

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

UNIVERSITE SAAD DAHLAB BLIDA 1
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DES BIOTECHNOLOGIES



**EFFET DE LA CORRECTION DU POTENTIEL
HYDROGENE D'UNE EAU NON CONVENTIONNELLE
POUR L'IRRIGATION DU HARICOT VARIETE
« DJADIDA » CULTIVEE EN HORS SOL**

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER
ACADEMIQUE EN SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

Spécialité : Biotechnologie végétale

Présenté par :

EL FERTAS RIMA

Devant le jury composé de :

| | | | |
|-----------------------------|-------------------------|-----------|--------------|
| M ^{me} BRADEA. M.S | Maître de conférences A | USD.BLIDA | Présidente |
| M ^r SNOUSSI. S.A | Professeur | USD.BLIDA | Promoteur |
| M ^r ZOUAOUI.A | maître assistant A | USD.BLIDA | Examineur |
| M ^{elle} ABIDI. L | Doctorante | USD.BLIDA | Examinatrice |

Année universitaire : 2013/2014

Remerciements

A cœur vaillant rien d'impossible
A conscience tranquille tout est accessible
Les études sont avant tout
Notre unique et seul atout

Je porte toute ma gratitude à **Mr. SNOUSSI S.A** professeur au département d'agronomie à l'université de Blida, pour m'avoir confié ce travail riche d'intérêt, ainsi que pour sa gentillesse, son encouragement, et sa disponibilité malgré ses obligations professionnelles.

Je remercie vivement **Mm BRADEA. M.S**, qui m'a fait l'honneur de présider le jury.

Mr ZOUAOUL. A, vous me faites l'honneur d'accepter avec une grande amabilité de siéger parmi les membres de jury. Vous trouvez ici l'expression de mon grand respect, et mes vifs remerciements pour vos conseils et votre présence pendant toute l'année.

Mes remerciements vont également à **Melle ABIDI. L** de l'honneur qu'elle me fait en participant à mon jury et d'examiner ce travail.

Je tiens à remercier **Mr ABBAD.M** pour sa sympathie, et son soutien dans le déroulement de ce travail.

Je n'oublie pas la collaboration du laboratoire des cultures maraîchères de l'Université de Blida, et un grand merci pour Monsieur **AIT SADI. N** technicien du laboratoire pour son précieux aide tout au long de mon expérimentation.

Dédicace

 Je dédie ce mémoire à ... 

- ♥ **Ma très chère mère :** tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi pour mener à bien mes études.
- ♥ **Mon père :** Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.
- ♥ **Mes petits frères : Mhamed et Riadh,** merci de m'avoir supporté et m'obéir dans mes moments de stress 😊 .Je vous aime
- ♥ **Manina :** Affable, honorable, aimable. Malgré la distance, tu m'as toujours soutenue, merci pour tous ce que tu as fais pour moi.
- ♥ **Mes très chers amis :**
 - **Mebarkj Mohamed :** qui a été présent, patient et encourageant. Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour t'exprimer mes pensées. merci pour ta gentillesse.
 - **Sefsafi Youcef :** tu es un frère sur qui je peux compter, merci pour ton soutien moral et d'avoir été à mes côtés.
- ♥ **Bouguerra Amira Ikram :** En témoignage de l'amitié qui nous uni et des beaux souvenirs, de tous les moments difficile qu'on a surmonté durant notre expérimentation, je te dédie ce travail.
- ♥ Un grand merci pour Melle **Anissa Bouklachi**, qui m'a beaucoup aidé et a vécu avec moi chaque émotion durant mon travail.
- ♥ **Mes collègues de ma promotion : Halima, Khouloud, Fadhila, Cherif, Nassim et Salima.** Je n'oublierai jamais ces belles années qu'on a passé à la fac, nos partage d'infos sur Facebook, nos moments de fous, nos sorties, c'était extraordinaire. Je vous aime ♥

Résumé

Les concentrations élevées de sels nocifs présents dans les sols et les eaux d'irrigations, provoquent une altération de la nutrition minérale des plantes et ceci influe négativement sur la croissance normale des végétaux, ainsi que le rendement des cultures .

Le présent travail se propose d'étudier l'effet de la correction du potentiel hydrogène (pH) d'une eau chargée en sels, pour la croissance du haricot variété Djadida, cultivée en système hydroponique, et alimentée par trois traitements corrigés comparé à un témoin non corrigé.

L'assimilation des éléments nutritifs par les plantes est meilleure au voisinage d'un pH situé entre 5,5 à 5,8. Cette valeur optimale de pH, et la correction de l'eau saline par l'acide nitrique et phosphorique apporte les éléments fertilisants à la solution nutritive, pour une bonne absorption hydrominérale.

Notre travail démontre clairement que la correction de pH de l'eau saline améliore considérablement les paramètres de croissance, de production et biochimique de la culture du haricot.

Mots clés : salinité - pH (potentiel hydrogène) – haricot - hydroponie - acide nitrique – acide phosphorique

Abstract

High concentrations of harmful salts in soils and irrigation waters, cause an alteration of the mineral nutrition of plants, and this negatively affect normal plant growth, and crop yield.

This work proposes to study the effect of the correction of potential hydrogen (pH) of water containing salts, for the growth of bean, variety Djadida, grown in hydroponic system, and powered by three treatments corrected compared to an uncorrected witness.

The assimilation of nutrients by plants is better in the vicinity of a pH between 5,5 to 5,8. This optimal value, and the correction of the saline water with nitric and phosphoric acids, provides fertilizers elements to the nutrient solution, for a good hydro mineral absorption.

Our work clearly demonstrates that the correction of pH saline water greatly improves the growth, production and biochemical parameters of the culture of bean.

Key-words: salinity - pH (potential hydrogen) - bean – hydroponic - nitric acid – phosphoric acid

ملخص

التركيزات العالية من الاملاح الضارة الموجودة في التربة و مياه الري تسبب تغيير في التغذية المعدنية للنباتات . هذا يؤثر سلبا على النمو الطبيعي للنباتات بالاضافة الى انخفاض انتاج المحاصيل.

يهدف هذا العمل الى دراسة تأثير تصحيح درجة حموضة المياه التي تحتوي على درجة عالية من الملح من اجل نمو نباتات الفاصولياء نوع Djadida مزروعة في نضام خارج التربة و مدعومة بثلاثة محاليل معدلة مقارنة بمحلول غير معدل.

يكون استيعاب المواد الغذائية مناسب في درجة حموضة تتراوح ما بين 5.8 و 5.5 . هذه القيمة المثلى و تصحيح المياه المالحة مع حمض النتريك و الفوسفوريك يوفر عناصر مغذية للمحلول من اجل توازن غذائي جيد.

يوضح عملنا ان تصحيح حموضة المياه المالحة يحسن كثيرا من مؤشرات النمو الانتج و الفحوصات البيوكيميائية لزراعة الفاصولياء.

الكلمات الرئيسية الملوحة, درجة الحموضة, الفاصولياء, الزراعة المائية, حمض النتريك, حمض الفوسفوريك.

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|----|
| Tableau n°1 : Production du haricot vert et sec en Algérie 2003 -2012 en QT..... | 03 |
| Tableau n°2 : Les principaux pays producteurs du haricot vert en 2012..... | 04 |
| Tableau n°3 : Teneurs pour 100 gramme de haricot vert..... | 10 |
| Tableau n°4 : Valeurs nutritives des graines fraîches et sèches..... | 10 |
| Tableau n°5 : Besoins en température selon les stades de développement..... | 11 |
| Tableau n°6 : fumures apportés pour la culture du haricot..... | 13 |
| Tableau n°7 : les ravageurs et les parasites nuisible à la culture du haricot..... | 15 |
| Tableau n°8 : les maladies qui attaquent la culture du haricot..... | 15 |
| Tableau n°9 : Classification des sols salés et sodiques..... | 20 |
| Tableau n°10 : Classification des eaux salines..... | 21 |
| Tableau n°11 : Localisation géographique de la salinité dans certaines wilayas..... | 21 |
| Tableau n°12 : Distribution des sols salés et sodique dans le monde..... | 22 |
| Tableau n°13 : Tolérance à la salinité de certaines cultures..... | 25 |
| Tableau n°14 : Classification des sols selon le pH..... | 39 |
| Tableau n°15 : Le pH de quelques substrats hydroponiques..... | 40 |
| Tableau n°16 : Recommandations du pH pour les cultures annuelles..... | 41 |
| Tableau n°17 : Tolérance de quelques micro-organismes du sol au pH..... | 43 |
| Tableau n°18 : Moyennes des températures par semaines de la serre..... | 48 |
| Tableau n°19 : Teneur des différents éléments minéraux contenus dans l'eau de Blida. | 54 |
| Tableau n°20 : Eau de Blida à pH = 7,8..... | 55 |
| Tableau n°21 : Eau de Blida corrigé pH= 5.6..... | 55 |
| Tableau n°22 : Eau de Gassi Touil naturelle reconstitué avec l'eau de Blida à un pH= 7.8..... | 56 |
| Tableau n°23 : Elaboration du traitement T1 corrigé par l'acide nitrique à un pH = 5.5 – 5.8..... | 57 |
| Tableau n°24 : Elaboration du traitement T2 corrigé par l'acide phosphorique..... | 59 |
| Tableau n°25 : Elaboration du traitement T3 corrigé par deux acides : nitrique et phosphorique à un Ph = 5.5 – 5.8..... | 60 |
| Tableau n°26 : Doses et fréquences d'irrigation de la culture..... | 63 |
| Tableau n°27 : Hauteur finale des tiges en (cm)..... | 75 |
| Tableau n°28 : Diamètre moyen des tiges (mm)..... | 76 |
| Tableau n°29 : Nombre de feuilles par plant..... | 77 |

| | |
|---|----|
| Tableau n°30 : La longueur moyenne des racines (cm)..... | 78 |
| Tableau n°31 : Biomasse fraîche totale en (g)..... | 80 |
| Tableau n°32 : Biomasse fraîche des feuilles, tiges et racines (g)..... | 81 |
| Tableau n°33 : Biomasse sèche totale (g)..... | 82 |
| Tableau n°34 : Biomasse sèche des feuilles, tiges et racines (g)..... | 83 |
| Tableau n°35 : Taux de matière sèche totale en (%)..... | 84 |
| Tableau n°36 : Teneurs de proline dans les feuilles ($\mu\text{g/g}$ MF)..... | 85 |
| Tableau n°37 : Quantités de chlorophylle (A) et (B)..... | 86 |
| Tableau n°38 : Teneurs en sucres solubles dans les feuilles ($\mu\text{g/g}$ MF)..... | 88 |
| Tableau n°39 : Nombre de fleurs par plant..... | 89 |
| Tableau n°40 : Classification des gousses..... | 91 |
| Tableau n°41 : Estimation de la production du haricot en (g)..... | 92 |
| Tableau n°42 : Taux d'avortement des fleurs (%)..... | 94 |
| Tableau n°43 : Quantité de sucres dans les fruits..... | 94 |
| Tableau n°44 : Taux de vitamine « C » [%]..... | 95 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| Figure n°1 : Système racinaire initiale du haricot..... | 05 |
| Figure n°2 : Disposition des nodules chez le haricot..... | 05 |
| Figure n°3 : La mouche blanche du haricot..... | 15 |
| Figure n°4 : Localisation du lieu de l'expérience..... | 47 |
| Figure n°5 : Aspect général des conteneurs..... | 49 |
| Figure n°6 : Schéma descriptif du dispositif..... | 50 |
| Figure n°7 : Vue général du dispositif..... | 51 |
| Figure n°8 : Essai de germination des graines..... | 52 |
| Figure n°9 : Aspect d'une graine après 5jours de semis..... | 52 |
| Figure n°10 : Aspect général des plantules repiquées..... | 53 |
| Figure n°11 : Les feuilles cotylédonaires..... | 53 |
| Figure n°12 : Elaboration de traitement T1..... | 58 |
| Figure n°13 : Elaboration de traitement T2..... | 60 |
| Figure n°14 : Elaboration du traitement T3..... | 61 |
| Figure n°15 : Mesure du pH avec le pH mètre..... | 62 |
| Figure n° 16 : Spectrophotomètre..... | 66 |
| Figure n° 17 : Bain marie à 70°C..... | 67 |
| Figure n°18 : Agitation avec le vortex..... | 68 |
| Figure n°19 : Réfractomètre..... | 69 |
| Figure n°20 : Dosage de vitamine C..... | 69 |
| Figure n°21 : Aspect général de plantes alimentées par les quatre traitements testés.... | 72 |
| Figure n°22 : Aspect général des plantes irriguées par le traitement salin naturel (T4) comparées au traitement corrigé (T2)..... | 73 |
| Figure n°23 : Aspect général des plantes irriguées par les deux traitements salins corrigés (T1) et (T3) ayant un pH = 5,5 à 5,8..... | 73 |
| Figure n° 24 : Vitesse de croissance des plantes (cm/semaine)..... | 74 |
| Figure n°25 : Aspect générale des racines du haricot..... | 79 |
| Figure n°26 : Les résultats de la teneur en sucres solubles..... | 88 |
| Figure n°27 : Aspect général des fleurs du haricot..... | 89 |
| Figure n°28 : Nombre moyen de fruits par plant..... | 90 |
| Figure n°29 : Aspect général des gousses..... | 93 |

LISTE DES ABREVIATIONS

(%) : pourcent

(±) : plus ou moins

AJR : apport journalier recommandé

C° : degré Celsius

CE : conductivité électrique

cm : centimètre

CV : coefficient de variation

DDL : degré de liberté

DO : densité optique

DS/m : Décisiemens par mètre

ET : erreur type

FAO : Food and Agriculture Organisation

g : gramme

ha : hectare

Kg : kilogramme

Log : logarithme

m : mètre

meq/l : milliéquivalent par litre

mg : milligramme

mm : millimètre

mmhos/cm : millimohos par centimètre

MS : matière sèche

nm : nanomètre

pH : potentiel hydrogène

Proba : probabilité

QT : quintaux

S.A.U : superficie agricole utilisée

S.C.E : La somme des Carres des Ecarts

Test F : test de Fisher

µg/g MF : microgramme par gramme de matière fraîche

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS

RESUME

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION.....01

Chapitre 1 : La culture du haricot

| | |
|---|----|
| 1. Présentation de l'espèce..... | 03 |
| 1.1.Origine..... | 03 |
| 1.2.Utilisations..... | 03 |
| 2. Intérêt économique du haricot..... | 03 |
| 2.1.Situation économique en Algérie..... | 03 |
| 2.2.Situation économique dans le monde..... | 03 |
| 3. Description taxonomique et morphologique du haricot..... | 04 |
| 3.1.Description taxonomique..... | 04 |
| 3.2.Description morphologique..... | 05 |
| 3.3.Description du cycle biologique du haricot..... | 07 |
| 4. Diversité génétique du haricot..... | 08 |
| 4.1.Classification variétale selon le mode de croissance..... | 08 |
| 4.2.Classification selon la structure de la gousse..... | 08 |
| 4.3.Le haricot cultivé en Algérie..... | 09 |
| 5. Importance alimentaire..... | 09 |
| 6. Composition nutritionnelle du haricot vert..... | 09 |
| 7. Valeurs nutritives des graines..... | 10 |
| 8. Exigences du haricot..... | 10 |
| 8.1.Exigences climatique..... | 10 |
| 8.2.Exigences édaphiques..... | 11 |
| 8.3.Exigences nutritionnelles..... | 12 |
| 9. Conduite de la culture..... | 13 |
| 9.1.Place du haricot dans la rotation..... | 13 |
| 9.2.Préparation du sol..... | 13 |
| 9.3.Plantation..... | 13 |

| | |
|--|----|
| 9.4.Fertilisation..... | 13 |
| 10. Soins culturaux..... | 13 |
| 10.1. Binage et buttage..... | 13 |
| 10.2. Désherbage..... | 14 |
| 10.3. Irrigation..... | 14 |
| 10.4. Tuteurage..... | 14 |
| 10.5. Récolte..... | 14 |
| 11. Les principaux ennemies et maladies du haricot commun..... | 14 |
| 11.1. Les accidents physiologiques..... | 14 |
| 11.2. Ravageurs et parasites..... | 15 |
| 11.3. Les principales maladies..... | 15 |

Chapitre 2 : La salinité des sols et des eaux

| | |
|--|----|
| 1. Généralités..... | 17 |
| 2. Définition..... | 17 |
| 3. Les signes d'un sol salé..... | 17 |
| 4. Mesure de la salinité..... | 18 |
| 5. Salinité des sols..... | 18 |
| 5.1.Les types de la salinité des sols..... | 18 |
| 5.2.Facteurs de salinisation des sols..... | 19 |
| 5.3.Types de sols affectés par les sels..... | 19 |
| 6. Salinité des eaux..... | 20 |
| 6.1.Source des eaux salines..... | 20 |
| 6.2.Classification des eaux salines..... | 21 |
| 6.3.Qualité des eaux d'irrigation..... | 21 |
| 7. Répartition géographique de la salinité..... | 21 |
| 7.1.La salinité en Algérie..... | 21 |
| 7.2.La salinité dans le monde..... | 22 |
| 8. Les plantes face au stress salin..... | 22 |
| 8.1.Notion de stress..... | 22 |
| 8.2.Stress salin..... | 22 |
| 8.3.Impact de la salinité sur la plante..... | 23 |
| 8.4.Classification des plantes selon leur tolérance à la salinité..... | 24 |
| 8.5.La tolérance et la réponse des plantes à la salinité..... | 25 |

| | |
|--|----|
| 8.6.La lutte contre la salinisation..... | 26 |
|--|----|

Chapitre 3 : Le procédé hydroponique

| | |
|---|----|
| 1. Généralités sur la culture hors sol..... | 28 |
| 1.1.Historique..... | 28 |
| 1.2.Définition..... | 28 |
| 1.3.Le but de la culture hors sol..... | 28 |
| 1.4.La progression de l'hydroponie dans le monde..... | 29 |
| 1.5.Espèces cultivées en hors sol..... | 29 |
| 2. Les avantages et les inconvénients de la culture hydroponique..... | 29 |
| 2.1.Les avantages..... | 29 |
| 2.2.Les inconvénients..... | 30 |
| 3. Les composantes du système hors sol..... | 30 |
| 3.1.Substrat..... | 30 |
| 3.2.Les conteneurs..... | 31 |
| 3.3.La solution nutritive..... | 32 |
| 3.4.Composition de la solution nutritive..... | 32 |
| 3.5.Gestion de la solution nutritive..... | 33 |
| 4. Les systèmes de production hors sol..... | 34 |
| 4.1.Installation en circuit ouvert..... | 34 |
| 4.2.Installation en circuit fermé..... | 34 |
| 4.3.Systèmes de cultures sans substrat..... | 35 |
| 4.4.Système de culture avec substrat..... | 35 |
| 5. Irrigation en hors sol..... | 35 |

Chapitre 4 : Le potentiel hydrogène (pH)

| | |
|---|----|
| 1. Notion de pH..... | 37 |
| 2. La mesure du pH..... | 37 |
| 2.1.Le pH mètre..... | 37 |
| 2.2.Indicateurs colorés acido-basiques..... | 37 |
| 3. Importance du pH..... | 37 |
| 3.1.Importance en chimie..... | 38 |
| 3.2.Importance en biochimie..... | 38 |
| 3.3.Importance en agriculture..... | 38 |
| 4. Analyses de pH..... | 38 |

| | |
|--|----|
| 4.1.pH eau ou pH H_2O | 38 |
| 4.2.pH Kcl..... | 39 |
| 5. Généralités sur le pH des sols..... | 39 |
| 6. Généralités sur le pH des eaux..... | 39 |
| 7. Le pH en hydroponie..... | 40 |
| 8. pH et végétation..... | 41 |
| 9. l'effet du pH sur le sol et les végétaux..... | 41 |
| 9.1.Effet sur la disponibilité des nutriments..... | 41 |
| 9.2.Effet sur le changement de couleur des plantes..... | 42 |
| 9.3.Effet sur le développement des micro-organismes..... | 42 |
| 9.4.Effet sur le développement racinaire..... | 43 |
| 10. Correction et ajustement du pH des eaux..... | 43 |
| 10.1. Apports des acides..... | 43 |
| 10.1.1. L'acide nitrique (HNO_3)..... | 43 |
| 10.1.2. L'acide phosphorique (H_3PO_4)..... | 44 |
| 10.2. Apports de chaux (chaulage)..... | 44 |

Chapitre 5 : Matériel et méthodes

| | |
|--|----|
| 1. Objectif de l'expérimentation..... | 46 |
| 2. Matériel végétale utilisé..... | 46 |
| 3. Conditions expérimentales..... | 47 |
| 4. Dispositif expérimental..... | 49 |
| 5. L'essai de pré-germination..... | 51 |
| 6. Repiquage / semis..... | 52 |
| 7. Description des traitements testés..... | 54 |
| 8. Soins culturaux..... | 62 |
| 8.1.Irrigation..... | 62 |
| 8.2.Doses et fréquence d'irrigation..... | 62 |
| 8.3.Les traitements phytosanitaires..... | 63 |
| 8.4.Palissage..... | 63 |
| 8.5.Lessivage..... | 63 |
| 9. Paramètres étudiés..... | 63 |
| 9.1.Paramètres de production..... | 64 |
| 9.2.Paramètres de croissance..... | 64 |

| | |
|--|----|
| 9.3.Dosage de paramètres biochimiques..... | 65 |
| 9.4.Dosage de paramètres technologiques..... | 68 |

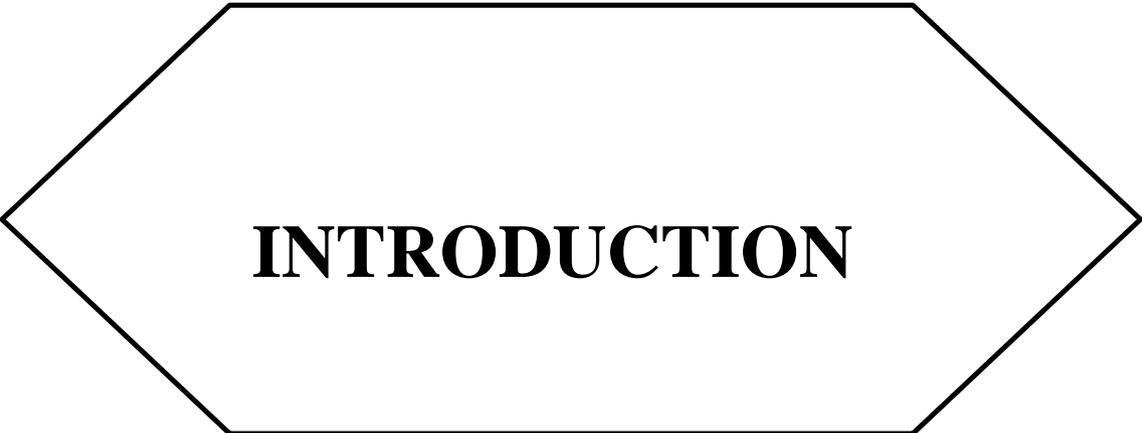
Chapitres 6 : Résultats et discussion

| | |
|--|----|
| 1. Paramètres de croissance..... | 72 |
| 1.1.Aspect général des plantes..... | 72 |
| 1.2.La vitesse de croissance..... | 73 |
| 1.3.Hauteur finale des plantes..... | 75 |
| 1.4.Diamètre des tiges..... | 76 |
| 1.5.Nombre de feuilles..... | 77 |
| 1.6.Longueur des racines..... | 78 |
| 1.7.Biomasse fraîche totale..... | 80 |
| 1.8.Biomasse fraîche des feuilles, tiges et racines..... | 81 |
| 1.9.Biomasse sèche totale..... | 82 |
| 1.10. Biomasse sèche des feuilles, tiges et racines..... | 83 |
| 1.11. Taux de matière sèche..... | 84 |
| 2. Paramètres biochimique..... | 85 |
| 2.1.Quantité de proline..... | 85 |
| 2.2.Quantité de la chlorophylle (A) et (B)..... | 86 |
| 2.3.Quantité de sucres solubles..... | 87 |
| 3. Paramètres de production..... | 89 |
| 3.1. Nombre de fleurs par plant..... | 89 |
| 3.2.Nombre de fruits par plant..... | 90 |
| 3.3.Classification des gousses..... | 91 |
| 3.4.Estimation du rendement..... | 92 |
| 3.5.Taux d'avortement..... | 93 |
| 4. Paramètres technologique..... | 94 |
| 4.1.Quantité de sucres dans les fruits..... | 94 |
| 4.2.Taux de vitamine C dans les fruits..... | 95 |

CONCLUSION

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES



INTRODUCTION

INTRODUCTION

En Algérie, les légumineuses occupent une place importante après les céréales dans l'alimentation humaine, néanmoins ; sa production reste faible. La faible production agricole se justifie principalement par la persistance des contraintes abiotiques dont le stress salin reste le principal facteur limitant responsable de brusques variations du rendement.

Le haricot commun est considéré comme une espèce sensible à la salinité par rapport à d'autres légumes. L'effet de la salinité se traduit par un déficit hydrique, et Les conséquences vont du simple ralentissement de la croissance à la mort des plantes.

L'irrigation avec des eaux chargées en sels exige un investissement considérable et peut causer la dégradation des sols (**BOYER, 1997**). Sous ces conditions limitées de production, l'ajustement des eaux d'irrigations salines pour leur utilisation en hydroponie peut être prometteur sous certaines conditions alors que cette eau est considérée impraticable en culture normale (**SCHWARZ, 1985**).

Les plantes exigent un pH qui leur est propre. Le pH exigé de la plante doit être le plus proche possible de celui de la solution nutritive. Il existe plusieurs raisons qui justifient la nécessité de la correction de l'eau d'irrigation. La plus importante est la disponibilité et la solubilité des éléments nutritifs. Si le pH du milieu dans lequel baignent les racines n'est pas adéquat, les éléments nutritifs seront moins disponibles à la plante (**LAMBERT, 2000**).

Le présent travail est réalisé dans une expérience qui a été menée sur la variété du haricot (*Phaseolus vulgaris*) dont le but est de suivre d'une part le comportement des plantes sous une contrainte saline, et l'influence de la correction du pH de cette eau saline sur les paramètres de croissance, de production, technologique et biochimiques d'autre part afin de mieux comprendre les mécanismes d'adaptation des plantes à la salinité.

L'étude comporte trois étapes successives dont la première consiste à une synthèse bibliographique concernant les connaissances acquises dans ce domaine. La deuxième étape concerne les méthodes d'analyses utilisées et les conditions expérimentales. La dernière étape porte sur les résultats obtenus des paramètres retenus, ainsi que leurs discussions.

CHAPITRE 1

LA CULTURE DU HARICOT

Chapitre 1 : La Culture du haricot

1. Présentation de l'espèce

1.1. Origine

Les haricots sont parmi les anciennes plantes cultivées en Amérique du sud et en Amérique centrale. Le haricot était cultivé il Ya 7000 ans en Amérique centrale et Pérou. Avec les courges et le maïs, ces trois légumes constituaient les « trois sœurs » des civilisations locales, car ces plantes étaient cultivées ensemble ou successivement selon une rotation bien rodée. Les indiens l'appelaient *ayacoti*, terme dont dériverait le mot haricot. En France on le cultiva d'abord pour ses grains. On le nommait fève ou encore phaséole (POLESE, 2006).

1.2. Utilisations

La culture de cette légumineuse a pris une très grande importance en raison de la place qu'elle occupe dans l'alimentation humaine (LAUMONNIER, 1979).

Le haricot commun est cultivé pour ses gousses comestibles immatures, et pour les graines mûres sèches. En Amérique latine et dans certaines parties de l'Afrique tropicale, il est surtout cultivé pour sa matière sèche poul. En Europe, les Etats-Unis et d'autres pays tempérés, les gousses vertes immatures sont consommées également en conserve et congelées (PURSEGLOVE, 1974).

2. Intérêt économique du haricot

2.1. Situation économique en Algérie

Tableau n°1 : Production du haricot vert et sec en Algérie 2003 -2012 en QT.

| | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Haricot verts | 406810 | 411000 | 332600 | 355080 | 413220 | 401210 | 450960 | 534870 | 545810 | 607870 |
| Haricot secs | 10960 | 15810 | 6660 | 9150 | 9170 | 5440 | 11590 | 8450 | 9530 | 10240 |

(FAO, 2014)

2.2. Situation économique dans le monde

La production mondiale des haricots verts selon les statistiques publiées en 2012, est estimée à 1, 883,594.00 de tonnes. La surface totale consacrée à cette production représentait 222,336.00 d'hectares.

Tableau n°2 : Les principaux pays producteurs du haricot vert en 2012.

| Principaux pays producteurs en 2012 | Surfaces cultivées (milliers d'hectares) | Rendement (Qx/ha) | Production (milliers de tonnes) |
|--|---|--------------------------|--|
| États-Unis Amérique | 106,38.00 | 85,5780.12 | 910,38.00 |
| France | 28,301.00 | 80,979.47 | 229,180.00 |
| Iraq | 13,600.00 | 58,823.53 | 80,000.00 |
| Mexique | 12,000.00 | 95,833.33 | 115,000.00 |
| Turquie | 9,500.00 | 87,762.11 | 83,374.00 |
| Pérou | 9,000.00 | 31,666.67 | 28,500.00 |
| japon | 6,500.00 | 69,230.77 | 45,000.00 |
| Argentine | 6,100.00 | 77,868.85 | 47,500.00 |
| Maroc | 5,649.00 | 236,756.95 | 133,744.00 |
| Cote d'ivoire | 1,465.00 | 32,498.29 | 4,761.00 |
| Chine | 1,000.00 | 135,000.00 | 13,500.00 |
| Egypte | 45.00 | 66,666.67 | 300.00 |

(FAO, 2014)

3. Description taxonomique et morphologique du haricot

3.1. Description taxonomique

Du point de vu taxonomique, cette espèce est le prototype du genre «*phaseolus vulgaris L.*» qui a été identifié par Linné 1753. D'après **LAUMONNIER (1979)**, cette plante est annuelle, herbacée de végétation rapide. La classification botanique du haricot établie par **(BOUMLIK, 1995)** se présente comme suit :

Embranchement Spermaphytes
 Sous-embranchement Angiospermes
 Ordre.....Rosales
 Famille..... Légumineuses
 Genre Phaseolus
 Espèce..... *Phaseolus vulgaris*

3.2. Description morphologique

3.2.1. Les racines

Selon **KOLEV(1976)**, Le système racinaire du haricot est de type pivotant, généralement faible (**Figure 1**). Dans la première phase du développement, le système racinaire est formé par la radicule de l'embryon qui devient ensuite la racine primaire (**DEBOUCK et al, 1987**).

En conditions moyennes, les racines atteignent 15 cm de profondeur au stade de la 3^{ème} feuille trifoliolée et dépassent 30cm au début de floraison (**CHAUX ET FOURY, 1994**).

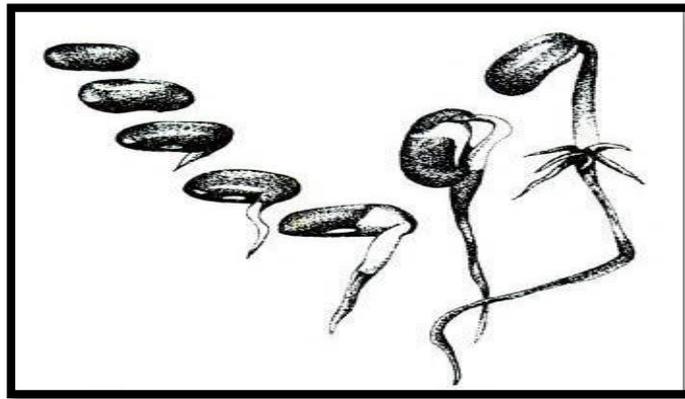


Figure n°1 : Système racinaire initiale du haricot (**DEBOUCK et al, 1987**).

La racine est le siège du phénomène de la nodulation (**Figure 2**) qui permet toutefois à la plante de fixer l'azote atmosphérique (**BARRETTO, 1983**). Les caractéristiques du sol telles que la structure, la porosité, la capacité de rétention, la température, la teneur en éléments nutritifs, et quelques autres, jouent un rôle prépondérant dans la configuration du système racinaire et dans l'importance de son volume (**DEBOUCK et al, 1987**).

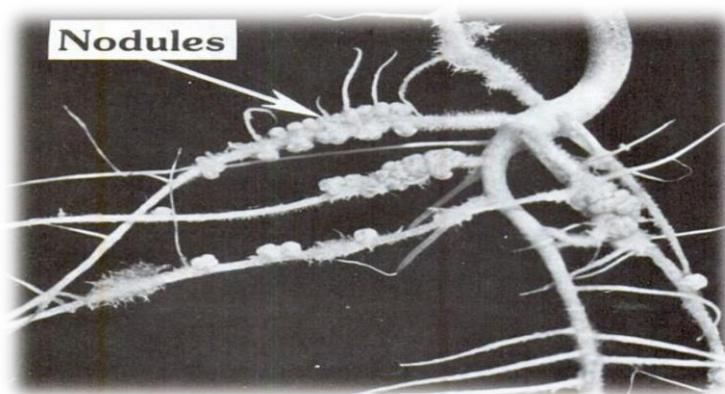


Figure n°2 : Disposition des nodules chez le haricot (**DEBOUCK et al, 1987**).

3.2.2. Les tiges

La tige est herbacée et présente une coupe cylindrique, ou légèrement anguleuse. La tige tend à être verticale, que le haricot pousse seul ou avec tuteur. La pigmentation de cette dernière peut présenter des variations, on trouvera des nuances de trois couleurs, vert, rose et violet. Son diamètre est généralement supérieur à celui des rameaux (**DEBOUCK et al, 1987**). D'un point de vu morphologique, il existe 2types de haricot :

- ◆ Les haricots nains qui mesurent 40 à 50 cm de hauteur
- ◆ Les haricots à rames ou haricot grimpantes dont la hauteur varie selon les espèces, de 2 à 3m (**POLESE, 2006**).

3.2.3. Les feuilles

Les premières feuilles opposées au limbe sont dites cotylédonaires (**BEZPLY, 1984**). Les feuilles composées trifoliées sont les feuilles typiques du haricot. Les folioles sont entières ; leur forme tend à être ovale ou triangulaire, sans auricule et sont glabres.

Dans les conditions normales, la couleur des feuilles et leur pilosité sont très variées. Cette variation est liée à la variété, la position de la feuille sur la plante et à l'âge de celle-ci (**DEBOUCK et al, 1987**). Les feuilles mesurent entre 7.5 et 14 cm de long sur 5.5 à 10 cm de large et sont alternées. Le pétiole peut mesurer jusqu'à 15cm (**CABURET et LETHÈVE, 2002**).

3.2.4. Les fleurs

Les fleurs sont de 4 à 10 groupées en grappes déterminées, naissant à l'aisselle des feuilles. Sont hermaphrodite, zygomorphe, au calice formé de 5 sépales soudées. Une corolle caractéristique des papilionacées, formé de 5 pétales inégaux et différenciées (**BELL, 1994**).

Des étamines au nombre de dix, 9 d'entre elles sont soudées par le filet, la dixième étant libre. Ovaire supère est formé d'un seul carpelle à placentation pariétale (**PREVOST, 1999**). Les fleurs sont blanches, roses ou mauves. La fécondation se fait par autofécondation (**NYABYENDA, 2005**).

Selon **MESSIAEN (1989)**, La floraison débute 28 à 35 jours après le semis, suivant les conditions du climat, du sol ainsi que la variété cultivée.

3.2.5. Les fruits

Le fruit du haricot est une gousse d'une longueur de 4 à 25 cm à deux valves. Il mûrit 1 à 2 mois après la fécondation qui est autogame. Les gousses contiennent 4 à 10 graines (NYABYENDA, 2005). Les gousses de la plupart des variétés peuvent être consommées fraîches, avant leur maturité. Par la suite les gousses ne sont plus comestibles. On les écosse et les graines peuvent être utilisées fraîches ou séchées, mais toujours cuites (POLESE, 2006).

D'après ce même auteur, les gousses allongées, plus ou moins longues et terminées par une pointe. Les gousses peuvent être vertes, parfois striées de pourpre, ou de rouge, jaune ou violette.

3.2.6. Les graines

La graine est exalbuminée, c'est à dire dépourvu d'albumen, les réserves nutritives se concentrant dans les cotylédons (FERNANDEZ et al, 1986). Calculé sur la base de la matière sèche de la graine, la testa représente 9%, les cotylédons 90%, et le reste de l'embryon 1%.

Le grain de haricot a différentes couleurs selon les variétés. Et le CIAT (Centro international d'agricultura tropical) les répartit en 8 groupes : blanche, crème-beige, jaune, brun-marron, rose, rouge, pourpre ou violet et noir. Les graines varient de formes et de grosseur. Elles peuvent garder leur faculté germinative de trois à cinq ans, la germination des haricots est dite « épigée». (DEBOUCK et al, 1990).

3.3. Description du cycle biologique du haricot

La plante entame son cycle dans environ 3 à 4 mois selon les variétés et les conditions environnementales (LECOMTE, 1997).

3.3.1. La germination

Le cycle comprend une phase de germination qui dure entre 4 à 8 jours (suivant la température et l'humidité du sol). La germination est de type hypogé, les cotylédons sortent du sol et laissent apparaître les premières paires de feuilles (HUBERT, 1978).

3.3.2. La croissance

Cinq à six jours après la levée apparaît la première feuille trifoliée, cinq à six jours après l'apparition de la première feuille trifoliée apparaît la deuxième. (PITRAT et FOURY, 2003).

Au bout d'un mois, le pied de haricot possède une dizaine de feuilles trifoliolées et il a atteint sa hauteur définitive de 30 à 40 cm pour les variétés naines (**DUPONT et GUIGNARD, 1989**).

3.3.3. La floraison

Elle débute 3 semaines à 1 mois environ après le semis. Elle dure 1 mois à 1 mois et demi suivant les conditions climatiques. La jeune gousse met une douzaine de jours environ pour atteindre sa taille définitive (**LECOMTE, 1997**).

