

UNIVERSITÉ DE BLIDA 1
Faculté des sciences de la nature et de la vie
Département de Biotechnologies

MÉMOIRE DE MAGISTER

Spécialité : Amélioration des productions végétales

**IMPORTANCE DU POTENTIEL HYDROGÈNE D'UN
ENVIRONNEMENT SALIN SUR LA NUTRITION MINÉRALE DE DEUX
GLYCOPHYTES CULTIVÉES.**

Par :

Anissa BOUKLACHI

Devant le jury composé de :

F.Z. BENREBIHA	Professeur	Université de Blida 1	Présidente
S.A. SNOUSSI	Professeur	Université de Blida 1	Promoteur
M.S. BRADEA	MCA	Université de Blida 1	Examinatrice
L. REGUIEG	Professeur	E.N.S.A El-Harrach	Examineur

Blida, 18 juin 2015

Remerciement

Le travail de ce mémoire à été réalisé au laboratoire de Biotechnologie végétale (faculté de science de la nature et de vie, département de biotechnologies) dirigé par le professeur SNOUSSI Sid-Ahmed à université de Blida 1.

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à mon encadreur Monsieur SNOUSSI Sid-Ahmed professeur à l'université de Blida 1, pour avoir accepté de diriger ce travail, qu'il trouve ici, mon grand respect, pour tous ses efforts, son savoir, son soutien constant, ses multiples corrections et critique tout au long de la période de réalisation de ce travail.

Je tiens également à exprimer mes sincères remerciements et respects à tous mes professeurs de la Faculté de science de la nature et de la vie, pour leurs efforts et leur aide durant tout mon parcours d'étudiant, et spécialement aux membres du jury :

Madame BEN RBIHA Fatima Zohra Professeur à l'université de Blida 1, Madame BRADEA Maria Stila Maître de Conférences (A) à l'université de Blida 1, Monsieur REGUIEG Lyes professeur à E.N.S.A d'El-Harrach, pour m'avoir fait l'honneur d'être examinateurs et pour leurs remarques et leurs contributions à ce mémoire.

Je remercie enfin tout les membres de laboratoire de biotechnologie végétale qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

A dieu tout puissant, d'avoir été mon guide pendant toutes ces années.

Cette thèse représente l'aboutissement du soutien et des encouragements que mes parents m'ont prodigués tout au long de ma scolarité. Cru au moi m'avoir aidé à arriver là où j'en suis, merci pour tout.

A

Mes frères et mes sœurs ;

Mes amis;

*Je tien à exprimer un très grand merci a Monsieur **BOUMAZA Kamal Dînne**, le directeur de la subdivision agricole de Gouraya wilaya de Tîpaza.*

*Anissa **BOUKLACHI***

RÉSUMÉ :

Notre étude a porté sur le comportement de deux espèces maraichères, le haricot (*Phaseolus vulgaris* L.), variété Djadida et la tomate (*Solanum Lycopersicum*), variété Marmande, espèces sensible et moyennement sensible à la salinité respectivement, soumises à cinq traitements salins. Où le facteur potentiel hydrogène du milieu nutritif est soit naturel, soit corrigé par deux types d'acide (HNO_3 , H_3PO_4).

La sensibilité de ces deux espèces à la salinité a été étudiée pour la détermination du comportement glycophytique sur les paramètres morphologiques, physiologiques et technologiques.

Les résultats obtenus au niveau des plantes alimentées par la solution saline naturelle T4 montrent que le sel a un effet dépressif sur le développement des plantes notamment à travers les paramètres étudiés. La correction du pH du milieu alimentaire par l'acide phosphorique et l'acide nitrique (T1, T2 et T3) et la transformation du milieu salin naturel en solution nutritive (T5) ont permis d'avoir une amélioration considérable de la croissance des plantes de haricot et de la tomate et ce par rapport au milieu salin naturel (T4) à pH alcalin (7,8).

Mots clés : tomate, haricot, glycophytes, salinité, potentiel hydrogène.

ABSTRACT :

Our study focused on the behavior of two species market gardening, beans (*Phaseolus vulgaris* L.) Djadida variety and tomato (*Solanum Lycopersicum*), Marmande variety, species sensitive and moderately sensitive to salinity respectively, subject to five salt treatments. Where the potential factor hydrogen nutrient medium was either naturel, or was corrected by two types of acid (HNO_3 , H_3PO_4).

The sensitivity of these species to salinity was investigated for determination of glycophytique behavior on morphological parameters, physiological and technological.

The results obtained in plants fueled by naturel saline T4 solution show that the salt has a depressive effect on the development of plnts specially through the parameters studied. Correcting the pH of food environment by phosphoric acid and nitric acid (T1, T2 and T3) and processing environment natural saline nutrient solution (T5) allowed to have a significant improvement in the growth bean plants tomato and compared with naturel saline (T4) at alkaline pH (7,8).

Keywords : tomato, bean, glycophytes, salinity, potential hydrogen.

الملخص:

الهدف من هذا العمل هو دراسة خصائص نوعين من الخضروات ، الفاصولياء (*Phaseolus vulgaris L.*) من صنف "الجديدة" و الطماطم (*Solanum Lycopersicum*) من صنف "مرموند" ، حيث أن درجة تحملها للملوحة متفاوتة وذلك بإخضاعها لخمسة محاليل ، أين تكون الشدة الهيدروجينية في هذه المحاليل إما طبيعية أو مصححة بواسطة الحمضين (HNO_3 , H_3PO_4) .

الغرض من دراسة تأثير الملوحة على هذين النوعين من الخضروات هو تحديد خصائصها تجاه هذا الأخير من خلال دراسة المؤشرات الشكلية و الفزيولوجية و التكنولوجية .

أوضحت النتائج أن المحلول الطبيعي المالح (T4) له تأثير سلبي على نمو النباتات مقارنة بالمحاليل المالحة الأخرى مصححة الشدة الهيدروجينية .

الكلمات المفتاحية : الطماطم ، الفاصولياء ، الملوحة ، الشدة الهيدروجينية .

TABLE DES MATIÈRES

Remerciement.....	2
Résumé	4
Table des matières.....	7
Liste des illustrations, graphiques et tableaux.....	11
Introduction.....	14
Chapitre N° 1 : culture de la tomate et du haricot en hors-sol.....	
1.1. Culture hydroponique.....	16
1.1.1. Définition.....	16
1.1.2. Origine et l'histoire de l'hydroponie.....	16
1.1.3. Principe de culture hors sol.....	17
1.1.4. Composantes du l'hors sol.....	17
1.1.5. Principaux espèces cultivées en hors sol.....	17
1.1.6. Avantages et inconvénients des cultures en hors sol.....	19
1.2. Culture de la tomate	19
1.2.1. Historique et origine de la tomate.....	21
1.2.2. Classification de la tomate.....	21
1.2.3. Description de la plante.....	22
1.2.4. Exigences de la culture de tomate.....	23
1.2.5. Opérations d'entretiens.....	24
1.2.6. Importance économique de la tomate dans le monde et en Algérie...	26
1.3. Culture du haricot.....	27
1.3.1. Origine et historique de la plante.....	29
1.3.2. Description de la plante	29
1.3.3. Phases végétatives du haricot.....	29
1.3.4. Principaux types variétaux.....	31
1.3.5. Valeur nutritionnelle du haricot	31
1.3.6. Exigences de la plante.....	32
1.3.7. Travaux d'entretiens.....	33
1.3.8. Importance économique du haricot dans le monde et en Algérie.....	35
Chapitre N° 2 : La salinité et la plante.....	36
2.1. Généralité sur la salinité.....	39
2.2. Salinité dans le monde et en Algérie.....	39
2.3. Origine de la salinité	40
2.3.1. Salinisation primaire.....	41
2.3.2. salinisation secondaire.....	41
2.4. Signes d'un sol salé.....	42
2.5. Classification des sols salinisés.....	42
2.6. Salinité des eaux d'irrigation	43
2.6.1. Évaluation de la qualité de l'eau d'irrigation.....	43
2.7. Salinité et la plante.....	43
2.7.1. Classification des plantes	45

2.7.2.	Causes du stress.....	45
2.7.3.	Stress salin.....	46
2.8.	Mécanismes de résistance à la salinité	47
2.8.1.	Cas des halophytes	48
2.8.2.	Cas des glycophytes.....	48
2.9.	Conséquences de la salinité sur les plantes	48
2.9.1.	Effet sur la germination	48
2.9.2.	Effet sur la croissance.....	49
2.9.3.	Effet sur le comportement biochimique de la plante	49
2.9.4.	Effet sur les processus physiologiques de la plante	49
2.9.5.	Effet sur l'alimentation minérale des plantes	50
2.9.6.	Effet sur l'anatomie de la feuille.....	50
2.9.7.	Effet sur la photosynthèse	51
2.9.8.	Effet sur la transpiration et sur la respiration	51
2.9.9.	Effet sur le rendement des cultures.....	51
2.10.	Impact de la salinité sur les rendements	52
2.11.	Gestion de la salinité	52
Chapitre N° 3 : Nutrition des plantes et le potentiel hydrogène		54
3.1.	Notions sur la nutrition des plantes.....	54
3.2.	Le potentiel hydrogène et la plante	55
3.3.	Notion du pH	56
3.4.	Mesure du pH	57
3.4.1.	Papier indicateur	57
3.4.2.	pH-mètre	58
3.5.	Maitrise du pH	58
3.5.1.	Niveau de pH à maintenir.....	58
3.6.	pH DU SOL (pH _{EAU} ET pH _{KCL}).....	59
3.7.	Relation entre le pH et le complexe absorbant.....	60
3.8.	Classification des sols en fonction du pH	61
3.9.	Signes d'un sol acide ou basique	61
3.10.	Potentiel hydrogène en hors sol	62
3.11.	Potentiel hydrogène et la plante.....	63
3.12.	Effet du ph sur l'assimilation des éléments minéraux	64
3.13.	Importance du potentiel hydrogène.....	65
Chapitre n°4 : matériels et méthodes.....		67
4.1.	Objectif de l'expérimentation.....	67
4.2.	Matériel végétal utilisé	67
4.3.	Conditions expérimentales	68
4.3.1.	Lieu d'expérience	68
4.3.2.	Substrat	69
4.3.3.	Conteneurs	70
4.4.	Dispositif expérimental	70

4.5.	Essai de germination	73
4.5.1.	Repiquage	74
4.6.	Description des traitements	75
4.6.1.	Composition des solutions nutritives et techniques de préparation des différents traitements	76
4.7.	Entretien de la culture	86
4.7.1.	Irrigation	86
4.7.2.	traitements phytosanitaires	87
4.7.3.	Palissage	87
4.7.4.	Étêtage	88
4.7.5.	Lessivage.....	88
4.7.6.	Récolte.....	88
4.8.	Paramètres morphologiques	88
4.8.1.	Vitesse de croissance	88
4.8.2.	Hauteur final des plantes	88
4.8.3.	Nombre de feuilles	89
4.8.4.	Diamètre des tiges	89
4.8.5.	Biomasse fraîche produite.....	89
4.8.6.	Biomasse sèche produite	89
4.8.7.	Taux de la matière sèche	89
4.9.	Dosage des paramètres biochimiques	90
4.9.1.	Dosage de la chlorophylle.....	90
4.9.2.	Dosage des sucres solubles	90
4.9.3.	Dosage de la proline	91
4.10.	Dosage des paramètres technologiques	92
4.10.1	Dosage de la Vitamine (C).....	92
4.10.2	Détermination de l'acidité titrable	93
4.10.3	Dosage des sucres totaux	94
Chapitre N° 5 : résultats et discussion.....		95
5.1	Paramètres morphologiques.....	95
5.1.1.	Aspect général des plantes.....	95
5.1.2.	Vitesse de croissance des plantes.....	96
5.1.3.	Hauteur finale	100
5.1.4.	Diamètre des tiges	102
5.1.5.	Nombre de feuille	104
5.1.6.	Biomasse fraîche	109
5.1.7.	Biomasse sèche	115
5.2.	Paramètres biochimique.....	121
5.2.1.	Quantité du proline produite.....	121
5.2.2.	Quantité de sucres solubles produite	124
5.2.3.	Chlorophylle	127
5.3.	Paramètres de qualité	133

5.3.1.	Quantité des sucres totaux dans les fruits [%]	133
5.3.2.	Taux de vitamines « C » dans les fruits	135
5.3.3.	Quantité d'acidité titrable	137
5.4.	Rendement	138
5.4.1.	Nombre de fleurs et de fruits	139
5.4.2.	Taux d'avortements	140
5.4.3.	Nombre, calibre et le poids des fruits	142
	Discussion générale	146
	Conclusion	149
	Annexe	151
	Références bibliographiques	160

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

1. LISTE DES FIGURES :

Figure 1.1 :	Plante de la tomate.....	23
Figure 1.2 :	Production mondiale de la tomate en 2011.....	28
Figure 1.3 :	Évolution de la production (Qx) de la tomate maraichère en Algérie entre 2003 et 2012.....	28
Figure 1.4 :	Évolution de la superficie (ha) de la tomate maraichère en Algérie entre 2003 et 2012.....	29
Figure 1.5:	Organes d'une plante de haricot.....	30
Figure 1.6 :	Principaux pays producteurs du haricot en 2012.....	37
Figure 1.7 :	Évolution de la superficie de haricot vert en Algérie entre 2007 et 2012 (ha).	37
Figure 1.8 :	Évolution de la production de haricot vert (Qx) en Algérie entre 2007 et 2012.	38
Figure 3.1 :	Échelle de PH	56
Figure 3.2 :	Papier indicateur du potentiel hydrogène.....	57
Figure 3.3 :	Exemple de détermination de la valeur du pH	57
Figure 3.4 :	Appareil de mesure du pH : pH mètre.....	58
Figure 3.5 :	Complexe argilo-humique et leur échange	60
Figure 3.6 :	pH et le taux de saturation du complexe argilo-humique.....	61
Figure 3.7:	Assimilation des éléments minéraux en fonction du pH	65
Figure 3.8 :	Solubilité des éléments minéraux est accordée par la variation de la valeur du pH	65
Figure 4.1 :	Localisation du lieu de l'expérience.....	68
Figure 4.2 :	Aspect général des conteneurs.....	70
Figure 4.3 :	Vue générale du dispositif expérimental de la tomate.....	71
Figure 4.4 :	Vue générale du dispositif expérimental de haricot.....	71
Figure 4.5 :	Présentation du dispositif expérimental.....	72
Figure 4.6 :	Essai de germination de tomate et de haricot dans l'étuve.....	73
Figure 4.7 :	Germination des graines de haricot.....	73
Figure 4.8 :	Germination des graines de tomate.....	73
Figure 4.9 :	Aspect général des jeunes plantules de haricot après le repiquage	74
Figure 4.10 :	Aspect général des plantules de tomate après le repiquage.....	74
Figure 4.11 :	Stade végétatif du haricot et de la tomate en début des traitements.....	75
Figure 4.12 :	Aspect général d'un réfractomètre.....	94
Figure 5.1 :	Aspect général des plantes de l'haricot	95
Figure 5.2 :	Aspect général des plantes de tomate	95
Figure 5.3:	Vitesse de croissance des plants de haricot	96

