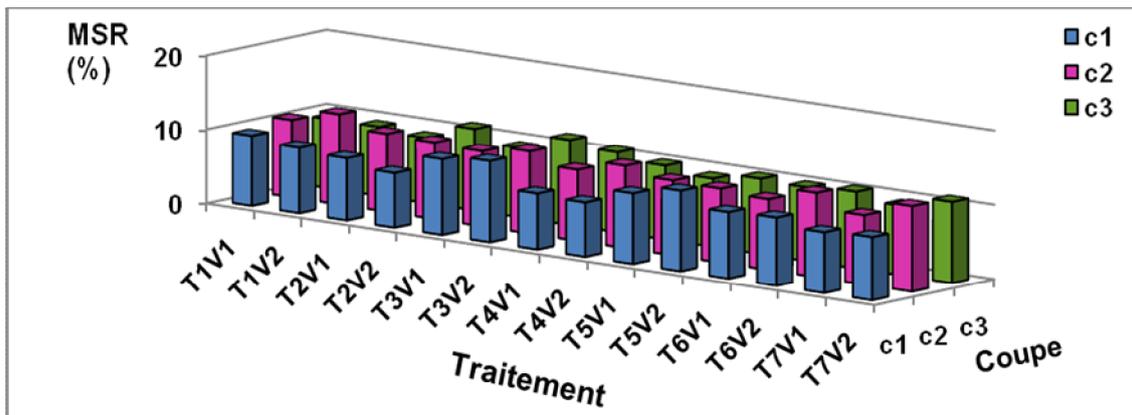
Annexe 35 : Figure du taux de matière sèche des tiges.



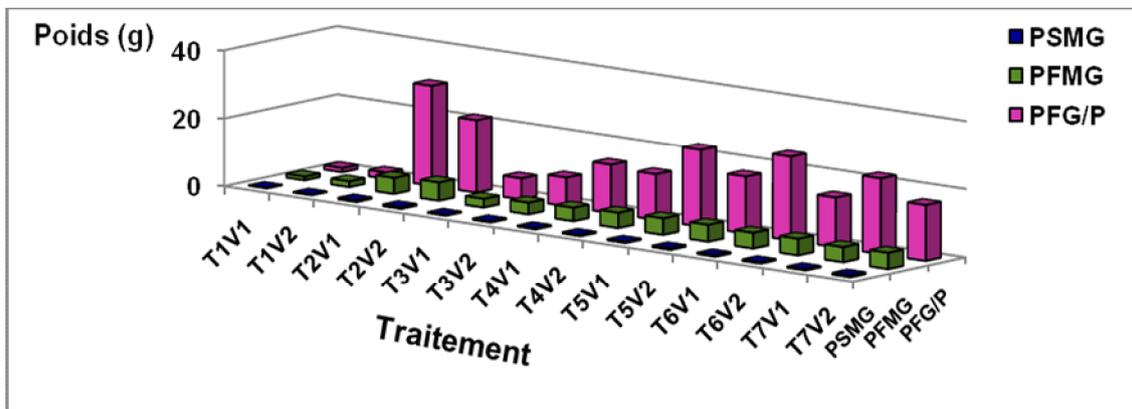
Annexe 36 : Figure du taux de la matière sèche totale (feuilles + tiges).



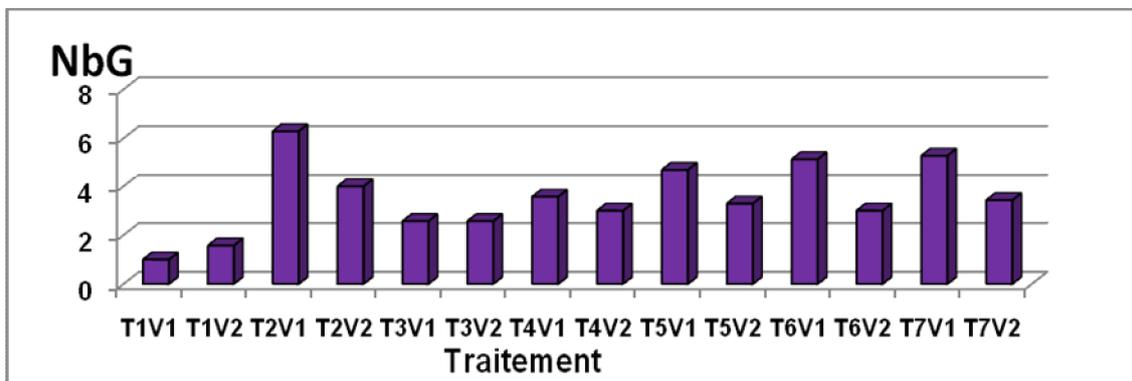
Annexe 37 : Figure du taux de la matière sèche des racines.



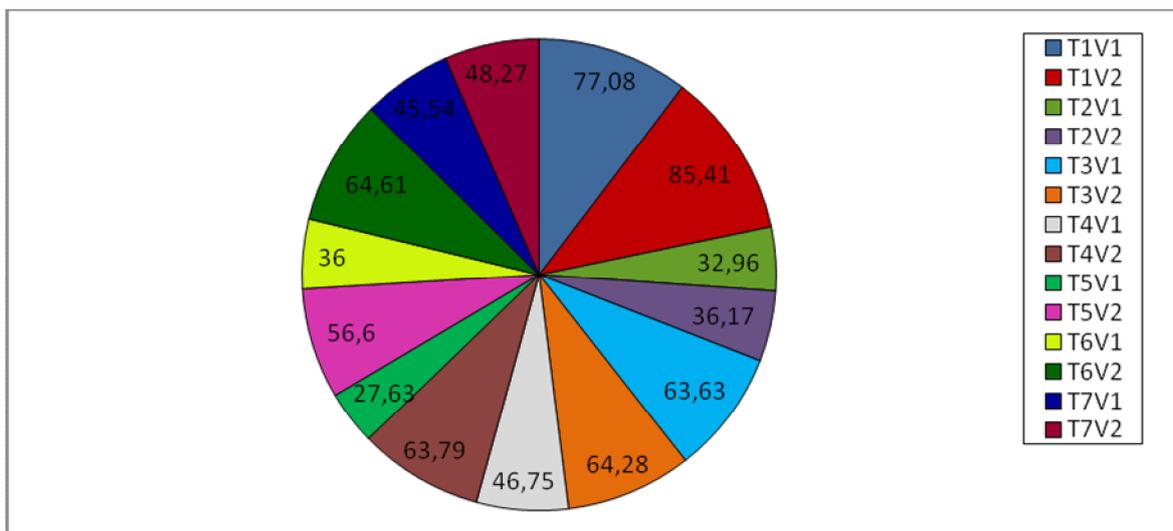
Annexe 38: Figure du poids frais et le poids sec des gousse



Annexe 39 : Figure du nombre des gousse .



Annexe 40 : Figure du taux d'avortement des fleurs.



Annexe 41 : Figure du taux de sucres et taux d'humidité des gousses