3.3.4. La maturation

Une fois la taille définitive atteinte, les graines se forment en 15-20 jours. Il faut attendre encore 20 à 30 jours pour que les gousses s'ouvrent d'elles-mêmes, les graines étant mûres. Le cycle végétatif complet du haricot varie entre 75 et 130 jours (**LECOMTE, 1997**).

4. Diversité génétique du haricot

4.1. Classification variétale selon le mode de croissance

4.1.1. Le haricot à rames

Il a une croissance indéterminée. C'est une liane qui nécessite un tuteurage. Actuellement elle est surtout réservée aux cultures sous abris et aux jardins familiaux en Europe (**DORE et VAROQUAUX, 2006**).

4.1.2. Le haricot nain

Il a une croissance déterminée. Avec un bourgeon floral en position terminale, c'est un buisson bas. C'est le type le plus cultivé actuellement, car il se prête à la culture en plein champ, et à la mécanisation (**DORE et VAROQUAUX, 2006**).

4.2. Classification selon la structure de la gousse

Une structure longitudinale, le fil, et une structure oblique, le parchemin, déterminent la nature et l'âge de l'organe consommé (**DORE et VAROQUAUX, 2006**) :

4.2.1. Le haricot mangetout

Il a une gousse sans fil et avec peu ou pas de parchemin, sa gousse est récoltée au stade immature. Il existe deux grands types : le type à gousse verte, et le type à gousse jaune (haricot beurre).

4.2.2. Le haricot filet

Il se caractérise par une gousse avec fil et parchemin. La gousse longue, droite et fine doit être récoltée très jeune. L'apparition inéluctable du fil et celle du parchemin rendent les gousses inconsommables à partir d'un certain âge et ces deux critères constituent un bon indicateur de qualité.

4.2.3. Le haricot grain ou à écosser

Il est caractérisé par une gousse souvent avec fil. La plante est récoltée lorsque le grain est formé en demi-sec ou en sec.

4.3. Le haricot cultivé en Algérie

- *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 (ANONYME, 1979).
- *Michelet à rames*: Plante vigoureuse +avec des gousses longues te plates, vertes claires, les grains sont blancs de bonne qualité, variété précoce à consommer en grains frais ou secs (ANONYME, 1979).
- *Triomphe de Farey* : C'est une variété précoce et productive. Les filets sont longs, fins, cylindriques et droits, légèrement marbrés, les grains sont colorés (ANONYME, 1979).
- *Arian* : C'est une variété précoce et très productive, les gousses sont fines, vertes rondes, les grains sont noirs, variété résistante au virus (ANONYME, 1979).

5. Importance alimentaire

Le haricot grain est un produit vivrier dans de nombreux pays en voie de développement où il constitue la principale source de protéines (il en contient 24% qui sont riches en lysine) pour l'alimentation humaine. (DORE et VAROQUAUX, 2006).

Selon TIRILLY et BOURGEOIS (1999) une assiette de 250 grammes de haricots fournit 64% des apports journaliers recommandés (AJR) en vitamine B6, 53% des AJR en vitamine B9 et 29% des AJR en fer.

6. Composition nutritionnelle du haricot vert

Considéré comme un légume diététique le haricot vert présente une faible charge énergétique, tout en constituant une source importante de cellulose, de sels minéraux, notamment calcium, magnésium, fer, et de vitamine. L'apport en protéines et en glucides est

faible. Tandis que l'apport lipidique est quasi nul. Le tableau n°3 nous montre les teneurs pour 100 grammes de haricot vert (**TIRILLY, BOURGEOIS, 1999**).

Tableau n°3 : Teneurs nutritionnelles pour 100 gramme de haricot vert.

| | | |
|------------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Energie : 19 kcals ou 80 kJ | Calcium : 43 mg | Provitamine A : 260 µg |
| Eau : 92 g | Fer : 1.6 mg | Vitamine B1 : 0.02 mg |
| Protéines : 1.3 g | Magnésium : 13 mg | Vitamine B2 : 0.05 mg |
| Glucides : 3.1 g | Phosphore : 22 mg | Vitamine B5 : 0.06 mg |
| Lipides : 0.1 g | Potassium : 107 mg | Vitamine B6 : 0.51 mg |
| Fibres : 2.5 g | Sodium : 307 mg | Vitamine B9 : 42 µg |
| | | Vitamine C : 2mg |
| | | Vitamine E : 0.16 mg |

(**TIRILLY, BOURGEOIS, 1999**)

7. Valeurs nutritives des graines

La richesse naturelle des grains de haricots en matières azotées assimilables en fait un légume de grande valeur nutritive selon (**LAUMONNIER, 1979**). Selon **HUBERT (1978)** Le haricot est commercialisé sous deux formes de graines :

Tableau n°4 : Valeurs nutritives des graines fraîches et sèches.

| Graines fraîches | Graines sèches |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Eau : 73% | Eau : 10,5% |
| Matières Azotées : 7% | Matières minérales : 3 ,5% |
| Matières grasses : 1% | Matières grasses : 3% |
| Matières hydrocarbonées : 18% | Matières azotées : 24,5% |
| | Amidon : 55,5% Cellulose : 3% |

(**HUBERT, 1978**)

8. Exigences du haricot

8.1. Exigences climatique

8.1.1. La température

Le haricot est une plante exigeante sur le plan des températures, il craint les gelées et nécessite des températures supérieures à 10 – 12 °C pour se développer. La période de culture du haricot est donc exclusivement estivale (**RENARD et al, 2007**).

D'après **LE BOHEC (1979)** :

- ❖ Les températures de sol trop basses au moment du semis, exposent la culture aux attaques parasitaires, et peuvent engendrer des hétérogénéités de levée.
- ❖ Après la levée les plantes peuvent être atteintes de chloroses en conditions froides. On devra se méfier des minimas nocturnes.
- ❖ Durant la culture, les fortes chaleurs (32° C - 37° C) sont préjudiciables au haricot. Elles peuvent provoquer la chute des fleurs, ou les jeunes gousses.

Tableau n°5 : Besoins en température selon les stades de développement.

| Stade de développement | Besoin en températures (C°) |
|-------------------------------|------------------------------------|
| germination | 20 à 25 |
| croissance | 15 à 25 |
| floraison | 15 à 25 |
| Fructification | > 30 |

CHAUX et FOURY (1994)

8.1.2. L'humidité

Une trop grande humidité est défavorable pour le haricot, de sorte que l'on sème à fleur de terre (**DEVIGNES, 1986**). Il craint considérablement l'humidité, il convient donc de lui réserver des emplacements bien aérés, et d'éviter le bas-fond des vallées où l'atmosphère est chargée d'humidité, en raison d'une mauvaise circulation de l'air (**LAUMONNIER, 1979**).

8.1.3. La lumière

Le haricot est une plante de lumière. Cultivé à l'ombre, il s'allonge beaucoup et ne donne pratiquement aucune récolte. (**HUBERT, 1978**). Le haricot est très exigeant en lumière surtout pendant les premières étapes de son développement.

Plus tard pendant la floraison et la nouaison, la lumière diffusée et une augmentation d'humidité de l'air peuvent considérablement affecter la qualité des gousses et l'augmentation des rendements (**KOLEV, 1976**).

8.2. Exigences édaphiques

8.2.1. La nature du sol

Le haricot préfère les terres légères et saines. Dans les terres compactes, la levée est difficile tandis que dans les terres battantes, les graines pourrissent dans le sol, ainsi dans les sols calcaires, on obtient des graines de haricot qui poussent mal (**HUBERT, 1978**).

Selon **LAUMONNIER (1979)**, les terres chaudes, voire même brûlantes, peuvent selon les variétés produire quelques résultats acceptables pour la culture des haricots secs. Le choix des sols à une importance sur les rendements et la qualité des produits.

8.2.2. Le potentiel hydrogène

Le pH optimum du sol 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 (**PERON, 2006**). 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 (**CHAUX et FOURY, 1994**).

8.2.3. La salinité

Environ 20 à 30% des régions productives de haricot dans le Moyen-Orient sont affectés par salinité de sol. Sous de telles situations, on s'attend à un faible rendement car le haricot commun est extrêmement sensible à la salinité (**GAMA et al, 2007**).

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

8.3. Exigences nutritionnelles

8.3.1. Les besoins en eau

L'eau joue un rôle important pour l'élaboration du rendement et la qualité de la récolte (**RENARD et al, 2007**). Le haricot demande 300 à 400 mm d'eau pendant la durée de sa végétation. Ces pluies doivent être régulières, non violentes et bien réparties. Un manque d'eau accompagné d'un excès de chaleur provoque le flétrissement des fleurs et leur coulure (**HUBERT, 1978**).

Selon **CHAUX et FOURY (1994)**, du fait que le haricot exige beaucoup de chaleur. L'évapotranspiration est importante, ce qui résulte les besoins très important en eau.

8.3.2. Les besoins en éléments fertilisant

Le haricot vert disposé de deux voies d'alimentation azotée :

- L'assimilation des nitrates du sol ou des engrais.
- La fixation symbiotique de l'azote atmosphérique.

L'assimilation des nitrates permet, en général, l'obtention de rendements élevés lorsque le mode d'apport de N-combiné est optimal (**SKIREDJ et al, 1994**).

Tableau n°6 : Fumures apportés pour la culture du haricot.

| Fumures | Production des haricots verts | | |
|--|--------------------------------------|----------|----------|
| | <i>N</i> | <i>P</i> | <i>K</i> |
| Fumier très décomposé (25t / ha) | | | |
| Amonitrates | 50 | | |
| Superphosphate | | 70 | |
| Sulfate de potasse | | | 150 |
| Unités total exprimées en Kg | 50 | 70 | 150 |
| Ordre de grandeur de l'équilibre minéral | 1 | 1.4 | 3 |

(LAUMONIER, 1979)

9. Conduite de la culture

9.1. Place du haricot dans la rotation

Une rotation d'au moins 5 ans est recommandée pour des raisons de flore pathogène. Sont déconseillés les précédant culturaux susceptibles de présenter des résidus de certains herbicides (PERON, 2006). Le meilleur précédent cultural serait une céréale à condition de ne pas enfouir les pailles (LE BOHEC, 1979).

9.2. Préparation du sol

Le travail du sol intervient juste avant semis pour l'obtention d'un sol frais, avec limitations du nombre de passages des engins après labour d'automne ou de printemps, en fonction de la nature du sol et de la date de semis (PERON, 2006).

9.3. Plantation

Il est recommandé de faire tremper les graines la nuit qui précède le semis pour amollir l'enveloppe et faciliter la germination (DEVIGNES, 1986). Les époques du semis sont variables en fonction du climat de la région considéré (LAUMONIER, 1979).

9.4. Fertilisation

Le haricot supporte mal la fumure organique fraîche. Toutefois, sur des sols très pauvres, un apport de fumier ou de compost bien décomposé est recommandé (NYABENDA, 2005). L'usage des engrais chimiques, permet d'augmenter très sensiblement le rendement et confères aux haricots une meilleur résistance aux maladies (LAUMONIER, 1979).

10. Soins culturaux

10.1. Binage et buttage

Deux binages mécaniques peu profonds, le premier quelques jours après levée et l'autre avant floraison (soit un mois plus tard) qui fait office de buttage (PERON, 2006). Le buttage

est nécessaire pour lutter contre la mouche du haricot et ralentir l'action de l'érosion par l'eau de pluie (NYABENDA, 2005).

10.2. Désherbage

Les mauvaises herbes présentes dans les cultures des haricots nuisent au développement des plantes, et altèrent la qualité des récoltes (LE BOHEC, 1979).

10.3. Irrigation

Le haricot commun peut être irrigué dans les régions semi-arides, une irrigation par aspersion est préférable à une irrigation par submersion (MAE, 2002). Les besoins sont estimés à 180-250 mm/ha, apportés en majorité au grossissement des gousses (coefficient cultural 100 à 120 %) (PERON, 2006).

10.4. Tuteurage

Les haricots à rames ont besoin d'être tuteurés pour le soutien des pousses, qui atteignent 1.80m. Les bambous, piquets, ficelles, fil de fer, grillage sont utilisés pour le tuteurage (DOOREMBOS, 1980).

10.5. Récolte

Il convient d'effectuer la cueillette le matin de bonne heure à la rosée. Ou encore le soir après le coucher de soleil. Mais le ramassage matinal est de beaucoup préférable, car les plantes souffrent moins des manipulations dont elles sont l'objet (LAUMONIER, 1979).

Selon (PERON, 2006), les haricots verts peuvent être ramassés en récolte manuelle ou mécanisée :

- La récolte manuelle : à effectuer tous les 2 ou 3 jours pour le haricot destinée au marché de frais.
- La récolte mécanique : pour les « mangetout » et les « filets sans fil » destinés à la transformation ainsi que pour les « mangetout extra fin » destinés au marché de frais.

11. Les principaux ennemis et maladies du haricot commun

10.1. Les accidents physiologiques

Dû à un excès ou manque d'eau dans le sol, à une trop forte concentration du sol en chlorure de sodium et à un manque d'oligo-éléments dans le sol. Ces accidents se traduisent par un arrêt de croissance et un jaunissement complet de la plante qui finit par mourir (HUBERT, 1978).

10.2. Ravageurs et parasites

Tableau n° 7 : Les ravageurs et les parasites nuisible à la culture du haricot.

| parasites | Symptômes |
|--|--|
| Mouche de semis (<i>phorbia platura</i>) | Destruction des plantules au semi |
| Pucerons (<i>Aphis phabae</i>) | Avortement des boutons floraux, déformation des gousses, transmission des viroses. |
| Acariens (<i>tetranychus urticae</i>) | Dessèchement des feuilles. |
| Bruche du haricot | Destruction des graines par la larve. |

(PERON, 2006)



Figure n°3 : La mouche blanche du haricot (ALLEN et al, 1996).

10.3. Les principales maladies

Tableau n°8 : Les maladies qui attaquent la culture du haricot

| maladie | Symptômes |
|------------------------|--|
| Anthraxnose du haricot | Nécrose brune sur nervures et pétioles des feuilles, taches brunes sur gousses et graines. |
| Pourriture grise | Moisissure sur tige, fleurs et gousses par temps humide. |
| rouilles du haricot | Petites taches brun-rouilles sur les deux faces de la feuilles. |
| Graisse du haricot | Taches d'aspect graisseux sur gousses. |

(PERON, 2006)

CHAPITRE 2

IMPORTANCE DE LA SALINITE DES SOLS ET DES EAUX

Chapitre 2 : La salinité des sols et des eaux

1. Généralités

Le couvert végétal dans les régions arides et semi arides ne cesse de se dégrader à cause des contraintes naturelles dont les plus marquantes sont la sécheresse et la salinisation des sols (**RAHMOUNE et al, 2004**).

Dans ces zones, les sols présentent des niveaux de salinité de plus en plus élevés, car les agriculteurs sont contraints d'utiliser des eaux salines pour l'irrigation (**SATTI et al, 1994**).

L'amélioration de la tolérance des cultures à la salinité reste la voie la moins coûteuse et la plus recherchée pour exploiter ces zones. C'est pour cette raison que la réponse des plantes à la salinité est le plus souvent, le sujet de recherche dans la physiologie des plantes (**RODRIGUEZ et al, 1997**).

2. Définition

La salinisation est un terme générique caractérisant une augmentation progressive de la concentration des sels dans les sols sous l'influence d'apport d'eau d'irrigation salée, de l'aridité du climat ou de conditions hydrologiques particulières (lessivage insuffisant, proximité de la nappe...). Cette concentration de la solution du sol conduit ainsi à la précipitation successive de minéraux qui modifie sa composition et détermine différentes voies d'évolution des sols en fonction de l'abondance relative des différents ions majeurs dans la solution de départ. Ces ions majeurs sont le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), le sodium (Na^+), le potassium (K^+), le chlorure (Cl^-), le sulfate (SO_4^{2-}) et les carbonates (HCO_3^- , CO_3^{2-}) (**MARLET et JOB, 2006**).

Pour les chimistes un sel est le produit qui résulte de l'action d'un acide sur une base. Pour l'agronome, un sel est une substance dont la solubilité dans l'eau est suffisante pour gêner la croissance des plantes (**LEGROS, 2009**).

3. Les signes d'un sol salé

Selon (**EILERS et al, 1992**). Plusieurs éléments visibles à l'œil nu ou après analyses permettent l'identification d'un sol atteint de salinité :

- Par l'observation de la surface du terrain : la surface est blanche (couleur de cristaux), apparition de cercles de sel brisés au voisinage des plans d'eau, formation de points et de stries de couleur blanche sur le sol, indiquent que la salinité est très élevée.
- par la présence de plantes indicatrices dites halophytes on obtient une idée de la quantité de sel du terrain.
- La croissance irrégulière des cultures et manque de vigueur des plants à mesure que la teneur en sels augmente

4. Mesure de la salinité

Selon (**LEGROS, 2007**) Il est souvent utile de connaître la quantité de sels présente dans l'eau d'irrigation, dans l'eau d'imbibition extraite du sol ou bien dans un échantillon de terre. Cette quantité de sels est mesurée directement ou bien appréciée indirectement par des changements de propriété du sol ou de l'eau.

La salinité peut être exprimée soit par décisiemens par mètre (DS/m), soit par milli mohos par centimètre (mmhos/cm) à 25c°, ou en milligramme par litre (mg/l).

On parle en général de sol salé lorsque la concentration des solutions dépasse 0,5 g/l (**ROBERT, 1996**). Selon (**CALVET, 2003**) un sol est dit salé quand la conductivité électrique est supérieure à 4 ds/m.

Selon (**MERMOUD, 2006**) Le calcul du bilan de salinité du sol est défini selon la formule suivante :

$$\text{APPORTS} - \text{PERTES} = \Delta Ms \text{ (variation de la masse de sel dans le sol)}$$

- **Apports** : apport par précipitation, par irrigation, remontées capillaires, dissolution et par l'agriculture.
- **Pertes** : pertes par percolation, prélèvement par les végétaux, et par adsorption.

5. Salinité des sols

5.1. Les Types de la salinisation des sols

D'après (**CHERBUY, 1991**), la salinisation d'un milieu, implique la présence d'une source de sels qui peut être naturelle, dénommée primaire, et une salinisation anthropique, généralement liée à l'irrigation, que l'on appellera secondaire.

5.1.1. Salinisation primaire

La salinisation primaire se produit naturellement là où la roche mère du sol est riche en sels solubles ou bien en présence d'une nappe phréatique proche de la surface. Dans les régions arides et semi-arides, où les précipitations sont insuffisantes pour lixivier les sels solubles et où le drainage est restreint. Plusieurs processus géochimiques peuvent également avoir comme conséquence la formation de sols salinisés. (RHODRI et MORINI, 2005).

5.1.2. Salinisation secondaire

La salinisation secondaire se produit lorsque des quantités significatives d'eau chargée de sels sont apportées par irrigation. Sans réseau de drainage adéquat pour la lixiviation et l'élimination des sels, ces apports entraînent une augmentation de la teneur en sels des sols, ce qui diminue leur productivité. La capacité des cultures à capter l'eau et les micronutriments est réduite. Des ions toxiques se concentrent dans les végétaux et peuvent dégrader la structure du sol (RHODRI et MORINI, 2005).

5.2. Facteurs de salinisation des sols

5.2.1. Le climat

Dans les régions à climat humide, les sols salins sont pratiquement inexistant. La profonde percolation des eaux de pluie permet le lessivage des sels solubles. Dans les régions semi-arides, le lessivage et le transport des sels solubles sont faibles. (LAHLOU et al, 2002).

5.2.2. Source de sel

Selon (RHOADES et al, 1992) 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. L'utilisation des engrais : l'utilisation irrationnelle et anarchique des engrais par l'agriculteur influe d'une façon indirecte sur l'accumulation des sels dans le sol.

5.3. Types de sols affectés par les sels

La formation des sols salés est en relation étroite avec la présence de l'ion sodium Na^+ Sous l'une ou l'autre de ses formes: saline (NaCl , Na_2SO_4) ou échangeable, parfois les deux.

Les sols salés sont riches en sels solubles (Sols salins) ou en sodium adsorbé (sols sodiques ou alcalins) (MAILLARD, 2001).

Tableau n°9 : Classification des sols salés et sodiques.

| Type de sol | Types de sels | CE | PSE | pH | Caractéristiques |
|----------------------|---|---------|-------|-------|--|
| Salin | Présence de sels solubles neutres; de chlorure et de sulfate de calcium, de magnésium, de potassium et de sodium (calcium et magnésium dominants) | > 4dS/m | < 15% | <8.5 | La croissance des plantes est contrainte par une faible infiltration, une faible stabilité et aération du sol |
| Salin sodique | Grande concentration de sels neutres et d'ions sodium | > 4dS/m | >15% | < 8.5 | La croissance des plantes sur ce type de sol peut être affectée à la fois par des excès de sel et par des excès de sodium. |
| sodique | Faibles quantités de sels solubles neutres, grande quantité d'ions sodium | < 4dS/m | >15% | >8.5 | Ce type de sol est le plus affecté par les sels et le plus dégradé. Ce type de sol est dit <i>engorgé</i> . |

(HOSNI, 2009)

- ★ La conductivité électrique de la solution du sol: CE exprimé en S.m⁻¹
- ★ Le pourcentage d'échange de sodium : PES

6. Salinité des eaux

6.1. Source des eaux salines

En effet, même une eau douce de la meilleure qualité contient des sels dissous et, si la quantité de sels apportée par cette eau peut sembler négligeable, les quantités d'eau apportées au fil du temps entraînent un dépôt cumulé de sels dans les sols qui peut s'avérer considérable (IPTRID, 2006).

Toutes les eaux naturelles contiennent des minéraux dissous et des matières gazeuses. (MOUGHLI, 2004 in GHODBENE, 2006) L'accumulation des sels dans une eau dépend de son origine (Eau de pluie Eau de surface Eau souterraine).

6.2. Classification des eaux salines

Tableau n°10 : Classification des eaux salines.

| 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 |

(FAO, 2007)

6.3. Qualité des eaux d'irrigation

Les eaux d'irrigations sont classées sur la base de leur teneur totale en sel et en leur teneur spéciale en Na et Cl .Divers études signalant qu'une concentration de salinité de l'ordre de 1.5 g/l induit une perte de 25 % du rendement (CANOVAS et CUENCA, 1981).

La plupart des eaux d'irrigation sont d'une qualité bonne à excellente et ne présentant pas de contraintes sérieuses de salinité. Le contrôle de la salinité devient cependant plus difficile avec une eau plus médiocre (BEN MECHLIA, 2001).

7. Répartition géographique de la salinité

7.1. La salinité en Algérie

Les facteurs qui contribuent à l'extension du phénomène de salinisation des terres en Algérie sont liés à l'aridité du climat qui porte sur plus de 95% du territoire, la qualité médiocre des eaux d'irrigation, le système de drainage souvent inexistant ou non fonctionnel, et la conduite empirique des irrigations (SAIDI, 2004).

Tableau n°11 : Localisation géographique de la salinité dans certaines wilayas.

| Wilaya | S.A.U (ha) | Superficie affectée par la salinité de la S.A.U en (ha) | % de la S.A.U affecté par la salinité |
|---------|------------|---|---------------------------------------|
| Ouargla | 17390 | 9850 | 56.64 |

| | | | |
|----------------|--------|-------|------|
| Djelfa | 67760 | 6250 | 9.22 |
| Relizane | 241670 | 20000 | 8.28 |
| Ain Temouchent | 18350 | 15000 | 8.14 |
| Tébessa | 231750 | 13000 | 5.61 |
| Mascara | 328740 | 6475 | 1.97 |

(MADR, 1998)

7.2. La Salinité dans le monde

Selon la (FAO, 2000) Les superficies affectées par la salinité ou la sodicité atteindraient environ 830 millions d'hectares, soit 6.5% de la superficie des terres émergées. Le développement d'une salinité liée aux activités humaines ne concernerait que 77 millions D'hectares. Les sols salés sont principalement situés dans les zones arides, et leur proportion est notablement élevée au proche (Egypte, Tunisie) et moyen orient (Iran, Pakistan, Bangladesh), en Asie central (Ouzbékistan), au nord de la Chine et en Argentine.

Tableau n°12 : Distribution des sols salés et sodique dans le monde.

| Région | Superficie totale (10 ⁶ ha) | Sols salés (10 ⁶ ha) | % | Sols sodique (10 ⁶ ha) | % |
|------------------------------|--|---------------------------------|------------|-----------------------------------|------------|
| Afrique | 1899.1 | 38.7 | 2.0 | 33.5 | 1.8 |
| Asie, pacifique et Australie | 3107.2 | 195.1 | 6.3 | 248.6 | 8.0 |
| Europe | 2010.8 | 6.7 | 0.3 | 72.7 | 3.6 |
| Amérique latine | 2038.6 | 60.5 | 3.0 | 50.9 | 2.5 |
| Proche orient | 1801.9 | 91.5 | 5.1 | 14.1 | 0.8 |
| Amérique du nord | 1923.7 | 4.6 | 0.2 | 14.5 | 0.8 |
| Total | 12781.3 | 397.1 | 3.1 | 434.3 | 3.4 |

(FAO, 2000)

8. Les plantes face au stress salin

8.1. Notion de stress

On appelle stress toute pression dominante exercée par un paramètre, perturbant le fonctionnement habituel de la plante. Par ailleurs, la réponse du végétal dépend, entre autres, de ces paramètres environnementaux, (le type de contrainte, son intensité et sa durée) et génétiques (espèce et génotype) (HOPKINS, 2003).

8.2. Stress salin

Le stress salin est un excès d'ions, en particulier, mais pas exclusivement, aux ions Na⁺ et Cl⁻. (HOPKINS, 2003). Le stress salin réduit fortement la disponibilité de l'eau pour les plantes, on parle alors de milieu "physiologiquement sec" (TREMBLIN, 2000).

Ces mêmes auteurs précisent que, les conséquences d'un stress salin peuvent résulter de trois types d'effets que le sel provoque chez les plantes :

- **Stress hydrique** : une forte concentration saline dans le sol est tout d'abord perçue par la plante comme une forte diminution de la disponibilité en eau. Cela nécessite un ajustement osmotique adapté, afin que le potentiel hydrique cellulaire demeure inférieur à celui du milieu extracellulaire et à celui du sol.
- **Stress ionique** : en dépit d'un ajustement osmotique correct, la toxicité ionique survient lorsque l'accumulation de sels dans les tissus perturbe l'activité métabolique.
- **Stress nutritionnelle** : des concentrations salines trop fortes dans le milieu, provoquent une altération de la nutrition minérale. Le sodium entre en compétition avec le potassium et le calcium, et le chlorure avec le nitrate, le phosphore et le sulfate.

8.3. Impacts de la salinité sur la plante

8.3.1. Impact sur l'absorption de l'eau

Selon (MUNNS et TERMAAT, 1986) 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. 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.

8.3.2. Impact sur l'assimilation des éléments minéraux

Les effets nutritionnels de la salinité incluent les deux actions primaires du sel sur la plante: la toxicité directe due à l'accumulation excessive des ions dans les tissus et un déséquilibre nutritionnel provoqué par l'excès de certains ions (HOUALA et al, 2007).

Le déséquilibre nutritionnel est souvent le premier effet de la salinité, accompagné des perturbations qui sont dues à l'effet de basicité du milieu, qui entraînent des carences en certains microéléments, plus spécialement la carence en fer (SCHWARZ, 1985).

8.3.3. Impact sur la croissance

les effets de la salinité se manifestent principalement par une diminution de la croissance de l'appareil végétatif, caractérisé par la faible ramification, le faible diamètre des organes, le

nombre réduit des nœuds et les réductions du nombre de feuilles et de la longueur de la tige et par conséquent l'augmentation du rapport racine/tige. Une baisse des poids de matières fraîche et sèche est aussi démontrée (**RUSH et al, 1981**).

8.3.4. Impact sur la photosynthèse

La principale cause de la diminution de la croissance sous les conditions salines est la réduction de la photosynthèse (**SCHWARZ, 1985**). L'effet de la salinité sur la photosynthèse, dépend de la concentration des sels de l'espèce et de la plante; ce qui est évident qu'une concentration basse de sels peut stimuler la photosynthèse (**OMAMI, 2005**).

8.3.5. Impact sur l'anatomie de la feuille

La salinité cause une augmentation de l'épaisseur de l'épiderme, l'épaisseur du mésophylle, la longueur des cellules palissadiques, le diamètre des cellules palissadiques dans les feuilles du haricot, du coton et de l'atriplex (**PARIDA et DAS, 2005**). De ce fait, la salinité affecte l'assimilation du carbone par une surface foliaire réduite plus que par un rendement photosynthétique réduit (**MUNNS, 1993**).

8.3.6. Impact sur le comportement biochimique de la plante

Le taux de la chlorophylle et des caroténoïdes des feuilles diminue en général sous les conditions de stress salin. (**AGASTIAN et al, 2000**).

Le contenu des protéines solubles des feuilles diminue en réponse à la salinité. Les protéines solubles augmentent à des niveaux bas de salinité et diminuent en hautes concentrations de salinité chez les mûres (**AGASIAN et al, 2000**). Le stress salin induit une perturbation de la composition lipidique et protéique au niveau de la membrane cellulaire, affectant ainsi sa stabilité (**ALEM et AMRI, 2005**).

8.3.7. Impact sur le rendement

Lorsque la salinité est modérée, le rendement est surtout affecté par le poids des fruits que par leur nombre (**BALIBREA et al, 2000**).

MEIRI et LEVY (1973) indiquent que le rendement absolu obtenu sous condition saline est d'une grande signification économique. Bien qu'on considère le plus souvent sous les conditions salines un rendement relatif car le rendement est contrôlé par l'interaction entre le potentiel génétique de la plante et son environnement pédo-climatique (**KATERJI, 1995**).

8.4. Classification des plantes selon leur tolérance à la salinité

La résistance d'une plante à la salinité s'exprime par sa capacité à survivre et à produire dans des conditions de stress salin. Cependant les plantes ne sont pas égales face à ce stress. Suivant leur production de biomasse en présence de sel, quatre grandes classes ont été distinguées (HAGEMEYER, 1996).

- ❖ **Les halophytes vraies** : dont la production de biomasse est stimulée par la présence de sels. Ces plantes présentent des adaptations poussées et sont naturellement favorisées par ces conditions.
- ❖ **Les halophytes facultatives**, montrant une légère augmentation de la biomasse à des teneurs faibles en sels.
- ❖ **Les non-halophytes résistantes**, supportant de faible concentration de sel.
- ❖ **Les glycopytes sensibles** à la présence de sel.

Tableau n°13 : Tolérance à la salinité de certaines cultures.

| Sensible (0-4 ds m-1) | Modérément tolérante (4-6 ds m-1) | Tolérante (6-8 ds m-1) | Très tolérante (8-12 ds m-1) |
|----------------------------------|--|-----------------------------------|---|
| Haricot | Mais | Figue | orge |
| Trèfle | sorgo | Avoine | coton |
| Oignon | Laitue | grenade | olive |
| Pomme de terre | Tomate | tournesol | Seigle |
| Petits pois | soja | blé | Agropyre |

(BRADY, 2002)

8.5. La tolérance et la réponse des plantes à la salinité

Les plantes développent plusieurs stratégies pour limiter le stress salin, qui diffèrent selon la catégorie de la plante (BERTHOMIEU et al, 2003). Selon (Aw, 1994) Ces stratégies comportent :

8.5.1. Ajustement osmotique (osmo-régulation)

La première difficulté d'une plante en milieu salin est d'assurer son apport en eau. Pour cela, il faut que la plante puisse ajuster la pression osmotique de ses tissus par rapport à la pression osmotique du sol. Ce phénomène, nommé l'épiclèse, permet donc à la plante d'assurer une hypertonie constante.

8.5.2. La compartimentation

Pour (APSE et al, 1999) la compartimentation est la stratégie de survie de la plante, elle consiste à retarder au maximum la concentration des ions en les éloignant des sites de métabolisme. Cette redistribution contrôlée se fait essentiellement dans les vacuoles (HORIE et SCHROEDER, 2004).

8.5.3. Accumulation des solutés compatibles

Pour adapter l'équilibre ionique dans la vacuole, le cytoplasme accumule des composés de petite masse moléculaire nommés solutés compatibles parce qu'ils n'interfèrent pas avec les réactions normales biochimiques (ZHIFANG et LOESCHER, 2003).

Les solutés compatibles peuvent être des sucres (saccharose, tréhalose), des dérivés de sucres, certains acides aminés et dérivés (proline, acide glutamique, glutamine, glycine bétaine) (COURTENAY et al, 2000).

8.5.4. Synthèse de la proline et des sucres

L'accumulation de proline est l'une des manifestations les plus remarquables du stress salin et hydrique. (DELAUNEY et VERMA, 1993).

La dégradation de proline chez les plantes a lieu dans des mitochondries et est catalysée par la proline déshydrogénase (ProDH), également appelée proline oxydase (MESSEDI et ABDELLY, 2004).

La proline et les sucres solubles se sont significativement accumulés dans les feuilles sous l'effet du sel. Ils participeraient aux phénomènes d'ajustement osmotique. Le stress salin a provoqué une désorganisation des membranes thylakoïdiennes et une accumulation de globules lipidiques au niveau du stroma (BEN KHALED et al, 2003).

8.6. la lutte contre la salinisation

Il existe des moyens pour la lutter et corriger la salinisation, parmi ces solutions :

- **Lixiviation** : Elle consiste à apporter l'eau juste un peu plus que nécessaire pour réduire l'accumulation des sels dans la zone racinaire (FAO, 2002).
- **Drainage** : L'installation des drains ou des puits drainant sont nécessaire pour entraîner une partie de l'eau salée vers les zones où le sel peut être stocké sans risque.
- **Irrigation** : le choix du système d'irrigation adéquat, car l'irrigation par aspersion est plus efficace que l'irrigation de surface, mais l'irrigation par le goutte à goutte est meilleure

(BELTRAN, 1999). Irriguer plus fréquent pour améliorer l’approvisionnement hydrique de la culture **(AYERS et WESTCOT, 1976).**

- **Choix de l’espèce :** Choisir des cultures tolérantes à une salinité existante ou éventuelle
- **Fertilisation :** Assurer une bonne fertilisation minérale et notamment azoté afin de permettre une bonne résistance des plants aux attaques parasitaires et autres **(AYERS et WESTCOT, 1976).**

CHAPITRE 2

IMPORTANCE DE LA SALINITE DES SOLS ET DES EAUX

Chapitre 2 : Importance de la salinité des sols et des eaux

6. Généralités

Le couvert végétal dans les régions arides et semi arides ne cesse de se dégrader à cause des contraintes naturelles dont les plus marquantes sont la sécheresse et la salinisation des sols (**RAHMOUNE et al, 2004**).

Dans ces zones, les sols présentent des niveaux de salinité de plus en plus élevés, car les agriculteurs sont contraints d'utiliser des eaux salines pour l'irrigation (**SATTI et al, 1994**).

L'amélioration de la tolérance des cultures à la salinité reste la voie la moins coûteuse et la plus recherchée pour exploiter ces zones. C'est pour cette raison que la réponse des plantes à la salinité est le plus souvent, le sujet de recherche dans la physiologie des plantes (**RODRIGUEZ et al, 1997**).

7. Définition

La salinisation est un terme générique caractérisant une augmentation progressive de la concentration des sels dans les sols sous l'influence d'apport d'eau d'irrigation salée, de l'aridité du climat ou de conditions hydrologiques particulières (lessivage insuffisant, proximité de la nappe...). Cette concentration de la solution du sol conduit ainsi à la précipitation successive de minéraux qui modifie sa composition et détermine différentes voies d'évolution des sols en fonction de l'abondance relative des différents ions majeurs dans la solution de départ. Ces ions majeurs sont le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), le sodium (Na^+), le potassium (K^+), le chlorure (Cl^-), le sulfate (SO_4^{2-}) et les carbonates (HCO_3^- , CO_3^{2-}) (**MARLET et JOB, 2006**).

Pour les chimistes un sel est le produit qui résulte de l'action d'un acide sur une base. Pour l'agronome, un sel est une substance dont la solubilité dans l'eau est suffisante pour gêner la croissance des plantes (**LEGROS, 2009**).

8. Les signes d'un sol salé

Selon (**EILERS et al, 1992**). Plusieurs éléments visibles à l'œil nu ou après analyses permettent l'identification d'un sol atteint de salinité :

- Par l'observation de la surface du terrain : la surface est blanche (couleur de cristaux), apparition de cercles de sel brisés au voisinage des plans d'eau, formation de points et de stries de couleur blanche sur le sol, indiquent que la salinité est très élevée.

- par la présence de plantes indicatrices dites halophytes on obtient une idée de la quantité de sel du terrain.
- La croissance irrégulière des cultures et manque de vigueur des plants à mesure que la teneur en sels augmente

9. Mesure de la salinité

Selon (**LEGROS, 2007**) Il est souvent utile de connaître la quantité de sels présente dans l'eau d'irrigation, dans l'eau d'imbibition extraite du sol ou bien dans un échantillon de terre. Cette quantité de sels est mesurée directement ou bien appréciée indirectement par des changements de propriété du sol ou de l'eau.

La salinité peut être exprimée soit par décisiemens par mètre (DS/m), soit par milli mohos par centimètre (mmhos/cm) à 25c°, ou en milligramme par litre (mg/l).

On parle en général de sol salé lorsque la concentration des solutions dépasse 0,5 g/l (**ROBERT, 1996**). Selon (**CALVET, 2003**) un sol est dit salé quand la conductivité électrique est supérieure à 4 ds/m.

Selon (**MERMOUD, 2006**) Le calcul du bilan de salinité du sol est défini selon la formule suivante :

$$\text{APPORTS} - \text{PERTES} = \Delta Ms \text{ (variation de la masse de sel dans le sol)}$$

- **Apports** : apport par précipitation, par irrigation, remontées capillaires, dissolution et par l'agriculture.
- **Pertes** : pertes par percolation, prélèvement par les végétaux, et par adsorption.