Figure 5.4:	Vitesse de croissance des plantes de la tomate.....	97
Figure 5.5 :	Hauteur final des plants de haricot en (cm).....	100
Figure 5.6 :	Hauteur final des plants de la tomate en (cm).....	100
Figure 5.7 :	Diamètres moyens des tiges des plants de haricot en (mm).....	102
Figure 5.8 :	Diamètres moyens des tiges des plants de tomate mm).....	103
Figure 5.9 :	Nombre final de feuilles de haricot	104
Figure 5.10:	Évolution du nombre des feuilles au cours de cycle de haricot..	104
Figure 5.11 :	Nombre final de feuilles de la tomate.....	105
Figure 5.12 :	Évolution du nombre des feuilles au cours de cycle de tomate..	105
Figure 5.13:	État des feuilles de haricot irrigué par cinq traitements.....	107
Figure 5.14 :	État des feuilles de la tomate irrigué par cinq traitements.....	107
Figure 5.15 :	Poids frais des organes de la partie aérienne de haricot (g).....	109
Figure 5.16 :	Poids frais des organes de la partie aérienne de tomate (g)....	109
Figure 5.17 :	Poids frais des racines des plants de haricot (g).....	111
Figure 5.18 :	Poids frais des racines des plantes de tomate (g).....	112
Figure 5.19 :	Aspect générale des racines des plants de haricot.....	114
Figure 5.20 :	Aspect générale des racines des plantes de la tomate.....	114
Figure 5.21 :	Quantité du proline accumulée dans les feuilles de haricot.....	121
Figure 5.22 :	Quantité du proline accumulée dans les feuilles de tomate.....	121
Figure 5.23 :	Quantité de sucre soluble dans les feuilles de haricot.....	124
Figure 5.24 :	Quantité de sucre soluble dans les feuilles de tomate	124
Figure 5.25 :	Quantité de la chlorophylle (A) chez les plants de haricot	127
Figure 5.26 :	Quantité de la chlorophylle (A) chez les plants de tomate.....	127
Figure 5.27 :	Quantité de la chlorophylle (B) chez les plantes de haricot	129
Figure 5.28 :	Quantité de la chlorophylle (B) chez les plantes de la tomate ...	129
Figure 5.29:	Quantité de la chlorophylle (C) chez les plantes de haricot	132
Figure 5.30:	Quantité de la chlorophylle (C) chez les plantes de la tomate ...	132
Figure 5.31 :	Quantité de sucres totaux dans les gousses de haricot (%).....	133
Figure 5.32 :	Quantité de sucres totaux dans les fruits de la tomate (%).....	134
Figure 5.33 :	Taux de vitamines « C » dans les gousses de haricot (%).....	136
Figure 5.34 :	Taux de vitamines « C » dans les fruits de la tomate (%).....	136
Figure 5.35 :	Quantité d'acidité titrable dans les fruits de la tomate	137
Figure 5.36 :	Nombre moyenne de fleur et de gousses produites par haricot.	139
Figure 5.37 :	Nombre moyenne de fleur et de fruits produite par la tomate	139
Figure 5.38 :	Taux d'avortement chez les plants de haricot (%).....	141
Figure 5.39 :	Taux d'avortement chez les plantes de la tomate (%).....	141
Figure 5.40 :	Aspect général des gousses de haricot	142
Figure 5.41 :	Aspect général des fruits de la tomate.....	143

2. LISTE DES TABLEAUX :

Tableau 1.1 :	Composition du haricot vert.....	32
Tableau 1.2 :	Besoins en température selon les stades de développement.	33
Tableau 2.1:	Superficie affectée par la salinité dans les différentes régions du monde.....	40
Tableau 2.2 :	Classification des sols salinisés	43
Tableau 2.3 :	Évaluation de qualité des eaux irrigations en Algérie.....	44
Tableau 2.4 :	Classe de tolérance des cultures à la salinité.....	45
Tableau 2.5 :	Classification de quelques cultures sensibles et tolérantes à la salinité ainsi que leur rendement en fonction de la concentration du sel dans le sol et dans l'eau.....	46
Tableau 3.1 :	Classification des sols en fonction du PH	61
Tableau 4.1:	Moyennes des températures par décade en °C.....	69
Tableau 4.2 :	Composition de l'eau de Blida en éléments minéraux (meq/l).	75
Tableau 4.3 :	Composition de l'eau de Blida à pH de 7,8.....	79
Tableau 4.4 :	Eau de Blida corrigée (Solution nutritive standard)	79
Tableau 4.5 :	Composition des solutions complémentaires d'oligo-éléments A et B.....	80
Tableau 4.6 :	Eau de Gassi Touil naturelle, reconstituée avec l'eau de Blida.....	81
Tableau 4.7 :	Eau saline naturelle, corrigée par l'acide nitrique (H NO ₃)	82
Tableau 4.8:	Eau saline naturelle, corrigée par l'acide phosphorique (H ₃ PO ₄)	83
Tableau 4.9 :	Eau saline naturelle corrigée par HNO ₃ et H ₂ PO ₄	84
Tableau 4.10 :	Solution saline corrigée (T5) ayant un pH de 5,5.....	85
Tableau 4.11 :	Doses et fréquences d'irrigation nécessaires pour la culture de haricot.....	86
Tableau 4.12 :	Doses et fréquences d'irrigation nécessaires pour la culture de tomate.....	87
Tableau 4.13 :	Traitements phytosanitaires utilisés sur les plantes étudiées..	87
Tableau 5.1 :	Poids sec de la partie aérienne (feuilles + tiges) des plantes de haricot en (g).....	116
Tableau 5.2 :	Poids sec de la partie aérienne (feuilles+ tiges) des plantes de la tomate en (g).....	116
Tableau 5.3:	Poids sec de la partie racinaire des plantes de haricot en (g)	118
Tableau 5.4 :	Poids sec de la partie racinaire des plantes de la tomate (g)	118
Tableau 5.5 :	Taux de la matière sèche totale des plants de haricot (%)....	119
Tableau 5.6 :	Taux de la matière sèche totale des plantes de tomate (%)...	120
Tableau 5.7 :	Réparation du calibre et de poids des gousses de haricot	143
Tableau 5.8 :	Répartition du calibre et de poids des fruits de la tomate	144

INTRODUCTION :

Comportements physiologiques et nutritionnels des plantes sont limités par différentes conditions environnementales dans lesquelles elles se développent. L'une de ces conditions est la salinité des sols qui constitue l'un des problèmes agricoles les plus importants [1].

Salinité est un problème écologique croissant dans le monde entier, particulièrement le bassin méditerranéen et l'Afrique du Nord [1]. Les données actuelles se résument dans le bassin méditerranéen à 16 millions d'hectares de sols salés [2]. L'Algérie se situe parmi les pays touchés, presque 3,2 millions d'hectares de la surface sont salins [3] et [4]. Les terres salinisées seront difficilement récupérables et ces dernières occupent de vastes superficies localisées aussi bien au Nord qu'au Sud du pays. Par conséquent, les terres agricoles productives sont détériorées [5].

Salinité occupe et continuera d'occuper une très grande place dans les chroniques agro-économiques mondiale [6]. Elle peut constituer à long terme un danger pour la sécurité alimentaire [7].

Eau est une ressource indispensable pour les végétaux. Sa présence est une condition incontournable pour que toute plante puisse se développer et assure ses fonctions physiologiques vitales [8].

Dans les régions arides et semi-arides, les plantes doivent être irriguées afin de garantir les cultures et d'augmenter la production [9]. Ces écosystèmes sont caractérisés par une faible et une forte irrégularité des précipitations associées à une importante évaporation favorisant l'accumulation des sels dans le sol [3] et [4]. La salinité des sols n'est pas fortement liée aux conditions climatiques [10] mais également aux pratiques culturales mal contrôlées telle que l'irrigation conduisant à un processus de salinisation secondaire, par l'utilisation de grandes quantités d'eau souvent saumâtre [1]. En effet, aujourd'hui dans le monde, près de 20% des cultures sont irriguées avec de l'eau saumâtre [8].

Salinité, qu'elle soit naturelle ou induite, constitue un frein au développement des plantes cultivées [11]. Face à ce danger, toutes les plantes ne sont pas

égales. Certaines, nommées glycophytes, ne sont pas capables de supporter la présence de sel. Les halophytes, au contraire, ont développé des réponses physiologiques pour assurer leur approvisionnement en eau tout en préservant leur métabolisme [8].

Dans le cas d'un stress salin, une double problématique se pose à l'organisme végétal, d'un côté, la présence de sel, en abaissant le potentiel hydrique du sol, menace l'approvisionnement en eau de la plante. De l'autre, l'absorption de sel dans les tissus menace le bon fonctionnement physiologique des cellules [8], [12].

Une des possibilités pour développer des productions légumières et horticoles dans les régions salines est d'utiliser la culture hors sol qui permet d'économiser l'eau et de s'affranchir des sols atteints par la salinité. La correction de la composition chimique et en particulier le pH de l'eau d'irrigation permet également d'améliorer la croissance et le développement des cultures dans ces régions où l'eau salée cause problème.

Présent mémoire est structuré en deux parties. La première partie est une étude bibliographique se rapportant d'une part sur des généralités sur la tomate et du haricot cultivées en hors sol, et une étude sur la salinité et la plante, et d'autre part sur l'impact du potentiel hydrogène sur la nutrition des plantes.

Deuxième partie est consacrée à une étude expérimentale, avec description de la méthodologie du travail, et enfin une troisième partie où sont représentés l'ensemble des résultats suivis d'une discussion.

Enfin, une conclusion générale accompagnée d'un ensemble de recommandation qui achèverons ce travail.

CHAPITRE 1 :

CULTURE DE LA TOMATE ET DU HARICOT EN HORS-SOL

1.1. CULTURE HYDROPONIQUE :

Culture hors sol est l'une des technologies modernes utilisées aujourd'hui en horticulture pour valoriser les terrains à problèmes, où une meilleure productivité est impossible autrement qu'avec un substrat de culture artificiel [13].

1.1.1 DÉFINITION :

Mot « hydroponique » vient du grec « hydro », qui signifie « eau », et « ponos », qui signifie « travail ». On peut l'interpréter de différentes façons : « l'eau au travail », « le travail avec l'eau », ou encore « le travail dans l'eau » [14].

Cultures hors sol se définissent comme des cultures de végétaux effectuant leur cycle complet de production sans que leur système racinaire ait été en contact avec leur environnement naturel, le sol. Dans la plupart des systèmes hors sol, les racines des végétaux se développent sur un support solide ou substrat généralement inerte. L'alimentation est assurée par percolation d'un milieu liquide minéral, la solution nutritive est le résultat de l'enrichissement de l'eau du réseau par des engrais solubles en respectant des équilibres ioniques définis, propres aux besoins du végétal [15].

1.1.2. ORIGINE ET L'HISTORIQUE DE L'HYDROPONIE :

Selon les historiens, la culture de plantes sur l'eau était pratiquée à l'époque des Aztèques et était utilisée pour les jardins suspendus de Babylone. Il faut attendre l'année 1860 pour voir deux chercheurs allemands réussir à faire pousser des plantes sur un milieu composé uniquement d'eau et de sels minéraux. Cette découverte a permis de mieux connaître la physiologie de la nutrition et le rôle des éléments minéraux [16].

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 [16].

Premiers essais sont très anciens. Ils ont été effectués par des chercheurs travaillant sur la fertilisation des plantes et la mise en évidence du rôle de l'eau et de l'air dans le sol [17]. Les recherches sur la nutrition des plantes ont commencé dès 1600 en Europe [18].

1.1.3. PRINCIPE DE CULTURE HORS SOL :

Plantes sont cultivées sur substrat ou support de culture qui s'apparente à la terre ou est chimiquement inerte. Son rôle purement physique est d'assurer une circulation satisfaisante de l'air et de l'eau permettant le développement d'un système racinaire vigoureux et actif. De nombreux matériaux sont utilisables comme support de culture [19].

Alimentation hydrique et minérale est assurée en distribuant une solution nutritive à une fréquence déterminée [19].

1.1.4. COMPOSANTES DU L'HORS SOL :

1.1.4.1. SUBSTRAT :

Culture hydroponique se différencie de la culture en terre principalement par le fait que les plantes ancrent leurs racines dans un support chimiquement neutre ou substrat [20]. On appelle substrat tout matériau utilisable comme support de culture, c'est-à-dire permettant le développement du système racinaire des plantes. Les substrats peuvent avoir une origine naturelle, comme les tourbes, ou provenir d'une transformation industrielle, comme la laine de roche [21].

1.1.4.2. SOLUTIONS NUTRITIVES :

Solution nutritive doit être équilibrée et adaptée aux besoins évolutifs des cultures sur substrat. Sa composition minérale joue un rôle capital dans la réussite des cultures sur substrat, surtout en système recyclé [22].

Solution nutritive contient des macroéléments (azote, phosphore, soufre, potassium, calcium, magnésium) et des oligo-éléments (fer, manganèse, zinc, bore, cuivre, molybdène). Elle doit être préparée en tenant compte de la composition de l'eau du réseau, car les apports minéraux de cette dernière peuvent être importants et couvrir les besoins du végétal cultivé en sulfate, calcium et magnésium ou même excéder ceux-ci [22].