10. Salinité des sols

8.7. Les Types de la salinisation des sols

D'après (**CHERBUY, 1991**), la salinisation d'un milieu, implique la présence d'une source de sels qui peut être naturelle, dénommée primaire, et une salinisation anthropique, généralement liée à l'irrigation, que l'on appellera secondaire.

8.7.1. Salinisation primaire

La salinisation primaire se produit naturellement là où la roche mère du sol est riche en sels solubles ou bien en présence d'une nappe phréatique proche de la surface. Dans les régions arides et semi-arides, où les précipitations sont insuffisantes pour lixivier les sels solubles et où le drainage est restreint. Plusieurs processus géochimiques peuvent également avoir comme conséquence la formation de sols salinisés. **(RHODRI et MORINI, 2005).**

8.7.2. Salinisation secondaire

La salinisation secondaire se produit lorsque des quantités significatives d'eau chargée de sels sont apportées par irrigation. Sans réseau de drainage adéquat pour la lixiviation et l'élimination des sels, ces apports entraînent une augmentation de la teneur en sels des sols, ce qui diminue leur productivité. La capacité des cultures à capter l'eau et les micronutriments est réduite. Des ions toxiques se concentrent dans les végétaux et peuvent dégrader la structure du sol **(RHODRI et MORINI, 2005).**

8.8. Facteurs de salinisation des sols

8.8.1. Le climat

Dans les régions à climat humide, les sols salins sont pratiquement inexistant. La profonde percolation des eaux de pluie permet le lessivage des sels solubles. Dans les régions semi-arides, le lessivage et le transport des sels solubles sont faibles. **(LAHLOU et al, 2002).**

8.8.2. Source de sel

Selon **(RHOADES et al, 1992)** 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. L'utilisation des engrais : l'utilisation irrationnelle et anarchique des engrais par l'agriculteur influe d'une façon indirecte sur l'accumulation des sels dans le sol.

8.9. Types de sols affectés par les sels

La formation des sols salés est en relation étroite avec la présence de l'ion sodium Na^+ Sous l'une ou l'autre de ses formes: saline (NaCl , Na_2SO_4) ou échangeable, parfois les deux.

Les sols salés sont riches en sels solubles (Sols salins) ou en sodium adsorbé (sols sodiques ou alcalins) **(MAILLARD, 2001).**

Tableau n°9 : Classification des sols salés et sodiques.

| Type de sol | Types de sels | CE | PSE | pH | Caractéristiques |
|----------------------|---|---------|-------|-------|--|
| Salin | Présence de sels solubles neutres; de chlorure et de sulfate de calcium, de magnésium, de potassium et de sodium (calcium et magnésium dominants) | > 4dS/m | < 15% | <8.5 | La croissance des plantes est contrainte par une faible infiltration, une faible stabilité et aération du sol |
| Salin sodique | Grande concentration de sels neutres et d'ions sodium | > 4dS/m | >15% | < 8.5 | La croissance des plantes sur ce type de sol peut être affectée à la fois par des excès de sel et par des excès de sodium. |
| sodique | Faibles quantités de sels solubles neutres, grande quantité d'ions sodium | < 4dS/m | >15% | >8.5 | Ce type de sol est le plus affecté par les sels et le plus dégradé. Ce type de sol est dit <i>engorgé</i> . |

(HOSNI, 2009)

- ★ **La conductivité électrique de la solution du sol:** CE exprimé en $S.m^{-1}$
- ★ **Le pourcentage d'échange de sodium :** PES

9. Salinité des eaux

9.1. Source des eaux salines

En effet, même une eau douce de la meilleure qualité contient des sels dissous et, si la quantité de sels apportée par cette eau peut sembler négligeable, les quantités d'eau apportées au fil du temps entraînent un dépôt cumulé de sels dans les sols qui peut s'avérer considérable (IPTRID, 2006).

Toutes les eaux naturelles contiennent des minéraux dissous et des matières gazeuses. (MOUGHLI, 2004 in GHODBENE, 2006) L'accumulation des sels dans une eau dépend de son origine (Eau de pluie Eau de surface Eau souterraine).

9.2. Classification des eaux salines

Tableau n°10 : Classification des eaux salines.

| 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 |

(FAO, 2007)

9.3. Qualité des eaux d'irrigation

Les eaux d'irrigations sont classées sur la base de leur teneur totale en sel et en leur teneur spéciale en Na et Cl .Divers études signalant qu'une concentration de salinité de l'ordre de 1.5 g/l induit une perte de 25 % du rendement (CANOVAS et CUENCA, 1981).

La plupart des eaux d'irrigation sont d'une qualité bonne à excellente et ne présentant pas de contraintes sérieuses de salinité. Le contrôle de la salinité devient cependant plus difficile avec une eau plus médiocre (BEN MECHLIA, 2001).

10. Répartition géographique de la salinité

10.1. La salinité en Algérie

Les facteurs qui contribuent à l'extension du phénomène de salinisation des terres en Algérie sont liés à l'aridité du climat qui porte sur plus de 95% du territoire, la qualité médiocre des eaux d'irrigation, le système de drainage souvent inexistant ou non fonctionnel, et la conduite empirique des irrigations (SAIDI, 2004).

Tableau n°11 : Localisation géographique de la salinité dans certaines wilayas.

| Wilaya | S.A.U (ha) | Superficie affectée par la salinité de la S.A.U en (ha) | % de la S.A.U affecté par la salinité |
|----------------|------------|---|---------------------------------------|
| Ouargla | 17390 | 9850 | 56.64 |
| Djelfa | 67760 | 6250 | 9.22 |
| Relizane | 241670 | 20000 | 8.28 |
| Ain Temouchent | 18350 | 15000 | 8.14 |
| Tébessa | 231750 | 13000 | 5.61 |
| Mascara | 328740 | 6475 | 1.97 |

(MADR, 1998)

10.2. La Salinité dans le monde

Selon la (FAO, 2000) Les superficies affectées par la salinité ou la sodicité atteindraient environ 830 millions d'hectares, soit 6.5% de la superficie des terres émergées. Le développement d'une salinité liée aux activités humaines ne concernerait que 77 millions D'hectares. Les sols salés sont principalement situés dans les zones arides, et leur proportion est notablement élevée au proche (Egypte, Tunisie) et moyen orient (Iran, Pakistan, Bangladesh), en Asie central (Ouzbékistan), au nord de la Chine et en Argentine.

Tableau n°12 : Distribution des sols salés et sodique dans le monde.

| Région | Superficie totale (10 ⁶ ha) | Sols salés (10 ⁶ ha) | % | Sols sodique (10 ⁶ ha) | % |
|------------------------------|--|---------------------------------|------------|-----------------------------------|------------|
| Afrique | 1899.1 | 38.7 | 2.0 | 33.5 | 1.8 |
| Asie, pacifique et Australie | 3107.2 | 195.1 | 6.3 | 248.6 | 8.0 |
| Europe | 2010.8 | 6.7 | 0.3 | 72.7 | 3.6 |
| Amérique latine | 2038.6 | 60.5 | 3.0 | 50.9 | 2.5 |
| Proche orient | 1801.9 | 91.5 | 5.1 | 14.1 | 0.8 |
| Amérique du nord | 1923.7 | 4.6 | 0.2 | 14.5 | 0.8 |
| Total | 12781.3 | 397.1 | 3.1 | 434.3 | 3.4 |

(FAO, 2000)

11. Les plantes face au stress salin

11.1. Notion de stress

On appelle stress toute pression dominante exercée par un paramètre, perturbant le fonctionnement habituel de la plante. Par ailleurs, la réponse du végétal dépend, entre autres, de ces paramètres environnementaux, (le type de contrainte, son intensité et sa durée) et génétiques (espèce et génotype) (HOPKINS, 2003).

11.2. Stress salin

Le stress salin est un excès d'ions, en particulier, mais pas exclusivement, aux ions Na⁺ et Cl⁻. (HOPKINS, 2003). Le stress salin réduit fortement la disponibilité de l'eau pour les plantes, on parle alors de milieu "physiologiquement sec" (TREMBLIN, 2000).

Ces mêmes auteurs précisent que, les conséquences d'un stress salin peuvent résulter de trois types d'effets que le sel provoque chez les plantes :

- **Stress hydrique** : une forte concentration saline dans le sol est tout d'abord perçue par la plante comme une forte diminution de la disponibilité en eau. Cela nécessite un ajustement osmotique adapté, afin que le potentiel hydrique cellulaire demeure inférieur à celui du milieu extracellulaire et à celui du sol.
- **Stress ionique** : en dépit d'un ajustement osmotique correct, la toxicité ionique survient lorsque l'accumulation de sels dans les tissus perturbe l'activité métabolique.
- **Stress nutritionnelle** : des concentrations salines trop fortes dans le milieu, provoquent une altération de la nutrition minérale. Le sodium entre en compétition avec le potassium et le calcium, et le chlorure avec le nitrate, le phosphore et le sulfate.

11.3. Impacts de la salinité sur la plante

11.3.1. Impact sur l'absorption de l'eau

Selon (MUNNS et TERMAAT, 1986) 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. 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.

11.3.2. Impact sur l'assimilation des éléments minéraux

Les effets nutritionnels de la salinité incluent les deux actions primaires du sel sur la plante: la toxicité directe due à l'accumulation excessive des ions dans les tissus et un déséquilibre nutritionnel provoqué par l'excès de certains ions (HOUALA et al, 2007).

Le déséquilibre nutritionnel est souvent le premier effet de la salinité, accompagné des perturbations qui sont dues à l'effet de basicité du milieu, qui entraînent des carences en certains microéléments, plus spécialement la carence en fer (SCHWARZ, 1985).

11.3.3. Impact sur la croissance

les effets de la salinité se manifestent principalement par une diminution de la croissance de l'appareil végétatif, caractérisé par la faible ramification, le faible diamètre des organes, le nombre réduit des nœuds et les réductions du nombre de feuilles et de la longueur de la tige et par conséquent l'augmentation du rapport racine/tige. Une baisse des poids de matières fraîche et sèche est aussi démontrée (RUSH et al, 1981).

11.3.4. Impact sur la photosynthèse

La principale cause de la diminution de la croissance sous les conditions salines est la réduction de la photosynthèse (**SCHWARZ, 1985**). L'effet de la salinité sur la photosynthèse, dépend de la concentration des sels de l'espèce et de la plante; ce qui est évident qu'une concentration basse de sels peut stimuler la photosynthèse (**OMAMI, 2005**).

11.3.5. Impact sur l'anatomie de la feuille

La salinité cause une augmentation de l'épaisseur de l'épiderme, l'épaisseur du mésophylle, la longueur des cellules palissadiques, le diamètre des cellules palissadiques dans les feuilles du haricot, du coton et de l'atriplex (**PARIDA et DAS, 2005**). De ce fait, la salinité affecte l'assimilation du carbone par une surface foliaire réduite plus que par un rendement photosynthétique réduit (**MUNNS, 1993**).

11.3.6. Impact sur le comportement biochimique de la plante

Le taux de la chlorophylle et des caroténoïdes des feuilles diminue en général sous les conditions de stress salin. (**AGASTIAN et al, 2000**).

Le contenu des protéines solubles des feuilles diminue en réponse à la salinité. Les protéines solubles augmentent à des niveaux bas de salinité et diminuent en hautes concentrations de salinité chez les mûres (**AGASIAN et al, 2000**). Le stress salin induit une perturbation de la composition lipidique et protéique au niveau de la membrane cellulaire, affectant ainsi sa stabilité (**ALEM et AMRI, 2005**).

11.3.7. Impact sur le rendement

Lorsque la salinité est modérée, le rendement est surtout affecté par le poids des fruits que par leur nombre (**BALIBREA et al, 2000**).

MEIRI et LEVY (1973) indiquent que le rendement absolu obtenu sous condition saline est d'une grande signification économique. Bien qu'on considère le plus souvent sous les conditions salines un rendement relatif car le rendement est contrôlé par l'interaction entre le potentiel génétique de la plante et son environnement pédoclimatique (**KATERJI, 1995**).

11.4. Classification des plantes selon leur tolérance à la salinité

La résistance d'une plante à la salinité s'exprime par sa capacité à survivre et à produire dans des conditions de stress salin. Cependant les plantes ne sont pas égales face à ce stress. Suivant leur production de biomasse en présence de sel, quatre grandes classes ont été distinguées (**HAGEMEYER, 1996**).

- ❖ **Les halophytes vraies** : dont la production de biomasse est stimulée par la présence de sels. Ces plantes présentent des adaptations poussées et sont naturellement favorisées par ces conditions.
- ❖ **Les halophytes facultatives**, montrant une légère augmentation de la biomasse à des teneurs faibles en sels.
- ❖ **Les non-halophytes résistantes**, supportant de faible concentration de sel.
- ❖ **Les glycophytes sensibles** à la présence de sel.

Tableau n°13 : Tolérance à la salinité de certaines cultures.

| Sensible (0-4 ds m-1) | Modérément tolérante (4-6 ds m-1) | Tolérante (6-8 ds m-1) | Très tolérante (8-12 ds m-1) |
|----------------------------------|--|-----------------------------------|---|
| Haricot | Mais | Figue | orge |
| Trèfle | sorgo | Avoine | coton |
| Oignon | Laitue | grenade | olive |
| Pomme de terre | Tomate | tournesol | Seigle |
| Petits pois | soja | blé | Agropyre |

(BRADY, 2002)

11.5. La tolérance et la réponse des plantes à la salinité

Les plantes développent plusieurs stratégies pour limiter le stress salin, qui diffèrent selon la catégorie de la plante (BERTHOMIEU et al, 2003). Selon (Aw, 1994) Ces stratégies comportent :

11.5.1. Ajustement osmotique (osmo-régulation)

La première difficulté d'une plante en milieu salin est d'assurer son apport en eau. Pour cela, il faut que la plante puisse ajuster la pression osmotique de ses tissus par rapport à la pression osmotique du sol. Ce phénomène, nommé l'épiclèse, permet donc à la plante d'assurer une hypertonie constante.

11.5.2. La compartimentation

Pour (APSE et al, 1999) la compartimentation est la stratégie de survie de la plante, elle consiste à retarder au maximum la concentration des ions en les éloignant des sites de métabolisme. Cette redistribution contrôlée se fait essentiellement dans les vacuoles (HORIE et SCHROEDER, 2004).

11.5.3. Accumulation des solutés compatibles

Pour adapter l'équilibre ionique dans la vacuole, le cytoplasme accumule des composés de petite masse moléculaire nommés solutés compatibles parce qu'ils n'interfèrent pas avec les réactions normales biochimiques (**ZHIFANG et LOESCHER, 2003**).

Les solutés compatibles peuvent être des sucres (saccharose, tréhalose), des dérivés de sucres, certains acides aminés et dérivés (proline, acide glutamique, glutamine, glycine bétaine) (**COURTENAY et al, 2000**).

11.5.4. Synthèse de la proline et des sucres

L'accumulation de proline est l'une des manifestations les plus remarquables du stress salin et hydrique. (**DELAUNEY et VERMA, 1993**).

La dégradation de proline chez les plantes a lieu dans des mitochondries et est catalysée par la proline déshydrogénase (ProDH), également appelée proline oxydase (**MESSEDI et ABDELLY, 2004**).

La proline et les sucres solubles se sont significativement accumulés dans les feuilles sous l'effet du sel. Ils participeraient aux phénomènes d'ajustement osmotique. Le stress salin a provoqué une désorganisation des membranes thylakoïdiennes et une accumulation de globules lipidiques au niveau du stroma (**BEN KHALED et al, 2003**).

11.6. la lutte contre la salinisation

Il existe des moyens pour la lutter et corriger la salinisation, parmi ces solutions :

- **Lixiviation** : Elle consiste à apporter l'eau juste un peu plus que nécessaire pour réduire l'accumulation des sels dans la zone racinaire (**FAO, 2002**).
- **Drainage** : L'installation des drains ou des puits drainant sont nécessaire pour entraîner une partie de l'eau salée vers les zones où le sel peut être stocké sans risque.
- **Irrigation** : le choix du système d'irrigation adéquat, car l'irrigation par aspersion est plus efficace que l'irrigation de surface, mais l'irrigation par le goutte à goutte est meilleure (**BELTRAN, 1999**). Irriguer plus fréquent pour améliorer l'approvisionnement hydrique de la culture (**AYERS et WESTCOT, 1976**).
- **Choix de l'espèce** : Choisir des cultures tolérantes à une salinité existante ou éventuelle
- **Fertilisation** : Assurer une bonne fertilisation minérale et notamment azoté afin de permettre une bonne résistance des plants aux attaques parasitaires et autres (**AYERS et WESTCOT, 1976**).

CHAPITRE 3

LE PROCEDE HYDROPONIQUE

Chapitre 3 : Le procédé hydroponique

1. Généralités sur la culture hors sol

1.1. Historique

La culture en hydroponie a été lancée par les États-Unis pendant la deuxième guerre mondiale pour répondre aux besoins de leur armée en légumes frais. La technique du hors sol a été introduite en Europe dans les années 70 ; appliquée à quelques cultures maraîchères et florales sous serres, elle s'est ensuite développée à un rythme rapide (**THIAULT, 2004**).

La culture hors sol a été initialement une technique de laboratoire visant à étudier en détail le fonctionnement des plantes (**ROBIN, 1998**). En Algérie l'initiation à la culture hydroponique sur deux solanacées fruits (tomate et poivron) a pu mettre en évidence par les travaux de **DJOUDI** et **SNOUSSI** en 1979 et 1980 respectivement (**SNOUSSI, 1980**).

1.2. Définition

Différents auteurs ont défini la culture hors sol comme suit :

- ❖ Le mot « hydroponique » vient du grec « hydro », qui signifie « eau », et « ponos », qui signifie « travail ». On peut l'interpréter de différentes façons : « le travail avec l'eau », ou encore « le travail de l'eau » (**TEXIER, 2013**).
- ❖ La culture hydroponique est définie comme la science des plantes en croissance sans utilisation de sol, mais par l'utilisation d'un moyen inerte, comme le gravier, le sable, la tourbe, vermiculite, ou la sciure de bois, auquel est ajoutée une solution nutritive contenant tous les éléments nécessaires pour la plante, pour sa croissance normale et son développement (**MARTINEZ, MORARD, 2000**).
- ❖ C'est l'une des technologies modernes utilisées aujourd'hui en horticulture pour valoriser les terrains à problèmes. C'est l'unique solution lorsque le sol naturel souffre de contraintes incorrigibles (terrain rocailleux, hydro-morphes salée,...), alors que tous les autres facteurs sont favorables (climat, disponibilités et qualité de l'eau...) (**AÏT HOUSSA et al, 2004**).

1.3. Le but de la culture hors sol

Le principal objectif visé par la pratique des cultures hydroponiques est de remédier aux conditions aléatoires de la nutrition dans le sol et ceci par l'utilisation d'une solution nutritive contenant tous les éléments nécessaires (macro micro éléments) à la croissance et au développement d'une plante (**SNOUSSI, 1980**).

Selon **JEANNEQUIN (1992)**, les cultures hydroponiques sont développées pour :

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

1.4. La progression de l'hydroponie dans le monde

En Europe, quatre pays concentrent la quasi-totalité des cultures hors sol sous serres. Ce sont les Pays-Bas, qui en possèdent les plus grandes surfaces, suivis de la France, la Belgique et la Grande-Bretagne. Il s'en trouve aussi en Suisse et dans certains pays de l'Est. Dans les autres pays, les surfaces les plus importantes sont recensées au Japon et en Afrique du Sud. (**THIAULT, 2004**).

La technique de culture hors sol s'est développée maintenant en dehors de l'Europe. En particulier dans le bassin méditerranéen, et plus généralement dans les régions pénalisées par le manque d'eau (**URBAN, 1997**). La situation des cultures hydroponiques en Algérie n'évolue guère si ce n'est qu'elle reste au stade expérimental dominé par quelques travaux de recherche.

1.5. Espèces cultivées en hors sol

Pratiquement, toutes les plantes peuvent être conduites en culture hors sol, mais sont principalement concernés les cultures légumières et les petits fruits. L'espèce majeure est la tomate suivie de la fraise qui a connu un très fort développement, du concombre, du poivron et de l'aubergine. Depuis quelques années, se sont développés le melon, la courgette et la framboise. Cette technique est utilisée en culture florale pour la rose, l'œillet et le gerbera. Dans un but expérimental, les arbres fruitiers sont conduits de cette manière pour étudier leurs besoins en éléments nutritifs (**THIAULT, 2004**).

2. Les avantages et les inconvénients de la culture hydroponique

2.1. Les avantages

Selon **MOREL (2005)**, l'intérêt de la culture hors sol :

- ☛ Elimination des contraintes liées au sol :
 - sol inadapté ou de mauvaise qualité agronomique.
 - présence d'agents pathogènes, de polluants.

- ☞ Simplification des techniques culturales :
 - pas de préparation de sol.
 - rotations culturelles rapides et mise en œuvre facile.
- ☞ Meilleure qualité du produit :
 - aspect esthétique.
 - réduction de l'utilisation de produits phytosanitaires.
- ☞ Meilleure productivité de la plante :
 - optimisation du potentiel de la plante.
 - réduction des pertes en culture.

2.2. Les inconvénients

Selon **MORARD (1995)**, les cultures hors sol ont les inconvénients suivants :

- Coût d'installation et d'entretien (investissement, charges proportionnelles) élevé
- Utilisation d'une haute technologie.
- Qualité de produit élevée.
- Maîtrise incomplète des déchets (rejet de solution nutritive, certains substrats non recyclables).

3. Les composantes du système hors sol

3.1. Substrat

Le terme de substrat en agriculture s'applique à tous matériaux 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 de support. (**BLANC, 1987**). Pour pouvoir véritablement revendiquer le label hors sol, la production faisant appel à des substrats de culture devrait utiliser de manière exclusive des matériaux chimiquement et biologiquement inertes (**URBAN, 1997**).

3.1.1. Classification des substrats hydroponiques

Selon **MOREL (2005)**, les principaux matériaux utilisés sont :

❖ Matière première minérale

- Naturels (extraits) : les sables et graviers, les riches volcaniques (pouzzolane), les argiles
- Issues d'un traitement industriel : laine de roche, laine de verre, argile expansée, vermiculite, perlite

❖ Matière première organique

- Les tourbes : de sphaignes ou herbacées
- Les matières issues de l'agriculture : marc de raisin, pailles, composts.
- Les matériaux issus de l'industrie du bois : les écorces, les fibres ligno-cellulosiques.
- Les déchets d'origine urbaine : les déchets verts, les composts urbains.
- Matériaux issues de cultures spécifiques : fibres et résidus de noix de coco et de lin.

❖ Les produits de synthèse

- Les mousses de polyuréthane

3.1.2. Propriétés physiques des substrats

Selon (BLANC, 1987) ces propriétés physiques interviennent sur le fonctionnement du végétal par l'intermédiaire de la rétention de la solution nutritive et de l'aération des racines. Les principales propriétés physiques sont :

- ☉ **Porosité** : tous les substrats sont poreux, comportant en leur sein des cavités des « vides » dans lesquels se trouvent des fluides (liquide, gaz) (BLANC, 1987).
- ☉ **Rétention d'eau** : il est essentiel de caractériser la quantité d'eau retenue et sa disponibilité dans les substrats, celles-ci jouant un rôle essentiel dans la capacité d'alimentation en eau des plantes et dans les stratégies d'irrigation (URBAN, 1997).
- ☉ **Teneur en air** : cette teneur est égale à la différence entre la porosité totale et la teneur en eau. Cela signifie que plus un substrat contient d'air, moins il contient d'eau et inversement (URBAN, 1997).

3.1.3. Désinfection des substrats

Selon (LEMAIRE, 1989) Deux groupes de techniques peuvent être utilisés

- *Voie thermique* : le principe consiste à porter le substrat à une température létale pour les organismes phytopathogènes et pour les graines de mauvaises herbes.
- *Voie chimique* : la désinfection chimique est un moyen parfois commode lorsqu'il n'est pas possible d'utiliser la vapeur. On dispose d'un grand nombre de produits efficaces.

3.2. Les conteneurs

D'après (FEVERAU, 1976) ce sont des récipients qui contiennent la plante et, le substrat isolément du sol. Le choix des conteneurs doit se faire en fonction de l'espèce cultivée et de son système racinaire. En général les contenants sont en matière plastique chimiquement inerte, étanche et durable.

3.2.1. Caractéristiques idéales des conteneurs :

Selon (NICOLAS, HAMON, 1987) les caractéristiques idéales des conteneurs sont :

- ✓ 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.

3.2.2. Conditions de réussite des cultures en conteneurs :

Selon LEMAIRE (1989) 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.

3.3. La Solution nutritive

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 (LESAIN et COÏC, 1983). Il faut apporter tous les éléments dont la plante a besoin (macro et oligo-éléments), dans une formulation facilement et rapidement assimilable, avec les équilibres convenant aux stades de cultures (VITRE, 2003).

Elle est caractérisée par trois paramètres principaux : le potentiel hydrogène (pH), la concentration saline (CE) et l'équilibre ionique (JEANNEQUIN, 1992).

3.4. Composition de la solution nutritive

La composition des solutions nutritives doit satisfaire les besoins spécifique des plantes, Ceux-ci tant hydriques que minéraux. La préparation de la solution se fait en dissolvant des produits chimiques ou des engrais agricoles dans de l'eau désionisée (VILAIN, 1997).

Selon **(PIVOT et al, 2005)**. La solution nutritive contient des macroéléments (azote, phosphore, soufre, potassium, calcium, magnésium) et des oligo-éléments (fer, manganèse, zinc, bore, cuivre, molybdène). Le même auteur indique que :

- Il faut tenir compte de la composition minérale de l'eau du réseau, Une salinité élevée de l'eau provoque l'accumulation d'éléments favorisant les déséquilibres nutritifs.
- Pour composer une solution équilibrée, la quantité de chaque engrais doit être calculée.
- La concentration des solutions mères est en général 100 à 200 fois plus élevée que celle des solutions nutritives
- La règle commande de ne pas mélanger des éléments contenant des sulfates ou des phosphates avec du calcium pour éviter une précipitation.
- Les acides peuvent être dilués à part, afin de faciliter la gestion du pH.
- La mesure régulière du pH et de la conductivité électrique de la solution nutritive est obligatoire.

3.5. Gestion de la solution nutritive

3.5.1. Mesure du pH

Le pH est une abréviation de potentiel Hydrogène, permettant d'exprimer le degré d'acidité ou de basicité d'une solution aqueuse. Il dépend de la concentration en ions $[H_3O^+]$ de la solution : $pH = - \log [H_3O^+]$. Le pH est mesuré sur une échelle allant de 0 à 14. Les solutions acides ont un pH inférieur à 7, les solutions basiques ont un pH supérieur à 7 et les solutions neutres ont un pH égal à 7 (**DINON, GERSTMANS, 2008**).

Le pH est important en hydroponie vue l'absence de l'effet tampon que donne le complexe argilo-humique des sols classiques. C'est à cause du pH que les éléments nutritifs sont assimilables ou non par les plantes (**DUTHIL, 1973**).

Le pH de la solution nutritive doit être adapté à la nature des plantes neutrophiles ou acidophiles. Il dépend des sels chimiques utilisés pour la préparation (**VILAIN, 1997**).

D'après **MORARD (1995)**, on classe les végétaux en deux groupes :

- Les plantes "acidophiles" sont des espèces qui se développent de préférence en milieu acide (pH optimum compris entre 3,5 et 5).
- Les plantes "neutrophiles" ont une préférence pour une gamme de pH plus élevé voisin de la neutralité : entre 5,5 et 7,5

3.5.2. Mesure de 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. Normalement, on conduit l'irrigation fertilisante en adoptant une conductivité moyenne, propre à chaque espèce cultivée, et permettant une absorption équilibrée en eau et en éléments nutritifs au niveau des racines (**VITRE, 2003**).

La CE est mesurée à l'aide d'un conductimètre .La mesure de CE est simple et rapide, à effectuer chaque matin sur des échantillons de solution apportée et de solution drainée (**URBAN, 1997**).

Une augmentation de la conductivité électrique au-delà des seuils hauts, correspond à un apport excessif d'éléments minéraux, une absorption hydrique élevée ou un manque d'arrosage. Si ces situations perdurent, la qualité et le rendement des récoltes sont affectées (**LE QUILLEC, 2002**).

3.5.3. L'équilibre ionique

Les proportions entre les ions indiquent les quantités de chacun des ions par rapport au total des anions ou des cations. Les quantités sont exprimées en milliéquivalent par unité de volume de solution (**VILAIN, 1997**).

Les éléments les plus difficile à maîtriser sont ceux qui sont soit fortement absorbés, comme le calcium, le potassium ou l'azote. Soit susceptible de s'accumuler car présents dans l'eau d'irrigation en concentration supérieur à leur niveau maximal d'absorption par les plantes comme le sodium, les chlorures ou les sulfates (**LE QUILLEC, 2002**).

4. Les systèmes de production hors sol

4.1. Installation en circuit ouvert

Les installations à "solution perdue", pour lesquelles la solution nutritive en excédent est éliminée par drainage puis rejetée en dehors du système de culture. Ces systèmes font l'objet de travaux pour diminuer leur impact environnemental (**THIAULT, 2004**). Et Permettre l'apport d'une solution nutritive fraîche à chaque irrigation (**PIVOT et al, 2005**).

4.2. Installation en circuit fermé

La solution nutritive est récupérée, recyclée (désinfectée, analysée et reconstituée) et renvoyée aux plantes. Pour des raisons d'économie et de respect de l'environnement, ce système est de plus en plus adopté (**THIAULT, 2004**).

4.3. Système de culture sans substrat

4.3.1. Système N.F.T (Nutrient film technique)

La NFT (technique de culture sur film de solution nutritive circulante). Dans ce système la solution nutritive circule sous forme d'un film de très faible épaisseur. Elle fournit l'eau et les éléments nutritifs aux racines et leur assure une aération suffisante (**VILAIN, 1997**).

4.3.2. Aquiculture

Considérée comme simple, elle évite l'emploi d'un support et son recyclage. L'aquiculture reste de ce fait un système destiné à la recherche et peu développé dans la pratique (**THIAULT, 2004**).

4.3.3. Aéroponie

Les plantes en Aéroponie sont alimentées en eau et éléments minéraux par une solution nutritive pulvérisée en permanence sur les racines. Par rapport à la technique de NFT, le risque d'asphyxie est totalement éliminé. La moindre panne peut avoir pour conséquence la destruction des racines et la mort des plantes par dessèchement (**URBAN, 1997**).

4.4. Système de culture avec substrat

Dans ce système de production les substrats sont généralement placés dans des contenants rigides ou enfermés dans des sacs souples. La solution percole à travers le massif de substrat. La solution nutritive en excès est éliminée à travers des fentes de drainage ménagées à la base des bacs ou des sacs (**URBAN, 1997**).

5. Irrigation en hors sol

L'apport d'eau doit être adapté aux besoins des plantes pour éviter tout dessèchement ou asphyxie du milieu de culture. Pour bien conduire l'irrigation en culture hors sol, il faut ajuster fréquemment différents paramètres :

- le débit d'apport : souvent de 1 à 2l/h par goutteur
- la dose d'arrosage : c'est-à-dire la quantité d'eau apportée par plante à chaque irrigation. Fonction de la nature du substrat et du volume utilisé par plante
- la fréquence d'arrosage : qui doit permettre, en fonction des choix opérés sur les critères précédents, de satisfaire les besoins hydriques instantanés par plantes
- la période d'arrosage : qui est définie quotidiennement par l'heure d'arrosage, variable en particulier avec la saison.

CHAPITRE 4

LE POTENTIEL HYDROGENE

Chapitre 4 : le potentiel hydrogène

1. Notion de pH

En chimie, le pH ou potentiel hydrogène, est le logarithme de l'inverse de la concentration des ions H^+ dissociés dans une suspension aqueuse exprimée en molécule-gramme. l^{-1} ainsi, en solution diluée, $[H^+] = 10^{-pH}$, soit $pH = -\log [H^+]$ (SCHVARTZ, 2005).

Une solution est acide si son pH est inférieur à 7, une solution neutre a un pH de 7 et elle sera qualifiée de basique s'il est supérieur à cette valeur. Cependant, le pH d'un sol variera seulement entre 3,5 et 9 selon le type de sol (CREMER et al, 2008). Le pH varie sous l'influence de différents facteurs : les pluies, l'irrigation, l'utilisation d'engrais, les techniques d'entretien du sol, l'activité racinaire (HUNTZ et ROQUES-CARMES, 1980).

À pH 5, il y a 10 fois plus d'ions H^+ qu'à pH 6. De même, entre pH 6 et pH 4 le rapport de concentration est de 100 fois, et entre pH 6 et pH 3, il est de 1000 (HADE, 2003).

2. La mesure du pH

2.1. Le pH mètre

Le pH mètre est un appareil constitué d'une électrode de mesure et d'un boîtier électronique qui enregistre les données. L'enveloppe de l'électrode de mesure est composée d'un tube en verre qui contient deux électrodes. La différence de potentiel mesurée enregistrée par l'appareil et transformé en valeur du pH (REBSTEIN, SOERENSEN, 2007).

2.2. Indicateurs colorés acido-basiques

Ce sont des produits qui changent de couleur en fonction de la concentration des ions H^+ présents dans la solution. Ces colorants sont des composés organiques, et par simple observation visuelle, il est possible d'estimer le pH. Ces colorants appelés indicateurs s'utilisent sous forme de solutions, ou de papier pH (REBSTEIN, SOERENSEN, 2007).

3. Importance du pH

Selon MBEY (2007), Le pH est une notion chimique assez importante dans divers domaines de la science. Il est, en effet, clé dans l'obtention d'un comportement précis ou dans la survie des Organismes vivants tant sur le plan de leur fonctionnement interne que sur celui de leur survie dans un milieu de vie donné. Parmi ces domaines :

3.1. Importance en chimie

Le nombre de réactions chimiques qui ont lieu à des pH précis est incommensurable. En chimie analytique, la précipitation des solides tient compte du pH; en électrophorèse, le pH permet de modifier le type de charge des particules et donc d'isoler de façon spécifique certaines espèces. Le pH est aussi un facteur d'influence sur la vitesse de certaines réactions car il influence la structure des réactifs et donc leur réactivité relative.

3.2. Importance en biochimie

Les réactions biologiques sont nombreuses et très particulièrement dépendantes du pH. En biochimie spécifiquement, les enzymes, principaux catalyseurs, vivent dans des intervalles de pH précis.

Dans les plantes, l'énergie solaire par la modification du pH des chloroplastes, favorise la synthèse de l'ATP (Adénosine Triphosphate) nécessaire à l'activité de photosynthèse.

En considérant, le métabolisme cellulaire par exemple, on peut noter qu'au niveau Cytosolique, le pH est d'environ 7,4 et à l'intérieure, au niveau des lysosomes, le pH est inférieur à 4.

3.3. Importance en agriculture

Le pH du sol est un facteur important pour la survie de la plante qui y vit. Contrôler le pH du sol c'est contrôler l'état de santé de la plante qui y pousse. Lorsque le pH est adéquat, la plante peut se nourrir convenablement. Le pH idéal dépend de l'espèce végétale.

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

4. Analyses de pH

4.1. pH eau ou pH H_2O

Le pH eau est déterminé en mesurant le taux d'acidité dans un mélange sol / eau. Le pH-eau est une donnée intéressante du fait de sa facilité d'obtention, elle constitue une appréciation de l'état électronique du sol. De nombreuses références agronomiques sont basées sur sa valeur, parce qu'elle est utilisée comme indicateur d'une limite d'acidité à ne pas dépasser (VILAIN, 1997).

4.2. pH Kcl

Le pH-Kcl consiste à mesurer le pH après ajout de chlorure de potassium (Kcl) celui-ci va chasser les protons fixés sur le complexe argilo-humique et permettre de refléter également l'acidité potentielle ou d'échange du sol, fixée sur le complexe d'échange. Le pH Kcl sera ainsi toujours plus bas donc plus acide que le pH-eau (MORTREUX, 2008).

5. Généralités sur le pH des sols

Le pH des sols est lié à la nature de la roche mère, aux processus pédogénétique et à l'importance du lessivage. Les techniques culturales et les apports fertilisants entraînent également des variations du pH. Un sol cultivé est ainsi toujours moins acide qu'un sol inculte de même constitution.

Les pH des sols cultivé présentent des variations naturelle dans l'espace et dans le temps. La valeur du pH est minimale en juillet-août et maximale en novembre-décembre.

Les pH des sols varient de 3,5 à 9. Les sols humifères peuvent être très acides, les sols sodiques sont très alcalins, et le pH des sols labouré se situe entre 5 et 8 (VILAIN, 1997).

Tableau n°14 : Classification des sols selon le pH.

| Valeur du pH | Dénomination |
|--------------|----------------------|
| 4 à 4,5 | Très fortement acide |
| 4,5 à 5,5 | fortement acide |
| 5,5 à 6,5 | acide |
| 6,5 à 6,8 | Légèrement acide |
| 6,8 à 7,2 | Pratiquement neutre |
| 7,2 à 7,5 | Légèrement alcalin |
| 7,5 à 8,5 | Alcalin |
| 8,5 à 9 | Fortement alcalin |

(VILAIN, 1997)

6. Généralités sur Le pH des eaux

La molécule d'eau se dissocie faiblement pour donner un ion H^+ et un ion OH^- . On attribue à H^+ un caractère acide, et à OH^- un caractère basique.

Dans un plan d'eau, les variations du pH, ne se manifestent pas à l'observation, seule une mesure expérimentale permet de déterminer sa valeur.

Le pH de l'eau domestique doit se situer entre 6,5 et 8,5. Ce qui correspond à la zone de tolérance de la majorité des organismes vivants (HADE, 2003).

7. Le pH en hydroponie

Selon MORARD (1995) il est nécessaire d'abaisser le pH de la solution nutritive à une valeur proche de 5.8 pour favoriser l'activité du système racinaire ainsi que la solubilisation des minéraux, et éviter ainsi les risques des précipitations des phosphates et des sulfates avec le calcium et certain oligo-éléments.

La nutrition azotée des cultures légumières hors sol est basée en grande partie sur la forme nitrique. L'absorption du nitrate par la plante (NO_3^-) conduit à une élévation du pH dans le milieu racinaire (LE QUILLEC, 2002).

Tableau n°15 : Le pH de quelques substrats hydroponiques

| Substrat | CEC (eq. m⁻³) | pH |
|----------------------------------|---------------------------------|-----------|
| Tourbe brune | 200 à 400 | 5,0 |
| Ecorce de pin fraîche | 95 | 4 à 5,1 |
| Fibre de coco | 350 | 5,4 |
| Pouzzolane | 0 | 6,5 |
| Gravier (> 2mm) | 0 | 8,3 |
| Sable grossier (1 à 2 mm) | 0 | 7 à 7,5 |
| Perlite | 6 | 6,9 à 7,5 |

(URBAN, 1997)

BRUN (1989) indique que le contrôle du pH de la solution nutritive a pour objectifs de :

- ◆ Neutraliser l'alcalinité naturelle de l'eau.
- ◆ Eviter la précipitation des éléments minéraux notamment le phosphore et le calcium.
- ◆ Mener 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.

8. pH et végétation

Selon **DINON et GERSTMANS (2008)** les plantes peuvent être réparties en trois catégories en fonction du pH du milieu dans lequel elles poussent :

- **Les plantes acidophiles** : le pH du sol est compris entre 4,0 et 6,5. En effet, à ces valeurs de pH, certains champignons et certaines bactéries nuisibles à la croissance de ces plantes ne peuvent croître et les mauvaises herbes ne peuvent s'installer en milieu acide.
- **Les plantes neutrophiles** : le pH du sol est compris entre 6,5 et 7,5.
- **Les plantes basophiles** : le pH du sol est compris entre 7,5 et 9,0. Les plantes basophiles consomment une quantité importante d'éléments nutritifs comme le calcium et le magnésium qui sont fortement absorbés à des valeurs de pH élevées et supérieures à 7.

A l'exception des espèces acidophiles ou basophiles strictes qui exigent ou supportent les valeurs de pH extrêmes, l'optimum physiologique du pH pour la majorité des espèces cultivées se situe entre 5,5 et 6,5 (**BLANC, 1987**).

Certaines cultures, arbres fruitiers, vigne, diverses plantes ornementales, sont sensibles aux valeurs élevées du pH. Ces végétaux peuvent dans ces sols calcaires contracter une maladie physiologique, la chlorose ferrique, dû à une perturbation du métabolisme du fer (**MOREL, 1996**).

Tableau n°16 : Recommandations du pH pour les cultures annuelles.

| Plante | pH suggéré | Plante | pH suggéré |
|------------|------------|---------|------------|
| Aubergine | 5,5 – 6,5 | Laitue | 5,5 – 6,5 |
| Brocoli | 6,0 – 6,2 | Melon | 5,5 – 6,5 |
| Céleri | 5,5 – 6,5 | oignon | 5,5 – 6,5 |
| Chou-fleur | 6,0 – 6,2 | poivron | 6,0 – 6,5 |
| Concombre | 5,5 – 6,5 | Tomate | 6,5 – 6,8 |

(**VALLEE, BILODEAU, 1999**)

9. L'effet du pH sur le sol et les végétaux

9.1. Effet sur la disponibilité des nutriments

On considère en général qu'une acidité totale excédant 15% de la capacité d'échange cationique engendre des problèmes liés à la croissance des plantes, à leur nutrition et de l'insuffisante biodisponibilité des éléments nutritifs (**CALVET, 2003**).

Selon (**LOUE, 1986**) l'augmentation du pH réduit la solubilité et l'absorption des oligo-éléments tel que : aluminium, cobalt, cuivre, fer, zinc et plus particulièrement le manganèse et augmente celle de molybdène.

Le calcium, qui est lessivé ou absorbé par les plantes, est remplacé progressivement par des ions H⁺, ce qui diminue le pH. Lorsque le sol devient acide, l'alimentation minérale des plantes est perturbée, l'aluminium et le manganèse sont mis en solution et deviennent toxiques. Si le pH H₂O < 5 - 5,5, le phosphore est bloqué et la vie du sol est fortement ralentie ainsi que les processus dont elle est responsable (minéralisation, fixation de l'azote atmosphérique par les légumineuses...) (**CREMER et al, 2008**).

9.2. Effet sur le changement de couleur des plantes

Certaines molécules responsables de la coloration des plantes, des légumes ou des fruits (autres que la chlorophylle) sont sensibles à leur environnement chimique et notamment au pH du sol. C'est le cas des anthocyanes, famille de colorants naturels dont la couleur varie en fonction de l'acidité ou de la basicité d'une solution. Citons comme exemple les hortensias dont les fleurs sont bleues lorsque le pH est inférieur à 6, et roses lorsque le pH est compris entre 6 et 7 (**DINON et GERSTMANS 2008**).

9.3. Effet sur le développement des micro-organismes

L'activité biologique d'un sol varie avec le pH. La diversité, l'abondance et l'activité de la microflore (bactéries, champignons, mycorhizes...) sont en effet influencées par le pH. Un pH-eau de 7 est optimal pour l'activité des bactéries responsables des transformations de la matière organique. Une bonne activité biologique est importante pour le fonctionnement et la fertilité du sol (**MORTREUX, 2008**).

D'une façon générale, il semble qu'un pH acide favorise le développement des maladies fongiques du système racinaires (**JONES et al, 1993**).

Selon (**CALVET, 2003**) La microflore présente une très large dominance de tolérance à l'égard du pH. En général les champignons sont plus tolérants que les bactéries. Les micro-organismes sont classés en trois catégories :

- Acidophiles : **1 < pH > 6**
- Neutrophiles : **5 < pH > 9**
- Alcalophiles : **7 < pH > 11**

Tableau n°17 : Tolérance de quelques micro-organismes du sol au pH.

| Micro-organisme | pH compatible avec la croissance microbienne | | |
|----------------------------------|---|-------------------|-------------------|
| | <i>pH minimum</i> | <i>pH optimum</i> | <i>pH maximum</i> |
| Escherichia coli | 4,4 | 6 – 7 | 9 |
| Proteus vulgaris | 4,4 | 6 – 7 | 8,4 |
| Aerobacter aerogenes | 4,4 | 6,7 | 9 |
| Lactobacillus acidophilus | 4,4 – 6 | 5,8 – 6,6 | 6,8 |

(CALVET, 2003)

9.4. Effet sur le développement racinaire

Un pH acide est un facteur restreignant la progression des racines dans le sol. En sol minéral acide, la toxicité en aluminium peut-être un facteur qui limite la croissance racinaire. En présence d'un pH élevé, une conséquence connue est une toxicité liée à l'ammoniac laquelle se traduit par une inhibition du développement racinaire (LACROIX, 1998).

10. Correction et ajustement du pH

Il est nécessaire de corriger l'acidité du sol quand elle est trop grande en raison de ses conséquences néfastes sur les plantes (CALVET, 2003).

Les acides et les engrais acidifiants sont deux avenues possibles pour conserver le pH à un niveau acceptable pour la plante. Avec les acides, la réaction se produit dans l'eau d'irrigation. Avec les engrais azotés, cela implique la présence de racines de plantes car la réaction n'est pas chimique mais physiologique (LAMBERT, 2000).

10.1. Apports des acides

Selon (LAMBERT, 2000) Il existe plusieurs raisons qui justifient l'acidification de l'eau d'irrigation. La plus importante d'entre toutes est la disponibilité et la solubilité des éléments nutritifs. Le même auteur cite les différents acides important dans l'acidification :

10.1.1. L'acide nitrique (HNO₃)

C'est la Cadillac des acides bien qu'il soit très corrosif et extrêmement dangereux à manipuler. Très réactif, il ne forme aucun précipité et apporte de l'azote sous forme de nitrates

10.1.2. L'acide phosphorique (H₃PO₄)

Contrairement à l'acide nitrique qui acidifie de façon stable, l'acide phosphorique va réagir facilement à tout changement de pH en le modifiant comme un tampon. En plus d'être sécuritaire, il apporte du phosphore. Plus le pH augmente, plus il a tendance à former des précipités avec tout ce qui s'appelle calcium, magnésium et éléments mineurs non chélatés (ex: fer, manganèse, zinc). Plus il est en contact avec du calcium et du magnésium, notamment à des pH élevés, plus il formera des précipités de phosphates de calcium et de magnésium.

10.2. Apports de chaux (chaulage)

Les besoins en chaux pour réduire l'acidité augmentent donc rapidement en fonction du pH qui diminue. La quantité de chaux à apporter est déterminée selon le pH eau qui est la cible à atteindre pour une culture donnée et le pH tampon qui est une mesure de l'acidité de réserve du sol (**DUTHIL, 1973**).

Chauler signifie apporter un amendement minéral basique, calcique et/ou magnésien. Ces amendements sont des produits de différentes origines capables d'augmenter le pH d'un sol et d'en améliorer la structure. Ces produits contiennent généralement du calcium (Ca) et/ou du magnésium (Mg) en plus des bases (O²⁻, OH⁻, CO₃²⁻ suivant le produit utilisé) qui vont neutraliser l'acidité du sol et influencer le pH.

L'efficacité d'un amendement sur le pH n'est donc pas due à sa teneur en calcium ou en magnésium mais bien à sa teneur en base (**CREMER et al, 2008**).

CHAPITRE 5

MATERIEL ET METHODES

Chapitre 5 : Matériel et Méthodes

1. Objectif de l'expérimentation

Le pH constitue au niveau de l'assimilation des éléments minéraux un paramètre important. A cet effet, nous avons jugé nécessaire de le rétablir à une valeur optimale, afin que le végétale puisse assurer une nutrition sélective au niveau d'un milieu chargé en sels. Pour cela il a été convenu de corriger l'eau saline naturelle de *Gassi Touil* selon trois manières comparées à un témoin sous correction de pH. Il s'agit des procédés suivants :

- **T1** : eau saline naturelle Gassi Touil corrigée par l'acide nitrique (pH entre 5.5 à 5.8).
- **T2** : eau saline naturelle Gassi Touil corrigée par l'acide phosphorique, à un pH entre 5.5 à 5.8
- **T3** : eau saline naturelle Gassi Touil corrigée par les deux acides, à un pH entre 5.5 à 5.8
- **T4** : eau saline naturelle Gassi Touil à un pH = 7.8

2. Matériel végétal utilisé

L'étude présentée dans ce mémoire a été réalisée sur le haricot (*phaseolus vulgaris*) variété « Djadida». D'après l'institut technique des cultures maraichères et industrielles (I.T.C.M.I) de STAOUALI (2009), la variété Djadida est cultivée en Algérie et possède les caractéristiques suivantes :

- Type : variété naine.
- Précocité : moyennement précoce et productive.
- Bonne vigueur.
- Feuilles longues de couleur verte claire.
- Fleurs blanches.
- Gousses : effilées et rondes, de longueurs moyennes est de 16cm, 10mm de diamètre, couleur verte foncée sans fil.
- Graine : couleur noire.
- Nombre de grains par gousse : 7 grains.
- Forme de la graine est subcéniforme.
- PMG= 245,098 g.
- Résistance : BCMV, mildiou poudreux.

3. Conditions expérimentales

3.1. Lieu de l'expérience

La réalisation de notre expérimentation a été effectuée dans une serre en polycarbonate, au niveau de la station expérimentale du département d'agronomie de Blida. Elle est située dans la plaine de la Mitidja (sublittoral, étage bioclimatique subhumide) dont l'orientation est nord-sud. La surface de la serre est de 393.75m².

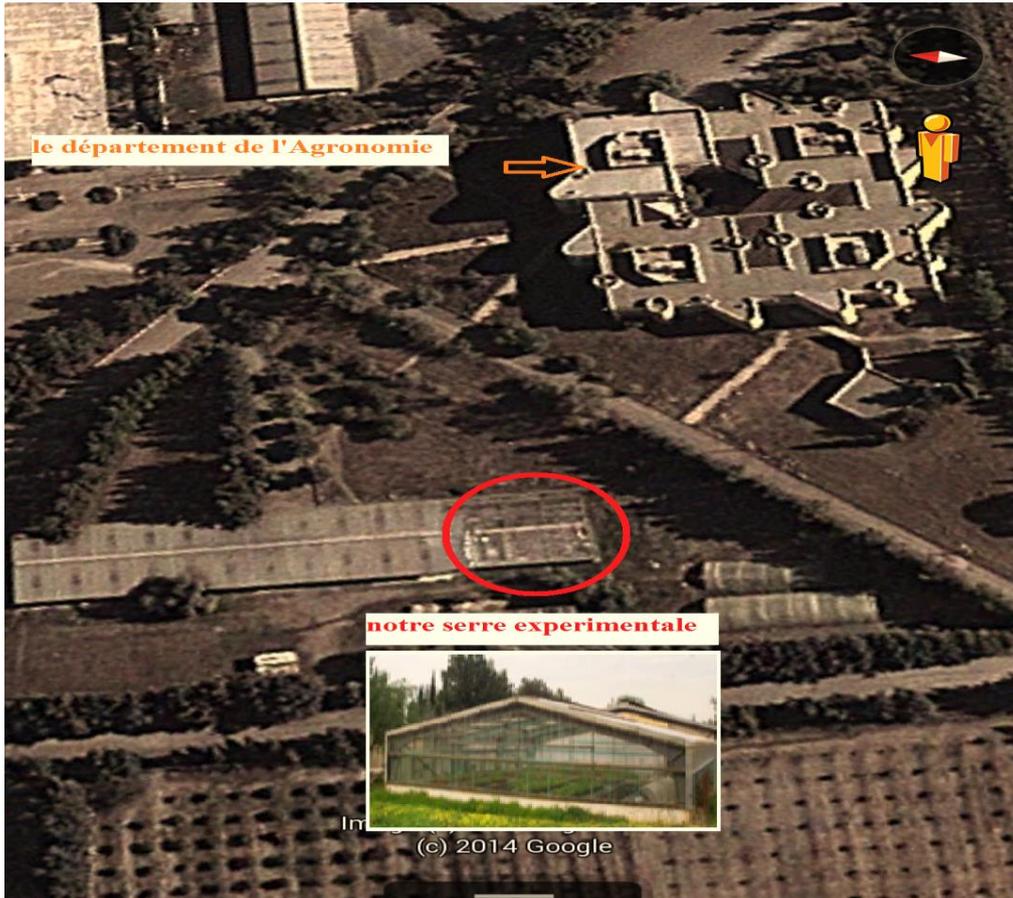


Figure n°4 : Localisation du lieu de l'expérience.

(Source : Google earth 2014)

Dans la serre, il ya des fenêtres placées latéralement de part et d'autres pour assurer l'aération. Des radiateurs à eau chaudes ont été installés au niveau de cette serre pour assurer le chauffage pendant les périodes hivernales.

Durant l'expérimentation, nous avons suivi l'évolution de la température à l'intérieur de la serre à l'aide d'un thermomètre. Les relevés ont été effectués à trois moments de la journée (9h, 12h, 15h). Le tableau n° indique la température de la serre par semaine.

Tableau n°18 : Moyennes des températures par semaines de la serre (C°).

| Périodes \ Horaires | Températures moyenne | | |
|--------------------------|----------------------|-----------------|-----------------|
| | 09 ^h | 12 ^h | 15 ^h |
| 25/11/2013 au 01/12/2013 | 8.85 | 15.28 | 17.57 |
| 02/12/2013 au 08/12/2013 | 11.57 | 20.42 | 21 |
| 09/12/2013 au 15/12/2013 | 10.42 | 23.42 | 22 |
| 16/12/2013 au 22/12/2013 | 12.14 | 21.42 | 21.57 |
| 23/12/2013 au 29/12/2013 | 13.14 | 20.28 | 18.57 |
| 30/12/2013 au 05/01/2014 | 12.57 | 20.71 | 23 |
| 06/01/2014 au 12/01/2014 | 17.57 | 28.42 | 29.14 |
| 13/01/2014 au 19/01/2014 | 17.42 | 27.42 | 26.57 |
| 20/01/2014 au 26/01/2014 | 17.28 | 22.28 | 21.85 |
| 27/01/2014 au 02/02/2014 | 17.42 | 24 | 24.14 |
| 03/02/2014 au 09/02/2014 | 21 | 30.28 | 27.85 |
| 10/02/2014 au 16/02/2014 | 21.14 | 29 | 29.28 |
| 17/02/2014 au 23/02/2014 | 21.28 | 27.14 | 27 |
| 24/02/2014 au 26/02/2014 | 17.33 | 24 | 26 |

Selon les données établies dans le tableau, nous constatons que les températures moyennes matinales étaient défavorables pour la germination et la croissance des jeunes plants du haricot, et ce suite aux données de (PERON, 2006) qui se situent entre 22-25° C. D'une manière générale, nous pouvons dire qu'à partir de 12h, les températures sont devenues plus favorables pour le développement de plantes testées, mis à part les périodes chaudes où on avait enregistré une augmentation de la température au-dessus de 35°C, mais sans dommage très remarquable.

3.2. Le substrat

Le substrat utilisé dans notre expérimentation est du gravier roulé d'oued 3 à 8mm de diamètre. Il provient de la carrière de Chebli situé à 25 Km d'Alger.

Le gravier est un substrat peu favorable pour le développement des micro-organismes. Les risques de contamination par les maladies ne sont pas totalement à exclure.

Donc, afin d'éliminer ces risques de contamination nous avons procédé à une désinfection du substrat qui a été réalisé comme suit:

- Lavage à l'eau courante afin de supprimer toutes les particules terreuses et les résidus organique.
- Remplissage des pots avec le substrat lavé.
- Désinfection du gravier avec une solution d'hypochlorite de sodium diluée (eau de javel) durant 24h.
- Rinçage abondant de tous les pots à l'eau courante, pendant 3 jours successifs pour éliminer toutes les traces de l'eau de javel fortement nocives pour les jeunes plantes du haricot.

3.3. Les conteneurs

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

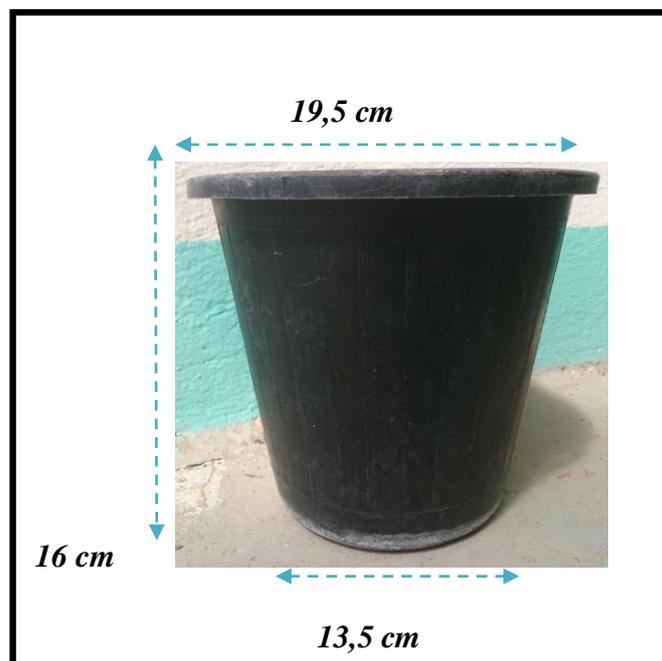


Figure n°5 : Aspect général des conteneurs.

4. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental adopté est un plan sans contrôle d'hétérogénéité (randomisation totale), dont l'affectation des traitements se fait d'une manière aléatoire selon la table des permutations des nombres aléatoires de 1 à 10.

Notre dispositif est constitué d'un seul facteur étudié : le pH (potentiel hydrogène), dont l'ensemble est composé de (4) traitements. Pour chaque traitement on a (12) répétitions, soit (48) observations au total

| | | | | |
|-------------|---|---|---|---|
| P 12 |  |  |  |  |
| P 11 |  |  |  |  |
| P 10 |  |  |  |  |
| P 09 |  |  |  |  |
| P 08 |  |  |  |  |
| P 07 |  |  |  |  |
| P 06 |  |  |  |  |
| P 05 |  |  |  |  |
| P 04 |  |  |  |  |
| P 03 |  |  |  |  |
| P 02 |  |  |  |  |
| P 01 |  |  |  |  |

Figure n°6 : Schéma descriptif du dispositif.

- **T** : traitements
- **P** : plantes ou observations



Figure n°7 : Vue générale du dispositif expérimental.

5. L'essai de Pré-germination

L'essai de germination permet de connaître la faculté germinative (ou taux de germination) d'un lot de semences. Cette opération a été effectuée le **19/11/2013**. Elle consiste à :

- Disposer deux couche de papier buvard au fond des boîtes de pétri.
- Humidifier avec une pissette.
- Placer les semences à germer, de manière homogène sur le papier buvard.
- Placer les boîtes dans une étuve à une température de 25C°.
- Hydrater le papier absorbant quand c'est nécessaire pour éviter le dessèchement, et ne pas l'immerger pour éviter la pourriture des graines.

Plus le nombre de semences germées est grand, plus le taux de germination sera élevé. Dans notre cas le taux était de 80%.



Figure n°8 : Essai de germination des graines de haricot.

6. Repiquage / semis

Le semis des graines germées a été réalisé le **25/11/2013**, soit 6 jours après pré-germination, à raison de 3 graines par pot.

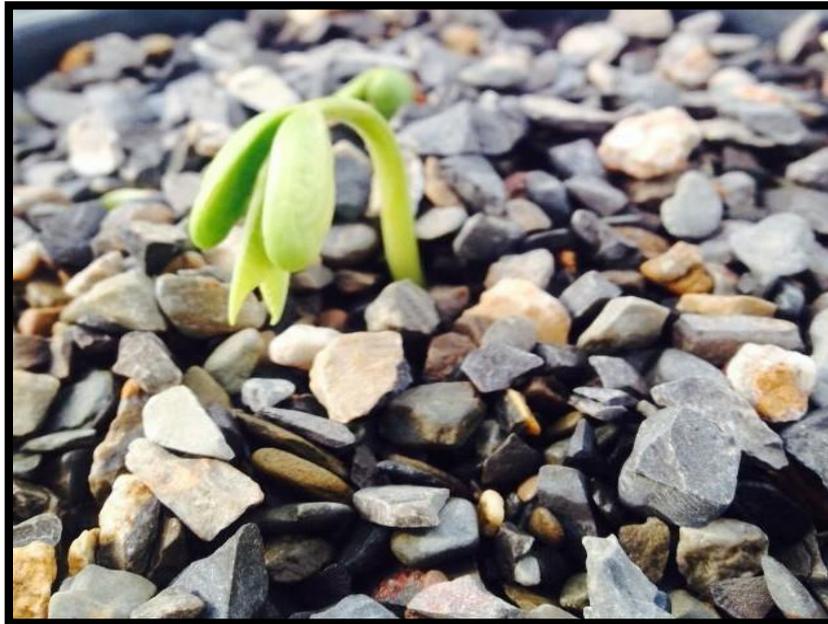


Figure n°9 : Aspect d'une graine germée après 5 jours de semis dans le substrat.



Figure n°10 : Aspect général des plantules de haricot repiquées.

Les jeunes germes (Figures n°9, n°10) ont été arrosés avec de l'eau tiède, pendant 24 jours jusqu'à développement des 2 feuilles cotylédonaire et ce pour favoriser une croissance homogène des plantules de haricot.



Figure n°11: Les feuilles cotylédonaire d'une plantule de haricot

Elles ont été ensuite irriguées dès le **19/12/2013** avec une solution nutritive standard (tableau n°21) composée de macros et de micros éléments, et ce dans le but d'avoir un matériel végétal vigoureux et homogène de départ pendant 24 jours.

Un démariage des plantules a été effectué le **09/01/2014**, pour laisser qu'une seule plantule vigoureuse par pot.

Le **12/01/2014** soit 48 jours après repiquage nous avons procédé à l'application des différents traitements testés.

7. Description des traitements testés

- **T1** : eau saline naturelle de pH = 7.8, corrigée par l'acide nitrique (HNO₃) → pH entre 5.5 à 5.8
- **T2** : eau saline naturelle de pH = 7.8, corrigée par l'acide phosphorique (H₃PO₄) → pH entre 5.5 à 5.8
- **T3** : eau saline naturelle de pH = 7.8, corrigée par les deux acides (HNO₃ et H₃PO₄) : pH 5.5 - 5.8.
- **T4** : eau saline naturelle → pH = 7.8

7.1. Composition de l'eau de Blida

Nous avons préparé toutes les solutions nutritives avec l'eau potable de Blida, qui a été choisie pour des raisons pratiques, à savoir sa disponibilité sur le site expérimental et compte tenu les besoins en eau croissants des plantes.

L'analyse de l'eau de Blida présentée dans le tableau n°19, révèle une quantité assez élevée en ions bicarbonates (4.08 meq /l) ; ce qui rend le milieu plus basique (pH = 7.8), nécessitant une correction de pH favorable pour l'espèce testée.

Tableau n°19 : Teneur des différents éléments minéraux contenus dans l'eau de Blida.

| Elément | K ⁺ | Ca ⁺⁺ | Na ⁺ | Mg ⁺⁺ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ⁻ | Cl ⁻ | HCO ₃ ⁻ | Total |
|-----------------|----------------|------------------|-----------------|------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------|-------------------------------|--------|
| Teneur en mg/l | 00 | 56 | 29.90 | 21.60 | 21.70 | 38.40 | 21 | 248.88 | 433.90 |
| Teneur en meq/l | 00 | 2.80 | 1.30 | 1.80 | 0.35 | 0.80 | 0.60 | 4.08 | 11.73 |

(SNOUSSI, 2001)

7.2. Correction de l'eau de Blida

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

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

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

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

$$Q = 4.08 \times 0.833 = 3.39 \text{ meq d'acide / l d'eau}$$

☞ Cette quantité d'acide sera partagée entre :

- **H₃PO₄ = 1.1 meq / l** (correspondant aux besoins des végétaux qui sont de 3.3 meq / l de phosphore) compte tenu que H₃PO₄ est trivalent.
- **HNO₃ = 3.3 – 1.1 = 2.2 meq / l** (besoin partiel en nitrates).

7.3. Elaboration de la solution nutritive standard

Tableau n° 20 : Eau de Blida à pH = 7,8.

Tableau n° 21 : Eau de Blida corrigé pH= 5.6.

| Eau de Blida | NO ₃ ⁻ | PO ₄ ⁻³ | SO ₄ ⁻² | Cl ⁻ | Total |
|---------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|-------|
| | 0.35 | 00 | 0.80 | 0.60 | |
| K ⁺ 00 | | | | | 00 |
| Na ⁺ 1.3 | | | | | 1.30 |
| Ca ⁺⁺ 2.8 | | | | | 2.80 |
| Mg ⁺⁺ 1.8 | | | | | 1.80 |
| NH ₄ ⁺ 0 | | | | | 00 |
| HCO ₃ ⁻ 4.08 | | | | | 4.08 |
| Total | 0.35 | 00 | 0.80 | 0.60 | |

| Eau de Blida | NO ₃ ⁻ | PO ₄ ⁻³ | SO ₄ ⁻² | Cl ⁻ | Total |
|---------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|-------|
| | 0.35 | 00 | 0.80 | 0.60 | |
| K ⁺ 00 | 3.55 | | 0.70 | | 4.25 |
| Na ⁺ 1.3 | | | | | 1.30 |
| Ca ⁺⁺ 2.8 | 2.30 | | | | 5.1 |
| Mg ⁺⁺ 1.8 | | | | | 1.80 |
| NH ₄ ⁺ 0 | 1.80 | | | | 1.80 |
| HCO ₃ ⁻ 4.08 | 2.20 | 1.10 | | | 8.10 |
| | 0.35 | 3.30 | 1.50 | 0.60 | |

7.3.1. Quantités et ordre de dissolution des éléments

| | | |
|--|---|----------------------|
| ★ $\text{HNO}_3^- = 2.20 \times 63 = 138.6 \text{ mg/l}$ | } | Total = 1515.57 mg/l |
| ★ $\text{H}_3\text{PO}_4 = 1.10 \times 98 = 107.8 \text{ mg/l}$ | | |
| ★ $\text{Ca}(\text{NO}_3) = 2.30 \times 118 = 271.4 \text{ mg/l}$ | | |
| ★ $\text{KNO}_3 = 3.55 \times 101.10 = 358.90 \text{ mg/l}$ | | |
| ★ $\text{NH}_4\text{NO}_3 = 1.80 \times 80.04 = 144.07 \text{ mg/l}$ | | |
| ★ $\text{K}_2\text{SO}_4 = 0.7 \times 87 = 60.9 \text{ mg/l}$ | | |
| ★ Teneurs de l'eau de Blida = 433.9 mg/l | | |

En dernier lieu, nous avons ajouté les solutions d'oligoéléments des deux solutions complémentaires d'oligoéléments préconisées par **LESAINTE., COIC (1983)**

- **Les oligoéléments** : sont apportées à raison de **0.1 ml/l** soit **4ml / 40 litres**
- **Le fer** : apporté à raison de **5ml / l** soit **200 ml / 40 litres.**

7.4. Reconstitution de l'eau de Gassi Touil (T4) à partir de l'eau de Blida

L'eau saline d'origine de Gassi Touil n'était pas disponible en volume suffisant pour être expérimentée à Blida. Il a fallu la reconstituer à partir de l'eau de Blida. Donc Pour la préparation de la solution saline naturelle T4, il suffit de connaître la composition de l'eau de Blida et celle de l'eau saline naturelle de Gassi Touil et de compléter la différence par des apports de sels minéraux.

Tableau n° 22 : Eau de Gassi Touil naturelle reconstitué avec l'eau de Blida à un pH= 7.8

| Eau de Blida | NO_3^- 0.35 | PO_4^{-3} 00 | SO_4^{-2} 0.80 | Cl^- 0.60 | Total |
|--------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------|-------|
| K^+ 00 | | | 1.95 | | 1.95 |
| Na^+ 1.3 | | | 12.42 | 16.73 | 30.45 |
| Ca^{++} 2.8 | | | | 14.10 | 16.90 |
| Mg^{++} 1.8 | | | | 5.45 | 7.25 |
| NH_4^+ 0 | | | | | 00 |
| HCO_3^- 4.08 | | | | | 00 |
| Total | 0.35 | | 14.87 | 36.88 | |

7.4.1. Quantités et ordre de dissolution des sels

- ★ $K_2SO_4 = 1.95 \times 87 = 169.65 \text{ mg/l}$
- ★ $Na_2SO_4 = 12.42 \times 71.02 = 888.06 \text{ mg/l}$
- ★ $NaCl = 16.73 \times 58.45 = 977.86 \text{ mg/l}$
- ★ $CaCl_2 = 14.10 \times 73.51 = 1036.49 \text{ mg/l}$
- ★ $MgCl_2 = 5.45 \times 101.65 = 553.99 \text{ mg/l}$
- ★ Teneurs de l'eau de Blida = 433.9 mg/l

Total = 4039.95 mg/l

soit

= 4.03 g/l

7.5. Elaboration de traitement T1

Le traitement T1 est une solution saline naturelle de Gassi Touil, reconstitué à partir de l'eau de Blida et corrigée par l'acide nitrique (HNO_3). On cherche à baisser le pH de 7.8 à des valeurs entre 5.5 – 5.8.

Tableau n° 23 : Elaboration du traitement T1 corrigé par l'acide nitrique à un pH = 5.5 – 5.8

| Eau de Blida | NO_3^- | PO_4^{-3} | SO_4^{-2} | Cl^- | Total |
|--------------|-------------|-------------|-------------|--------|-------|
| 00 | 0.35 | 00 | 0.80 | 0.60 | |
| K^+ | | | 1.95 | | 1.95 |
| 00 | | | | | |
| Na^+ | | | 12.42 | 16.73 | 30.45 |
| 1.3 | | | | | |
| Ca^{++} | | | | 14.10 | 16.90 |
| 2.8 | | | | | |
| Mg^{++} | | | | 5.45 | 7.25 |
| 1.8 | | | | | |
| NH_4^+ | | | | | 00 |
| 0 | | | | | |
| HCO_3^- | 3.30 | | | | 3.30 |
| 4.08 | | | | | |
| Total | 3.65 | | 14.87 | 36.88 | |

7.5.1. Volume d'acide apporté

Le volume d'acide nitrique apporté lors de la correction du pH de la solution T1 est calculé selon la formule suivante :

$$N = d \times \% \times 0.1587$$

- N : normalité
- d : la densité
- % : pourcentage de dilution
- 0.1587 : constant

- Calculer la normalité :

$$\star N = 1.40 \times 20 \% \times 0.1587 \quad \text{—————} \quad N = 4.44 \text{ meq}$$

- Quantité d'acide HNO₃ à apporté dans 1l de solution

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ ml d'acide} \rightarrow 4.44 \text{ meq} \\ x \text{ ml} \rightarrow 3.30 \text{ meq} \end{array} \right\} \quad x = 0.74 \text{ ml/l}$$

- Ajustement d'acide dans 40l de solution

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ l de solution} \rightarrow 0.74 \text{ ml d'acide} \\ 40 \text{ l de solution} \rightarrow x \end{array} \right\} \quad x = 29.6 \text{ ml /40l}$$

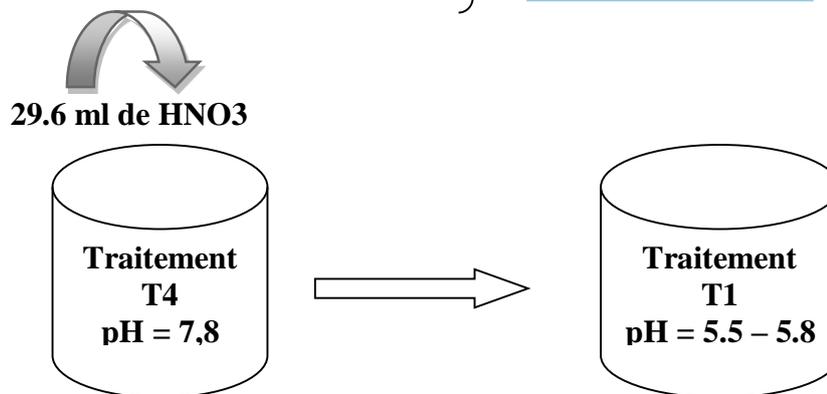


Figure n° 12 : Elaboration de traitement T1

7.5.2. Quantité et ordre de dissolution des sels

- ★ HNO₃ = 3,30 x 63 = 207,9 mg/l
- ★ K₂SO₄ = 1.95 x 87 = 169.65 mg/l
- ★ Na₂SO₄ = 12.42 x 71.02 = 888.06 mg/l
- ★ NaCl = 16.73 x 58.45 = 977.86 mg/l
- ★ Cacl₂ = 14.10 x 73.51 = 1036.49 mg/l
- ★ MgCl₂ = 5.45 x 101.65 = 553.99 mg/l
- Teneurs de l'eau de Blida = 433.9 mg/l

Total = 4247,85 mg/l

soit

= 4,24 g/l

7.6. Elaboration de traitement T2

Le traitement T2 c'est la correction de l'eau de Gassi Touil qui a été reconstitué avec l'eau de Blida. La correction a été effectuée avec l'acide phosphorique (H₃PO₄). L'apport de cet acide va diminuer le pH d'une valeur de 7,8 à 5.5- 5.8

Tableau n° 24 : Elaboration du traitement T2 corrigé par l'acide phosphorique
à un pH = 5.5 – 5.8

| Eau de Blida | NO ₃ ⁻ | PO ₄ ⁻³ | SO ₄ ⁻² | Cl ⁻ | Total |
|---------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|-------|
| K ⁺ 00 | | | 1.95 | | 1.95 |
| Na ⁺ 1.3 | | | 12.42 | 16.73 | 30.45 |
| Ca ⁺⁺ 2.8 | | | | 14.10 | 16.90 |
| Mg ⁺⁺ 1.8 | | | | 5.45 | 7.25 |
| NH ₄ ⁺ 0 | | | | | 00 |
| HCO ₃ ⁻ 4.08 | | 3.30 | | | 3.30 |
| Total | 0.35 | 3.30 | 14.87 | 36.88 | |

7.6.1. Volume d'acide apporté

Le volume d'acide phosphorique apporté lors de la correction du pH de la solution T2 est calculé selon la formule suivante :

$$N = d \times \% \times 0.1020$$

- N : normalité
- d : la densité
- % : pourcentage de dilution
- 0.1020 : constant

- Calculer la normalité :

$$\star N = 1.7 \times 20 \% \times 0.1020 \longrightarrow N = 3.47 \text{ meq}$$

- Quantité d'acide HNO₃ à apporté dans 1l de solution

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ ml d'acide} \rightarrow 3.47 \text{ meq} \\ x \text{ ml} \rightarrow 3.30 \text{ meq} \end{array} \right\} x = 0.95 \text{ ml/l}$$

- Ajustement d'acide dans 40L de solution

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ l de solution} \rightarrow 0.95 \text{ ml d'acide} \\ 40 \text{ l de solution} \rightarrow x \end{array} \right\} x = 38 \text{ ml /40l}$$

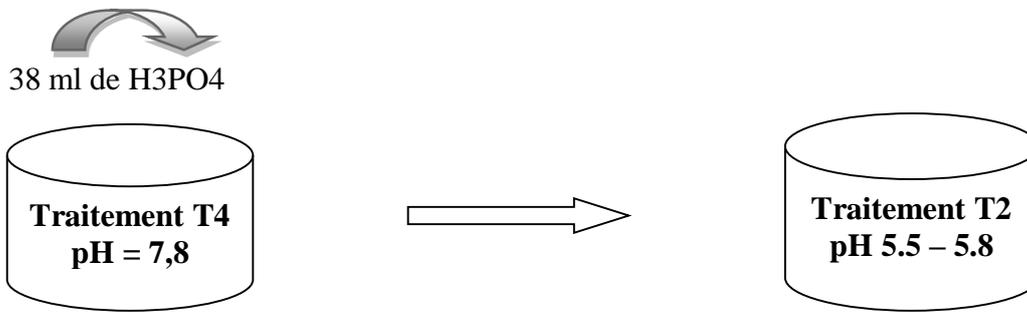


Figure n° 13 : Elaboration de traitement T2

7.6.2. Quantités et ordre de dissolution des sels

- ★ H₃PO₄ = 3,30 x 98 = 323,4 mg/l
 - ★ K₂SO₄ = 1.95 x 87 = 169.65 mg/l
 - ★ Na₂SO₄ = 12.42 x 71.02 = 888.06 mg/l
 - ★ NaCl = 16.73 x 58.45 = 977.86 mg/l
 - ★ CaCl₂ = 14.10 x 73.51 = 1036.49 mg/l
 - ★ MgCl₂ = 5.45 x 101.65 = 553.99 mg/l
- Teneurs de l'eau de Blida = 433.9 mg/l

Total = 4383,35 mg/l

soit

= 4,38g/l

7.7. Elaboration de traitement T3

Le traitement T3 est élaboré à partir de l'eau naturelle de Gassi Touil, déjà reconstitué avec l'eau de Blida. Cette solution renferme tous les éléments nécessaires au développement des plantes parce qu'elle est corrigée par les deux acides (nitrique, et phosphorique). Comme il a été déjà mentionné, ces deux acides permettent l'abaissement du pH au 5.5 – 5.8 et également l'apport des éléments utiles à la plante tels que les nitrates et les phosphates.