Préparation de la solution nutritive se fait à partir d'engrais solubles. Pour composer une solution équilibrée, la quantité de chaque engrais doit être calculée de manière convenable. Des formules complètes peuvent aussi être utilisées. Il convient toutefois de vérifier au préalable que les équilibres entre les éléments correspondent bien à ceux que l'on recherche [22].

1.1.4.2.1. APPORT DE LA SOLUTION NUTRITIVE :

Solution nutritive est modulée en fonction de la période de culture et du stade de végétation. Les quantités d'eau et d'éléments nutritifs absorbés peuvent varier selon les besoins de la culture. Il est donc nécessaire de bien contrôler, d'adapter et de délimiter les flux, afin d'optimiser l'alimentation minérale [22].

1.1.4.2.2. CARACTÉRISTIQUE PRINCIPALE DE LA SOLUTION NUTRITIVE :

➤ pH :

Substrat minéral comme la laine de roche est inerte au niveau du pH car il n'y a aucune réaction chimique entre le substrat et la solution, car le substrat ne libère aucun élément fertilisant : stabilité chimique totale [17].

➤ CONDUCTIBILITÉ ÉLECTRIQUE :

Elle représente la concentration globale en élément minéraux de la solution. Elle se mesure à l'aide d'un conductimètre électrique. Plus la solution est riche en engrais plus elle conduit l'électricité et plus la conductivité est forte [23].

➤ PROPORTION ENTRE LES IONS :

Proportions indiquent les quantités de chacun des ions par rapport au totale des anions ou des cations. Les quantités sont exprimées en milliéquivalent par unité des volumes de solution [19].

1.1.5. PRINCIPAUX 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, du concombre, du poivron et de l'aubergine. Depuis quelques années, se sont développé le melon, la courgette et la framboise [16].

Cette technique est aussi utilisée en culture florale pour la rose, l'oeillet et le gerbera. Dans un but expérimental, les arbres fruitiers sont conduits de cette manière pour étudier leurs besoins en éléments nutritifs [16].

1.1.6. AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES CULTURES EN HORS SOL :

1.1.6.1. AVANTAGE:

Cultures en hors sol ont connu un développement considérable pendant ces deux dernières décennies [21]. Par rapport aux cultures sur sol, les cultures hors sol sous serre présentent certains avantages qui expliquent leur développement actuel :

❖ Meilleure performance des cultures :

Cultures hors sol permettant de mieux maîtriser l'alimentation hydrique et minérale des plantes, ainsi que l'oxygénation des racines. Les stress hydrique et salins, les carences et toxicités minérales et l'asphyxie racinaire peuvent être évités [24].

❖ Gain de précocité :

Réduction de l'influence des facteurs limitant de la production se traduit par une entrée en production plus rapide (gain de précocité), des rendements beaucoup plus élevés qu'en sol et une meilleure maîtrise de la qualité des

produits. [24] in (RESH, 1978) rapporte que les rendements sont deux fois plus élevés en culture hors sol qu'en sol en production de tomate et de laitue, et trois fois plus élevés en production de concombre.

❖ L'affranchissement des sols contaminés :

Principale raison historique du développement des cultures hors sol provient de la nécessité d'éliminer certains problèmes liés au sol [21] :

- Sols contaminés par des agents pathogènes ;
- Sols à salinité élevée ;
- Mauvaise qualité ou absence de sol.

❖ Simplification des techniques culturales :

- Élimination de certaines façons superficielles, en particulier celles qui sont en relation avec l'utilisation d'un sol : préparation, binages, désherbage [25].
- Remplacement des étapes de fertilisation et d'irrigation par l'apport de la seule solution nutritive [18].

❖ Contrôle de la nutrition des plantes :

Meilleur contrôle de la nutrition de la plante. En fait, aucune recherche sérieuse sur la nutrition des plantes n'a pu être faite avant le développement des techniques hydroponiques [18].

❖ Augmentation de rendements :

Rendements obtenus par cette technologie sont nettement supérieurs à ceux obtenus en sol classique [26].

❖ Produit de meilleure qualité commerciale :

Bien que le concept de qualité soit difficile à préciser et à quantifier, la culture hors sol a une influence favorable sur l'aspect extérieur des fruits et légumes [18].

❖ Économie d'eau et d'engrais :

Selon les travaux de [24] rapporte qu'une culture de concombre hors sol consomme environ 20 fois moins d'eau qu'une culture en plein champ, et qu'une culture de tomate hors sol consomme presque 10 fois moins d'eau qu'une culture en plein champ.

1.1.6.2. INCONVÉNIENTS :

Devant ce nombre important d'avantages, les inconvénients sont moindres mais très importante. On peut noter :

Cultures hors sol sont réputées exigent en investissements assez élevés. En fait, ces investissements sont très variables selon le niveau de maîtrise que l'on cherche à atteindre [24].

Cultures hors sol requièrent presque toujours un niveau de technicité élevé auquel le producteur néophyte ne peut accéder que progressivement, le plus souvent avec l'aide d'un conseiller horticole ou maraicher spécialisé [21].

1.2. CULTURE DE LA TOMATE :

Tomate est la troisième espèce cultivée dans le monde, après la pomme de terre et patate douce [27] et le deuxième légume le plus consommé [28]. La tomate est cultivée dans 170 pays [29] Ce légume représente donc un enjeu économique, et est soumis à une concurrence importante [27].

1.2.1. HISTORIQUE ET ORIGINE DE LA TOMATE :

Tomate est originaire de la région Andine du Nord-Ouest de l'Amérique du Sud où sa domestication remonte plus de 5 000 ans [30]. Elle fût introduite en Europe au début du XVIe siècle par les Espagnols puis traversa les frontières Européennes. Des recettes furent développées dans les pays méditerranéens, alors que dans les pays du Nord de l'Europe. Elle était plutôt considérée comme une plante ornementale jusqu'au XVIIIe siècle [31] parce qu'elle était entourée de réputation d'être toxique [32]. La mondialisation de son développement sera

significative à partir de la fin du XIX^e siècle [30] et sa progression se poursuit encore de nos jours [33].

1.2.2. CLASSIFICATION DE LA TOMATE :

1.2.2.1. CLASSIFICATION GÉNÉTIQUE :

La tomate cultivée *Solanum Lycopersicum* appartient à la famille des Solanacées. Le genre *Lycopersicon* ne comprend que neuf espèces [34] *L. peruvianum*, *L. pimpinellifolium*, *L. hirsutum*, *L. cheemannii*, *L. parviflorum*, *L. chilense*, *L. chmielewskii*, *L. pennellii* et *L. lycopersicum*, distribuées entre deux sous genres caractérisés par la couleur typique de leurs fruits à maturité, soit *Eulycopersicon* aux baies rouges comestibles et *Eriopersicon* aux baies vertes non comestibles [35].

Tomate cultivée est diploïde ($2n = 24$ chromosomes), autogame, d'introduction récente, phénotypiquement assez diversifiée, mais d'une diversité génétique très réduite. Les biologistes moléculaires ont montré qu'il n'y a que très peu de polymorphisme au niveau de l'ADN chez *Lycopersicon esculentum*. En contrepartie, les espèces sauvages de *Lycopersicon* représentent un énorme réservoir de variabilité génétique pour les sélectionneurs, qui les ont déjà beaucoup exploitées [36].

1.2.2.2. CLASSIFICATION BOTANIQUE :

D'après [37], la tomate appartient à la classification suivante :

Règne.....	Plantae
Sous règne.....	Trachenobionta
Division	Magnoliophyta
Classe.....	Magnolopsida
Ordre.....	Soloniales
Genre.....	<i>Solanum</i> ou <i>Lycopersicon</i>
Espèce.....	<i>Solanum Lycopersicum</i>

1.2.2.3. CLASSIFICATION VARIÉTALE SELON LE MODE DE CROISSANCE :

Selon les variétés, la croissance peut être « déterminée » ou « indéterminée » :

Dans le premier cas, la tige s'arrête après avoir produit un nombre de bouquets variables (par exemple 4 à 7) selon l'environnement. Ce comportement, évite l'épêtage, et il est intéressant en culture extensive [33].

Dans le deuxième cas, l'axe principal poursuit normalement sa croissance. On doit le pincer au-dessus du nombre de bouquet désiré. Ces derniers apparaissent en moyenne toutes les trois feuilles [33].

1.2.3. DESCRIPTION DE LA PLANTE :

La plante est herbacée, annuelle, à tige érigée ou prostrée jusqu'à 2 m de long. La racine est pivotante atteignant 0,5 m de profondeur ou plus, avec un système dense de racines latérales et adventives. Les feuilles sont disposées en spirales, imparipennées [33].

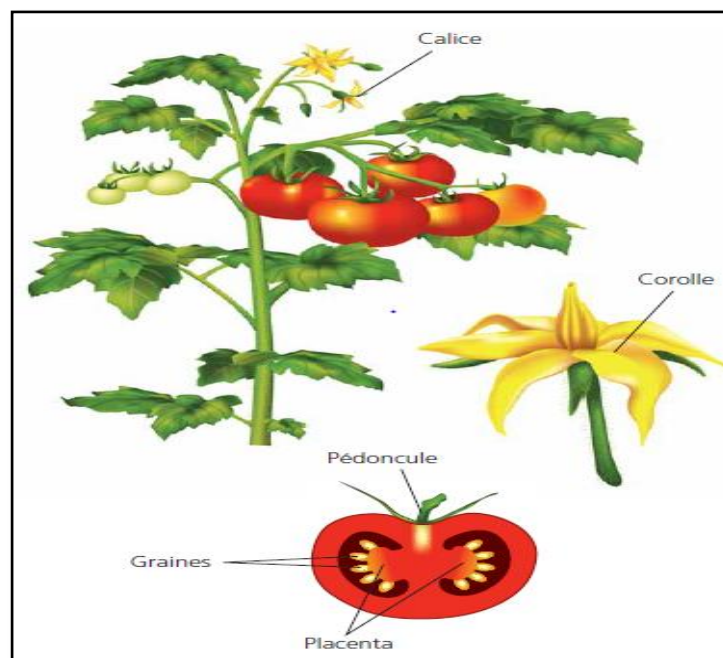


Figure 1.1 : Plante de la tomate [38].

1.2.3.1. AVANTAGES DE LA TOMATE :

- C'est une culture potagère à cycle relativement court ;
- La tomate peut être cultivée en champ ouvert et sous abri ;
- La tomate s'incorpore bien dans différents systèmes de culture ;
- La tomate a une valeur économique élevée ;
- Le fruit de la tomate a une teneur élevée en oligo-éléments. Il peut être transformé, séché et mis en conserve [39].

1.2.4. EXIGENCES DE LA CULTURE DE TOMATE :

1.2.4.1. EXIGENCES ÉDAPHIQUES :

Principales exigences édaphiques de la culture de tomate sont :

➤ SOL :

En général, la tomate n'a pas d'exigences particulières en matière de sol [40]. Elle peut être cultivée sur divers types de sols, depuis le limon sableux jusqu'aux limons argileux riches en matière organique [34]. Mais elle préfère un limon léger bien drainé, avec un pH de 5 à 7 [41].

➤ SALINITÉ :

La tomate est classée parmi les plantes à tolérance modérée vis à vis de la salinité. Lorsque la conductivité électrique (CE) est de 4 mmhos/cm, soit 2,5 g/l de sels totaux, le rendement baisse de 10 %. Cependant, la baisse du rendement peut atteindre 25 % à une salinité de l'ordre de 4 g/l [40].

Impact de la salinité est plus grave sur le rendement export, suite à la réduction du calibre du fruit. A cet effet, un contrôle de la CE durant tout le cycle de la culture est indispensable. Le contrôle se fait au niveau des goutteurs (solution fille) à l'aide d'un conductimètre et elle doit être maintenue entre 1 et 2 mmhos/cm en fonction du stade de la culture et de la saison [40].

La période pendant laquelle la tomate est la plus sensible à la salinité est celle de la germination et du début du développement de la plante. Il faut donc

lessiver fréquemment les sels avec une pré-irrigation ou des arrosages abondants au début de la culture [41].

➤ pH :

Rendement varie peu avec la variation du pH. Cependant, sur des sols à pH basique ($\text{pH} > 7$), certains micro-éléments restent peu disponibles à la plante (Fe, Mn, Zn, Cu). La carence la plus fréquente est celle de fer. Elle apparaît en général à un stade avancé de la culture [40].

➤ NUTRITION MINÉRALE :

Besoins en éléments fertilisants sont importants. Ils demandent à être ajustés en fonction de la technologie de production, de la nature du sol, de la stratégie d'irrigation et du rendement escompté [30].

Engrais utilisés pour la tomate doivent être riches en phosphore. Un excès d'azote est associé avec une végétation excessive, une production de fruits creux et la nécrose apicale de ceux-ci [34].

1.2.4.2. EXIGENCES CLIMATIQUES :

La tomate a débordé très largement son cadre climatique original pour devenir un légume de première importance dans tous les continents [33]. Elle demande, pour fournir une récolte abondante et de qualité, un climat relativement frais et sec. Elle est cependant adaptée à une gamme de climat très divers, de tempéré à tropical chaud et humide [34].

➤ TEMPÉRATURE :

Effet de la température sur la morphologie de la plante et sur la fructification est une chose évidente [42].

Températures optimales pour la croissance et le développement sont 20-27°C. Une exposition prolongée à des températures inférieures à 10°C peut causer des dégâts du froid, au dessous de 6°C la mort des plantes. Des températures moyennes inférieures à 13°C ou supérieures à 27°C nuisent gravement à la nouaison. En général, la nouaison des fruits est peu satisfaisante si la

température nocturne dépasse 20°C pendant quelques jours avant et après l'anthèse [34].

➤ LUMIÈRE :

Lumière est un facteur écologique fondamental. Elle intervient dans de nombreux phénomènes physiologiques, notamment la photosynthèse. La tomate est une culture neutre à la photopériode. Cependant, elle est exigeante en énergie lumineuse et un manque peut inhiber l'induction florale. La réduction de la lumière baisse le pourcentage de germination du pollen [40].