Tableau n° 25: Elaboration du traitement T3 corrigé par deux

| Eau de Blida | NO ₃ ⁻ | PO ₄ ⁻³ | SO ₄ ⁻² | Cl ⁻ | Total |
|---------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|-------|
| 0.35 | 0.35 | 0.00 | 0.80 | 0.60 | |
| K ⁺ 0.00 | | | 1.95 | | 1.95 |
| Na ⁺ 1.3 | | | 12.42 | 16.73 | 30.45 |
| Ca ⁺⁺ 2.8 | | | | 14.10 | 16.90 |
| Mg ⁺⁺ 1.8 | | | | 5.45 | 7.25 |
| NH ₄ ⁺ 0 | | | | | 0.00 |
| HCO ₃ ⁻ 4.08 | 2.20 | 1.10 | | | 3.30 |
| Total | 2.55 | 1.10 | 14.87 | 36.88 | |

7.7.1. Quantité d'acide apporté

A) **Acide nitrique** : $1 \text{ ml d'acide} \rightarrow 4.44 \text{ meq}$
 $x \text{ ml} \rightarrow 2.2 \text{ meq}$ } **x = 0.5 ml/l**

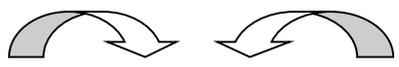
- Ajustement d'acide dans 40 l de solution

1l de solution $\rightarrow 0.5 \text{ ml d'acide}$
 40l de solution $\rightarrow x \text{ ml}$ } **x = 20 ml**

B) **Acide phosphorique** : $1 \text{ ml d'acide} \rightarrow 3.74 \text{ meq}$
 $X \text{ ml} \rightarrow 1.1 \text{ meq}$ } **x = 0.3 ml/l**

- Ajustement d'acide dans 40l de solution

1l de solution $\rightarrow 0.3 \text{ ml d'acide}$
 40l de solution $\rightarrow x \text{ ml}$ } **x = 12 ml**


 12 ml de H₃PO₄ 20ml de HNO₃

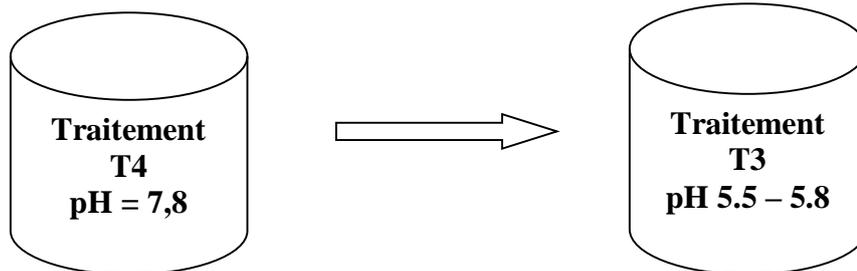


Figure n° 14 : Elaboration du traitement T3

7.7.2. Quantité et ordre de dissolution des sels

- ★ $\text{HNO}_3 = 2,20 \times 63 = 138.6 \text{ mg/l}$
- ★ $\text{H}_3\text{PO}_4 = 1,10 \times 98 = 107.8 \text{ mg/l}$
- ★ $\text{K}_2\text{SO}_4 = 1.95 \times 87 = 169.65 \text{ mg/l}$
- ★ $\text{Na}_2\text{SO}_4 = 12.42 \times 71.02 = 888.06 \text{ mg/l}$
- ★ $\text{NaCl} = 16.73 \times 58.45 = 977.86 \text{ mg/l}$
- ★ $\text{CaCl}_2 = 14.10 \times 73.51 = 1036.49 \text{ mg/l}$
- ★ $\text{MgCl}_2 = 5.45 \times 101.65 = 553.99 \text{ mg/l}$
- Teneurs de l'eau de Blida = 433.9 mg

Total = 4286,35 mg/l
 soit
= 4,28 g/l

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

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

Le contrôle du pH et de la conductivité électrique est obligatoire après chaque préparation.



Figure n°15 : Mesure du pH avec le pH mètre.

8. Soins culturaux

8.1. Irrigation

Le système d'irrigation adopté est celui de la percolation discontinue à circuit ouvert (drainage perdu), qui permet l'évacuation de l'eau en excès et aussi l'aération racinaire au niveau des substrats.

Les besoins en eau sont importants en cours de la culture. Les arrosages sont aussi importants à partir de la floraison et pendant la formation des gousses, pour assurer le développement et la qualité des gousses.

8.2. Doses et fréquence d'irrigation

Il est à noter qu'en culture hydroponique, il est important de connaître les besoins journaliers en eau des cultures, afin de pouvoir rationaliser les besoins selon les stades de développement du végétal. Les besoins hydriques sont en fonction du stade physiologique et de la température de la serre.

Tableau n°26 : Doses et fréquences des irrigations de la culture.

| Dates | Stade végétative | dose d'irrigation | fréquence d'irrigation |
|-----------------------------|---|--------------------------|-------------------------------|
| 25.11.2013 au 18.12.213 | Germination au stade trois feuilles | 20 ml | 2 fois / jours |
| 19.12.2013 au 12.01.2014 | Stade trois feuilles au début floraison | 30 ml | 3 fois / jours |
| 12.01.2014 au 30.01.2014 | Début floraison à la formation des gousses | 60 ml | 4 fois / jours |
| 31.01.2014 au 25.02.2014 | Formation des gousses à la récolte | 100 ml | 4 fois / jours |

8.3. Les traitements phytosanitaires

La protection phytosanitaire a été assurée par un insecticide et un acaricide « **Diafenthiuron** » une fois par semaine durant tout le cycle de développement de la culture à raison d'une dose de **2ml /l**.

8.4. Palissage

Le type de palissage adapté pour notre culture est le palissage sur ficelle. La variété utilisée dans notre expérimentation est une variété naine mais à un moment donné, la plante a commencé de se recourber, ce qui nous a permis de placer des ficelles, permettant de maintenir les plantes dressées. La tige principale est enroulée régulièrement autour de la ficelle au fur et à mesure de sa croissance et de son développement végétatif.

8.5. Lessivage

L'opération consiste à éliminer les sels non absorbés par les plantes par un arrosage avec l'eau de robinet, une fois par semaine afin d'éviter l'accumulation de sels au fond des pots, et maintenir une concentration plus au moins

9. Paramètres étudiés

Durant notre expérimentation on a effectué 2 récoltes, à 82 et 93 jours après semis. Les gousses récoltées sont de type haricot mangetout.

- **Récolte 1** : le 15/02/2013 soit 82 jours après semis.
- **Récolte 2** : le 26/02/2013 soit 93 jours après semis

Afin d'évaluer le comportement et l'évolution de notre espèce, différents paramètres ont été mesurés.

9.1. Paramètres de production

9.1.1. Taux d'avortement des fleurs

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

9.1.2. Nombre de gousses

Un comptage de nombre de gousses par plant était nécessaire pour nos calculs de rendements.

9.1.3. Poids frais moyen des gousses

On a pesé tous les gousses récoltés par plante et calculer le poids moyen des gousses.

9.2. Paramètres de croissance

9.2.1. La hauteur finale des plantes

Nous avons mesuré en cm la longueur située entre le collet et le bourgeon terminal des plantes à l'aide d'une règle graduée, et ce sur la totalité des plantes. Ce paramètre a été mesuré au moment de la coupe finale.

9.2.2. La vitesse de croissance

Afin de déterminer la vitesse de croissance des plantes, la mesure de la taille de cette dernière a été effectuée périodiquement. Ce paramètre est exprimé en cm / jour.

9.2.3. Le diamètre des tiges

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

9.2.4. Le nombre des feuilles

Le principe consiste à faire un comptage des feuilles pour chaque plant chaque semaine, ainsi au moment de la coupe finale.

9.2.5. Biomasse fraîche produite

Au moment de la coupe, nous avons pesé les différents organes de la plante (feuilles, tiges, racines) en gramme à l'aide d'une balance de précision. Les pesées ont porté sur :

- ❖ poids frais total : tige + feuilles de chaque plante
- ❖ poids frais des feuilles de chaque plante
- ❖ poids frais des tiges de chaque plante
- ❖ poids frais des racines de chaque plante
- ❖ poids frais de 3 échantillons moyens des feuilles
- ❖ poids frais de 3 échantillons moyens des tiges
- ❖ poids frais de 3 échantillons moyens des racines

9.2.6. Biomasse sèche produite

La matière sèche a été mesurée après le séchage de la matière fraîche dans une étuve à 70°C jusqu'à stabilité du poids sec et ce pour avoir le :

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

9.2.7. Le taux de la matière sèche

Le taux de matière sèche est exprimé en pourcentage [%] et qui est calculé selon la formule suivante :

$$\%MS = (\text{poids sec} / \text{poids frais}) \times 100$$

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

9.3. Dosage de paramètres biochimiques

9.3.1. Dosage de la chlorophylle

La chlorophylle A, B, et C a été dosée en fin de cycle végétatif, selon la méthode de FRANCIS et al (1970). Elle est réalisée sur les feuilles, et on utilisant 3 répétitions pour chaque traitement. La méthode d'extraction consiste à :

- Prendre (**0.1g**) de feuilles et les découpé en petits morceau.
- Macérer ces feuilles dans (**10 ml**) d'un Mélange de l'acétone et de l'éthanol (**75 % et 25%**) de volume et de (**80% et 40%**) de concentration.
- Le contenu est mis dans des tubes à essai noirs pour éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière.
- Après 48h, On procède à la lecture des densités optiques des solutions avec un spectrophotomètre, à trois longueurs d'ondes : (**470, 645 et 663 nm**). après étalonnage de l'appareil avec la solution témoin d'acétone à 80% et d'éthanol à 40%.

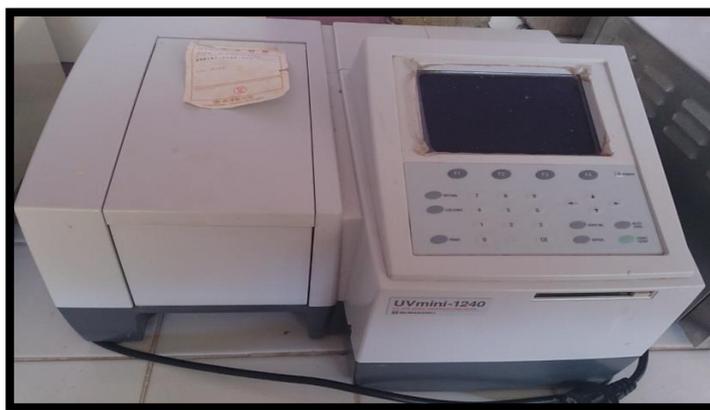


Figure n° 16: Spectrophotomètre.

- La détermination des teneurs réalisée selon les formules :

$$\text{Chl A } (\mu\text{g/g MF}) = 12.7 \times \text{DO}_{(663)} - 2.59 \times \text{DO}_{(645)} \times V / (1000 \times W)$$

$$\text{Chl B } (\mu\text{g/g MF}) = 22.9 \times \text{DO}_{(645)} - 4.68 \times \text{DO}_{(663)} \times V / (1000 \times W)$$

V : volume de la solution extraite

W : le poids de matière fraîche de l'échantillon.

9.3.2. Dosage de la proline

La proline est dosée selon la technique utilisée par monneveux et nemmar (1986). Le principe est la quantification de la réaction proline-ninhydrine par mesure spectrophotométrique. La proline se couple avec la ninhydrine en formant un complexe coloré. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de proline dans l'échantillon. L'extraction de la proline consiste à :

- Mettre (**0.1g**) de matière fraîche végétale dans des tubes à essai.
- Ajouter (**2 ml**) de Méthanol à **40 %** dans chaque tube (ne pas les laisser ouvertes pour éviter la volatilisation de l'alcool)
- Mettre les tubes à ébullition dans le bain-marie à **85 °C** pendant 60 min.
- Après refroidissement, prélever (**1 ml**) de la solution de chaque tube et la mettre dans des nouveaux tubes.
- Ajouter (**1 ml**) d'acide acétique + **25 mg** de ninhydrine + (**1 ml**) d'un mélange contenant : [**120 ml** d'eau distillée, **300 ml** d'acide acétique, **80 ml** d'acide ortho-phosphorique].

- Porter les tubes à essai à ébullition au bain Marie pendant 30 min, et laisser refroidir.
- Ajouter (**5 ml**) de toluène.
- Passer au vortex pour mélanger les solutions
- Après l'apparition de deux phases, prélever la phase supérieure
- Ajouter **5 mg** du sulfate de sodium
- Enfin, laisser reposer 48h.
- On procède à la lecture de la densité optique des échantillons avec le spectrophotomètre à la longueur d'onde de 528 nm.

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

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

9.3.3. Dosage de sucres solubles

Nous avons procédé au dosage des sucres solubles dans les feuilles des plantes selon la méthode de Dubois, (1956). Le mode opératoire de cette extraction consiste à :

- Mettre (**0.1 g**) de matière fraîche dans des tubes à essai.
- Additionner (**2ml**) d'éthanol à une concentration de 80% dans chaque tube.
- Laisser les tubes en repos pendant 48h.

Déposer les tubes à essai dans un bain marie à 70°C, jusqu'à l'évaporation de l'alcool



Figure n° 17 : Bain marie à 70°C

- Après refroidissement, Ajouter (**20 ml**) d'eau distillée
- Préparation de nouveaux tubes (le même nombre des échantillons), et un tube témoin (pour l'étalonnage de spectrophotomètre)
- Prendre (**1 ml**) de la solution

- Ajouter (**1 ml**) de phénol à 5 % dans tous les tubes et bien agiter.
- Ajouté (**5 ml**) d'acide sulfurique concentré.
- Passer au vortex (agitation)
- Laisser au repos pendant 10mn
- Passer au bain Marie à 30°C pendant 15mn.
- Procéder à la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 490 nm



Figure n°18 : Agitation avec le vortex.

- La détermination de la teneur des sucres solubles est réalisée selon la formule:

$$\text{Sucres solubles (} \mu\text{/}\mu\text{g MF) = DO}_{490} \times 1.657$$

9.4. Dosage des paramètres technologique :

9.4.1. Dosage des 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.



Figure n°19 : Réfractomètre.

9.4.2. Dosage de vitamine C

La teneur en vitamine « C » dans les fruits des haricots est calculée selon la méthode de (HELA et al. 2008) in (ABBAD, 2011) comme suite :

- Réduire Une quantité de **10g** de fruits frais en pate.
- Ajouté (**50ml**) d'acide chlorhydrique (Hcl 2)
- laisser en repos pendant 10 minutes.
- Faire filtrer le mélange dans un bicher de 100 ml



Figure n°20 : Dosage de vitamine C.

La détermination de la vitamine « c » passe par deux processus :

Processus N1 :

- Prélever (**10ml**) d'extrais filtrée et mettre dans un erlenmayer
- Ajouter (**30ml**) d'eau distillée à l'extrait prélevé
- Ajouter aussi (**1ml**) de solution d'iodure de potassium (KI 1%)

- En fin on additionne (**2ml**) de solution d'amidon 5%.
- La solution préparée est titrée à l'iodate de potassium (KINO3 N/1000) jusqu'à l'apparition d'une coloration bleu
- Enfin, Enregistrer le volume en ml d'iodure de potassium (KI) utilisé pour le titrage.

Processus N2 :

- On réalise un témoin dans les mêmes conditions, les (**10 ml**) d'extraits sont remplacées Par une quantité égale d'acide chlorhydrique 2%

- **Calcul :**

$$x = \frac{N.V1-0.88}{G.V2} \times 100 \text{ Où}$$

x : mg d'acide ascorbique /g de produit à analyser
N : nombre d'iodate de potassium résultant de la différence entre le 1^{er} titrage et le titrage témoin
V1 : volume total d'extrait obtenu pour l'analyse
V2 : volume initial d'extrait soumis à l'analyse
G : qualité de produit analysé

CHAPITRE 6

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Chapitre 6 : Résultats et discussions

1. Paramètres de croissance

1.1. Aspect général des plantes

Visuellement nous pouvons remarquer l'effet dépressif des sels sur les plantes du haricot, variété « Djadida ». De ce fait les traitements testés ont eu un effet significatif sur le développement de la plante testée.

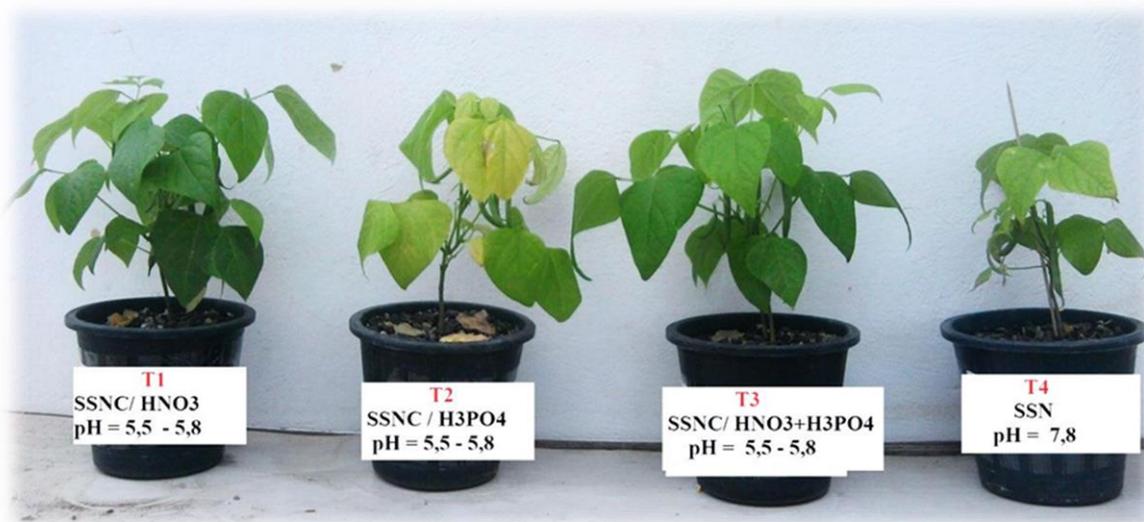


Figure n°21 : Aspect général des plantes alimentées par les quatre traitements testés

L'observation globale sur l'ensemble des plantes nous a permis de distinguer que :

- Les plantes irriguées par la solution saline naturelle (T4) sont chétives, de couleur verte jaunâtre avec un nombre réduit de feuilles, de fleurs et des gousses de petite taille. Contrairement, les plantes alimentées par les solutions saline corrigée (T1, T3) sont plus vigoureuses, avec une densité de feuillage élevé et de couleur verte foncé, un nombre de fleurs important, aussi les fruits sont plus matures.
- Nous remarquons aussi une similitude entre les plants du traitement salin naturel (T4) et le du traitement (T2) vis-à-vis de la densité et la couleur des feuilles (**Figure n°22**).
- Concernant les plantes issues des traitements (T1, T3) qui représentent également une allure assez proche, néanmoins les plantes du traitement (T1) ont donné l'aspect le plus développé (**Figure n°23**).



Figure n°22 : Aspect général des plantes irriguées par le traitement salin naturel (T4) comparées au traitement corrigé (T2).

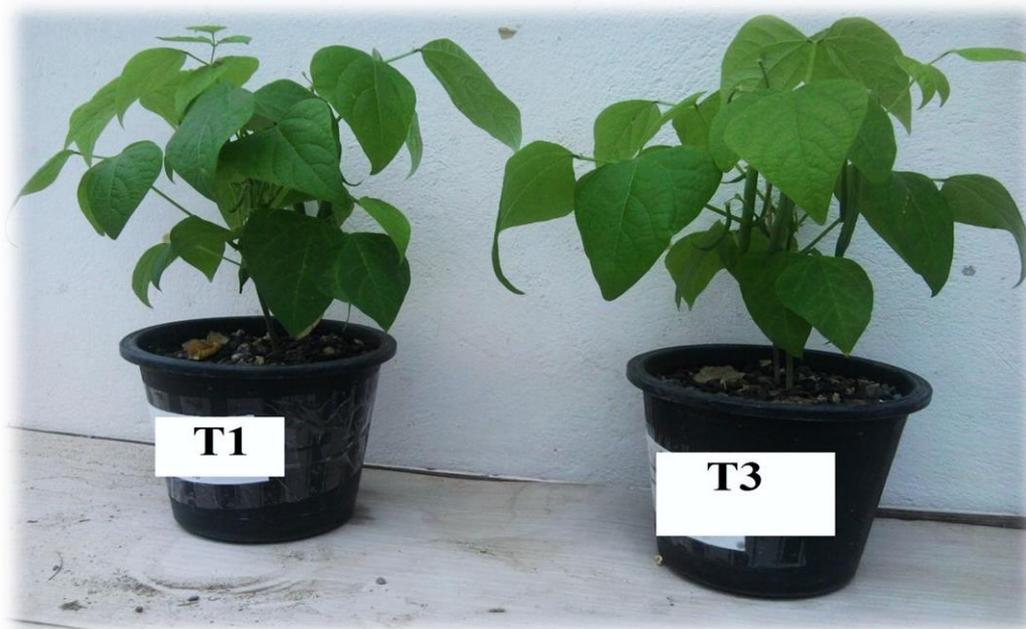


Figure n°23 : Aspect général des plantes irriguées par les deux traitements salins corrigés (T1) et (T3) ayant un pH = 5,5 à 5,8.

1.2. La vitesse de croissance

Nous avons suivi l'évolution de la croissance des plantes du haricot pendant 45 jours. Les mesures faites périodiquement sont exprimé dans la figure n°24 :

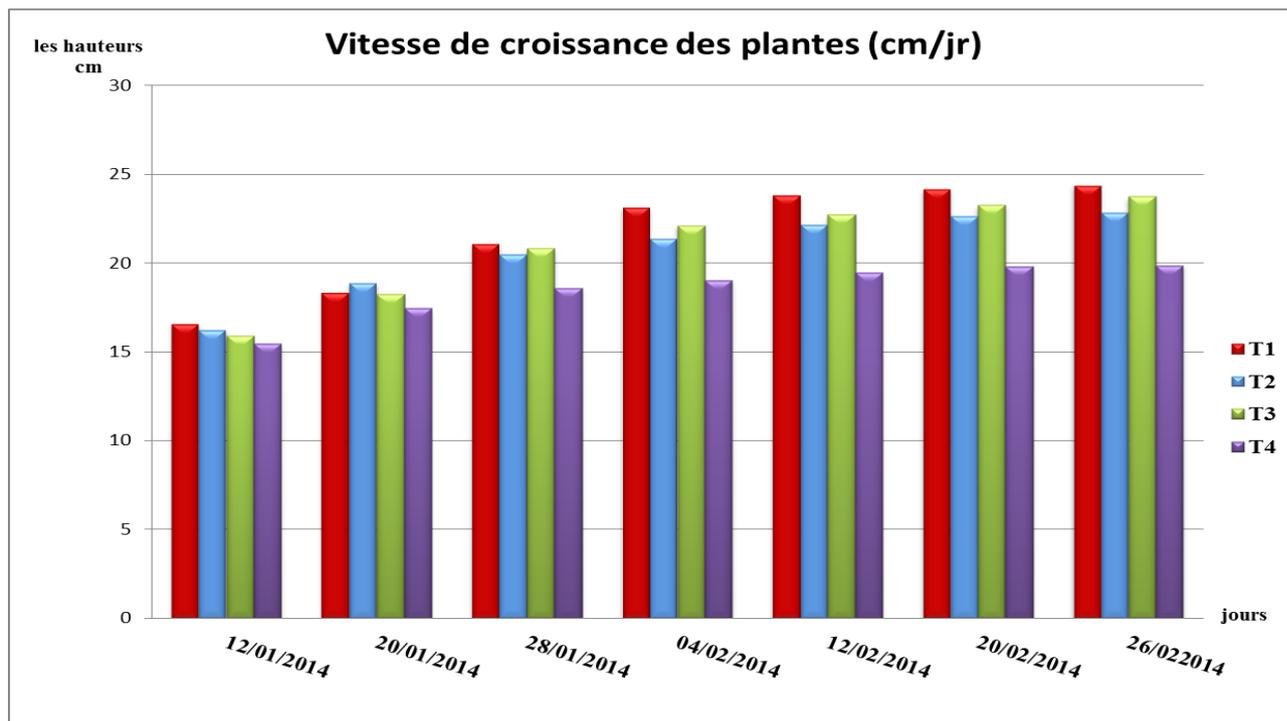


Figure n° 24 : vitesse de croissance des plantes (cm/semaine)

Selon la figure n°24 on remarque que la salinité des milieux diminue significativement la vitesse de croissance des plantes du haricot.

Au début de l'application des différents traitements, on remarque que les plantes avaient une taille qui varie de 15,45cm à 16,56cm. A partir de 20/01/2014 soit 8 jours après l'application des traitements, manifeste un effet marqué. D'une façon générale les traitements corrigés ont eu un effet positif sur la croissance des plantes, par rapport au traitement salin naturel (T4).

Les plants issus du traitement (T4) non corrigé présentent une vitesse de croissance ralentit tout au long de leur cycle végétatif. Cela est dû à l'effet de sel et le déséquilibre ionique du milieu. Aussi la carence en éléments fertilisants (macro et micro éléments) dans le milieu (T4), tels que l'azote, le phosphore et également le potassium, ralentit la croissance des plantes. **WALKER et DOUGLAS (1983)**, notèrent que la diminution de la croissance pourrait être en relation avec une perte de turgescence. Les travaux **d'ATMANN et SANDERS (1999)**, montrent que l'entrée massive de Na^+ entraîne quelques symptômes de toxicité chez les espèces tolérantes, et elle cause par contre une sévère réduction de la croissance ou même la mort des glycophytes sensibles.

Dans la période qui s'étend de 12/01/2014 jusqu'à 20/01/2014 les plantes irriguées par le traitement (T2) ont eu un bon comportement et une vitesse de croissance importante par rapport aux autres traitements corrigés. La correction du pH de ce milieu nutritif, ainsi que la présence du phosphore et potassium ont eu un effet positif sur les plantes. **CLOUE (1978)**, indique qu'il existe un synergisme entre le P et K. Leur présence ensemble augmente la croissance des plantes. A partir de 04/02/2014 jusqu'à la coupe, les plantes de (T2) ont eu une vitesse de croissance croissante mais régulière. Il est connu que le phosphore est un facteur de préciosité, au cours de la croissance, cela a été démontré par **DIEHL (1975)**.

La croissance la plus rapide et les hauteurs des tiges les plus élevées sont observées au niveau des traitements T1 et T3. Cela peut être justifié par la présence des éléments minéraux nécessaires au bon développement des plants, notamment l'azote, le phosphore et le potassium qui favorisent l'organogenèse et donc sont un facteur de croissance des parties aérienne par excellence. La correction du pH de ces deux milieux nutritifs, influe sur la bonne assimilation des nutriments et l'ajustement osmotique. On peut noter que le potassium favorise l'assimilation du CO₂ par la plante, la maintenance et la régulation de la pression osmotique (**SOLTNER, 2003**).

1.3. Hauteur finale des plantes (cm)

La hauteur finale des tiges a été mesurée au moment de la réalisation de la coupe finale. Les résultats relatifs au paramètre mesuré, sont présentés dans le Tableau (27).

Tableau n° 27 : Hauteur finale des tiges en (cm).

| Traitements paramètre | T1 | T2 | T3 | T4 |
|-----------------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Hauteur finale des plantes | 24,34 ± 1.26 (a) | 22,81 ± 1.52 (b) | 23,73 ± 1.36 (ab) | 19,85 ± 1.62 (c) |

D'après les résultats de l'analyse de la variance, nous remarquons l'existence d'une différence hautement significative ($P < 0,001$) entre les traitements testés. Le test de Newman-Keuls ($\alpha = 5\%$) classe les traitements testés en quatre groupes : (a), (b), (ab) et (c).

Durant la coupe finale, les résultats obtenus indiquent que La hauteur la plus élevée a été enregistrée au niveau du traitement (T1), suivi du (T3) et également au niveau du (T2)

avec une hauteur assez proche. Il y'a lieu de noter que la solution saline naturelle (T4) a enregistré la hauteur la plus faible au niveau des plantes.

La vigueur et la bonne croissance des traitements corrigés (T1) et (T3) se justifient par la richesse de ces solutions en éléments fertilisants notamment l'azote et le phosphore. Donc ce cadre **GRATTAN et al (1992)**, ont montré que l'addition du N et P augmentent la croissance des plantes. La solubilité de ces ions dépend essentiellement de la valeur du pH qui se situe entre 5,5 et 5,8. La correction de ce dernier a joué un grand rôle dans l'assimilation des nutriments dans ces milieux alimentaires.

En ce qui concerne le traitement (T2) qui a été corrigé seulement par l'acide phosphorique a donné une croissance moindre que les deux autres. Ceci peut s'expliquer par l'absence de l'élément azote qui est l'aliment de base pour les plantes. **HOPKINS (2003)**, affirme qu'une carence en azote, se manifeste par une réduction de la croissance des plantes.

Les plantes alimentées par la solution saline naturelle (T4) ont donné les hauteurs de plants les plus faibles avec une moyenne de 19,85cm, cela peut être causé par le pH alcalin défavorable pour à une meilleure absorption hydrominérale des plantes dans ce milieu.

A ce propos, **GREENWAY et MUNNS (1980)**, notent que la salinité diminue la croissance des glycophytes en modifiant l'équilibre hydrique et ionique des tissus.

1.4. Diamètre des tiges (mm)

Ce paramètre a été effectué au moment de la coupe finale. Les résultats obtenus sont présentés dans le Tableau (28).

D'après l'analyse de la variance, nous constatons qu'il existe une différence significative pour ($P < 0,001$). Le test de Newman-Keuls ($\alpha = 5\%$) classe les traitements testés en deux groupes homogènes (a) et (b).

Tableau n° 28 : Diamètre moyen des tiges (mm).

| Traitements | T1 | T2 | T3 | T4 |
|--------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| paramètre | | | | |
| Diamètre des tiges | 5.15 ± 0.33 (a) | 4.08 ± 0.62 (b) | 5.10 ± 0.34 (a) | 3.94 ± 0.37 (b) |

Les tiges les plus vigoureuses sont observées au niveau des plants alimentés par les solutions salines corrigées (T1 et T3). Concernant le traitement (T2), on a enregistré un diamètre plus ou moins faible par rapport aux (T1 et T3), ceci peut être justifié aussi par la carence de l'élément azote. **MOURAVINE et al, (1977)**, ont montré que l'amincissement des tiges observé chez les plants alimentés par les solutions salines peut être justifié par le manque d'azote et de soufre dans ces milieux nutritifs.

Le diamètre le plus faible est celui des plants alimentés par le traitement (T4) qui est égal à 3,94mm. Cela est dû aux déficiences en éléments essentiels qui entraînent l'arrêt de la croissance des tissus juvéniles et provoquent par la suite des troubles fonctionnels chez la plante ce qui se traduit par une formation des tiges moins rigides et donc peu développées.

1.5. Nombre de feuilles

Le tableau (29) représente le nombre de feuille calculé au moment de la coupe finale :

Tableau n°29: Nombre de feuilles par plant.

| Traitements paramètre | T1 | T2 | T3 | T4 |
|---------------------------|-------|------|-------|------|
| Nombre moyen des feuilles | 11.41 | 5.25 | 10.83 | 6.33 |
| | ± | ± | ± | ± |
| | 1.37 | 1.05 | 1.19 | 1.66 |
| | (a) | (b) | (a) | (b) |

Pour ce qui est du nombre de feuilles par plant, l'analyse de la variance a révélé une différence significative. Effectivement, le test de Newman et Keuls au risque d'erreur $\alpha = 5\%$, fait ressortir deux groupements homogènes (a) et (b).

En effet, les meilleurs performances sont toujours enregistrées par les solutions salines corrigées (T1, T3) ayant un pH = 5.5 à 5.8. La correction de ces solutions a amélioré considérablement la production du feuillage au niveau des plantes.

Le traitement (T1) corrigé par l'acide nitrique enregistre une valeur légèrement élevée par rapport au traitement (T3) qui a été corrigé par les deux acides. Cela peut être expliqué par la quantité d'acide nitrique ajoutée au niveau du (T1) qui était de (3,3 meq/l de nitrates) contrairement au (T3) qui a reçu seulement (2,2 meq/l de nitrates).

Concernant les traitements T2 et T4 qui sont classés dans le groupe (b), le nombre de feuilles le plus faible est identifié au niveau du T4 (solution saline naturelle). Il y'a lieu de noter que :

- ❑ **T4** : La présence marquée du sodium (Na+) dans le traitement salin naturel exerce une nocivité accrue en bloquant le transfert de certains éléments vers la partie aérienne des plantes. On accorde ces résultats à celle de **SNOUSSI et HALITIM (1998)**, qui ont montré que la salinité provoque la réduction du nombre des feuilles du haricot
- ❑ **T2** : malgré la correction du pH, mais le manque d'azote se manifeste négativement sur la partie aérienne de la plante. **HOPKINS (2003)**, note que la carence en azote apparaît dans les feuilles les plus âgées et n'apparaît dans les feuilles les plus jeunes que lorsque la carence devient sévère. A ce moment les feuilles les plus vieilles deviendront jaunes ou brunes et tomberont.

1.6. Longueur des racines (cm)

La longueur racinaire a été mesurée au moment de l'arrachage des plants, après avoir lavé les racines et éliminer les particules de gravier coller. (Figure n°26). Les résultats sont affichés dans le tableau (30).

Tableau n°30 : La longueur moyenne des racines (cm).

| Traitements paramètre | T1 | T2 | T3 | T4 |
|-----------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Longueur moyen des racines | 27.66 ± 0.96 (b) | 28.78 ± 1.88 (b) | 31.12 ± 1.55 (a) | 28.76 ± 1.36 (b) |

L'analyse de la variance dévoile une différence significative entre les différentes moyennes mesurées de la longueur des racines. Le teste de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir deux groupes homogènes.



Figure n°25 : Aspect générale des racines du haricot.

Le traitement corrigé (T3) a donné la meilleure performance (33,12cm), présenté par le groupe (a) dominant, ceci peut être expliqué par la richesse de cette solution en éléments fertilisants de base (azote, phosphore et potassium). **CHAILLOU (2008)**, montre que La plante a une tendance à développer préférentiellement ses racines dans les zones riches en nutriments, notamment dans le cas de l'azote et du phosphore. **MENGEL et KIRBY(1982)**, ajoutent qu'il se produit une action de synergisme simultanée (Azote-Phosphore) qui favorise le développement racinaire.

Les autres traitements ont été classés dans le groupe homogène (b) avec des moyennes assez proches, mais c'est au niveau du traitement (T2) qu'on enregistre la valeur la plus élevée. Ceci peut s'expliquer par la présence du phosphore qui favorise le développement du système racinaire. On note que le pH acide (5,5 à 5,8) favorise la solubilisation des ions en particulier celle des phosphates. **PIERZYNSKI et al (2000)**, confirment cette hypothèse en citant que la dissolution du phosphore précipité dépend largement du pH.

Pour le traitement salin naturel (T4), la longueur réduite est provoquée par la présence des sels nocifs. Les racines sont l'emplacement primaire de la perception et des dommages pour plusieurs stress, entre autres la salinité (**JIANG et DEYHOLOS, 2006**).

La plus faible longueur a été identifiée au niveau du traitement salin corrigé (T1). L'absence du phosphore à influencer sur la diminution de la longueur des racines. **BENADEL (2005)**, suggère que l'excès d'azote à une relation d'antagonisme avec le

potassium (K), qui d'après **SOLTNER (2003)**, le potassium favorise le développement du système racinaire et la flexibilité des tissus.

1.7. Biomasse fraîche totale (g)

Le poids frais total des plantes a été mesuré au moment de la coupe finale, les résultats relatifs à ce paramètre sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau n°31 : Biomasse fraîche totale en (g)

| Traitements paramètre | T1 | T2 | T3 | T4 |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Biomasse fraiche totale | 33.96 ± 1.16 (a) | 15.44 ± 0.73 (d) | 29.44 ± 0.96 (b) | 16.79 ± 1.12 (c) |

L'analyse statistique dévoile une différence très hautement significative entre les valeurs moyennes du paramètre mesuré. Le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir quatre groupes homogènes.

Le poids frais total le plus élevé est enregistré au niveau des plantes alimentées par les traitements corrigés (T1, T3) avec une moyenne de 33,96g et 29,44g respectivement. La correction du pH de ces solutions a permis aux plantes d'assimiler correctement les nutriments, notamment l'azote. Rappelons à ce sujet que L'acidité du milieu est plus favorable à l'absorption, car la plupart des sels sont plus solubles en milieu acide qu'en milieu basique. **LAFON et al (1996)**.