Une forte quantité de lumière est nécessaires à la croissance et à la fructification de la plante [33].

➤ L'EAU ET L'HUMIDITÉ :

Une humidité relative de l'air de 60% convient à tous les stades de développement. Elle doit être surtout respectée au moment de la floraison où l'on peut craindre, par temps sec, une mauvaise réceptivité des stigmates et par hygrométrie excessive, une dissémination insuffisante du pollen [33].

Besoins en eau de la tomate sont difficiles à définir car cette espèce est aussi sensible à l'excès comme au manque d'apport en période de sécheresse. Le facteur eau affecte la nutrition de la plante, donc il y a une action sur son rendement et sur la qualité de ses fruits [43].

1.2.5. TRAVAUX D'ENTRETIENS :

➤ TAILLE :

Taille a pour objet de limiter la hauteur des plantes et le nombre de ses ramifications [43]. Elle permet la pénétration de la lumière et l'aération des fruits par la circulation de l'air. Elle facilite aussi la récolte [44].

➤ EFFEUILLAGES :

Opération consiste à enlever toutes les feuilles âgées, jaunâtres ou apparemment malades sur toute la hauteur de la tige. C'est une opération nécessaire pour une culture de tomate sous serre car elle permet:

- Une bonne circulation de l'air au niveau de la plante, ce qui permet d'éviter le développement de maladies et une meilleure nouaison des bouquets inférieurs ;
- Un bon entretien et une récolte plus facile.

Degré d'effeuillage dépend de la variété. Les variétés à forte densité de feuillage doivent être effeuillées plus que les variétés à faible densité de feuillage. Toutefois, Un effeuillage très sévère peut réduire le rendement et la qualité [40].

➤ TUTEURAGE :

Tiges de la tomate demandent à être soutenues, sinon les plantes risquent d'être brisées par le vent pour une culture de saison et d'arrière saison. Elles se couchent sur le sol et les fruits mûrissent mal et sont souillés de boue. Il est plus pratique de suspendre de la ficelle au niveau de chaque plante accrochée à du fil de fer .Les tiges sont enroulées sur cette ficelle au fur et à mesure de leur accroissement [45].

➤ ÉCIMAGE :

La tomate est une culture à croissance indéterminée. Afin d'arrêter la plante à un niveau de croissance déterminé et limiter le nombre de bouquets, un écimage est nécessaire. L'opération consiste à pincer la tige principale au niveau désiré [40].

Opération doit se faire 2 à 3 feuilles après le dernier bouquet afin de permettre un grossissement normal des fruits des bouquets supérieurs [40].

1.2.6. IMPORTANCE ÉCONOMIQUE DE LA TOMATE :

1.2.6.1. DANS LE MONDE :

Tomate est une culture importante de l'économie mondiale. Elle représente l'un des légumes les plus consommés car elle fournit des nutriments essentiels dans l'alimentation humaine [46].

Tomate est cultivée dans plusieurs pays et à travers le monde entier. En ce qui concerne la consommation en frais, la production mondiale de tomates s'élevait en 2010 à 620,28 millions de tonnes pour une surface de 4,63 millions

d'hectares, soit un rendement moyen de 27,3 tonnes à l'hectare. La figure 1.2 donne la production en tonne des 20 premiers pays producteurs [47].

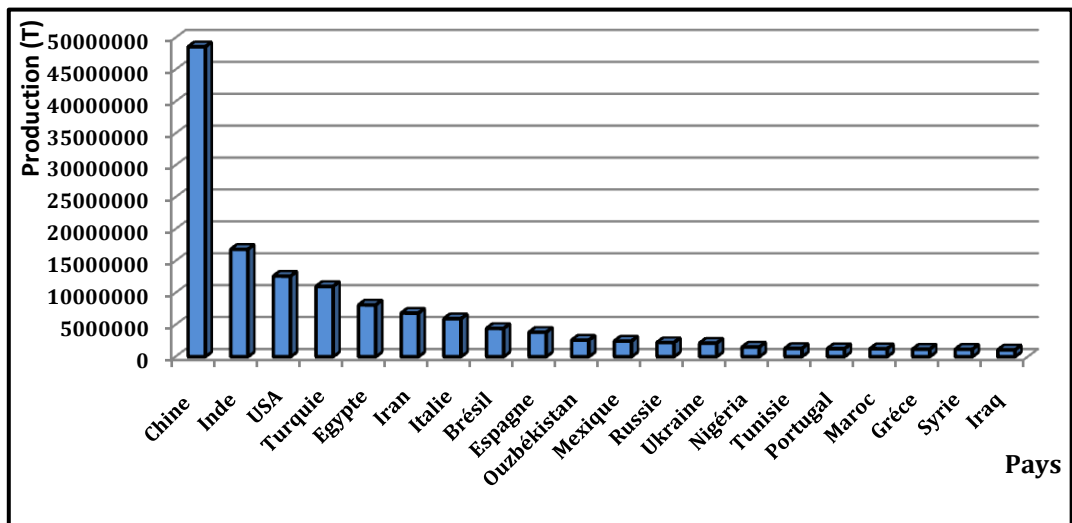


Figure 1.2 : La production mondiale de la tomate en 2011 [47].

1.2.6.2. EN ALGÉRIE :

La tomate occupe une place remarquable dans l'économie agricole algérienne. C'est une culture très répandue. Des milliers d'hectares y sont consacrés chaque année. C'est un légume de base pour la population algérienne. Elle prend le deuxième rang en cultures maraîchères après la pomme de terre. Les figures suivantes montrent l'évolution de la superficie et de la production de la tomate fraîche en Algérie durant les dix dernières années [47].

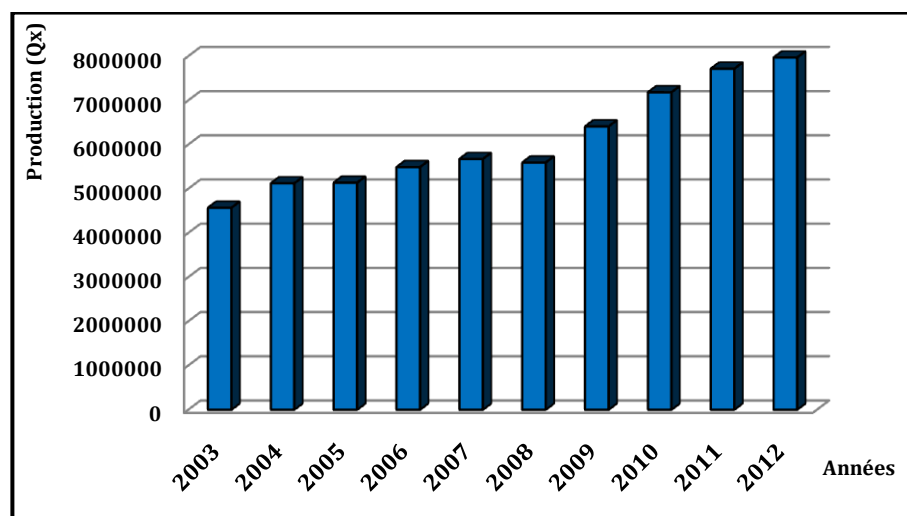


Figure 1.3 : Évolution de la production (Qx) de la tomate maraîchère en Algérie entre 2003 et 2012 [48].

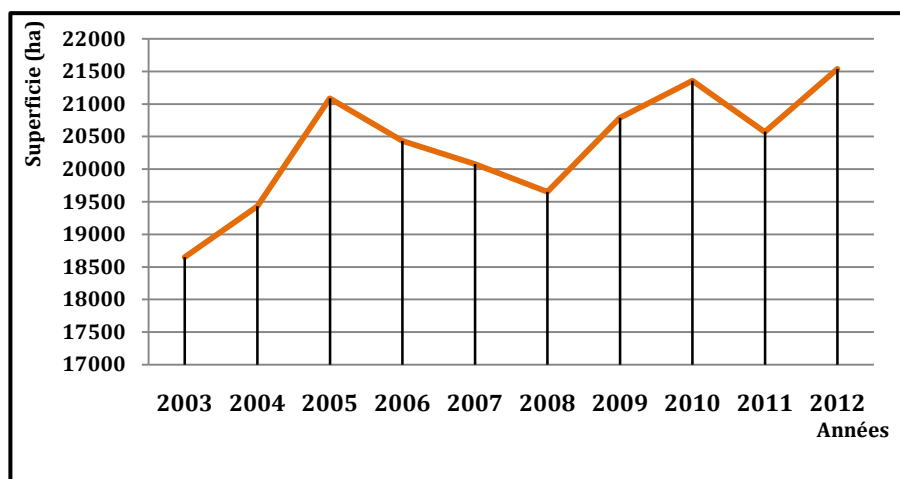


Figure 1.4 : Évolution de la superficie (ha) de la tomate maraichère en Algérie entre 2003 et 2012 [48].

1.3. CULTURE DU HARICOT :

Culture de cette légumineuse a pris une très grande importance en raison de la place qu'elle occupe dans l'alimentation humaine. Elle est utilisée soit pour sa gousse (consommation en vert), soit pour ses graines à l'état frais ou sec ou encore pour la conserve [43].

1.3.1. ORIGINE ET HISTORIQUE DE LA PLANTE :

Haricot est originaire d'Amérique du Sud. Sa domestication date de plus de 9 700 ans. Il a été introduit en Europe à l'ère colombienne puis s'est rapidement diffusé dans des zones méditerranéennes et subtropicales du globe [30].

1.3.2. DESCRIPTION DE LA PLANTE :

Ce n'est qu'au cours des 20 dernières années que des bases solides et universelles ont été établies pour la taxonomie de « Phaseolus ». Le genre Phaseolus comprend environ 50 espèces. La plupart se trouvant dans les Amériques [34] dont 5 sont cultivées ce sont : *P. Vulgaris* L., *P. linatus* L., *P. coccineus* L., *P. polyanthus* Greenm., *P. acutifolius* A. Gray Var. *latifolius* Freeman [51]. Selon [49], le *Phaseolus Vulgaris* L. est une plante annuelle, herbacée appartient à :

Ordre.....	Rosales.
Familles.....	Légumineuse.
Sous Famille.....	Phaseoleae.
Sous Tribu.....	Phaseolinae.
Genre.....	<i>Phaseolus</i> .
Espèce.....	<i>Phaseolus Vulgaris</i> Linné

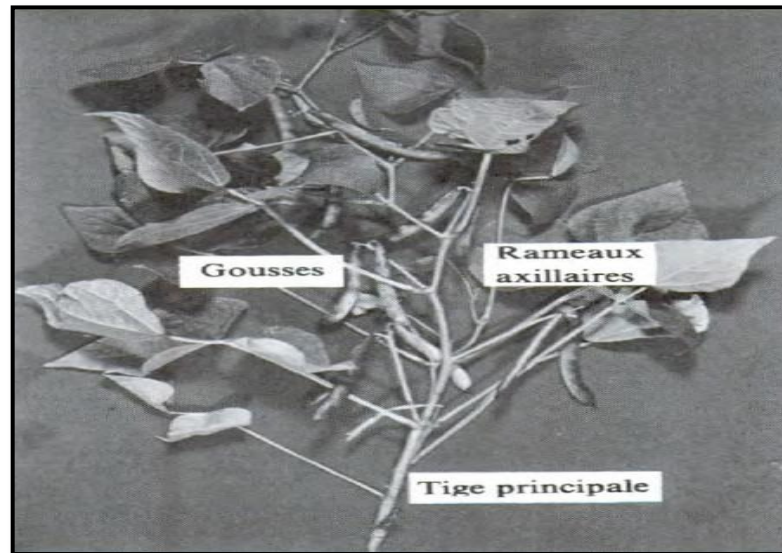


Figure 1.5: Organes d'une plante de haricot [49].

Il s'agit d'une plante annuelle à végétation rapide. Son cycle est de 90 à 120 jours. À l'issue de la germination qui épicée, il y a formation de deux feuilles opposées simples puis de feuilles trifoliolées à folioles cordiformes. Les fleurs, blanches ou violettes, produisent des gousses allongées, plates ou plus ou moins arrondies, vertes à jaunes, avec ou sans fil, avec ou sans parchemin, constitué de fibres sclérenchymateuses qui tapissent les parois latérales de la gousse [30].

Selon le mode de développement des tiges, on distingue :

- Les variétés à rames dont les tiges volubiles, atteignant plus de 2 m. Elles doivent être conduites sur des tuteurs (rames à haricot) ;
- Les variétés naines, à port ramassé et tiges rigides, ne dépassent pas une soixantaine de centimètres [33].

1.3.3. PHASES VÉGÉTATIVES DU HARICOT :

Cycle végétatif du haricot comprend les phases suivantes :

1.3.3.1. PHASE DE GERMINATION :

Graines lèvent en 4 à 8 jours suivant la température. Elles doivent toutes être sorties de terre au bout de 8 jours. Un à deux jours après l'apparition des crosses, les cotylédons sortis du sol, se sont ouverts et la première paire de feuilles apparaît [50].

1.3.3.2. PHASE DE CROISSANCE :

Trois à quatre jours après la levée, les cotylédons commencent à se faner. Ensuite, (5 à 6 jours) après la levée apparaît la première feuille trifoliolée). Après 5 à 6 jours apparaît la deuxième feuille. Au bout d'un mois, le pied du haricot possède une dizaine de feuilles trifoliolées et il a atteint sa hauteur définitive de 30 à 40 cm pour les variétés naines [50].

1.3.3.3. PHASE DE 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 [50].

1.3.3.4. PHASE DE MATURATION :

Une fois la taille définitive atteinte, les graines se forment en 15 -20 jours. Il faut attendre encore 20 à 30 jours [50].

Cycle végétatif complet du haricot est en moyenne de :

- 75 à 80 jours pour le haricot vert ;
- 90 à 100 jours pour le haricot demi- sec ;
- 120 à 130 jours pour le haricot sec.