Les groupes (d) et (c) correspondent aux traitements corrigés (T2) et non corrigé (T4) respectivement. La production de biomasse fraiche la plus faible a été enregistrée au niveau du traitement (T2) avec une moyenne de 15,44g. Ces résultats peuvent être justifiés par le manque d'azote qui est un aliment indispensable pour la croissance des parties aériennes de la plante.

La diminution de la biomasse fraiche chez les plantes alimentées par le traitement salin (T4) est causée par l'excès de sel qui réduit le potentiel hydrique et cause un déséquilibre ionique. Cet état hydrique altéré conduit à une croissance réduite et à une limitation de la biomasse fraiche totale. A cet égard **KHECHAI (2001)**, montre que les ions de sodium et de chlorures 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.

1.8. Biomasse fraîche des feuilles, tiges et racines (g)

Ce paramètre biométrique est pesé au niveau de chaque plant au moment de la coupe finale. Les résultats obtenus de la biomasse fraîche des feuilles, des tiges et des racines sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau n°32 : Biomasse fraîche des feuilles, tiges et racines.

| | T1 | T2 | T3 | T4 |
|--------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Biomasse fraîche des feuilles | 27.49 ± 2.01 (a) | 10.22 ± 1.01 (d) | 23.02 ± 1.76 (b) | 12.11 ± 1.09 (c) |
| Biomasse fraîche des tiges | 6.47 ± 1.45 (a) | 5.21 ± 0.66 (b) | 6.42 ± 0.83 (a) | 4.68 ± 1.06 (b) |
| Biomasse fraîche des racines | 6.34 ± 1.31 (c) | 11.83 ± 1.23 (a) | 7.49 ± 1.68 (c) | 9.64 ± 1.33 (b) |

L'analyse de la variance montre qu'il y'a une différence hautement significative ($P < 0,001$) entre les moyennes du paramètre mesuré et cela dans les différentes parties de la plante, que ce soit pour les feuilles, pour les tiges ou pour les racines.

A. Biomasse fraîche des feuilles :

Le poids frais des feuilles le plus élevé est observé au niveau des plantes alimentées par les traitements (T1) et (T3) avec des valeurs 27,49g et 23,02g respectivement. Contrairement au traitement corrigé (T2) on a obtenu la biomasse des feuilles la plus faible en raison de la carence en azote.

Le traitement salin non corrigé (T4) présente aussi une valeur faible de poids frais des feuilles. Il est connu qu'une concentration saline élevée supprime la croissance et réduit l'assimilation du carbone chez les glycophytes. La réduction de cette assimilation de carbone, provoque une photosynthèse réduite, autrement dit la réduction de la surface foliaire (HOPKINS, 2003).

B. Biomasse fraîche des tiges (g)

Le groupe homogène (a) comporte les deux traitements corrigés (T1, T3) qui présentent le poids frais des tiges le plus développé.

Les biomasses fraîches les plus faibles ont été enregistrées au niveau des traitements (T2 et T4). La diminution du poids frais des tiges au niveau du traitement non corrigé (T4) est due à la présence des sels nocifs, tels que NaCl, MgCl₂, CaCl₂...

C. Biomasse fraîche des racines (g)

Le traitement (T2) corrigé par l'acide phosphorique enregistre le poids frais le plus élevé avec une moyenne de 11,83g. Ces résultats sont justifiés par la présence du phosphore. Ainsi que la formation des nodosités augmente le volume et le poids des racines. La formation des nodules est due à la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique par des bactéries du genre *rhizobium*. L'azote fixé constitue un apport au besoin de N de la plante du haricot.

Au niveau du traitement non corrigé (T4) le poids frais des racines enregistre une valeur élevé par rapport aux traitements corrigés. Ceci est expliqué aussi par la présence des nodosités. **YOUSEF et al (1983)**, ont montré que la stimulation de la croissance des nodules a été mise en évidence chez des légumineuses soumises au stress salin. L'exposition des racines nodulées à NaCl des légumineuses comme le haricot cause une réduction rapide de la croissance végétale (**PARIDA et DAS, 2005**).

Le poids des racines le plus faible a été observé au niveau des traitements (T1) et (T3) qui sont classés dans le même groupe homogène. En absence du phosphore dans le milieu de traitement (T1), les plantes ont eu une réduction du développement des racines avec des ramifications faibles. L'alimentation est donc plus limitée ce qui influe sur la biomasse de la racine. Nos résultats concordent avec ceux obtenus dans les travaux de (**BRAHIMI, 1991**).

1.9. Biomasse sèche totale (g)

Le poids sec total (feuilles + tiges) est obtenu par séchage des organes végétaux à l'étuve à 70°C jusqu'à stabilisation du poids sec. Les résultats sont affichés dans le tableau suivant :

Tableau n°33 : Biomasse sèche totale (g).

| Traitements | T1 | T2 | T3 | T4 |
|-----------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Paramétré | | | | |
| Biomasse sèche totale | 4.60 ± 0.50 (a) | 1.94 ± 0.47 (d) | 3.86 ± 0.48 (b) | 2.36 ± 0.43 (c) |

D'après les résultats obtenus dans le tableau (33), on remarque que les traitements testés dans notre expérimentation exercent un effet significatif sur la production de la biomasse sèche des parties aériennes des plantes du haricot.

Le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir quatre groupes homogènes, dont le premier groupe (a) renferme le traitement (T1) qui donne la biomasse sèche aérienne la plus élevée, suivie du groupe (b) qui correspond au traitement (T3). Ces résultats sont expliqués par le pH favorable, qui facilite l'absorption des éléments minéraux présents déjà dans ces solutions tel que l'azote, phosphore et le potassium. La présence du potassium joue un rôle dans l'ajustement osmotique en modifiant le statut hydrique de la plante. L'accumulation du potassium au détriment du sodium permet à la plante d'éviter les effets des déséquilibres nutritionnels induits par l'excès de sodium (CRAMER et al., 1985). Dans ce cadre les travaux de GOSSELIN et TRUDEL (1983) ont montrés que la plus grande biomasse sèche de la partie aérienne est obtenue dans un milieu riche en élément fertilisants.

Les plus faibles valeurs de la biomasse sèche sont observées au niveau du traitement salin non corrigé (T4) et le traitement corrigé (T2). HELLER (1981), affirme que la salinité a une action négative sur la production de biomasse sèche car elle influe sur la physiologie de la plante et inhibe la photosynthèse.

1.10. Biomasse sèche des feuilles, tiges et racines (g)

Le poids sec des différentes parties de la plante est mesuré après le séchage dans l'étuve à 70C° et les résultats relatifs à ce paramètre sont indiqués dans le tableau n°34 :

Tableau n°34 : Biomasse sèche des feuilles, tiges et racines (g)

| | T1 | T2 | T3 | T4 |
|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Biomasse sèche des feuilles | 3.43 | 1.14 | 2.72 | 1.50 |
| | ± | ± | ± | ± |
| | 0.30 (a) | 0.14 (d) | 0.39 (b) | 0.22 (c) |
| Biomasse sèche des tiges | 1.17 | 0.80 | 1.13 | 0.85 |
| | ± | ± | ± | ± |
| | 0.26 (a) | 0.10 (b) | 0.14 (a) | 0.19 (b) |
| Biomasse sèche des racines | 2.15 | 1.07 | 1.25 | 1.34 |
| | ± | ± | ± | ± |
| | 0.30 (a) | 0.12 (b) | 0.12 (b) | 0.12 (b) |

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

La biomasse sèche la plus élevée a été enregistrée au niveau des traitements corrigés (T1 et T3) quel que soit l'organe testé (feuilles, tiges, racines). La richesse de ces solutions en éléments fertilisants améliore l'absorption hydrominérale des plantes, et augmente l'activité photosynthétique.

Au niveau des traitements (T2 et T4) on observe la biomasse sèche la plus faible, et ce pour la partie aérienne et souterraine des plantes. Le pH alcalin et la salinité manifestent négativement sur le statut hydrique de la plante. Les accumulations du chlore et du sodium ainsi que la réduction de certains éléments comme l'azote, le phosphore, le potassium ou le calcium peuvent expliquer en partie, la réduction de la matière sèche des parties aériennes et racinaires (IBRIZ, 2005).

1.11. Taux de matière sèche totale (%)

Les résultats relatifs au taux de la matière sèche de la partie aérienne montrent que le paramètre testé est influencé par les différents traitements analysés, nous constatons que l'analyse de la variance montre un effet hautement significatif. Le test de Newman et Keuls au seuil de $\alpha = 5\%$ fait ressortir trois groupements homogènes.

Tableau n°35 : Taux de matière sèche totale en (%)

| Traitements | T1 | T2 | T3 | T4 |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Paramètre | | | | |
| Taux de matière sèche (%) | 13.74 ± 0.94 (c) | 24.02 ± 0.66 (a) | 14.36 ± 0.72 (c) | 21.37 ± 0.85 (b) |

Les résultats relatifs au taux de la matière sèche de la partie aérienne montrent que le paramètre testé est influencé par les différents traitements analysés, nous constatons que l'analyse de la variance montre un effet hautement significatif. Le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir trois groupements homogènes.

Les plantes irriguées par les traitements salins corrigés (T1, T3) présentent un taux de matière sèche total le plus faible (13,74% et 14,36%) respectivement. Tandis que le

traitement corrigé (T2) et non corrigé (T4) manifestent des taux de matière sèche les plus importants (24,02 % et 21,37%) respectivement.

En outre, ce taux élevé de matière sèche au niveau du traitement salin naturel s'explique par une forte accumulation d'éléments minéraux et de matières solides. Cependant, cette hausse du taux de matière sèche est souvent accompagnée par une réduction de la taille des fruits (**HOUASSINE, 2004**).

La carence en azote provoque une chlorose intense suite à une sécheresse sévère au niveau des cellules. **HOPKINS (2003)**, note que les concentrations salines élevées provoquent une sécheresse physiologique précoce, ce qui rend de plus en plus difficiles l'absorption d'eau et de nutriments par les plantes stressées.

2. Paramètres biochimiques

2.1. Quantité de proline [$\mu\text{g/g MF}$]

Les résultats de dosage de la proline sur les feuilles médianes du haricot sont présentés dans le tableau (36) :

Tableau n°36 : Teneurs en proline dans les feuilles ($\mu\text{g/g MF}$)

| Traitements | T1 | T2 | T3 | T4 |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| paramètre | | | | |
| Quantité de proline | 0.462 ± 0.003 (a) | 0.213 ± 0.009 (b) | 0.403 ± 0.034 (a) | 0.067 ± 0.001 (c) |

Le métabolisme des végétaux est perturbé par le stress salin et notamment le métabolisme des acides aminés libres dont la proline constitue un marqueur de la résistance des plantes aux contraintes abiotiques. Dans le même sens **NANJO et al, (1999)** ont montré que certains acides aminés lorsqu'ils s'accumulent au niveau cellulaire améliorent la tolérance au sel.

L'analyse statistique montre que la salinité agit significativement sur l'accumulation de la proline dans les feuilles de haricot. Le test de Newman and Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir trois groupes homogènes. Les données du tableau (36) indiquent que les plantes alimentées par les solutions salines corrigées (T1 et T3) produisent plus de proline que les autres traitements.

Le traitement salin naturel (T4) présente une quantité de proline la plus faible. Ceci est dû au fait que ce milieu (T4) est le moins chargé en sels, ce qui crée un potentiel osmotique extérieur le moins important. Les plantes de ce milieu produisent la proline pour se défendre mais sa quantité reste beaucoup plus inférieure à celle des milieux corrigés. Au niveau (T2), la correction du pH a sensiblement amélioré sa pression osmotique par la production d'une quantité de proline supérieure à que celle du traitement salin naturel (T4).

La correction du pH de l'eau saline naturelle par l'ajout des éléments fertilisants améliore significativement l'absorption hydrominérale des plantes, et par conséquent le milieu devient plus convenable à la survie des plantes. De ce fait il existe une forte corrélation entre l'augmentation des niveaux de proline et la capacité des plantes à survivre face au problème de la salinité. Les plantes issues des traitements (T1 et T3) ajustent leur pression osmotique interne en produisant de la proline, afin de permettre le passage de l'eau du milieu moins concentré vers le milieu le plus concentré. Dans ce cadre **GALILI (2008)**, note qu'il existe des substances qui sont synthétisées par les plantes stressées, telle que la proline, qui peuvent maintenir les fonctions cellulaires par la protection de ses structures et par l'ajustement osmotique.

2.2. Quantité de la chlorophylle (A) et (B) ($\mu\text{g/g MF}$)

Le dosage de la chlorophylle (A) et (B) a été effectué afin d'identifier leur teneur dans les plantes corrigées et non corrigées. Les résultats sont présentés dans le tableau (37) :

Tableau n°37 : Quantités de chlorophylle (A) et (B) ($\mu\text{g/g MF}$)

| | T1 | T2 | T3 | T4 |
|-----------------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
| Chlorophylle A | 1.34 | 1.13 | 1.39 | 1.21 |
| | ± | ± | ± | ± |
| | 0.06 (a) | 0.007 (b) | 0.09 (a) | 0.02 (b) |
| Chlorophylle B | 2.07 | 1.37 | 1.72 | 1.67 |
| | ± | ± | ± | ± |
| | 0.02 (a) | 0.24 (d) | 0.10 (b) | 0.13 (c) |

Le tableau (37) présente les résultats de l'effet des traitements testés sur la formation des pigments chlorophylliens des feuilles de haricot. L'analyse de la variance révèle une différence hautement significatif ($P < 0,001$).

Les teneurs en chlorophylle chez les plantes alimentées par les traitements corrigés (T1 et T3) sont les plus élevées pour les deux types A et B. Suite à une correction du pH de ces deux milieux, et l'ajout des éléments fertilisants (azote et phosphore), les feuilles des plantes ont un aspect verdâtre (figure 24) à cause de leurs teneurs élevées en pigments chlorophylliens. Les travaux de **GUERIF et al, (2007)**, ont montré qu'il existe une relation entre les teneurs en chlorophylle et en azote dans la plante. La chlorophylle étant un élément essentiel de la biochimie des feuilles par son rôle dans la photosynthèse, elle est liée à l'ensemble des éléments du métabolisme cellulaire.

Le traitement salin (T4) réduit le taux de chlorophylle dans les feuilles du haricot, cela est dû à la présence des sels nocifs qui perturbent la photosynthèse, cela veut dire que les plantes ont une faculté de captage des électrons et de transfert d'énergie faible. Des travaux similaires de **PARIDA et DAS (2005)**, ont montré que la diminution de la vitesse photosynthétique est due à plusieurs facteurs :

- ✓ La toxicité du sel
- ✓ La réduction de l'approvisionnement en CO₂ à cause de la fermeture hydroactive des stomates
- ✓ La sénescence accrue induite par la salinité

BOUNAQBA (1998), ajoute que sous l'effet du stress, l'état fonctionnel des membranes des thylakoïdes se dégrade, l'altération des processus photosynthétiques se reflète dans les courbes d'induction de la fluorescence de la chlorophylle.

On remarque que le taux de chlorophylle (B) est supérieur à celle du chlorophylle (A), cela a été justifié par **TEWARI et SINGH (1991)**, qui prouvent que La réduction de la chlorophylle A est peut être liée à la sensibilité d'une des étapes de sa biosynthèse, au chlorure de sodium, ce dernier affecte moins la voie de biosynthèse de la chlorophylle B.

En ce qui concerne le traitement (T2), on enregistre un taux de chlorophylle le plus faible que ce soit pour la chlorophylle A ou B. cela est dû à l'absence de l'azote qui est un constituant de la chlorophylle, donc il est claire que la carence en N se manifeste par une chlorose générale des feuilles (figure 23).

2.3. Quantité de sucres soluble (µg/g MF)

Les résultats relatifs à ce paramètre sont indiqués dans le tableau (38) :

Tableau n°38 : Teneurs en sucres solubles dans les feuilles ($\mu\text{g/g MF}$)

| Traitements Paramètre | T1 | T2 | T3 | T4 |
|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Sucres solubles | 0.130 \pm 0.002 (a) | 0.069 \pm 0.012 (c) | 0.095 \pm 0.007 (b) | 0.066 \pm 0.014 (c) |

D'une façon générale **HARE et al, (1998)**, citent que Les principaux sucres accumulés sous stress sont : le glucose, le fructose, le saccharose ils semblent jouer un rôle important dans le maintien d'une pression de turgescence qui est à la base des différents processus contrôlant la vie d'une plante.

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence hautement significative entre les différentes quantités de sucres solubles dans les feuilles des haricots.

L'irrigation des plantes par la solution saline corrigée (T1) manifeste le taux de sucres solubles le plus élevé avec $0.130 \mu\text{g/g MF}$ suivie du traitement (T3) avec un taux de sucres $0.095 \mu\text{g/g MF}$. Les travaux de **BEN KHALED et al, (2003)** confirment ces résultats en notant que le contenu foliaire en sucres solubles est significatif lorsque la salinité des eaux d'irrigation devient très importante.

L'accumulation des sucres solubles dans les tissus foliaires des plantes issues du traitement salin enregistre la valeur la plus faible ($0.066 \mu\text{g/g MF}$). Ceci peut être expliqué d'après **DEROUICHE (2011)**, par une faible activité photosynthétique qui nécessite une grande quantité d'énergie sous forme d'ATP.

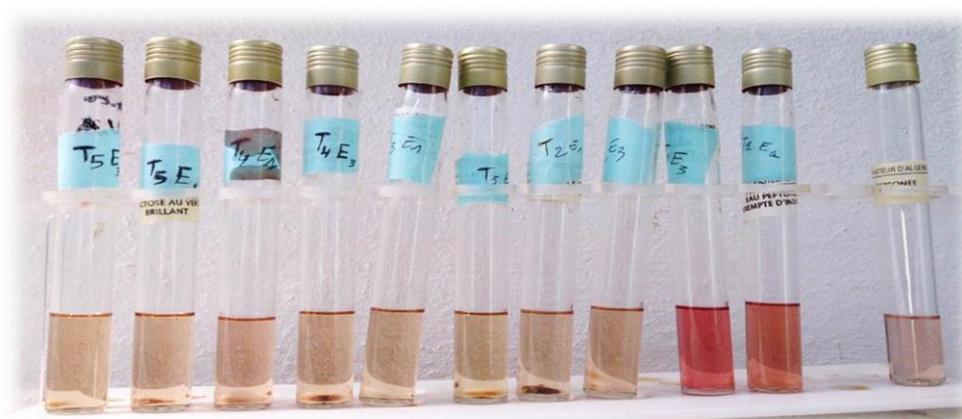


Figure n°26 : Les résultats de la teneur en sucres solubles.

3. Paramètres de production

3.1. Nombre de fleurs par plant



Figure n°27 : Aspect général des fleurs du haricot.

L'estimation de la floraison a été faite tous les trois jours, Les valeurs moyennes enregistrées sont présentées dans le tableau (39).

Tableau n°39 : Nombre de fleurs par plant.

| Traitements | T1 | T2 | T3 | T4 |
|-------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|
| Paramètre | | | | |
| Nombre de fleurs | 11.83 ± 0.71 (a) | 7.41 ± 0.66 (d) | 10 ± 0.73 (b) | 8.58 ± 0.99 (c) |

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative entre les différentes moyennes estimées du paramètre étudié. Le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ indique la présence de quatre groupements homogènes

Il est à noter que la floraison a déclenché chez les plantes arrosées par les traitements (T1) et (T2) par un nombre important de fleurs. La correction du traitement (T2) par l'acide phosphorique agit sur la préciosité du cycle végétatif en accélérant la floraison et la nouaison. Selon **VILAIN (1987)**, le phosphore régularise la mise à fleurs ainsi que la mise à fruits.

A cet effet on peut dire que le phosphore est un facteur de précocité et de qualité. Le manque d'azote aussi influe sur le nombre de fleurs produits. Selon **LE POIVRE (2003)**, La carence en azote affecte la floraison et la fructification, la floraison est réduite et les bourgeons floraux jaunissent.

En ce qui concerne le traitement non corrigé (T4) c'est l'effet de salinité qui manifeste en accélèrent le cycle biologique des plantes qui se traduit par un faible taux de floraison.

Les plantes alimentées par les milieux salins corrigés (T1 et T3) manifestent le taux de floraison et de nouaison le plus important, à cause de la présence des éléments nutritifs importants à la formation des organes reproductifs.

3.2. Nombre de fruits par plant

Le dénombrement des fruits s'est fait au moment des deux récoltes, et ce pour chaque plant. Les résultats obtenus sont illustré dans la figure (28) :

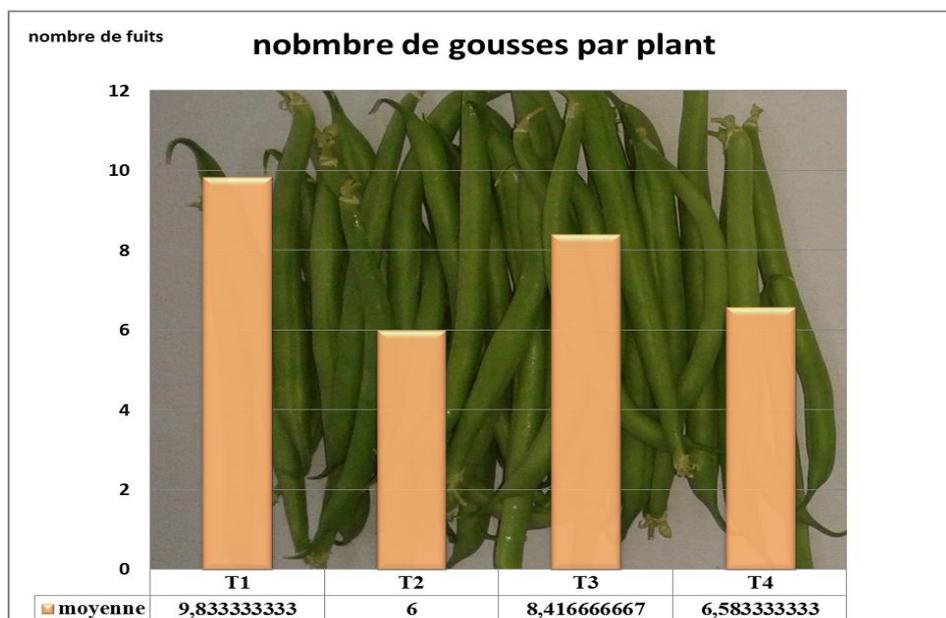


Figure n°28 : Nombre moyen de fruits par plant.

L'analyse statistique dévoile une différence hautement significative entre les valeurs moyennes du paramètre mesuré au niveau des deux récoltes. Le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir trois groupes homogènes pour ce qui est du nombre de fruits (annexe 23).

Les eaux salines corrigées (T1 et T3) produisent une moyenne de nombre de fruits les plus élevées. On remarque que la correction du pH de ces milieux à une valeur de (5.5 à 5.8)

manifeste par une bonne dissolution des éléments fertilisant, donc une nutrition favorable aux plantes qui se traduit par une meilleure fructification. Nos résultats au niveau des traitements corrigés concordent avec ceux de **SATTI et al, (1994)** ; où ils montrèrent que le nombre de fruit dépend de l'alimentation hydrominérale.

En ce qui concerne le traitement (T2), c'est toujours l'absence de l'élément azote qui influe négativement sur la production des organes végétatifs. Aussi au niveau du traitement salin (T4) on enregistre un nombre moyen de fruits réduit, cela est dû à l'effet dépressif des sels qui empêche la fructification et augmente en même temps le taux d'avortement des fleurs.

3.3. Classification des gousses

Les calibres des fruits de haricot sont représentés dans le tableau (40) :

Tableau n°40 : Classification des gousses.

| Classes | | T1 | T2 | T3 | T4 |
|---------------------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|
| Classe A > 12cm | Nbre % | 55,08% | 52,78% | 57,42% | 40,50% |
| | Poids % | 70,48% | 74,38% | 69,60% | 57,70% |
| Classe B [6 à 12 cm] | Nbre % | 44,92% | 47,22% | 42,58% | 59,50% |
| | Poids % | 29,52% | 25,62% | 30,40% | 42,30% |

D'après le tableau (40), on remarque que l'irrigation avec une eau saline naturelle influe négativement sur la longueur de fruit du haricot, dont 59,50% des fruits alimentés par le traitement salin (T4) ayant une taille de (6 à 12 cm). Il est connu qu'une forte concentration saline diminue la disponibilité en eau, pour cela **ELTEZ et al, (2001)** ont montré qu'une diminution de consommation hydrique par la plante se traduit par une réduction du calibre et/ou du poids moyen des fruits. Les travaux de **URBAN (1997)**, indiquent que les niveaux de salinité élevée se traduisent par une réduction du calibre des fruits.

Contrairement aux solutions salines corrigées (T1, T2, T3), la correction de leur pH a permis de produire des fruits de taille supérieure à 12 cm avec un pourcentage de (55.08%, 52.78%, 57.42%) respectivement, et avec le poids frais le plus élevé au niveau du classe A (70.48%, 74.38%, 69.60%).

Ces résultats peuvent être expliqués par la présence des éléments fertilisants indispensables pour la formation des fruits de bonne qualité : l'azote qui est l'élément clé de la nutrition et la bonne vigueur des fruits. Le phosphore Cet élément est essentiel pour la

nouaison, le grossissement des fruits et la maturation des graines, cela a été démontré par plusieurs auteurs (**HOPKINS, 2003. LE POIVRE, 2003**). Ainsi que la présence du potassium dans ces milieux améliore la taille des fruits. Selon **COIC (1984)**, le potassium est le principal constituant minéral des fruits, et offre de ce fait une bonne production.

3.4. Estimation du rendement

L'estimation de la production par plante est présentée dans le tableau (41). L'analyse de la variance dévoile une différence significative entre les moyennes estimées de ce paramètre. Ces résultats montrent que l'effet des traitements varie de façon très remarquable entre les différents traitements. Le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ indique la présence quatre groupes homogènes.

Tableau n°41 : Estimation de la production du haricot en (g)

| Traitements Paramètre | T1 | T2 | T3 | T4 |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Rendement | 40,14 ± 0,79 (a) | 19,28 ± 0.90 (d) | 34,32 ± 0.87 (b) | 21,75 ± 0.93 (c) |

Le poids frais le plus élevé a été enregistré chez les plantes irriguées par le traitement (T1) avec un poids frais moyen de 40,14g/plant, suivie du traitement (T3) avec une moyenne de 34,32g/plant. L'alimentation des plantes par ces deux solutions manifestent positivement sur la production en raison de leur richesse en éléments indispensables au développement des fruits, ainsi que le pH favorable à l'assimilation de ces nutriments. A titre d'exemple, L'azote joue un rôle primordial dans le métabolisme des plantes, c'est le facteur essentiel des rendements (**SKIREDJ, 2006**).

Les plantes alimentées par le traitement salin naturel (T4) produisent un faible poids frais des gousses par rapport aux traitements corrigés. On peut dire que la conduite à une forte salinité entraîne une perte de production. A cet effet **ELTEZ et al, (2001)** notent que le rendement total diminue significativement quand la salinité augmente en raison d'une diminution significative du poids moyen des fruits.

Le poids le plus faible a été observé au niveau du traitement (T2). L'absence de l'azote a diminué considérablement le poids frais des gousses. La carence en azote provoque un retard

de la croissance des organes végétatifs, et une baisse des rendements (SMIRNOV et al, 1977).



Figure n°29 : Aspect général des gousses.

3.5. Taux d'avortement

L'estimation de ce facteur a été élaborée sur la base du comptage du nombre de fleurs totales et du nombre de gousses par plante et par traitement. Les résultats relatifs aux taux de fleurs avortées par traitement sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau n°42 : Taux d'avortement des fleurs (%)

| | T1 | T2 | T3 | T4 |
|--|----|----|----|----|
| | | | | |

| | | | | |
|----------------------------------|--------------|--------------|-------------|--------------|
| Nombre de fleurs totales | 11.83 | 7.41 | 10 | 8.58 |
| Nombre de fleurs avortées | 2 | 1.41 | 1.58 | 2 |
| Taux d'avortement [%] | 16.90 | 19.02 | 15.8 | 23.31 |

Les données du tableau (42) nous indiquent que le taux d'avortement le plus élevé est enregistré au niveau du traitement (T4), Ce taux élevé chez les plantes est l'une des conséquences de la salinité.

Le taux d'avortement des plantes arrosées par le traitement (T2) enregistre un taux d'avortement élevé et ce par rapport aux traitements corrigées. Pendant le cycle végétatif on a remarqué un grand nombre de fruits noués avortés, et d'une qualité médiocre sans compléter leur maturation. Nos résultats sont compatibles à ceux de **LE POIVRE, 2003** qui cite que la carence en azote donne des fruits petits et d'une maturation précoce.

Cependant les traitements corrigés (T1 et T3), enregistrent les taux d'avortement les plus faibles. Cela est dû probablement aux fortes températures enregistrés dans notre serre, lors du déclenchement des fleurs qui a atteint jusqu'à 40°C. **LE BOHEC (1979)** qui confirme que durant la culture, les fortes chaleurs (32° C - 37° C) sont préjudiciables au haricot. Elles peuvent provoquer la chute des fleurs, ou les jeunes gousses.

4. Paramètres technologiques

4.1. Quantité des sucres dans les fruits

Les valeurs moyennes de la teneur en sucres totaux sont présentées dans le tableau (43) :

Tableau n°43: Quantité de sucres dans les fruits

| | T1 | T2 | T3 | T4 |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Sucres totaux | 5.16 | 3.83 | 4.56 | 4.06 |
| | ± | ± | ± | ± |
| | 0.41 | 0.20 | 0.37 | 0.05 |
| | (a) | (c) | (b) | (bc) |

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

Les teneurs en sucres totaux les plus faibles sont identifiées au niveau des plantes irriguées par le traitement (T2). Ces résultats montrent que l'absence de l'azote dans ce milieu réduit non seulement le nombre de feuilles, mais toute la partie aérienne de la plante est

affectée. Cette diminution se traduit par une activité photosynthétique faible, et donc une synthèse glucidique faible.

Concernant le traitement salin naturel (T4), les plantes produisent des gousses moins sucrées que les gousses des plantes alimentées par les traitements corrigés. Cela est due selon **BALIBREA et al, (1997)** ; à une baisse d'utilisation des sucres pour la croissance, et donc dépend de l'aptitude de la plante à croître dans un milieu salin. **SOLTNER (2003)**, ajoute que le chlore (Cl⁻) en excès induise une moindre quantité de sucre.

En revanche, les plantes issues des solutions salines corrigées (T1 et T3) présentent les gousses les plus sucrées résultant d'un développement végétatif intense accompagné d'un métabolisme accru.

4.2. Taux de vitamine « C » dans les fruits

Nous avons préconisé un dosage de vitamine « C » dans les fruits du haricot récoltés, et les résultats de ce paramètre sont indiquées dans le tableau ci-dessus :

Tableau n°44 : Taux de vitamine « C » [%]

| | T1 | T2 | T3 | T4 |
|-----------------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Taux de vitamine « C » | 1.31 ± 0.21 (a) | 0.19 ± 0.003 (b) | 1.22 ± 0.13 (a) | 0.36 ± 0.03 (b) |

L'analyse de la variance nous montre qu'il Ya une différence statistiquement significative entre les moyennes de vitamine C d'un niveau de traitements à l'autre dans les fruits du haricot. Le test de de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir deux groupes homogènes.

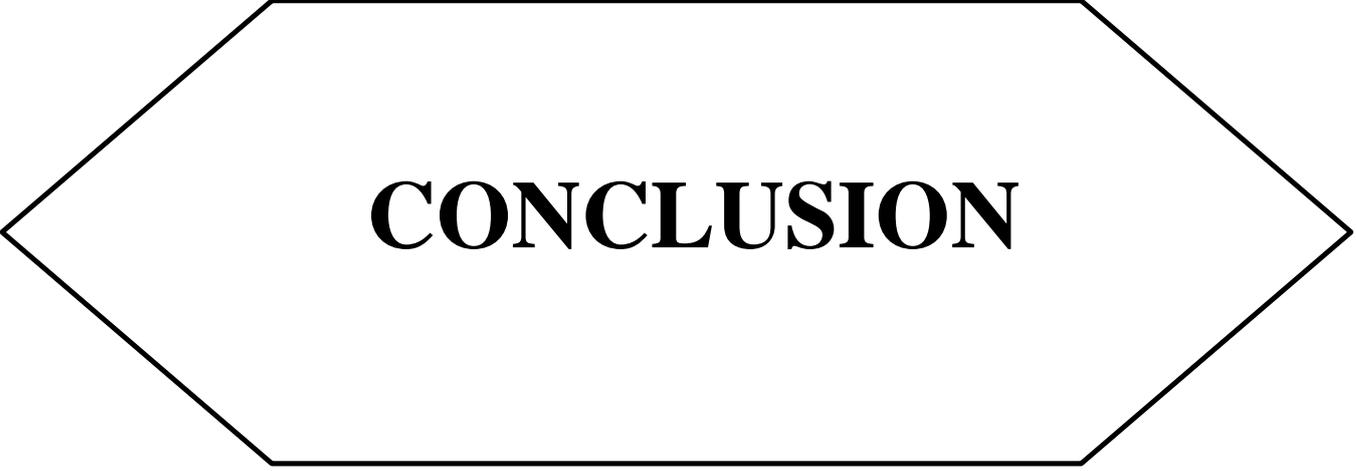
Le groupe (a) correspond aux deux traitements corrigés (T1 et T3). La correction de ces solutions se manifeste par une bonne absorption hydrominérale des plantes, donc un état hydrique favorable pour une activité photosynthétique élevée. La combinaison d'azote, phosphore avec le potassium manifestent par l'activation de nombreux enzymes impliquées dans la photosynthèse, la respiration la synthèse de l'amidon, protéines et vitamines (**HOPKINS, 2003**).

Les teneurs en vitamine C les plus faibles ont été enregistrées au niveau des plantes alimentées par les traitements (T2, T4), qui ont été classées dans le groupe homogène (b). Les

fruits des plantes irriguées par le traitement (T2) qui renferment 0.19% d'acide ascorbique produisent une faible quantité d'acide ascorbique malgré la correction du pH.

L'absence de l'azote dans cette solution produit une biomasse des feuilles faible (comme a été déjà décrit), donc une faible activité photosynthétique, et par conséquent une activité enzymatique réduite.

Au niveau du traitement (T4) la salinité à influencer sur le taux de vitamine C. il est connue que la salinité a des effets néfastes sur le métabolisme général de la plante, dans ce cadre **URABN (1997)**, affirme que la teneur en micronutriments (vitamine C) est fortement influencée par la disponibilité de l'eau au contact des racines.



CONCLUSION

CONCLUSION

Notre travail a pour objectif de déterminer l'impact de la correction du potentiel hydrogène de la solution nutritive, sur l'irrigation des plantes de haricot variété « Djadida » avec une eau non conventionnelle, et ce en hors sol.

Au terme de ce travail on révèle que l'utilisation de l'eau saline naturel de GASSI TOUIL, provoque des perturbations du métabolisme des plantes testées, et ce sur tous les paramètres étudiés (croissance, biomasses fraîches et sèches, rendement, qualité des fruits, synthèse des solutés compatibles... etc.). Ceci est dû en premier lieu à la présence des sels nocifs, et l'absence des éléments indispensables à la nutrition des plantes (macro et micro éléments), ainsi que le déséquilibre ionique dû au pH alcalin. A l'inverse le taux de matière sèche total, présente les proportions les plus élevées par rapport aux traitements corrigés. Ceci s'explique par le dessèchement précoce des plantes sous l'effet de NaCl et la mauvaise absorption hydrominérale.

La correction du pH de la solution saline naturel (T4) par l'acide nitrique (T1) et par l'acide nitrique et phosphorique (T3), montre un effet remarquable sur les paramètres étudiés. En effet, les meilleures performances des plantes nous l'avons enregistré au niveau de ces deux solutions. Les plantes ont été vigoureuses, avec un nombre de feuilles important, une production importante de gousses, avec un taux de vitamine C et des sucres les plus élevés. On déduit donc que l'élément azote et phosphore jouent un rôle bénéfique sur la conduite des plantes du haricot. Ainsi que le pH optimal de ces milieux alimentaires favorise l'assimilation des nutriments et offre une bonne absorption hydrominérale.

Le traitement (T2) corrigé par l'acide phosphorique exerce une action propice sur la majorité des paramètres étudiés (densité de feuillage faible, qualité médiocre des fruits...). Ceci est expliqué par le manque d'azote, et par conséquence les processus métaboliques impliqués dans la photosynthèse et le transfert d'énergie sont perturbés.

De nombreux travaux rapportent que la synthèse des osmo-régulateurs (proline, sucres solubles) s'accumulent dans la plante lorsqu'elle se trouve en conditions défavorables, pour ajuster leur pression osmotique interne et permettre à l'eau de passer du milieu le moins concentré vers le milieu le plus concentré.

A la lumière de ces résultats obtenus, il semble intéressant de proposer certaine orientation pour apporter un complément d'informations, afin d'évaluer le niveau de tolérance

de cette espèce au stress salin. Il est important de mentionner la nécessité de poursuivre cette étude, et déterminer les possibilités de la correction des eaux salines pour l'application pratique à grand échelle dans les zones arides et semi arides.