1.3.4. PRINCIPAUX TYPES VARIÉTAUX :

D'après [50], les types variétaux du haricot cultivé pour la consommation de la gousse (= haricot vert) à destination du marché de frais ou de l'industrie, sont classés de la manière suivantes :

- Haricot sans parchemin ou " mangetout "
- Mangetout à rames à cosses jaunes
- Mangetout à rames à cosses vertes
- Mangetout nain à cosses jaunes
- Mangetout nain à cosses vertes

Les « mangetouts » dont les gousses, vertes ou jaunes, ne présentent ni fil ni parchemin à un stade de croissance avancé. Leur classification est basés sur le niveau de calibre de la gousse : Extra-fin, très fin, fin, mi-fin [30].

1.3.5. VALEUR NUTRITIONNELLE DU HARICOT :

Tableau 1.1 : Composition du haricot vert (teneurs pour 100 grammes) [51].

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

D'après [43], la graine possède une grande valeur alimentaire. Elle renferme:

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

1.3.6. EXIGENCES DE LA PLANTE :

1.3.6.1. EXIGENCES CLIMATIQUES :

➤ TEMPÉRATURE :

Haricot est une plante sensible aux basses températures qui bloquent sa croissance et peuvent engendrer des dégâts beaucoup plus importants dans le cas de gelées printanières ou automnales [52].

Haricot craint les fortes chaleurs. Une culture plantée trop tardivement sous abri sera plus difficile à conduire et les récoltes sont de moins bonne qualité [53].

Tableau 1.2 : Besoins en température selon les stades de développement [54].

Stade de développement	Température
Germination	<ul style="list-style-type: none">• optimale entre 20 °C et 25 °C,• entre 25 °C et 35 °C, difficultés,• au dessus de 35 °C, arrêt.
Croissance	<ul style="list-style-type: none">• optimale entre 15 °C et 25 °C,• au dessus de 25 °C, difficultés.
Floraison	<ul style="list-style-type: none">• optimale entre 15 °C et 25 °C,• au dessus de 30 °C, coulure de fleurs et avortements.
Fructification	<ul style="list-style-type: none">• optimale entre 15 °C et 30 °C,• au dessus de 30 °C :<ul style="list-style-type: none">☞ sur filet, formation précoce fil et parchemin☞ sur mangetout, chute de jeunes gousses, apparition précoce du grain, baisse de qualité, perturbation des planifications de récolte.

➤ LUMIÈRE :

Haricot est très exigeante en lumière surtout pendant les premières étapes de son développement. Plus tard, pendant la floraison et la nouaison, la lumière diffusée et une augmentation d'humidité de l'air peuvent favoriser considérablement la qualité des gousses et l'augmentation des rendements [50].

1.3.6.2. EXIGENCES ÉDAPHIQUES :

➤ SOL :

Haricot peut donner de bons résultats économiques sur des sols de textures très diverses (sablo-argileux, limono-sableux,...) [54] mais 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 [50].

Parcelle doit posséder une bonne homogénéité quant à la nature du sol et au profil pédologique pour obtenir un stade de maturité identique au moment de la récolte [54].

➤ SALINITÉ :

Une forte salinité des sols provoque une chute des rendements qui peut atteindre jusqu'à 20 à 25%, quand on irrigue avec de l'eau contenant 250 mg/l de Chlore [55].

Salinité abaisse le potentiel hydrique des racines, et ceci cause rapidement des réductions de taux de croissance, avec une suite des changements métaboliques identiques à ceux provoqués par le stress hydrique [56].

Dans une étude effectuée sur plusieurs espèces sur le genre *Phaseolus*, la salinité a un effet significatif sur la concentration des tissus en Na^+ , K^+ , Ca_2^+ et Cl^- et sur leur vitesse d'absorption, en plus de l'effet toxique des concentrations élevée en Na^+ et Cl^- dans le tissus végétaux. Les changements qui se passent dans les conditions de salinité de l'absorption de nutriments semblent contribuer dans la réduction de la croissance [57].

Haricot étant très sensible à la salinité. La fertilisation sera fractionnée durant la culture. Les apports de couverture doivent se faire sans toucher le feuillage pour éviter les brûlures [54].

➤ pH :

Acidité du sol est un phénomène commun dans un grand nombre de régions d'Afrique où les haricots sont cultivés.

Haricot tolère des sols à pH de 4,5 à 5,5. Sur des sols à pH bas, ils sont vulnérables à la toxicité de l'aluminium et ou du manganèse, bien que la tolérance à l'aluminium diffère selon les cultivars [58].

1.3.6.3. EXIGENCES HYDRIQUES :

Besoins en eau sont importants à la reprise. La terre doit être suffisamment souple et humide pour permettre un bon enracinement des plantes. Par la suite, l'arrosage doit être modéré voir limité pour favoriser la floraison et la nouaison. Les besoins en eau sont plus importants pendant le développement des gousses. L'apparition de gousses vrillées (crochues) ou déformées (boudinées) peut être liée à un manque d'eau [53].

Manque d'eau accompagné d'un excès de chaleur provoque le flétrissement des fleurs et leur coulure [50].

Haricot demande 300 à 400 mm d'eau pendant la durée de sa végétation [50], cependant, deux stades critiques sont particulièrement à surveiller. Le premier se situe au moment de la levée où une irrigation sera nécessaire pour assurer la régularité de levée, à moins que la pluviométrie soit satisfaisante à ce moment. De même, à partir de la floraison, le stress hydrique pénalise la formation et la croissance des filets et favorise l'apparition des fils et des grains. Une présence trop importante de fils ou de grains dans les haricots peut entraîner le refus de récolte [52].

1.3.6.4. EXIGENCES NUTRITIONNELLES :

Culture étant à cycle court, le haricot doit bénéficier d'engrais apportant les éléments sous forme facilement assimilable [54].

Besoins de la culture seront établis de la manière la plus précise possible afin d'éviter tout excès [54].

1.3.7. TRAVAUX D'ENTRETIENS :

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

➤ **BINAGE ET BUTTAGE :**

Premier binage se fait juste quelques jours après la levée. Il doit s'effectuer lors des façons superficielles. Le second qui sert de buttage est effectué un peu avant la floraison [33].

➤ **DÉSHERBAGE :**

Désherbage revêt aussi une grande importance, car les plants de haricots sont très sensibles aux mauvaises herbes qui peuvent conduire à une baisse de rendement très considérable. La lutte doit se faire dès le premier mois et se poursuivre régulièrement jusqu'à la fin de la campagne [43].

➤ **PALISSAGE:**

Haricot grimpant se cultive sous abris avec des filets ou des ficelles verticales accrochés au fils de culture. Les plantes s'accrochent naturellement sur ces supports [53].

En culture longue, on peut palisser les cultures en forme de tonnelle à hauteur des fils de support de culture. Pour cela, les rangs doivent être suffisamment rapprochés [53].

Pour les haricots nains sous abris, le palissage se fait en haie avec des piquets et des ficelles horizontales. Des piquets d'une hauteur d'environ 80 cm sont installés tous les 3 à 4 m. Les ficelles horizontales, longent les rangs de culture pour les tenir et sont fixées aux piquets (par exemple à 20 et 40 cm de hauteur) [53].

1.3.8. IMPORTANCE ÉCONOMIQUE DU HARICOT :

1.3.8.1. DANS LE MONDE :

Haricot est, en Amérique latine et dans plusieurs pays d'Afrique et d'Asie l'une des plus importantes cultures vivrières. Il constitue une grande source de protéines végétales pour la consommation humaine et animale [59].

En 2006, la production mondiale du haricot, selon les statistiques publiées par la FAO, s'est élevée à 28,6 millions de tonnes, dont 19,6 de haricots secs

(68 %), 6,4 de haricots frais (22 %) et 2,6 de haricots verts (9 %). En 2002, ces chiffres étaient respectivement de 25,7, 18,3, 5,7 et 1,7 millions de tonnes. Entre 1961 et 2006, la production totale du haricot a doublé passant de 14,4 à 28,6 millions de tonnes, progressant assez régulièrement au taux de 1,5 % par an. La figure suivante montre les principaux premier pays producteurs du haricot vert.

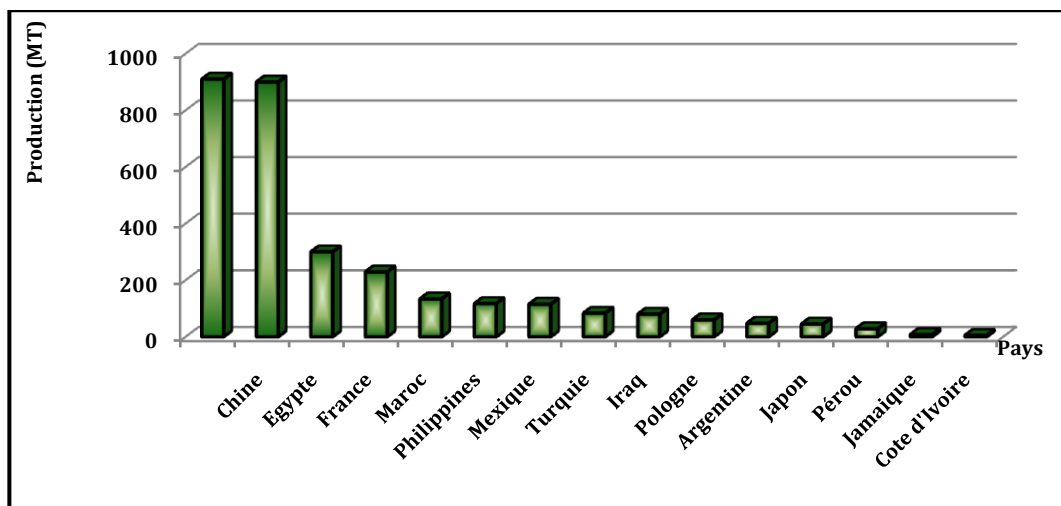


Figure 1.6 : Principaux pays producteurs du haricot en 2012 [47].

1.3.8.2. EN ALGÉRIE :

D'après [60], le haricot est une plante cultivée dans tout le territoire Algérien. Le haricot est placé en 13^{ème} position des cultures maraîchères, soit 2,16% de la production totale produite.

Deux figures suivantes montrent l'évolution de la superficie en (ha) et de la production en (Qx) entre 2007 et 2012.

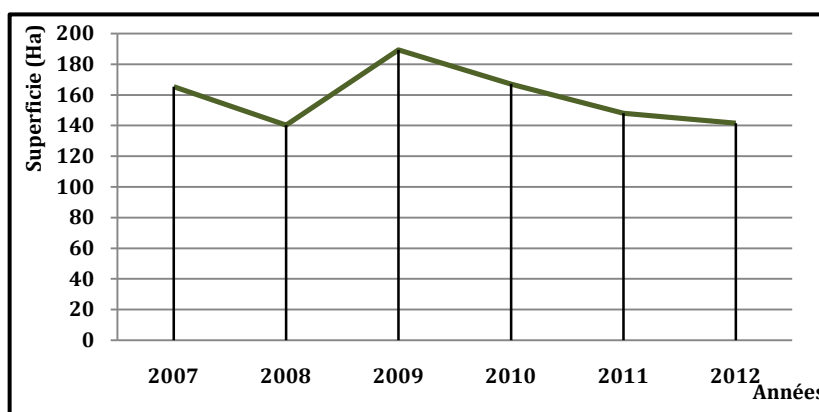


Figure 1.7 : Évolution de la superficie de haricot vert en Algérie entre 2007 et 2012 (ha) [48].

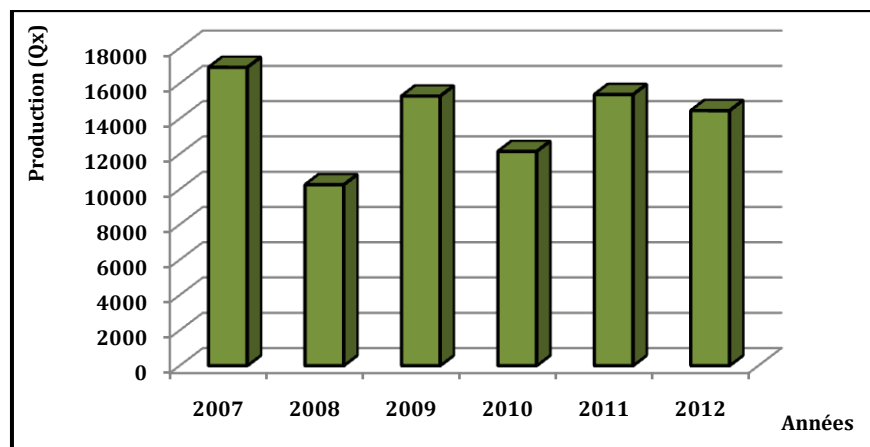


Figure 1.8 : Évolution de la production de haricot vert (Qx) en Algérie entre 2007 et 2012 [48].

CHAPITRE 2 :

SALINITÉ ET LA PLANTE

2.1. GÉNÉRALITÉS SUR LA SALINITÉ :

Salinisation des sols et de l'eau est l'un des principaux facteurs abiotiques qui limitent la productivité végétale et le rendement agricole [61]. Dans plusieurs régions du monde, cette situation est aggravée par la raréfaction des réserves en eau douce [62].

Sols salés naturels couvrent de grandes surfaces sur tous les continents et sous tous les climats [63]. Globalement, plus de 76 millions d'hectares de terres sont affectées par la salinisation dans le monde [62].

Développement de la culture irriguée entraîne souvent une extension secondaire des terres salées liées à la dégradation chimique et physique des sols et à une mauvaise conduite de l'irrigation [63].

Généralement, tout facteur environnemental limitant la biomasse ou la productivité des cultures est qualifié de stress. Ainsi, la salinité, qu'elle soit du sol ou de l'eau, est l'une des contraintes majeures, notamment en régions arides et semi-arides pouvant limiter significativement la productivité des terres agricoles [64].

Plusieurs auteurs ont défini la salinité des sols comme étant la présence de concentration excessive de sels solubles, ou lorsque les concentrations en Na, Ca, Mg sous formes de chlorures, carbonates, ou sulfates sont présentes en concentrations anormalement élevées. Un sol salé indique la prédominance de NaCl, sous l'influence d'apport d'eau d'irrigation salée, de l'aridité du climat ou des conditions hydrologiques particulières (lessivage insuffisant, proximité de la nappe...), est probablement la caractéristique contraire à la croissance végétale la plus répandue dans les zones arides irriguées [61], [65] et [66].

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^-), les sulfates (SO_4^{2-}) et les carbonates (HCO_3^- , CO_3^{2-}) [65].

2.2. SALINITÉ DANS LE MONDE ET EN ALGÉRIE :

2.2.1. SALINITÉ DANS LE MONDE :

Salinisation des terres est un problème majeur à l'échelle du globe. Selon la FAO et les estimations les plus récentes, elle affecte déjà au moins 400 millions d'ha et en menace gravement une surface équivalente. Elle est donc très importante quantitativement puisque, encore une fois, nous n'avons qu'un milliard et demi d'ha cultivés sur la Terre [67].

Superficies affectées par la salinité ou la sodicité atteindraient environ 830 millions d'hectares, soit 6,5% de la superficie des terres émergées. Les continents sont diversement concernés. Les sols salés sont principalement situés dans les zones arides, et leur proportion est notablement élevée en Egypte et en Tunisie, en moyen orient (Iran, Pakistan, Bangladesh), en Asie central (Ouzbékistan), au Nord de la Chine et en Argentine [65].

Tableau 2.1: La superficie affectée par la salinité dans différentes régions du monde [68].

Région du monde	Superficie (million d'hectares)
Afrique	80,5
Europe	50,8
Amérique du nord	5,7
Amérique du sud	129,2
Asie du sud	87,6
Australie	357,3
Asie du centre et du nord	211,7

2.2.2. SALINITÉ EN ALGÉRIE :

Sols salés ont une grande extension en Algérie, dans les basses plaines et vallées d'Oranie, vallée de la Mina, près de Relizane par exemple, sur les hautes plaines au sud de Sétif et de Constantine, aux bords de certains chotts comme le Chott Melhir. Ils ont aussi une grande extension dans les régions Sahariennes au Sud de Biskra jusqu'à Touggourt, Ouargla et au-delà. Elle est due aux conditions arides ou semi arides d'une grande partie du pays où les possibilités d'évaporation sont considérables, les précipitations limitées; à la présence fréquente de dépôts géologiques salifères, et de nappes phréatiques ou artésiennes salées; à la succession des événements, variations climatiques et phénomènes de sédimentation, au cours des Temps quaternaires [69].

Développement des systèmes d'irrigation a permis la mise en valeur des terres arables en zones arides et semi-arides. C'est ainsi que depuis une cinquantaine d'années, de grands périmètres ont été construits en Algérie pour combler le déficit en eaux des cultures. Cependant, ces pratiques d'irrigation à grande échelle ont modifié le fonctionnement des sols et accru le risque de salinisation. En Algérie, plus de 20 % des sols irrigués sont concernés par le problème de salinité [70].

2.3. ORIGINE DE LA SALINITÉ :

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 [71].

2.3.1. SALINISATION PRIMAIRE :

Salinisation primaire, d'origine géologique, marine ou lagunaire correspond à une salinisation liée au fonctionnement naturel des terrains, sous l'influence du climat, de l'altération des roches et de la dynamique des eaux [61]. Alors, les horizons supérieurs du sol sont salés avant toute intervention humaine. Il est hors de sujet de traiter ici la genèse de cette salinité qui peut avoir diverses causes, marines ou continentales [72].

- Salinisation géologique : Les sels solubles peuvent provenir :
 - Soit de l'altération des roches contenant des minéraux sodiques potassiques et magnésiques [71].
 - Soit de dissolution des évaporites contenant des chlorures, des sulfates, etc. Les évaporites se localisent essentiellement dans les bassins élémentaires.
 - Soit de l'altération des roches volcaniques [61].

- Salinisation marine et lagunaire : Selon [71] l'origine des sels peut se trouver dans les dépôts lagunaires ou matériaux salés plus ou moins récents qui peut être eux-mêmes des roches mères des sols et fournir leurs sels aux Oueds qui les transportent jusqu'aux nappes superficielles plus ou moins profondes sous les sols des vallées et basses plaines.

2.3.2. SALINISATION SECONDAIRE :

Dans les zones à climat aride et semi- aride, la pratique de l'irrigation représente l'une des plus importantes causes de la salinisation secondaire [71].

Emploi d'eau salée sur des sols initialement sains. Il est aisé de comprendre que si le sol reçoit, par irrigation et par pluie, la quantité d'eau correspondant exactement à la consommation des végétaux et à l'évaporation du sol. Les sels que la végétation n'absorbe pas s'accumuleront dans le sol [72].

2.4. SIGNES D'UN SOL SALÉ :

Croissance des plantes cultivées sur sols salins est généralement médiocre car le sel retarde ou empêche la germination des semences. Il se produit alors des plaques irrégulières dénudées dans le champ [73].

Il peut y avoir apparition des mauvaises herbes tolérantes aux sels, comme : *Spergularia Salina*, *Atriplex halimus*...etc

Autre indice de la salinité du sol est la présence d'une croûte blanche à la surface du sol. Cependant. Ce signe peut ne pas être une indication de la salinité car les sols non salins qui contiennent du gypse présentent également des croûtes blanches [68].

2.5. CLASSIFICATION DES SOLS SALINISES :

Selon les travaux de [74], les sols salinisés peuvent contenir un excès de sels solubles dans l'eau tels que les sols salins, de sodium échangeable comme les sols sodiques ou des deux tels que les sols salins-sodiques. Leurs caractéristiques physiques et chimiques diffèrent avec le type de sols. Le tableau suivant montre les caractéristiques des trois principales classes de sol salinisé.

Tableau 2.2 : Classification des sols salinisés [74].

Classification	Conductivité électrique (ds/ m)	pH du sol	Condition physique du sol
Salin	> 4	< 8,5	Normale
Salin-sodique	> 4	< 8,5	Normale
Sodique	< 4	> 8,5	Pauvre

2.6. SALINITÉ DES EAUX D'IRRIGATION :

Au Maghreb plus de 30% des eaux destinées à l'irrigation sont chargées en sel, et elles induisent, à la longue, une accumulation de toxines aussi bien dans la rhizosphère que dans les différentes parties de la plante. Ces toxines engendrent des dégâts au niveau des ultrastructures cellulaires contribuant, à la fois, à la réduction de la croissance et des rendements des variétés sensibles [57].

Salinité d'une eau d'irrigation est plus facilement accessible par la mesure directe de la conductivité électrique (CE) à l'aide d'un conductimètre électrique dans des conditions standard de température (25°C) [65].

Principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium (Ca^{2+}), de magnésium (Mg^{2+}), de sodium (Na^+), les chlorures (Cl^-), les sulfates (SO_4^{2-}) et les bicarbonates (HCO_3^-). Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante. Une salinité trop élevée peut causer des brûlures racinaires [75].

2.6.1. ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE L'EAU D'IRRIGATION :

D'après [75], cinq principaux critères pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation.

- Salinité: Contenu total en sel soluble ;
- Sodium : Proportion relative élevée du cation sodium (Na^+) par rapport aux autres cations ;
- Alcalinité et la dureté: Concentration d'anions Carbonate (CO_3^{2-}) et bicarbonate (HCO_3^-) en relation avec la concentration en calcium (Ca^{2+}) et en magnésium (Mg^{2+}) ;
- Concentration en éléments qui peuvent être toxiques ;
- pH de l'eau d'irrigation.

Deux premiers critères sont d'importance majeure car un excès de sel augmente la pression osmotique de l'eau du sol et provoque des conditions qui empêchent les racines d'absorber l'eau. Ces conditions provoquent une sécheresse physiologique. Même si le sol semble avoir beaucoup d'humidité, les plants flétrissent parce que les racines n'absorbent pas suffisamment d'eau pour remplacer celle perdue par évapotranspiration [75].

D'après [65], la qualité des eaux d'irrigation est généralement subdivisée en 4 classes de risque de salinisation des sols :

Tableau 2.3 : Évaluation de qualité des eaux irrigations en Algérie [76], [65].

Classe de l'eau	Conductivité Électrique (CE) (dS/m)	Concentration [g/l]	Évaluation américaine	Évaluation de Durand pour l'Algérie	Risque de salinisation des sols
Classe 1 (S1)	CE < 0,25	< 0,2	Faiblement salée	Non saline	Risque faible
Classe 2 (S2)	0,25 < CE < 0,75	0,2 - 0,5	Moyennement salée	Salinité moyenne	Risque modéré
Classe 3 (S3)	0,75 < CE < 2,25	0,5 - 1,5	Fortement salée	Forte salinité	Risque élevé
Classe 4 (S4)	CE > 2,25	1,5 - 7	Très fortement salée à salinité excessive	Très forte salinité à salinité excessive	Risque très élevé

2.7. SALINITÉ ET LA PLANTE :

Chez toutes les espèces végétales, glycophytes comme halophytes, la salinité du milieu entraîne, à partir d'un certain seuil, une réduction de la biomasse produite. Néanmoins, le degré d'inhibition de la croissance dépend du genre, de l'espèce, de la variété, ainsi que du stade de développement de la plante et de la nature de l'organe mesuré [77].

2.7.1. CLASSIFICATION DES PLANTES :

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

- Halophytes vraies: dont la production de biomasse est stimulée par la présence de sels. Ces plantes présentent des adaptations poussées et sont naturellement favorisées par ces conditions: *Salicornia europaea*, *Suaeda maritima*... .
- Halophytes facultatives, montrant une légère augmentation de la biomasse à des teneurs faibles en sels: *Plantago maritima*, *Aster tripolium*... .
- Non-halophytes résistantes, supportant de faible concentration de sel: *Hordeum* sp....
- Glycophytes ou Halophobes, sensibles à la présence de sel: *Phaseolus vulgaris*, glycine max.... [8].

Tableau 2.4 : Classe de tolérance des cultures à la salinité [68].

Classes de tolérance relative à la salinité	Salinité limitée du sol (CE) Sans perte de rendement
Sensible	<1,3 ds/m
Moyennement sensible	1,3 – 3,0 ds/m
Moyennement tolérant	3,0 – 6,0 ds /m
Tolérant	6,0 – 10 ds/m
Inapte à la plus part des cultures (sauf si en accepte une baisse de rendement)	>10 ds/m

Glycophytes sont incapables de se développer sur des milieux très riches en sels solubles. La plante ne pourra plus puiser l'eau qu'à partir d'une certaine concentration en sel où la pression de la plante est égale à la pression osmotique

du milieu .Le sel diminue la transpiration des glycophytes et de nombreux halophytes en absence de toute diminution de turgescence [78].

Tableau 2.5 : Classification de quelques cultures sensibles et tolérantes à la salinité ainsi que leur rendement en fonction de la concentration du sel dans le sol et dans l'eau [79].

Culture	Sensibilité à la salinité	Rendements des cultures			
		100 %		75%	
		C.E de sol	C.E de l'eau	C.E de sol	C.E de l'eau
Soja	Tolérant	5,00	3,30	6,30	4,20
Sorgho	Tolérant	6,80	4,50	8,40	5,60
Épinard	Modérément sensible	2,00	1,30	5,30	3,50
Laitue	Modérément sensible	1,30	0,90	3,20	2,10
Chou	Modérément sensible	1,80	1,20	4,40	2,50
Tomate	Modérément sensible	2,50	1,70	5,00	3,40
Haricot	Sensible	1,00	0,70	2,30	1,50
Pomme de terre	Sensible	1,70	1,10	3,80	2,50
Poivron	Sensible	1,50	1,00	3,30	2,20
Oignon	Sensible	1,20	0,80	2,80	1,80
Carotte	Sensible	1,00	0,70	2,80	1,90

2.7.2. CAUSES DU STRESS :

Mot stress est apparu autour de 1940. Il s'agissait d'un mot anglais, employé en mécanique et en physique, qui voulait dire « force, poids, tension, charge ou effort » [68].

D'une façon plus générale, on peut dire qu'au niveau cellulaire, un stress est causé par la variation d'un paramètre environnemental qui entraîne la mise en place des mécanismes de régulation de l'homéostasie. Les organismes sont généralement soumis à deux types de stress : les stress biotiques (dus à une agression par un autre organisme) et les stress abiotiques (qui sont dus principalement à des facteurs environnementaux) [80].

2.7.3. STRESS SALIN :

Stress salin est un excès d'ions, en particulier, mais pas exclusivement, aux ions Na^+ et Cl^- [61].

Dans le cas de stress salin, une double problématique se pose à l'organisme végétal : d'un côté, la présence de sel, en abaissant le potentiel hydrique du sol, menace l'approvisionnement en eau de la plante, de l'autre, l'absorption de sel dans les tissus, menace le bon fonctionnement physiologique des cellules. Face à ce danger, toutes les plantes ne sont pas égales. Certaines, nommées glycophytes, ne sont pas capables de supporter la présence de sel. Les halophytes au contraire, ont développé des réponses physiologiques pour assurer leur approvisionnement en eau tout en préservant leur métabolisme [6].

Stress salin a un triple effet sur la plante:

- Il réduit leur potentiel hydrique ;
- Il cause un déséquilibre ionique ou des perturbations en hémostasie ionique ;
- Il provoque une toxicité ionique [27].

Cet état hydrique altéré conduit à une croissance réduite et limitation de la productivité végétale. Depuis que le stress salin implique aussi bien le stress osmotique qu'ionique. L'arrêt de la croissance est directement relié à la concentration des sels solubles ou au potentiel osmotique de l'eau du sol [68].

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.
- ✓ Stress ionique: malgré d'un ajustement osmotique correct, la toxicité ionique survient lorsque l'accumulation de sels dans les tissus perturbe l'activité métabolique [81].
- ✓ Stress nutritionnel: des concentrations salines trop fortes dans le milieu provoquent une altération de la nutrition minérale. En particulier, vis-à-

vis des transporteurs ioniques cellulaires, le sodium entre en compétition avec le potassium et le calcium, les chlorures avec le nitrate, le phosphate et le sulfate.

2.8. MÉCANISMES DE RÉSISTANCE À LA SALINITÉ :

Une plante, mise dans un milieu salé aura un développement difficile. Le sol est en effet riche en sel. La pression osmotique peut y être supérieure à celle de la plante, d'où des difficultés d'absorption d'eau [82]. La résistance d'une plante à la salinité s'exprime par sa capacité à survivre et à produire dans des conditions de stress salin. Les plantes développent plusieurs stratégies pour limiter le stress salin, qui diffèrent selon la catégorie de la plante [61].