LES REFERENCES BIBLIOGRAPHYQUES

- ✚ AGASTIAN et al., 2000: Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes. *Photosynthetica*. VOL. 38. pp287–290
- ✚ AIT HOUSSA A., NOUGA EL., OUAILI H., CHATAIBAT Y., CHADDAD A., 2004 : Fertigation de la tomate hors sol dans la région de Douiet (MAROC). Ecole nationale d'agriculture de Meknès Domaine agricole de Douiet. Pp.1-15
- ✚ ALEM, C., et AMRI, A., 2005 : Importance de la stabilité des membranes cellulaires dans la tolérance à la salinité chez l'orge. *Reviews in biology and biotechnology*. Vol.4. pp20-31
- ✚ ALLEN, D.J., AMPOFO, J.K.O., WORTMANN, C.S., 1996: Ravageurs, maladies et carences nutritives du haricot commun en Afrique: Guide Pratique. ED. CIAT. Colombie. 132p
- ✚ ANONYME., 1979 : Les cultures maraichères en Algérie Tome IV. I. T. C.M.I. Staoueli. Pp :102- 127
- ✚ ATMANN, A., SANDERS, D. 1999: Mechanism of Na⁺ uptake by plant cells .*Adv Bot. Res.* p. 75 -112.
- ✚ AW, M., 1994: Saline pulp and mill wastewater redamation using woody plant speaes. Thesis for the Degree Pédol of Master of Science in Forestry: Northem Arizona University.103 p
- ✚ AYERS, R.S., WESTCOT, D.W., 1976 : La qualité de l'eau en agriculture. *Bull d'irrigation et de drainage*, F.A.O. n° 29. Rome. p 95-97
- ✚ BALIBREA M.E., CAYUELA E., ARTES F., PEREZ ALFOCEA F., 1997: Salinity effects on some postharvest quality factors in a commercial tomato hybrid. *Journal of Horticultural Science*, 72 (6) pp 885-892.
- ✚ BALIBREA, J.E., DELLAMICO, J., BOLARIN, MC., PEREZ-ALFOCEA, F., 2000 : division de carbone et métabolisme de sucrose en plantes de tomate accroissement sous la salinité. *Plant physiol.* VOL. 110. P 503 – 511
- ✚ BARRETO, M.M., 1983 : Etude expérimentale du développement des racines adventives de la tige de *Phaseolus vulgaris L.* Mémoire de D.E.A. Université de Dakar. 67 p
- ✚ BELL, A., 1994 : Plantes à fleurs ; la morphologie descriptive et dynamique des plantes à fleurs. Ed. Masson, Paris. 340p
- ✚ BELTRAN, 1999: sols interface fragile. Ed. INRA. Paris. Pp 88-100

- ✚ BEN KHALED, L., GÓMEZ, A.M., HONRUBIA, M., OIHABI, A., 2003 : Effet du stress salin en milieu hydroponique sur le trèfle inoculé par le Rhizobium. *Agronomie* 23. p 553-560.
- ✚ BEN MECHLIA, N., 2001 : perspectives de valorisation de l'eau d'irrigation dans les pays du Maghreb. INRAT. Tunis. 9p.
- ✚ BENADEL.A., 2005: Importance de fertiactyle et les fréquences de lessivage dans un milieu salin. La production du haricot vert variétés Cotender. Thèse. Ing. Agro. Blida.
- ✚ BERTHOMIEU, P. CONÉJÉRO, G. NUBLAT, A. BRACKENBURY, W. LAMBERT, C. SAVIO, C. UOZUMI, N. OIKI, S. YAMADA, K. CELLIER, F. GOSTI, F. SIMONNEAU, T. ESSAH, P. TESTER, M. VERY, A. SENTENAC, H. CASSE, F. 2003: Functional analysis of AtHKT1 in Arabidopsis shows that Na⁺ recirculation by the phloem is crucial for salt tolerance. *Bilan des cultures maraichères Ministère de l'agriculture. Embo Journal. Vol. 22. 1998*
- ✚ BEZPALY., 1984 : Les plantes cultivées en Afrique occidentale .Ed. MIR. Moscou. 104P.
- ✚ BLANC, D.,1987 : Les cultures hors sol .Ed. INRA. paris .409 p
- ✚ BOUMLIK, M., 1995 : Systématique des spermaphytes. Ed. OPU. Alger. 200p
- ✚ BOUNAQBA S., 1998, Analyse des déterminants de la tolérance à NaCl chez le blé tendre, le triticale et l'orge. Utilisation de la fluorescence chlorophyllienne dans le diagnostic de l'état fonctionnel du photosystème II. Doctorat de Biologie, Faculté des Sciences de Tunis, Univ. Tunis II.
- ✚ BOYER J. S., 1997: Advances in drought tolerance in plants. *Advances in Agronomy*, 58. pp 187-217.
- ✚ BRADY, N.C., 2002 : The nature and Properties of Soils. New Jersey, USA. Prentice Hall. 2p.
- ✚ BRUN, R., 1989 : Maitrise de la nutrition des cultures florales en hors sols sur substrat inerte. The Pennsylvanien state University Presse. 277 p.
- ✚ CABU, C., DEVROYE, C., 1980 : cultivez vos légumes. ED. ELSEVIER SEQUOIA. Bruxelles. Pp 46- 50
- ✚ CABURET et LETHÈVE, 2002 : Mémento de l'agronome. Les légumineuses à graines. Ed. MEA. France.1691p
- ✚ CALVET, R., 2003 : Le sol, propriétés et fonction. Applications agronomiques et environnementale. Tome 2. Ed. France agricole. 511p.
- ✚ CANNOVAS., CUENCA., 1981 : Efecto del estrés salino en la fijación de nitrógeno y en el metabolismo oxidativo en nódulos de *Phaseolus vulgaris*.

- ✚ CHAILLOU. S., 2008 : Développement racinaire, fonctionnement de la rhizosphère et nutrition minérale p 61
- ✚ CHAUX.C., et FOURY. C., 1994 : Productions légumières, tome 3 (Légumineuses potagères Légumes fruits). Ed. Lavoisier Tec & Doc. Pp 563
- ✚ CHERAFA, A., 2010 : valorisation des eaux non conventionnelles en arido culture. mémoire de magister USDB. 94p
- ✚ CHERBUY, B., 1991: Les sols salés et leur réhabilitation, étude bibliographique. Cemagraf, école. Nat. Renne. 170 P.
- ✚ COIC Y., 1984 : Les cultures sans sol .Revue science et vie, hors série n0146.Pp 67-75
- ✚ CRAMER G.R., LAUCHLI A. & Polito E.V.S., 1985. Displacement of Ca^{2+} by Na^{+} from the plasmalemma of root cells. A primary response to salt stress. *Plant Physiol.* 83: 510-516.
- ✚ CREMER, S., KNODEN, D., LUXEN, P., 2008 : Les amendements basiques ou chaulage des prairies. Fourrages Mieux asbl. 7p
- ✚ DEBOUCK, D.G ; HIDALGO, R., 1987 : morphologie de la plante du haricot commun (*Phaseolus vulgaris. L*). Ed. CIAT. Colombie. 64p
- ✚ DELAUNEY, A.J., VERMA, D. 1993: Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. *Plant J.* p.215-223.
- ✚ DEROUICHE B., 2011: Ecophysiologie du haricot (*Phaseolus vulgaris*) variété djadida dans un environnement salin. Mémoire de magistère Blida. 120p
- ✚ DEVIGNES A., 1986 : 30 Légumes faciles à cultiver. Ed. L'amitié. Hatier. Paris. 117p
- ✚ DIEHL. R., 1975 : Agriculture générale, Ed. J.B. Ballière, Paris.396p.
- ✚ DINON. E., et GERSTMANS. A., 2008 : L'influence du pH sur l'assimilation des éléments nutritifs du sol par les plantes et sur la variété des plantes. Université de Liège. 4p.
- ✚ DOOREMBOS J., 1980 : repense des cultures à l'eau. Bulletin F.A.O. d'irrigation et de drainage, N°33. pp192-196.
- ✚ DORE, C et VAROQUAUX, F ; 2006 : Histoires et amélioration de cinquante plantes cultivées. Ed. INRA. Paris. 812p
- ✚ DUBOIS M., GILLET K.A., 1965: Dosage des sucres totaux à l'ortho-toluidine, *J. Agr. Food Chem.* 13 : 137
- ✚ DUPONT F., GUIGNARD J.L., 1989 : Haricot nain (Bulletin des variétés). Ed. Masson. Collection : Abrégés pharma. Paris. 510P.

- # DUTHIL, D., 1973 : Eléments d'écologie et d'agronomie. tome III. Exploitation et amélioration du milieu, emploi des facteurs de la production végétale. Ed. J.B Baillière, Paris. 392p
- # EILERS, R.G., EILERS .W.D., PETTAPIECE. W.W., LELYK .G., 1992 : la santé de nos sols. salinisation du sol.
- # FAO stat.2012. consulté le 12 /01/2014. <http://faostat.fao.org/>
- # FAO, 2002 : Le sel de la terre: un danger pour la production vivrière. Pp 1.3
- # FERNANDEZ, F ; GEPTS, P., 1987 : Etapes du développement de la plante du haricot commun .Ed. CIAT. Colombie. 32p
- # FEVEREAU. J., 1976 : Culture en containers. Revue horticole N°14. Pp. 68 – 75
- # FRANCIS et al., 1970: Cooper enzymes in isolated chloroplastes. Plant Physiol., 24 (1949), pp.1-15.
- # GALILI., G.,2008: Principal Transcriptional Programs Regulating Plant Amino Acid Metabolism in Response to Abiotic Stresses. Plant Physiol. 147: 316-330; First published on March 28, 2008; 10.1104/pp.108.115733
- # GAMA, P.B.S., INANAGA, S., TANAKA, K., NAKAZAWA, R., 2007 : Physiological response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings to salinity stress. African Journal of Biotechnology. Vol. 6 (2). pp. 079-088.
- # GHODBENE, N., 2006 : Etude comparative de quelques paramètres morpho- physio agronomiques chez quelques variétés d'orge (*Hordeum vulgare* L.) cultivées en condition de salinité. Mémoire d'ingénieur en biologie végétale. 109p.
- # GOSSELIN A., and TRUDEL M.N., 1983: « Interaction between root-zone temperature and light levels on growth development and photosynthesis » (1983), 901-905p
- # GREENWAY, H et MUNS, R., “Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes”, Ann. Rev. Plant Physiol. 31, 1980, pp. 149-190
- # GUERIF.,M, KING.,D., 2007 : agriculture de précision. ED. QUAE. 276p
- # HADE, A., 2003 : Nos Lacs, les connaître pour mieux les protéger. Ed. FIDES. Québec. p230
- # HAGEMEYER, J., 1996 : Salt. In: Plant Ecophysiology. New York: John Wiley et Sons. Inc. p.176-181
- # HAOUALA, F., FERJANI, H., BEN EL-HADJ, S., 2007: Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na⁺, K⁺ et Ca⁺⁺) et du chlore (Cl⁻) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent. Biotechnologie. Agronomie Société et environnement. Vol-11. N0.3 .P 235 -244.

- ✚ HARE, P.D., CRESS, W.A. et al. 1998. Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress. *Plant cell and environment*. p. 535-553.
- ✚ HELA B.A., MANAA A., ZID E., 2008 : Tolérance à la salinité d'une poaceae à cycle court : la sétaire (*Setaria verticillata* L.) ; *Comptes rendus Biologies* 331 pp 164–170.
- ✚ HELLER, R., «Physiologie végétale, nutrition », 2eme édition. Ed Masson, Paris, 1981, 244p.
- ✚ HOPKINS, W.G., 2003 : Physiologie végétale. 2ème Edition. Ed. De Boeck. Paris. 495p.
- ✚ HORIE, T., SCHROEDER, J., 2004 : Sodium transporters in plants. Diverse genes and physiological functions. *Plant Physiology*. p. 2457-2462
- ✚ HOSNI., 2009 : La tolérance au sel, *Ecophysiologie Végétale*. Pp 1-6
- ✚ HOUASSINE. D., 2004 : Effet de toxicité du magnésium lié aux sulfates et aux chlorures chez certaines variétés de tomates conduite sous serre en culture hydroponique. *Th. Mag. I. N. E. S. Blida*. 92p.
- ✚ HUBERT,P., 1978 : Recueil de fiches techniques d'agriculture spéciale à l'usage des lycées agricoles. Madagascar Antananarivo. BDPA. 6p
- ✚ HUNTZ, A.M., et ROQUES-CARMES, C., 1980 : Équilibres acido-basiques en solution aqueuse, pH: cours et exercices. ED. Masson. 295p
- ✚ IPTRID., 2006 : conférence électronique sur la salinisation. Extension de la salinisation et stratégie de prévention et réhabilitation .p2-11.
- ✚ JEANNEQUIN. B., 1992 : les plastiques en agriculture .Ed. C.A.P. revue horticole. 153 - 161 p
- ✚ JIANG. Y.Q., DEYHOLOS. M.K., 2006 : Comprehensive transcriptional profiling of NaCl stressed Arabidopsis roots reveals novel classes of responsive genes. *BMC Plant Biology* vol 6, Article N°25.
- ✚ KATERJI, N., 1995 : Réponse des cultures à la contrainte hydrique d'origine saline: approches empiriques et mécanistes. *C. R. Acad. Agri. Fr. VOL. 81 (2)*. pp 73-86.
- ✚ KHECHAI. S, 2001: contribution à l'étude du comportement hydrophysique des sols du périmètre irrigué de l'ITDAS dans la plaine de l'outaya (W.Biskra), Thèse de magister science agronomique. Université de Biskra.
- ✚ KOLEV, N., 1976 : les cultures maraichères en Algérie, Tome 1, légumes et fruits. Ed. Ministère de l'agriculture et de la réforme agraire. Pp 6- 33
- ✚ LACROIX, M., 1998: système racinaire de la tomate de serre, champignons phytopathogènes et environnement. *Laboratoire de diagnostic en phyto-protection. MAMAQ. Québec*. 17p

- ✚ LAFON J.P, THARAUD-PRAYER. C et LEVY. G ; 1996 : Biologie des plantes cultivées. Tome 1, 2. Ed Technique et Documentation. 233p
- ✚ LAHLOU, M., BADRAOUI, M., SOUDI. B., GOUMARI. A., et TESSIER. D. 2002 : Modélisation de l'impact de l'irrigation sur le devenir salin et sodique des sols. CIRAD. France. 19p
- ✚ LAMBERT, L., 2000 : acides, engrais, et mystères. MAPAQ. Québec. 17p
- ✚ LAUMONNIER, R., 1979 : cultures légumières et maraichères. Tome 3.3ème édition. Ed. J.B. Bailliére.
- ✚ LE BOHEC, J., 1979 : Le Mangetout et le flageolet. culture pour la transformation. ED. CTIFL. Paris. 179p
- ✚ LE POIVRE., P. 2003 : Phytopathologie: Bases moléculaires et biologiques des pathosystèmes et et fondements des stratégies de lutte. ED. De Boeck & Larcier. S.A. Bruxelles. 432p
- ✚ LE QUILLEC., 2002 : Gestion des effluents des cultures légumières sur substrat. ED.CTIFL. 198p
- ✚ LECOMTE, B ,. (1997) : Étude du développement embryonnaire in vivo et in vitro dans le genre Phaseolus L. Thèse doct. Sci. Agro. Gembloux, Belgique : Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux, 186 p.
- ✚ LEGROS, J.P. 2007 : Les grands sols du monde. Ed. Presses polytechniques et universitaire romandes. 574p.
- ✚ LEGROS, J.P., 2009 : La salinisation des terres dans le monde. Académie des Sciences et Lettres de Montpellier. conférence n°4069, Bull. n°40, pp. 257-269
- ✚ LEMAIRE, F., 1989 : Culture en pots et conteneurs .Ed. INRA .Paris.184p
- ✚ LESAIN. C., et COÏC, Y., 1983 : Cultures hydroponiques. Ed. La maison rustique. Paris. 118p.
- ✚ LOUE, A., 1986 : Les oligo-éléments en agriculture. Ed .Agri-Nathan Internationale. Paris. 339 p.
- ✚ MAILLARD, J., 2001 : Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone aride : Risques et Recommandations. Handicap International. 35p
- ✚ MARLET, S., et JOB, J.O., 2006 : Processus et gestion de la salinité des sols. In : Tiercelin, J.R. Traité d'irrigation, seconde édition. Tec & Doc Lavoisier.
- ✚ MARTINEZ, S., MORARD, P., 2000 : Recyclage des solutions nutritives en culture hors-sol. Forum graines de chercheurs. ENSAT. Toulouse.

- ✚ MBEY, J.A., 2007 : importance du ph en chimie, biochimie, agriculture, médecine. Publication du Club 9899PCT. 4p
- ✚ MEIRI, A., LEVY, R., 1973 : Evaluation of salinity in soils and plants. In: Ecological studies 5 Aride Zone Irrigation. ED. New York. 550 p.
- ✚ MENGEL K., KIRKBY E.A., 1982: Principales of plant nutrition, Potash Inst 3ème Ed. Worblanfen Bern, Switzerlnd, 655p
- ✚ MERMOUD,A., 2006 : Maitrise de la salinité des sols. Cours de physique du sol, école polytechnique fédérale de Lausanne. 15p.
- ✚ MESSEDI, D., ABDELLY, C., 2004. Physiologie de la tolérance au sel d'une halophyte de recouvrement: Batis maritima. Revue des Régions Arides. Tome 1. P 192-199
- ✚ MESSIAEN, C.N., 1989 : Le potager tropical. Ed. Techniques vivantes. pp341-343.
- ✚ Ministère de l'agriculture. (1998)
- ✚ Ministère des affaires étrangères (MAE)., 2002 : memento de l'agronome. ED. QUAE. France. 1691p
- ✚ MONNEVEUX, Ph. & NEMMAR, M. (1986). - Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.): Etude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de
- ✚ MORARD, G ., 1995: Les cultures végétales en hors sol, Pub. Agris, Paris, 301p.
- ✚ MOREL., 2005 : Les cultures hors sols. Application aux jardins de ville. ED. I.N.R.A.UMR SAGAH.17p
- ✚ MORTREUX, P., 2008 : Chambre d'agriculture de région du Nord Pas de Calais.
- ✚ MUNNS, R., 1993: Physiological prices limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypotheses .Plant. Cell and Environment.VOL1. 9. p15-24.
- ✚ MUNNS, R., TERMAAT, A., 1986: Whol-plant responses to salinity. Aust. J. Plant Physiol. VOL. 13. Pp 143-160
- ✚ NANJO, T., KOBAYASHI, M. et al. 1999. Biological functions of proline inmorphogenesis and osmotolerance revealed in antisense transgenic *Arabidopsis thaliana*. Plant J. p. 185-193.Nieves, M., Riuiz, D., Cedra , A. 1991. Influence of rootstock-scion combination in Lemon trees salt tolerance. In Proc. Italy: Int. Soc, Citriculture, Acireale. p. 387-390.
- ✚ NICOLAS, J et ROCHE HAMON, Y., 1987 : la pépinière. ED. Tec & Doc, lavoisier. Paris. 280p +
- ✚ NYABYENDA, P., 2005 : les plantes cultivées en régions tropicales d'altitude d'Afrique .Ed. CTA. Pays bas. 223p

- ✚ OMANI, N., 2005 : Response of Amaranth to salinity stress. These of Ph.D. Horticulture. University of Pretoria. Chapter 1. P 5-20
- ✚ PARIDA, A.K ET DAS, A.B., 2005 : Salt tolerance and salinity effect on plants. Ecotoxicology and Environmental Safety. Vol.60. pp 324-349.
- ✚ PERON, J.Y., 2006 : Référence, productions légumières .2eme édition. Ed. Lavoisier, 613 p.
- ✚ PIERZYNSKI, G.M SIMS, J.T VANCE, G.F 2000 : soils and enviromental qualité. 2éme edition. CRC. Press newyork. 459p
- ✚ PITRAT, M. et FOURY C., 2003 : Histoires de légumes, des origines à l'orée du XXI^e siècle . Ed.INRA.Paris. pp35-43.
- ✚ PIVOT, D., GILLI, C., et CARLEN, C., 2005 : Données de base pour la fumure des cultures de légumes, de fleurs et de fraises sur substrat. Revue suisse Vitic. Arboric. Hortic. Vol. 37 (2). 8p
- ✚ POLESE, J-M., 2006 : la culture des haricots et des pois. Ed. Artémis. Slovaquie. 95p
Pp 26 34
- ✚ PREVOST, P., 1999 : Les bases de l'agriculture moderne. 2éme édition. Ed.TEC& DOC. Paris. 254 p
- ✚ PURSEGLOVE, JW., 1974 : phaseolus vulgaris. Tropical crops. London. Pp 304-310.
- ✚ RAHMOUNE,C., MAALEM,S. et BEN NACEUR,M., 2004 : Effets comparés de la fertilisation phosphatée sur l'Atriplex cultivé en zone semi-aride du Nord-Est algérien. Plant Physiology. Vol. 3, n°4, pp. 213-217.
- ✚ REBSTEIN, M., SOERENSEN, C., 2007 : Chimie, préparation au bac et à la maturité. PPUR presses polytechniques. 350p
- ✚ RENARD, S., GOFFORK, J.P., FRANKINET., 2007 : Optimisation de l'efficience de l'azote dans les rotations intégrant les cultures de légumes industriels en Hesbaye. Les dossiers de la recherche agricoles. 105p
- ✚ RHOADES, J.D., KANDIAH, A., et MASHALI., A.M., 1992 : The use of saline water for crop production. Irrigation and drainage paper. FAO. n°48. Rome. 140p.
- ✚ RHODRI P., et MORINI S., 2005: Gestion des sols salinisés par l'irrigation. the nature and properties of soils, New jersey.USA. Prentice hall. 2p
- ✚ ROBERT, M., 1996: Le sol interface dans l'environnement ressource pour le développement. Ed. MASSON. Paris. 96 P.
- ✚ ROBIN, P., 1998 : Horticulture sans sol, histoire et actualité. Cahiers d'économie et sociologie rurale. n° 46-47. P 98-129

- ✚ RODRIGUEZ, P., DELL'AMICO, J., MORALES, D., BLANCO, M. G. B. and ALARCON, J.J., 1997: Effect of salinity on growth, shoot water relation and root hydraulic conductivity in tomato plants. *Journal Agricultural Science. Cambridge.* VOL. 128. Pp. 439-444
- ✚ RUSH, D.W., ET EPSTEIN, E., 1981: Breeding and selection for salt-tolerance by incorporation of Wild germplasm into a domestic tomato. *J.Amer-Soc.*
- ✚ SAIDI, J., 2004 : Influence de la phase saline sur les propriétés physiques des matériaux argileux du Bas Cheliff. Thèse de Doctorat d'Etat en Science Agronomiques. 181p
- ✚ SATTI, S.M. E., LOPEZ, M., and AL-SAID, A., 1994 : Salinity induced changes in vegetative and reproductive growth in tomato. *Commun. Soil Sci. Pant Anal.* VOL. 25 (5 et 6). Pp. 501-510.
- ✚ SCHWARZ .M., 1985: The use of saline water in hydroponics. *Soiless Culture.* VOL. 1 (1).
- ✚ SKIREDJ, A., BOUNIOLS, A., 1994 : Fixation symbiotique et nutrition azotée du haricot filet (*Phaseolus vulgaris* L.) conduit sous abri plastique. *Actes Inst. Agron. Vet.* Vol. 14 (1). Pp 27- 36
- ✚ SMIRNOV P, MOURAVINE E, STOROJENKO V, RAKIPOV N, 1977: L'agrochimie Ed. Mir. Moscow 280p
- ✚ SNOUSSI, S. HALITIM, A. 1998. Valorisation des eaux salines pour la nutrition minérale des plantes cultivées. *Etude et gestion des sols.* p. 289- 298.
- ✚ SNOUSSI, S.A., « Valorisation des eaux salines pour la nutrition des plantes cultivées », Thèse de doctorat. INA, Alger, 2001, 152p.
- ✚ SNOUSSI, S.A., 1980 : caractérisation de quelques substrats disponible dans la région d'Alger en vue de leur utilisation en culture hydroponique. Thèse ing Agro. INA. Alger. Pp 67.
- ✚ SOLTNER., D. 2003 : Les bases de la production végétale – Tome I – Le sol et son amélioration. *Collection Sciences et techniques agricoles.*
- ✚ TEXIER, W., 2013 : l'hydroponie pour tous. ED. MAMA. Paris. 225p
- ✚ THIAULT. J.F ; 2004 : La maitrise de la culture hors-sol. *Bulletin Détail, n° 215.* ED. CTIFL. ISSN 0758-4334
- ✚ TIRILLY, Y., et BOURGEOIS, C.M., 1999 : Technologie des légumes .Ed. Tec et Doc Lavoisier. Paris. 588p
- ✚ TREMBLIN, G., 2000 : Comportement auto-écologique de *Halopeplis amplexicaulis*: plante pionnière des sebkhas de l'ouest algérien. *Sécheresse.* VOL. 11 (2).p 109-116

- ✚ URBAN, L., 1997 : Introduction à la production sous serre (L'irrigation fertilisante en culture hors sol). Ed. Lavoisier Tec & Doc. Paris. 210p
- ✚ VALLEE, C., BILODEAU, G., 1999 : Les techniques de culture en multicellules. Presses Université Lava. 394p
- ✚ VILAIN, M., 1997 : la production végétale. La maîtrise technique de la production. Volume 2. 2eme éditions. ED. technique et documentation, Paris. 449 p.
- ✚ VITRE, A., 2003 : Fondements & principes du hors-sol . Doc V 3.1 HRS 12 Ind A. 10p
- ✚ WALKER,R.R., DOUGLAS,T.J. 1983: Effects of salinity level on uptake and distribution of chloride ,sodium and potassium ions in citrus plants . *Australian Journal of Agricultural Research*, Vol.34, n. 8, p. 145-153
- ✚ YOUSEF A.N., SPRENT J.I., Effect of NaCl on growth,nitrogen incorporation and chemical composition of inoculated and NH₄NO₃ fertilized *Vicia faba* L. plants, *J. Exp. Bot.* 143 (1983) 941–950.
- ✚ ZHIFANG et LOESCHER : 2003 in Parida et Das, 2005. Toxicity of the Salt and Pericarp Inhibition on the Germination of Some Atriplex Species. *American-Eurasian Journal of Toxicologic Sciences* 1 (2): 43-49

ANNEXES

Annexe 01 : Hauteur finale des tiges

| Source de variation | S.C.E | DDL | Carres moyens | Test F | PROBA | E.T | C.V |
|---------------------|--------|-----|---------------|--------|--------|------|-------|
| Var. totale | 235,35 | 47 | 5,00 | 22,39 | 0,0000 | 0,42 | 6,47% |
| Var. facteur 1 | 142,21 | 3 | 47,40 | | | | |
| Var. résiduelle 1 | 93,14 | 44 | 2,11 | | | | |

Annexe 02 : Diamètre des tiges

| Source de variation | S.C.E | DDL | Carres moyens | Test F | PROBA | E.T | C.V |
|---------------------|-------|-----|---------------|--------|--------|------|-------|
| Var. totale | 23,61 | 47 | 0,50 | 26,55 | 0,0000 | 0,12 | 9,52% |
| Var. facteur 1 | 15,21 | 3 | 5,07 | | | | |
| Var. résiduelle 1 | 8,40 | 44 | 0,19 | | | | |

Annexe 03 : nombre de feuilles

| Source de variation | S.C.E | DDL | Carres moyens | Test F | PROBA | E.T | C.V |
|---------------------|--------|-----|---------------|--------|--------|------|--------|
| Var. totale | 429,91 | 47 | 9,14 | 64,65 | 0,0000 | 0,38 | 17,39% |
| Var. facteur 1 | 350,41 | 3 | 116,80 | | | | |
| Var. résiduelle 1 | 79,5 | 44 | 1,80 | | | | |

Annexe 04 : longueur des racines

| Source de variation | S.C.E | DDL | Carres moyens | Test F | PROBA | E.T | C.V |
|---------------------|--------|-----|---------------|--------|--------|------|-------|
| Var. totale | 172,66 | 47 | 3,67 | 11,65 | 0,0000 | 0,42 | 4,94% |
| Var. facteur 1 | 76,44 | 3 | 25,48 | | | | |
| Var. résiduelle 1 | 96,21 | 44 | 2,18 | | | | |

Annexe 05 : Biomasse fraîche totale

| Source de variation | S.C.E | DDL | Carres moyens | Test F | PROBA | E.T | C.V |
|---------------------|---------|-----|---------------|--------|--------|------|-------|
| Var. totale | 3095,49 | 47 | 65,86 | 989,70 | 0,0000 | 0,29 | 4,55% |
| Var. facteur 1 | 3050,28 | 3 | 1016,76 | | | | |
| Var. résiduelle 1 | 45,20 | 44 | 4,32 | | | | |

Annexe 06 : poids frais des feuilles

| Source de variation | S.C.E | DDL | Carres moyens | Test F | PROBA | E.T | C.V |
|---------------------|---------|-----|---------------|--------|--------|------|-------|
| Var. totale | 2627,4 | 47 | 55,90 | 357,68 | 0,0000 | 0,44 | 8,49% |
| Var. facteur 1 | 2523,91 | 3 | 841,305 | | | | |
| Var. résiduelle 1 | 103,49 | 44 | 2,35211 | | | | |

Annexe 07 : poids frais des tiges

| Source de variation | S.C.E | DDL | Carres moyens | Test F | PROBA | E.T | C.V |
|---------------------|-------|-----|---------------|--------|--------|------|--------|
| Var. totale | 77,11 | 47 | 1,64 | 8,69 | 0,0001 | 0,30 | 17,77% |
| Var. facteur 1 | 28,68 | 3 | 9,56 | | | | |
| Var. résiduelle 1 | 48,42 | 44 | 1,10 | | | | |

Annexe 08 : poids frais racines

| Source de variation | S.C.E | DDL | Carres moyens | Test F | PROBA | E.T | C.V |
|---------------------|--------|-----|---------------|--------|--------|------|--------|
| Var. totale | 298,28 | 47 | 6,34 | 35,93 | 0,0000 | 0,40 | 16,85% |
| Var. facteur 1 | 211,82 | 3 | 70,60 | | | | |
| Var. résiduelle 1 | 86,45 | 44 | 1,94 | | | | |

Annexe 09 : Biomasse sèche totale

| Source de variation | S.C.E | DDL | Carres moyens | Test F | PROBA | E.T | C.V |
|---------------------|-------|-----|---------------|--------|--------|------|--------|
| Var. totale | 66,17 | 47 | 1,40 | 83,00 | 0,0000 | 0,13 | 16,54% |
| Var. facteur 1 | 56,24 | 3 | 18,74 | | | | |
| Var. résiduelle 1 | 9,93 | 44 | 0,22 | | | | |

Annexe 10 : poids sec feuilles

| Source de variation | S.C.E | DDL | Carres moyens | Test F | PROBA | E.T | C.V |
|---------------------|--------|-----|---------------|--------|--------|------|--------|
| Var. totale | 44,193 | 47 | 0,90 | 167,94 | 0,0000 | 0,08 | 12,72% |
| Var. facteur 1 | 40,644 | 3 | 13,54 | | | | |
| Var. résiduelle 1 | 3,549 | 44 | 0,08 | | | | |

Annexe 11 : poids sec tiges

| Source de variation | S.C.E | DDL | Carres moyens | Test F | PROBA | E.T | C.V |
|---------------------|-------|-----|---------------|--------|--------|------|--------|
| Var. totale | 2,83 | 47 | 0,06 | 12,27 | 0,0000 | 0,05 | 17,76% |
| Var. facteur 1 | 1,29 | 3 | 0,43 | | | | |
| Var. résiduelle 1 | 1,54 | 44 | 0,035 | | | | |

Annexe 12 : poids sec racines

| Source de variation | S.C.E | DDL | Carres moyens | Test F | PROBA | E.T | C.V |
|---------------------|-------|-----|---------------|--------|--------|------|--------|
| Var. totale | 9,69 | 47 | 0,20 | 79,24 | 0,0000 | 0,05 | 11,22% |
| Var. facteur 1 | 8,18 | 3 | 2,72 | | | | |
| Var. résiduelle 1 | 1,51 | 44 | 0,03 | | | | |

Annexe 13 : taux de matière sèche totale

| Source de variation | S.C.E | DDL | Carres moyens | Test F | PROBA | E.T | C.V |
|---------------------|--------|-----|---------------|--------|--------|------|-------|
| Var. totale | 970,42 | 47 | 20,64 | 486,61 | 0,0000 | 0,23 | 4,66% |
| Var. facteur 1 | 942,02 | 3 | 314,00 | | | | |
| Var. résiduelle 1 | 28,39 | 44 | 0,64 | | | | |

Annexe 14 : Quantité de proline

| Source de variation | S.C.E | DDL | Carres moyens | Test F | PROBA | E.T | C.V |
|---------------------|-------|-----|---------------|--------|-------|------|-------|
| Var. totale | 0,295 | 11 | 0,02 | 302,74 | 0,000 | 0,01 | 3,55% |
| Var. facteur 1 | 0,293 | 3 | 0,09 | | | | |
| Var. résiduelle 1 | 0,002 | 8 | 0,001 | | | | |

Annexe 15 : chlorophylle A

| Source de variation | S.C.E | DDL | Carres moyens | Test F | PROBA | E.T | C.V |
|---------------------|-------|-----|---------------|--------|-------|------|-------|
| Var. totale | 0,16 | 11 | 0,01 | 11,77 | 0,001 | 0,01 | 3,65% |
| Var. facteur 1 | 0,13 | 3 | 0,04 | | | | |
| Var. résiduelle 1 | 0,029 | 8 | 0,003 | | | | |

Annexe 16 : chlorophylle B

| Source de variation | S.C.E | DDL | Carres moyens | Test F | PROBA | E.T | C.V |
|---------------------|-------|-----|---------------|--------|-------|------|-------|
| Var. totale | 0,92 | 11 | 0,08 | 10,77 | 0,001 | 0,08 | 8,38% |
| Var. facteur 1 | 0,74 | 3 | 0,24 | | | | |
| Var. résiduelle 1 | 0,18 | 8 | 0,02 | | | | |

Annexe 17 : Quantité de sucres solubles

| Source de variation | S.C.E | DDL | Carres moyens | Test F | PROBA | E.T | C.V |
|---------------------|-------|-----|---------------|--------|-------|------|--------|
| Var. totale | 0,008 | 11 | 0,000 | 23,45 | 0,000 | 0,01 | 12,67% |
| Var. facteur 1 | 0,007 | 3 | 0,002 | | | | |
| Var. résiduelle 1 | 0,001 | 8 | 0,000 | | | | |

Annexe 18 : nombre de fleurs

| Source de variation | S.C.E | DDL | Carres moyens | Test F | PROBA | E.T | C.V |
|---------------------|--------|-----|---------------|--------|--------|------|-------|
| Var. totale | 157,91 | 47 | 3,35 | 69,56 | 0,0000 | 0,22 | 8,52% |
| Var. facteur 1 | 130,41 | 3 | 43,47 | | | | |
| Var. résiduelle 1 | 27,5 | 44 | 0,62 | | | | |

Annexe 19 : nombre de fruit

| Source de variation | S.C.E | DDL | Carres moyens | Test F | PROBA | E.T | C.V |
|---------------------|--------|-----|---------------|--------|--------|------|-------|
| Var. totale | 137,91 | 47 | 2,93 | 58,89 | 0,0000 | 0,22 | 9,81% |
| Var. facteur 1 | 110,41 | 3 | 36,80 | | | | |
| Var. résiduelle 1 | 27,5 | 44 | 0,62 | | | | |

Annexe 20 : estimation du rendement

| Source de variation | S.C.E | DDL | Carres moyens | Test F | PROBA | E.T | C.V |
|---------------------|--------|-----|---------------|---------|--------|------|-------|
| Var. totale | 3625,1 | 47 | 77,12 | 1548,74 | 0,0000 | 0,25 | 3,38% |
| Var. facteur 1 | 3591,1 | 3 | 1197,05 | | | | |
| Var. résiduelle 1 | 34,00 | 44 | 0,77 | | | | |

Annexe 21 : sucres totaux

| Source de variation | S.C.E | DDL | Carres moyens | Test F | PROBA | E.T | C.V |
|---------------------|-------|-----|---------------|--------|-------|------|-------|
| Var. totale | 3,86 | 11 | 0,35 | 11,53 | 0,001 | 0,17 | 5,80% |
| Var. facteur 1 | 3,14 | 3 | 1,04 | | | | |
| Var. résiduelle 1 | 0,72 | 8 | 0,09 | | | | |

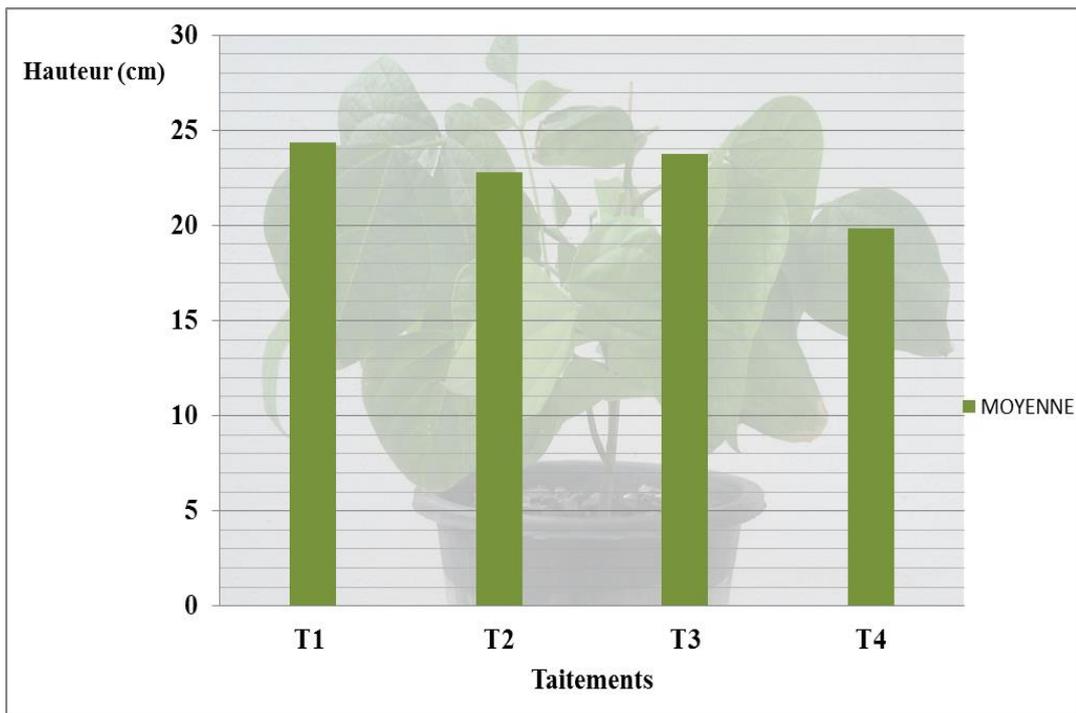
Annexe 22 : vitamine C

| Source de variation | S.C.E | DDL | Carres moyens | Test F | PROBA | E.T | C.V |
|---------------------|-------|-----|---------------|--------|--------|------|-------|
| Var. totale | 3,12 | 11 | 0,28 | 60,80 | 0,0000 | 0,07 | 9,82% |
| Var. facteur 1 | 2,989 | 3 | 0,99 | | | | |
| Var. résiduelle 1 | 0,131 | 8 | 0,01 | | | | |

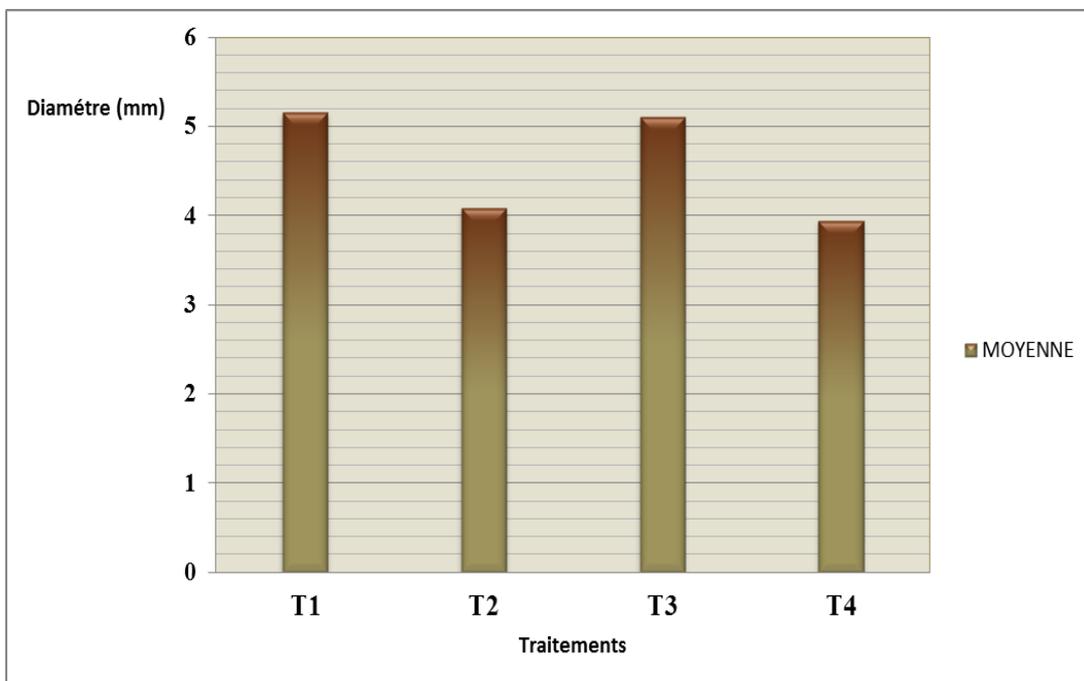
Annexe 23 : Nombre de fruits par plant

| | T1 | T2 | T3 | T4 |
|------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|
| Nombre de fruit | 9,83 ± 0,83 (a) | 6 ± 0,60 (c) | 8,41 ± 1,08 (b) | 6,58 ± 0,50 (c) |

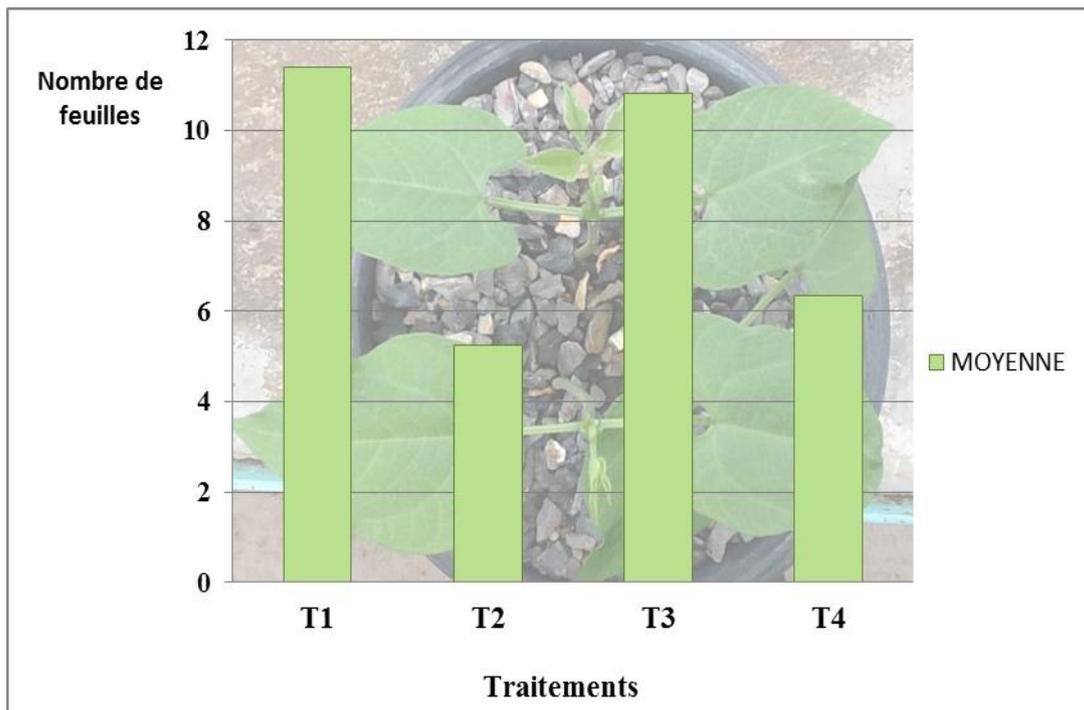
Annexe 24 : hauteur finale des plantes



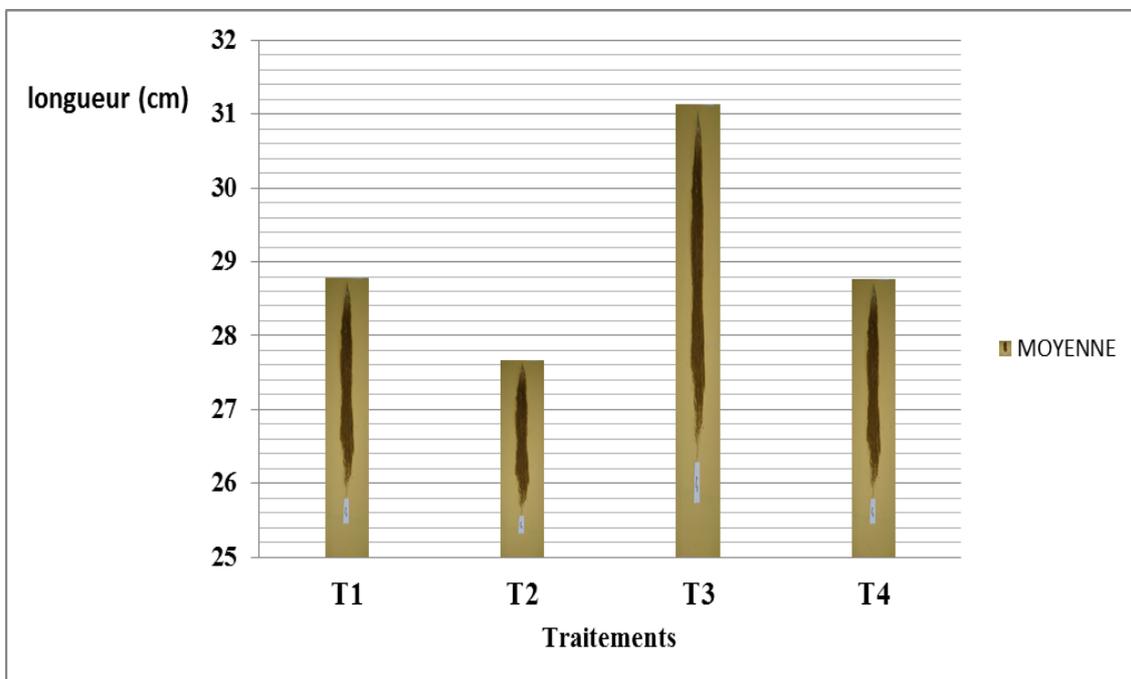
Annexe 25 : Diamètre des tiges



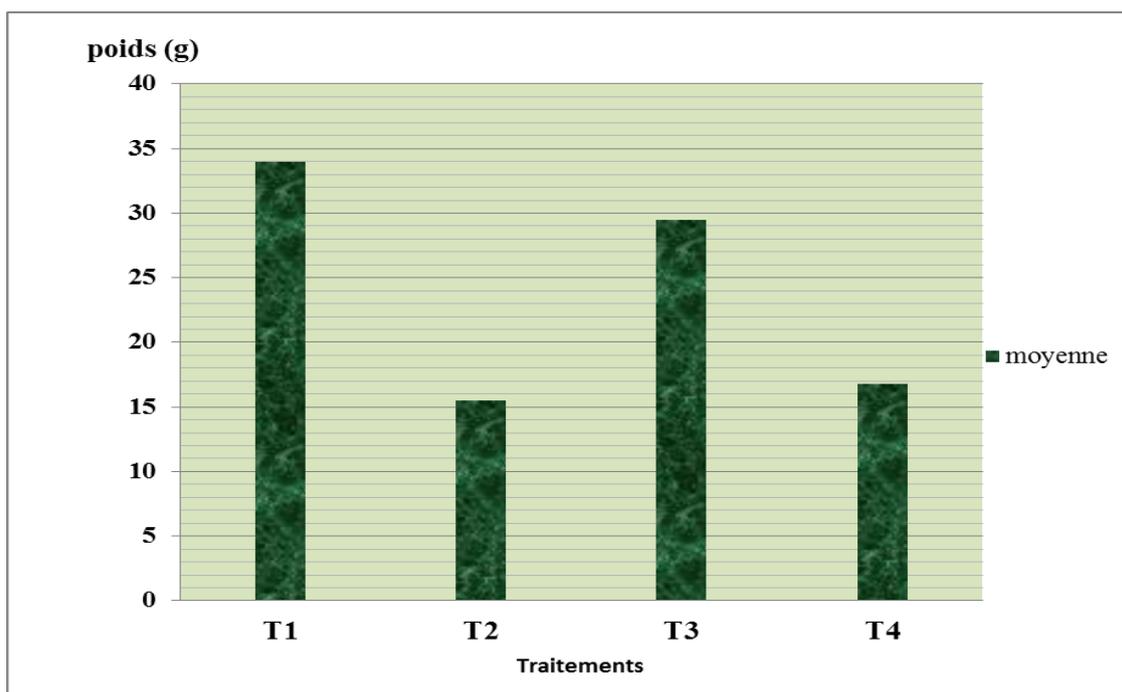
Annexe 26 : Nombre de feuilles



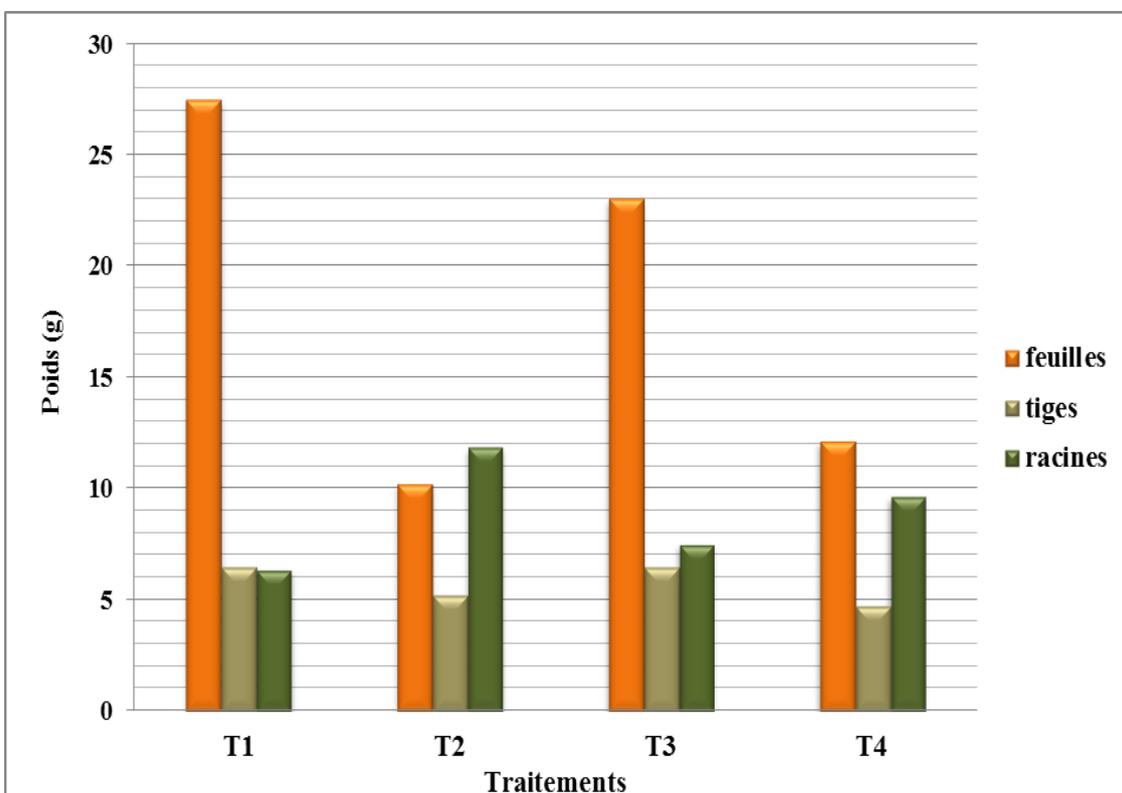
Annexe 27 : Longueur des racines



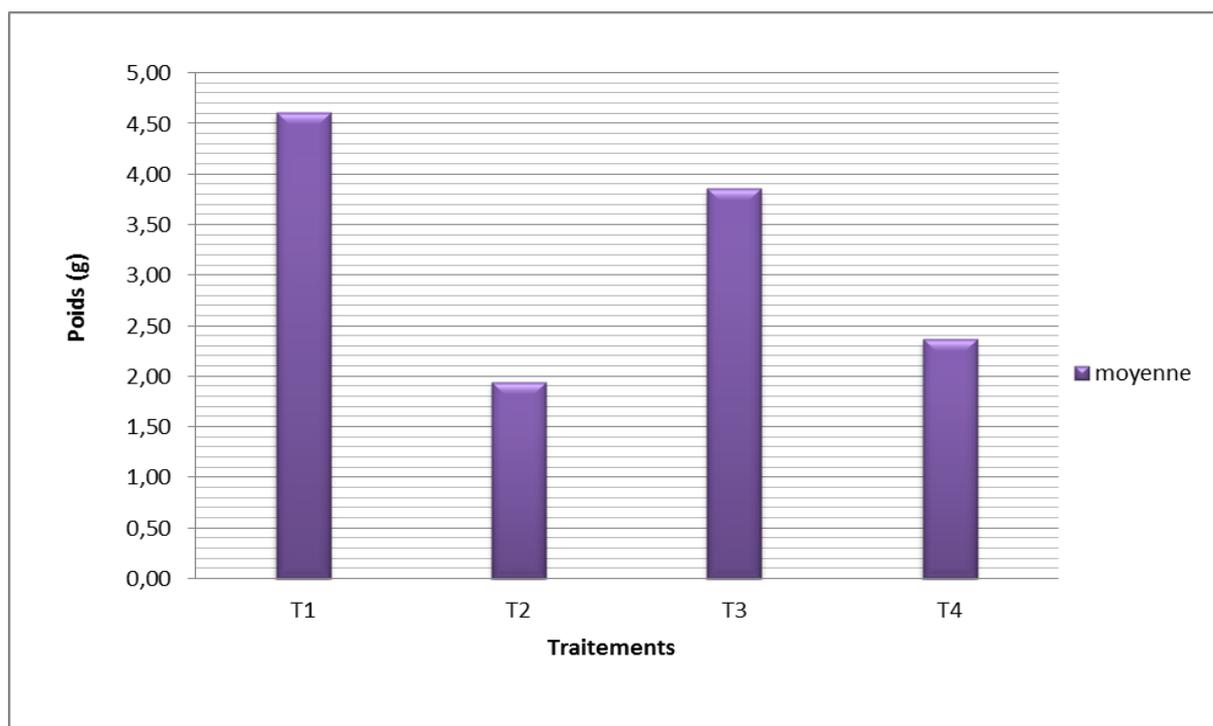
Annexe 28 : Biomasse fraîche totale



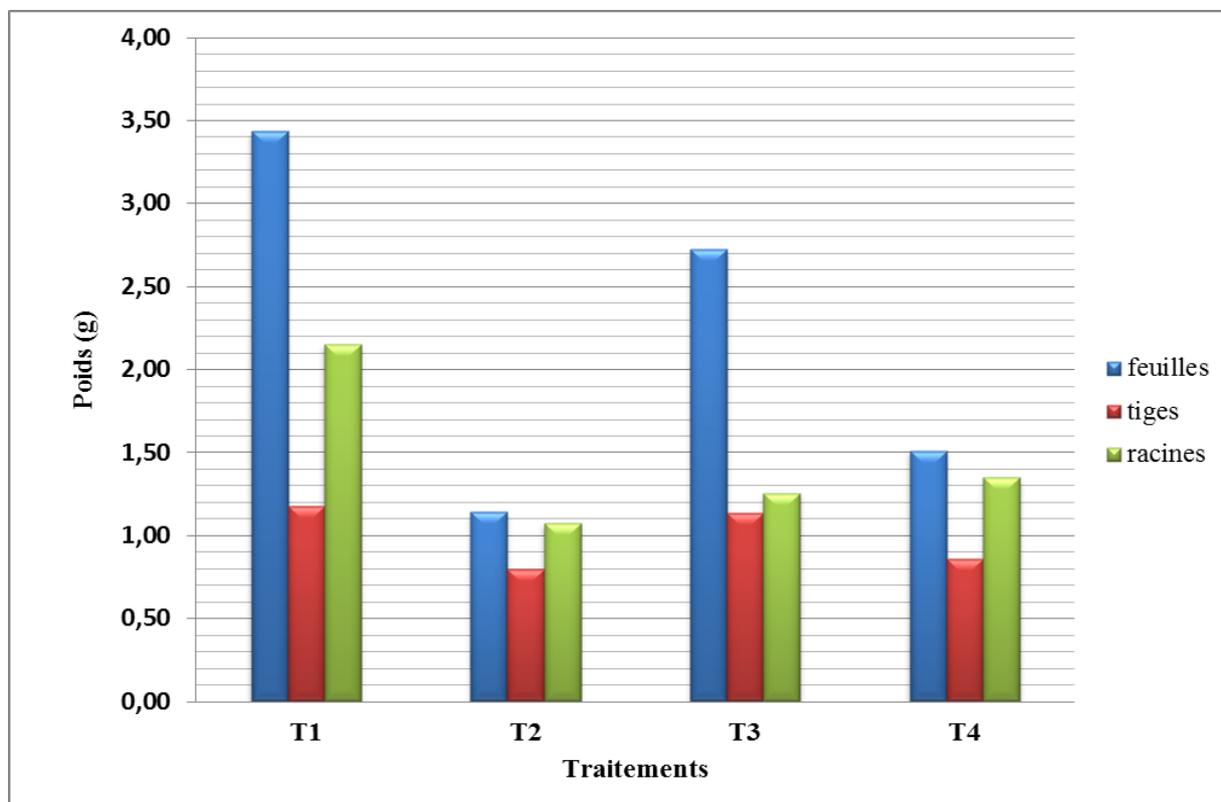
Annexe 29 : Biomasse fraîche des feuilles, tiges et racines



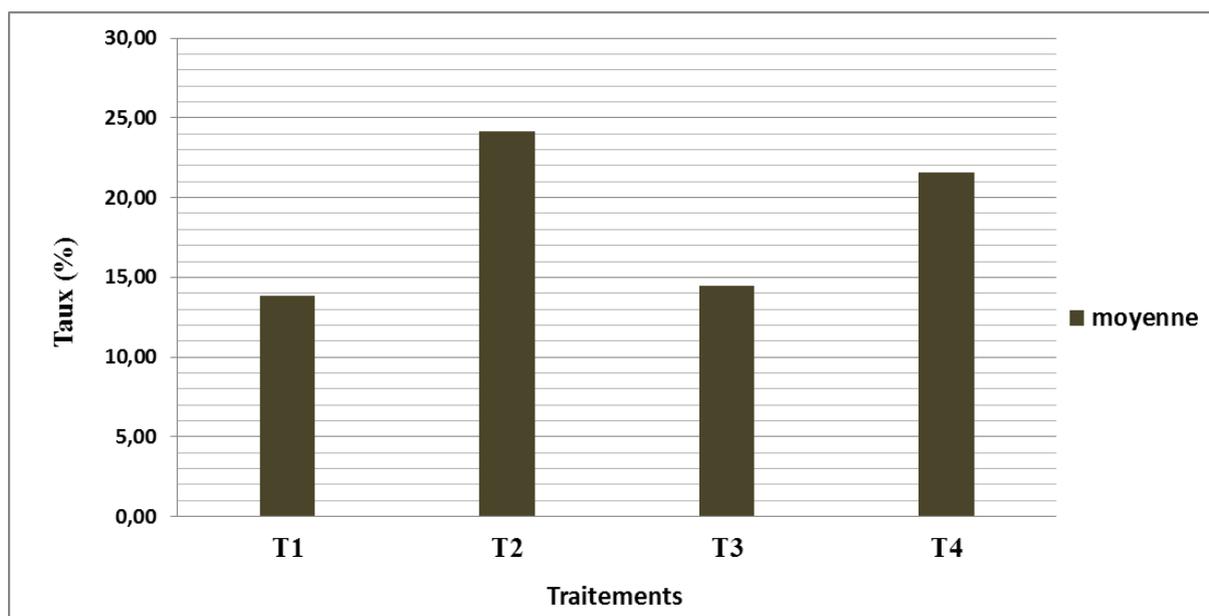
Annexe 30: Biomasse sèche totale



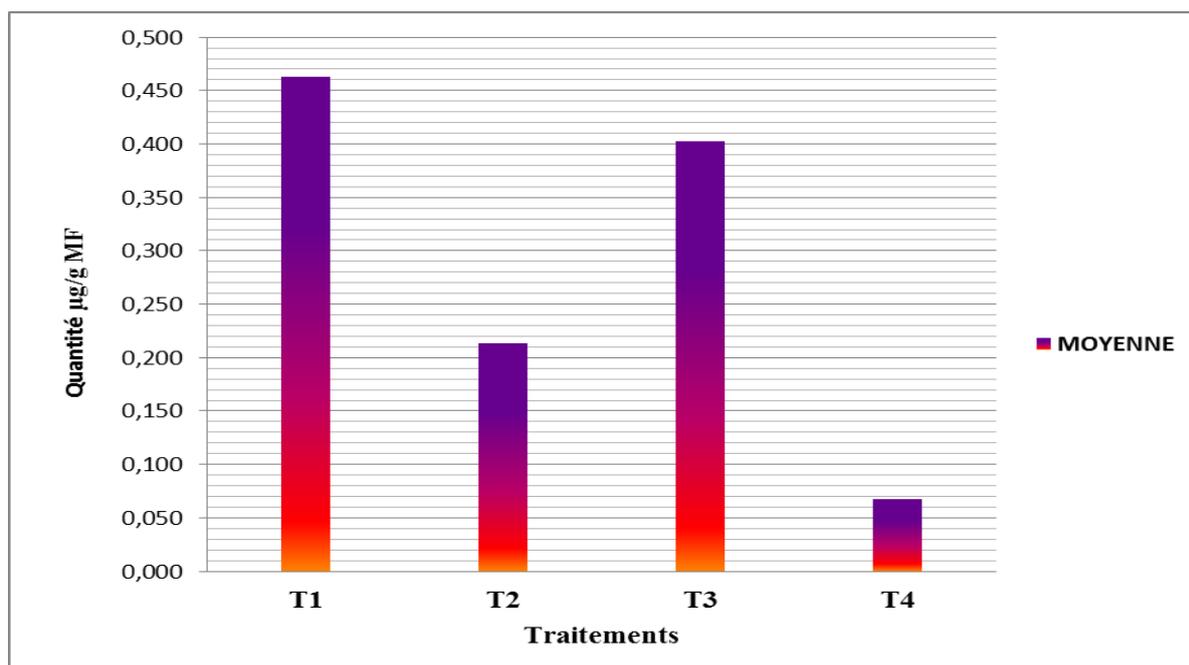
Annexe 31 : Biomasse sèche des feuilles, tiges et racines



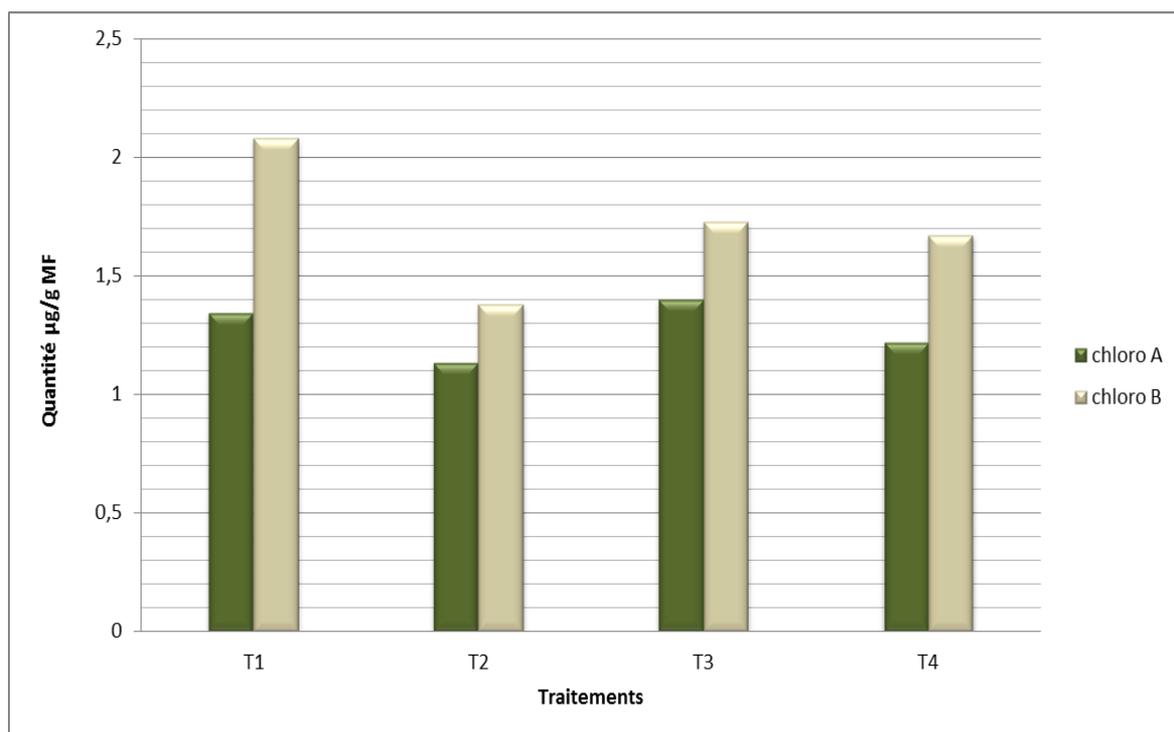
Annexe 32 : Taux de matière sèche



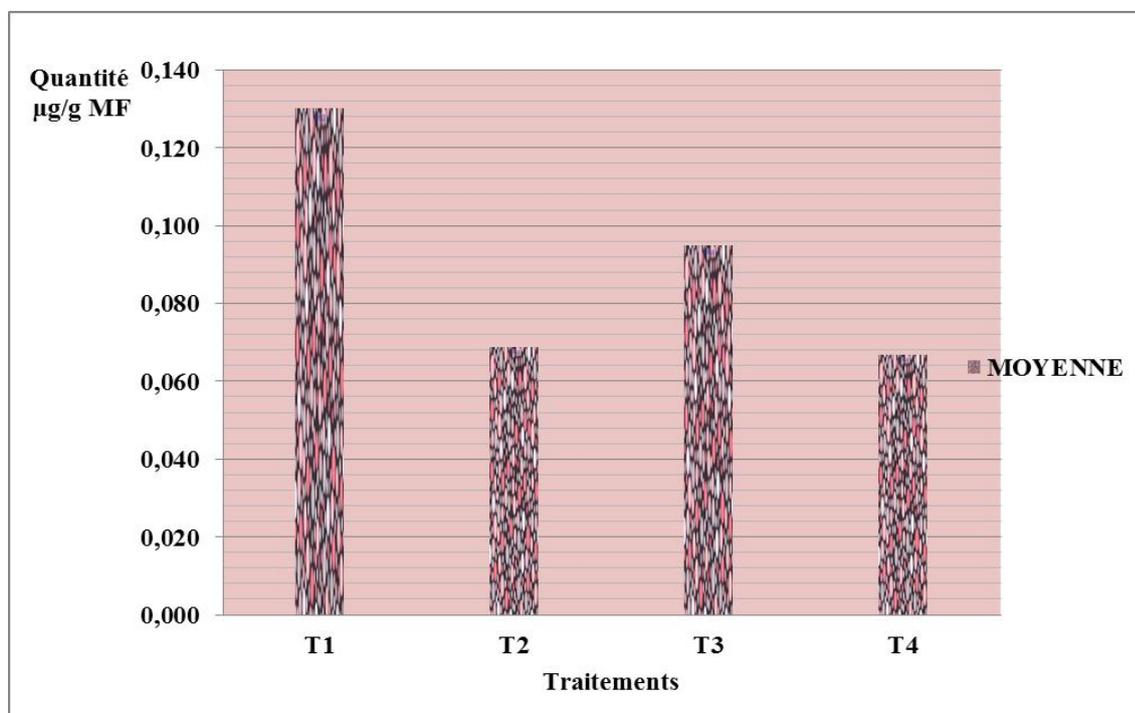
Annexe 33 : Quantité de proline



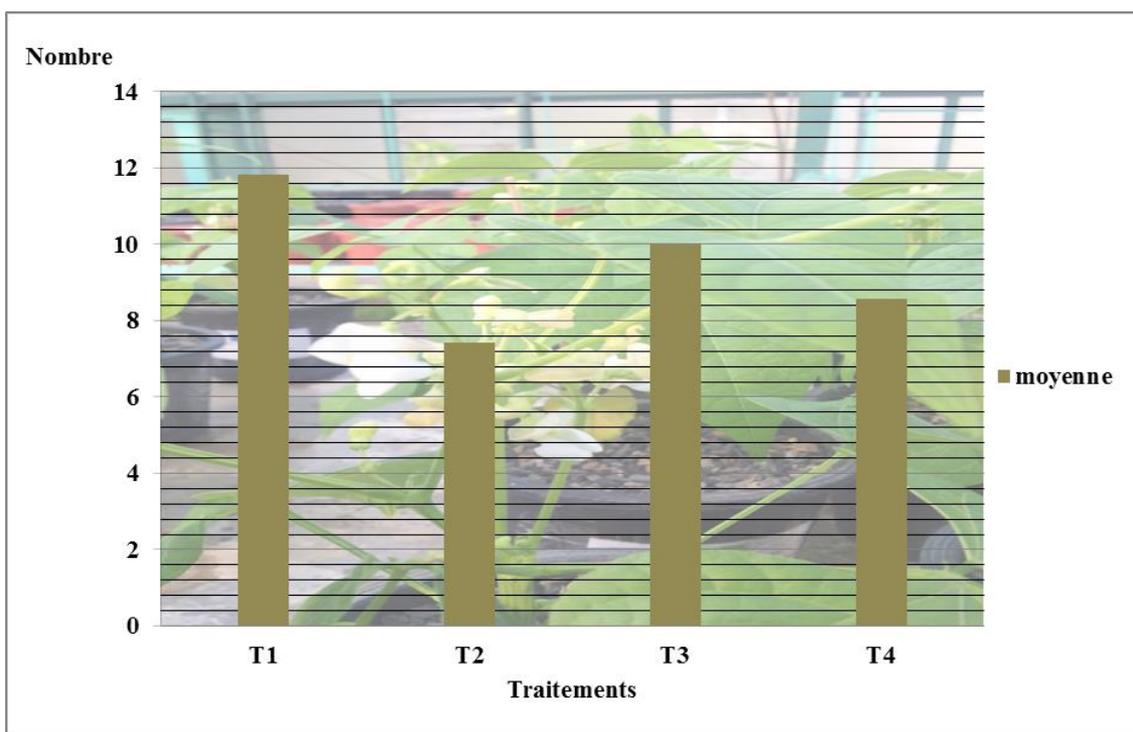
Annexe 34 : Quantité de chlorophylle A et B



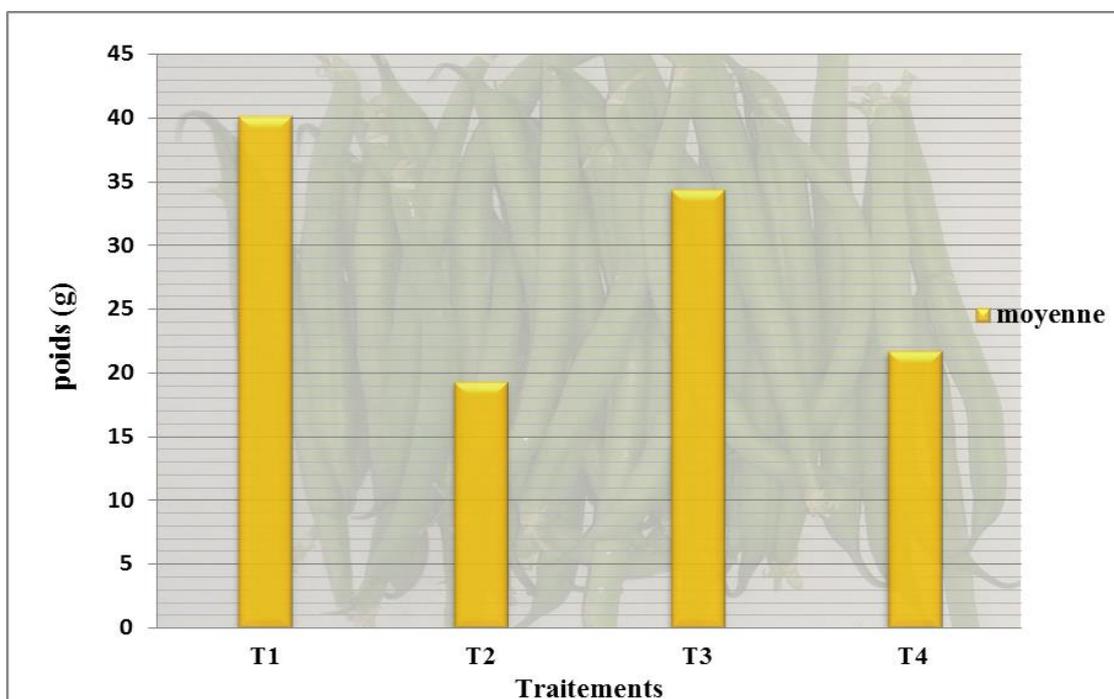
Annexe 35 : Quantité de sucres solubles



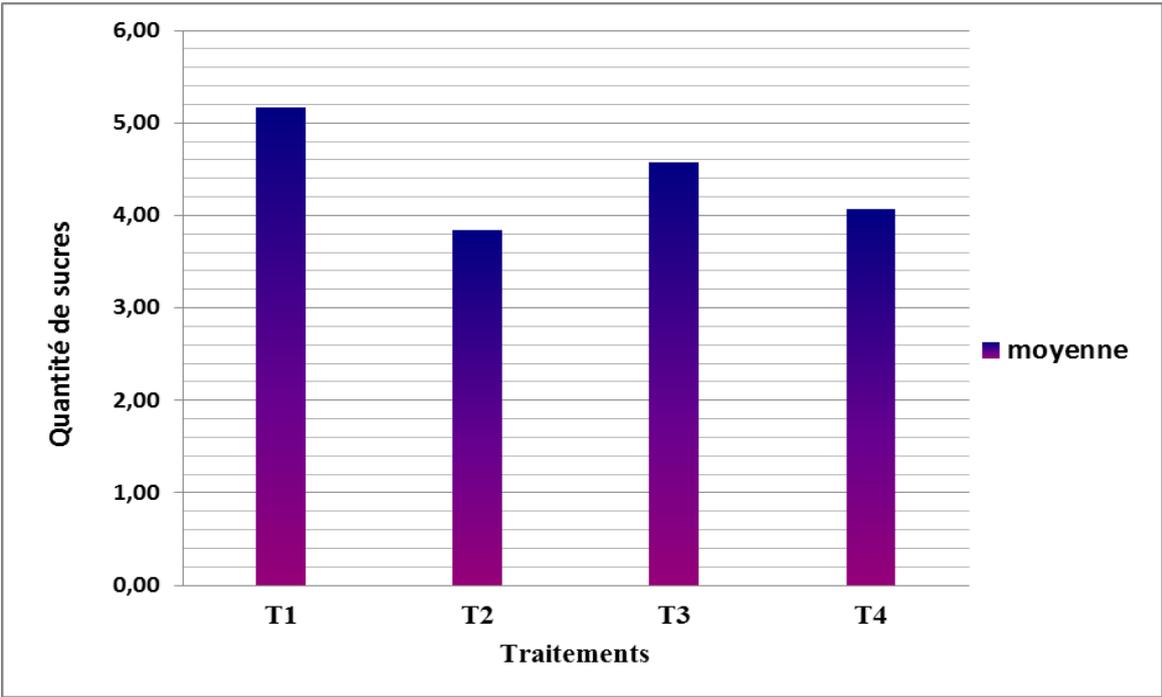
Annexe 36 : nombre de fleurs



Annexe 37 : Estimation du rendement



Annexe 38 : Sucre totaux



Annexe 39 : Vitamine C