2.8.1. CAS DES HALOPHYTES :

Halophytes accumulent le sel dans leurs vacuoles au niveau des feuilles pour augmenter leur pression osmotique. Elles fabriquent également des osmoticum (ou osmolytes : molécules organiques qui s'accumulent dans les vacuoles), pour contrecarrer l'action du sel en augmentant la pression osmotique cellulaire, ce qui en limite ainsi l'entrée [82]. Les plantes tolérant le NaCl, sont dites « incluser » [61].

2.8.2. CAS DES GLYCOPHYTES :

Chez les glycophytes, plantes dont l'halo-tolérance est limitée, il y a plutôt un rejet de sel [82], et la plus grande partie du sodium absorbé et véhiculé vers les feuilles est réexporté vers les racines via le phloème ou initialement stocké dans les racines [83]. Ces plantes sont dites « excluser » [61].

2.9. CONSÉQUENCES DE LA SALINITÉ SUR LES PLANTES :

Conséquence générale de la présence de sels dans les sols est une limitation de la croissance qui provoque une baisse de rendement. Dans les régions semi-arides, la concentration en sel de la solution du sol peut atteindre 100 mM, condition qui inhibe la croissance de la quasi-totalité des plantes cultivées. Pour des concentrations en sel plus fortes, même la germination peut devenir impossible [84].

2.9.1. EFFET SUR LA GERMINATION :

Salinité agit sur la germination en ralentissant sa vitesse, ce qui expose plus la semence aux risques, et en diminuant plus ou moins fortement son taux de germination selon la concentration en sel dont le NaCl [85].

2.9.2. EFFET SUR LA CROISSANCE :

Effets néfastes de la salinité sur la croissance des plantes sont généralement associés au faible potentiel osmotique [83], qui limite l'absorption de l'eau présente dans le sol, la toxicité d'ion, et les insuffisances minérales. Ainsi, le chlorure de sodium aurait un effet négatif sur les échanges du potassium. L'ion de sodium, de part sa nature chimique semblable à l'ion potassium, entre en concurrence avec ce dernier et inhibe son absorption par la racine. De ce fait, une carence en potassium produit l'inhibition de la croissance puisqu'il est impliqué dans la capacité d'un ensemble d'activités enzymatiques en plus de sa participation au maintien du potentiel de membrane et la turgescence cellulaire [64].

2.9.3. EFFET SUR LE COMPORTEMENT BIOCHIMIQUE DE LA PLANTE :

Études relatives aux mécanismes physiologiques impliqués dans la tolérance à la salinité ont montré que le maintien de la sélectivité entre le sodium et le potassium, les ajustements des métabolismes glucidiques et prolinique et l'aptitude à compartimenter les solutés accumulés sont parmi les conditions nécessaires à la survie en milieu salin [81].

Parmi les stratégies biochimiques il y a :

- Synthèse et accumulation de la proline :

Accumulation de proline est l'une des manifestations les plus remarquables du stress salin et hydrique. Le rôle de la proline dans la résistance au stress salin n'est pas encore élucidé. Il peut s'agir d'un osmoticum dont l'accumulation cytoplasmique permet de neutraliser les effets ioniques et osmotiques de l'accumulation du sel dans la vacuole. Selon un autre point de vue, l'accumulation

de proline n'est pas une réaction d'adaptation au stress, mais plutôt le signe d'une perturbation métabolique [86].

➤ Accumulation de sucres :

Teneurs en saccharose et en amidon des racines et des feuilles semblent être des indicatrices du degré de résistance des espèces à la salinité. Une étude comparative a été menée sur le haricot (très sensible), le riz (sensible), le soja (moyennement résistant) et le cotonnier (tolérant). Les analyses de sucres ont été faites sur des plantes de 21 à 35 jours, cultivées pendant sept jours sur des solutions contenant 40 à 60 mM NaCl. Les résultats révèlent que la teneur en saccharose des feuilles augmente considérablement chez le haricot et plus faiblement chez le riz. Par contre, elle diminue légèrement chez le soja et plus fortement chez le cotonnier [86].

2.9.4. EFFET SUR LES PROCESSUS PHYSIOLOGIQUES DE LA PLANTE :

Présence de sels solubles en forte concentration dans le sol, affecte les mécanismes physiologiques de la plante, et constitue un facteur limitant majeur de la production végétale [62].

Excès de sel dans le protoplasme conduit à des modifications dans la balance ionique, des perturbations des enzymes, membranes et autres macromolécules. Ces perturbations entraînent une faible production d'énergie par la phosphorylation et la photo respiration, une assimilation de l'azote est perturbée, et un dérèglement de nombreuses voies métaboliques [8].

2.9.5. EFFET SUR L'ALIMENTATION MINÉRALE DES PLANTES :

Racine doit, pomper dans le sol toute l'eau dont elle a besoin pour alimenter ses feuilles, et tenir les stomates ouverts, et donc autoriser l'absorption de gaz carbonique. Or, en sol salé c'est plus difficile de pomper l'eau car les sels en solution déterminent une pression osmotique qui a tendance à jouer dans le mauvais sens c'est-à-dire à faire sortir l'eau des racines. Lorsqu'une plante a sa base immergée dans un sol très salé, inondée par exemple par la mer, elle ne peut plus extraire l'eau, flétrit et meurt de soif [67].

Effets nutritionnels de la salinité incluent les deux actions primaires du sel sur les plantes: la toxicité directe due à l'accumulation excessive des ions dans les tissus et un déséquilibre nutritionnel provoqué par l'excès de certains ions. L'accumulation des ions Na^+ dans la plante limite l'absorption des cations indispensables tels que K^+ et Ca^{2+} [68].

2.9.6. EFFET SUR L'ANATOMIE DE LA FEUILLE :

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. La salinité réduit aussi l'espace intercellulaire dans les feuilles [68].

2.9.7. EFFET SUR LA PHOTOSYNTHÈSE :

D'une manière générale, le sel induit des modifications quantitatives et qualitatives sur la synthèse des protéines. Le plus souvent, en cas de stress salin, les plantes montrent des signes de stress par la production d'anthocyanes ou la destruction des chlorophylles [7].

Action du sel sur la photosynthèse peut être due à la diminution de la surface foliaire, à la baisse de la densité stomatique, à la réduction des dimensions de stomates et à l'augmentation de la résistance stomatique. L'effet sur la photosynthèse s'exerce aussi par la baisse de la teneur en chlorophylle [85].

2.9.8. EFFET SUR LA TRANSPIRATION ET SUR LA RESPIRATION :

Travaux de [85], montrent que la transpiration est le moteur du flux d'eau dans la plante. Elle amène l'eau nécessaire aux cellules qui se forment au cours de la croissance pour le maintien de leur turgescence. Lors d'un stress salin, le sel diminue la transpiration des feuilles et du fait perturbe la bonne circulation des eaux dans les différents organes de la plante.

Même auteur ajoute que la respiration est également touchée par le NaCl en fonction de sa concentration dans le milieu extérieur et suivant la sensibilité ou la tolérance de la plante. L'action du NaCl sur la respiration est complexe et peut aboutir au changement de voies métaboliques.

2.9.9. EFFET SUR LE RENDEMENT DES CULTURES :

Rendement des cultures est affecté négativement par le stress salin. Avant tout, parce que les fermetures stomatiques même partielles entraînent une diminution de la photosynthèse. Ensuite, parce qu'une diminution de la croissance cellulaire a pour conséquence une limitation de l'expansion foliaire et donc de la surface foliaire photo-synthétisante [21].

2.10. IMPACT DE LA SALINITÉ SUR LES RENDEMENTS :

Problème de la salinité est multiple, car en plus de la toxicité des ions Na^+ et Cl^- (dissous dans l'eau d'irrigation ou présents dans la solution du sol) et de la perturbation de la nutrition minérale (suite aux interactions entre les ions), les plantes ont du mal à absorber l'eau du sol du fait de sa pression osmotique élevée, et cela se traduit par un stress hydrique en plus du stress salin, compliquant et altérant ainsi de façon exponentielle leur état physiologique [83].

Impact de la salinité se traduit néanmoins par une baisse de la productivité des terres. Elle résulte souvent d'une baisse appréciable des rendements [65].

Problème de salinité lie à la quantité de l'eau se pose si la quantité totale des sels contenus dans l'eau d'irrigation est assez grande pour influencer sur les rendements ou si ces sels s'accumulent dans la zone racinaire des plantes au point d'influer sur les rendements. Dans les deux cas, les sels proviennent de l'eau [66].

2.11. GESTION DE LA SALINITÉ :

Il n'existe pas une voie unique pour le contrôle de la salinité, mais un ensemble de pratiques agronomiques, hydrauliques, managériales, pouvant être combinées en fonction des circonstances. La gestion de la salinité se définit comme l'intégration de cet ensemble d'interventions mises en œuvre par les différents acteurs du système face aux contraintes de salinité [65].

Une bonne utilisation agricole des sols salés nécessite :

- L'élimination des excès en sels (lixiviation) et la suppression de la source de sodium (drainage de la nappe salée). La première condition nécessaire au contrôle de la salinité est l'apport de volumes d'eau excédentaires, pluie ou

irrigation, permettant de lessiver les sels au-delà de la zone racinaire. Une fraction de lessivage de l'ordre de 10 à 20% est le plus souvent suffisante. Dans le même temps, la salinité va imposer une fréquence d'irrigation plus élevée avant l'apparition d'un stress osmotique [65].

- Maintien de niveaux satisfaisants de la fertilité, du pH et de la structure des sols pour favoriser la croissance des cultures à haut rendement [74].
- Optimisation de la couverture de la surface du sol, par exemple avec des espèces à récoltes multiples [74].
- Paillage de la terre afin de conserver l'humidité du sol et de réduire l'érosion [74].
- Choix des cultures appropriées; par exemple par l'utilisation de plantes aux racines profondes pour maximiser l'extraction de l'eau [74]. Aussi L'utilisation des plantes résistantes à la salinité [61].

CHAPITRE 3:

NUTRITION DES PLANTES

ET LE POTENTIEL HYDROGÈNE

3.1. NOTIONS SUR LA NUTRITION DES PLANTES :

Nutrition végétale est l'ensemble des processus qui permettent aux végétaux d'absorber dans le milieu ambiant et d'assimiler les éléments nutritifs nécessaires à leurs différentes fonctions physiologiques : croissance, développement, reproduction etc. [82].

Fonction de la nutrition minérale représente une originalité majeure du monde végétal. Dans les écosystèmes terrestres, les chaînes alimentaires qui conduisent à l'homme. Autrement dit, ces ions quittent le monde minéral du sol pour entrer dans le monde vivant au moment où ils sont prélevés par les systèmes d'absorption de la membrane plasmique des cellules racinaires. On parle alors d'autotrophie à l'azote, au soufre, au fer, etc. [87].

Performances hydrominérales du système racinaire des plantes cultivées peuvent être améliorées, soit en jouant sur les capacités d'adaptation, de stockage et de synthèse des racines, soit en modifiant la structure et la morphologie du chevelu racinaire, soit en fin en modifiant leur environnement proche. Il est admet actuellement que les racines sont les clés de la deuxième évolution verte [87].

Eau et les sels minéraux sont prélevés dans le sol par les poils absorbants des racines des plantes. Ces minéraux peuvent intervenir dans des processus physiologiques importants pour les plantes : photosynthèse, fructification, perméabilité cellulaire, équilibres ioniques, etc. [82].

Selon [82] pour qu'un élément soit considéré essentiel, trois critères doivent être réunis:

- Une plante donnée doit être incapable d'accomplir son cycle en l'absence de l'élément minéral.
- Dans sa fonction, cet élément ne doit pas être remplaçable par un autre élément minéral.
- Élément doit être directement impliqué dans le métabolisme de la plante, par exemple, comme un constituant essentiel de la plante tel qu'une enzyme où il doit être nécessaire dans une étape métabolique distincte telle qu'une réaction d'une enzyme.

Résultats ont montré que divers éléments minéraux sont nécessaires à la plante à des quantités variables:

- Azote (N); le phosphore (P); le soufre (S) et le potassium (K), sont nécessaires à la plante à des doses variant de 0,0001 à 0,001 mg/ml. Ce sont des macroéléments. Ils entrent dans la composition des organes de la plante et dans le fonctionnement des cellules [88].
- Calcium (Ca); le magnésium (Mg); le Zinc (Zn), le fer (Fe) et le chlore (Cl), sont nécessaires à des doses variants de 10^{-8} à 10^{-6} mg/ml. Ce sont des oligoéléments. Ils interviennent dans le fonctionnement de la plante [88].

Grands facteurs édaphiques qui, en dehors de l'eau, créent la plus forte discrimination à grande échelle, sont sans doute le pH du sol, la teneur en calcaire et celle en chlorure de sodium [89].

Certaines espèces sont indifférentes au pH, mais la plupart affectionnent des pH particuliers [89].

3.2. POTENTIEL HYDROGÈNE ET LA PLANTE :

pH est une abréviation de potentiel hydrogène, permettant d'exprimer le degré d'acidité ou de basicité d'une solution aqueuse [90]. Le pH est une valeur qui est proportionnelle au taux de protons (ions hydrogène : H^+) et inversement proportionnelle aux ions hydroxydes (OH^-) dans une substance [89].

Une substance sera dite « neutre » pour un $\text{pH} = 7$ [89], c'est-à-dire la concentration en ions H^+ est égale à celle des ions OH^- [91]. Lorsque la concentration en ions H_3O^+ d'une solution est supérieure à 10^{-7} . Le pH est inférieur à 7, on considère qu'elle est « acide » [92]. Pour un pH supérieur à 7 le milieu est dit « basique » ou « alcalin » [89].

3.3. NOTION DU pH :

On appelle potentiel hydrogène d'une solution (pH) le logarithme décimal négatif de sa concentration en ions H_3O^+ :

$$\text{pH} = - \log [\text{H}_3\text{O}^+]$$

En fait le pH correspond au logarithme décimal négatif de l'activité des ions H_3O^+ . Mais aux concentrations habituelles des solutions nutritives, on peut assimiler l'activité des ions à leur concentration [92].

Degrés d'acidités exprimés par une échelle de pH, qui repose sur la quantité d'ions d'hydrogène dans une solution. La concentration des ions hydrogène, exprimée en moles par litre. Et la concentration correspondante en ions hydroxyles est indiquée pour chacune des valeurs du pH [91].

Valeurs de pH comprises entre 0 et 14. Le principal intérêt du concept de pH est de faciliter la manipulation des valeurs de concentration [92].

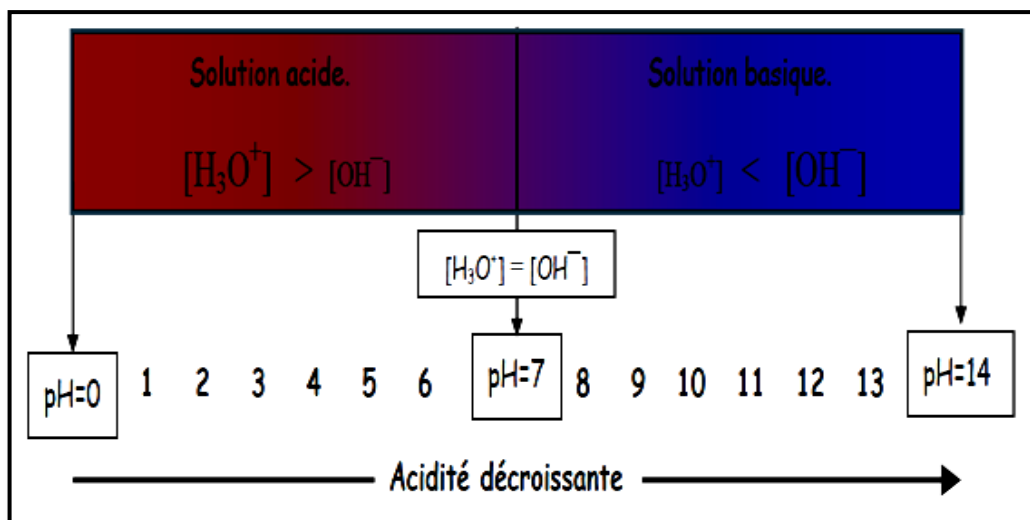


Figure 3.1 : Échelle de pH [90].

D'après [93] il existe 7 domaines de pH dans l'eau et les qualificatifs correspondants :

- pH inférieur à 3,5 : hyper-acide
- pH entre 3,5 et 4,2 : très acide
- pH entre 4,2 et 5,0 : acide
- pH entre 5,0 et 6,5 : peu acide
- pH entre 6,5 et 7,5 : neutre
- pH entre 7,5 et 8,7 : basique
- pH supérieur à 8,7 : très basique

3.4. MESURE DU pH :

Mesure du pH des substrats organiques est importante dans les serres et dans les pots de croissance en pépinières. Le pH doit être vérifié au début afin de s'assurer que le pH soit adéquat [94].

3.4.1 PAPIER INDICATEUR :

Papier pH permet de déterminer approximativement le pH d'une solution, de manière simple et rapide. Il se présente sous la forme de bandelettes de papier imprégnées d'indicateurs colorés qui changent de couleur selon le pH de la solution. Lorsque le papier pH est en contact avec une goutte de solution aqueuse, il prend une certaine couleur en fonction de son pH. Ainsi, par comparaison de la coloration du papier avec l'échelle des couleurs fournie, on peut ainsi déterminer le pH de cette solution. Cette méthode est cependant peu précise, vu la difficulté d'appréciation des couleurs par l'utilisateur [90].

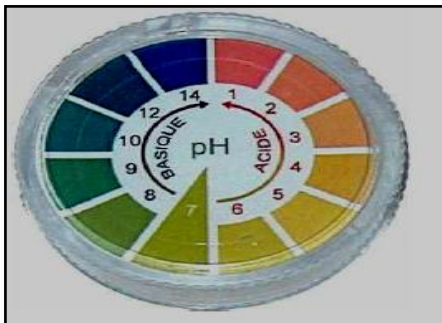


Figure 3.2 : le papier indicateur du potentiel hydrogène [90].

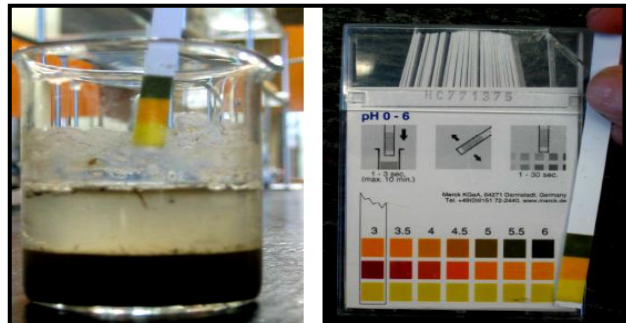


Figure 3.3 : Exemple de détermination de la valeur du pH par la comparaison avec l'échelle de couleur [90].

3.4.2 PH-MÈTRE :

pH d'une solution est mesuré à l'aide d'un pH-mètre, appareil généralement constitué d'un voltmètre relié à une électrode combinée. Celle-ci est constituée d'une électrode de référence en contact avec une solution KCL, et d'une électrode de mesure. Le contact avec la solution à mesurer se fait par l'intermédiaire d'une membrane en verre polarisée, perméable aux ions H_3O^+ , pour l'électrode de mesure, et par l'intermédiaire d'un diaphragme pour l'électrode de référence. C'est la différence de tension mesurée entre l'élément interne et la référence qui est transmise au pH mètre pour être convertie en unité de pH [92].



Figure 3.4 : Appareil de mesure du pH : pH mètre [90].

3.5. MAITRISE DU pH :

3.5.1 NIVEAU DE pH À MAINTENIR ET MOYENS À METTRE EN ŒUVRE :

pH est un bon indicateur de l'activité de la plante mais il n'influence pas le rendement ou la qualité des fruits lorsqu'il se maintient dans les limites acceptables qui se situent entre 5 et 6 pour des espèces comme la tomate ou le concombre [95].

Idéal serait bien entendu d'adapter à priori la composition de la solution nutritive pour équilibrer les sommes de cations et d'anions absorbés. Ceci est irréalisable pratiquement et si la sur irrigation avec drainage perdu permet de limiter aisément ces dérives. La conduite en solution recyclée est plus délicate [96].

Moyen le plus efficace pour limiter les dérives de pH en système recyclé comme en drainage perdu reste la modulation de la concentration en ion NH_4^+ (ammonium). Il est rapidement absorbé par les plantes et cette absorption s'accompagne d'une libération d'ion H^+ ; entraînant une diminution du pH de la solution du substrat et limitant d'autant plus l'absorption en nitrate : c'est l'acidification physiologique. Une augmentation des concentrations en ammonium à l'apport limitera les élévations de pH et une diminution limitera la baisse. On remarquera qu'une diminution de la conductivité à l'apport entraîne une diminution de la concentration absolue de l'ion NH_4^+ et aura une conséquence une élévation du pH [96].

Une régulation acide/ base performante est indispensable. Pour minimiser les apports d'azote, on peut faire appel à l'acide phosphorique à la place ou en complément de l'acide nitrique [96].

3.6. pH DU SOL (pH_{EAU} ET pH_{KCL}) :

Dans une suspension de terre dans l'eau, tous les ions H^+ ne sont pas dissociés. Une partie d'entre eux est retenue énergiquement par des molécules organiques ou par des minéraux argileux. Les ions H^+ dissociés conditionnent le pH_{eau} (acidité actuelle). Ceux qui ne sont pas dissociés constituent une acidité potentielle, laquelle peut être déterminée par neutralisation à l'aide d'une base [93].

Mesure du pH d'une suspension d'un échantillon de sol dans l'eau (pH_{eau}) rend compte de la concentration en ions H_3O^+ à l'état dissocié dans le liquide surnageant. Ces ions sont en équilibre avec ceux présents à l'état non dissocié, fixés sur certains composants solides du sol tels que les minéraux argileux, les matières organiques.... [93].

En pédologie, dans le cas des sols acides, il est intéressant de déterminer le pH d'une suspension de sol dans une solution de chlorure de potassium (pH_{KCL}).

Ions K^+ s'échangent avec les ions H^+ qui n'étaient pas dissociés en suspension aqueuse. La différence entre pH_{eau} et pH_{KCL} donne une bonne idée de l'acidité potentielle. Le pH_{KCL} est en outre un paramètre plus stable dans le temps que le pH_{eau} [93].

- pH_{eau} d'un sol : se mesure en mélangeant de la terre à de l'eau distillée. Cette mesure donne une idée de l'acidité de la solution (l'eau) du sol [97].
- pH_{KCL} d'un sol : est obtenu en mélangeant la terre à une solution de chlorure de potassium (KCL). Ce pH donne une idée de l'acidité absorbée sur les particules du sol (complexe argilo- humique). Il est toujours plus bas que le pH_{eau} [97].

3.7. RELATION ENTRE LE pH ET LE COMPLEXE ABSORBANT :

pH permet de définir, l'état du complexe absorbant, notamment le taux de saturation, ceci s'explique aisément par la comparaison entre un sol saturé (on ions Ca^{++}) et un sol entièrement désaturé [98].

Complexe absorbant d'un sol à forte capacité d'échange pourra libérer dans la solution beaucoup plus d'ions H^+ qu'un sol à faible CEC. L'origine des ions H^+ ainsi que l'intensité de leur liaison avec les colloïdes jouent également un rôle. C'est pourquoi la détermination des pH ne suffit pas. Elle devra être complétée par celle de la capacité d'échange et par celle des cations échangeables (y compris Al^{3+} pour les sols acides et très acides) [93].

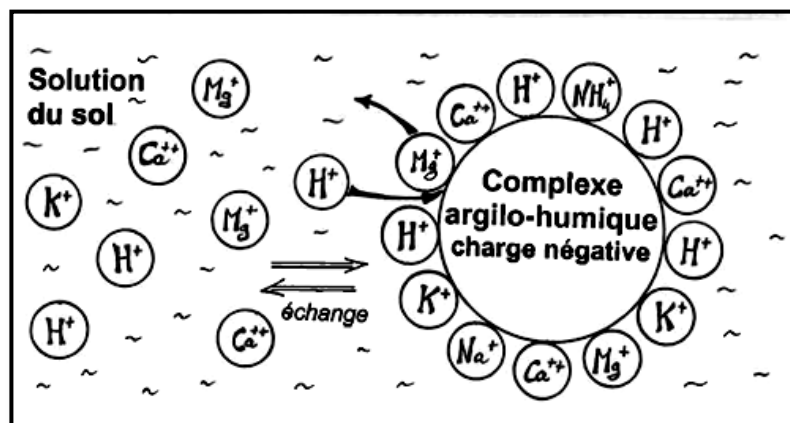


Figure 3.5 : Complexe argilo-humique et son échange [93].

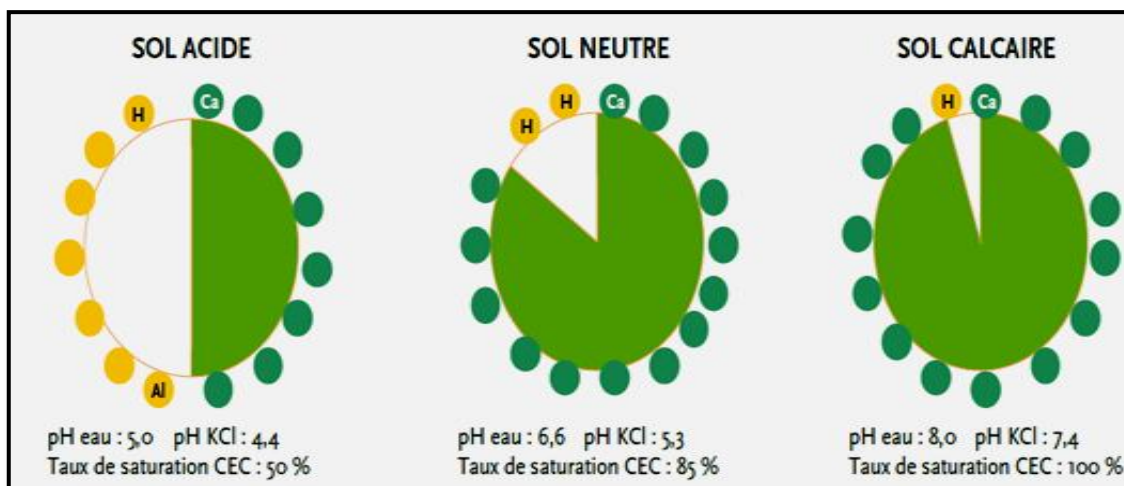


Figure 3.6 : pH et le taux de saturation du complexe argilo-humique [99].

En règle générale, plus le pH d'un horizon est bas et plus le taux de saturation risque d'être bas, lui aussi [93].

3.8. CLASSIFICATION DES SOLS EN FONCTION DU pH :

On classe des sols selon leur pH en utilisant l'échelle suivante :

Tableau 3.1 : classification des sols en fonction du pH.

Valeurs du pH	Dénomination	Qualité trophique de sol
< 4,2	Très fortement acide	Sol pauvre
4,2 à 5	fortement acide	Sol moyennement pauvre
5 à 6,5	Acide	Sol riche
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	Très riche
8,5 à 9	Fortement alcalin	

pH donne une indication quant à la qualité trophique du sol c'est-à-dire sa richesse en éléments minéraux nutritifs indispensable à la vie de la plante [97].

3.9. SIGNES D'UN SOL ACIDE OU BASIQUE :

➤ Plantes indicatrices : La présence de certaines plantes peut indiquer si le sol est calcaire ou acide [99].

➤ Nature de la roche mère: Les sols situés sur des roches calcaires sont rarement très acides. Généralement basiques. Leurs horizons superficiels sont souvent décarbonatés et présentent un pH neutre [99].

➤ Réaction à l'acide : Le versement de gouttes d'acide chlorhydrique dilué sur un échantillon du sol provoque une effervescence si le sol est calcaire. Plus celle-ci est forte, plus le pourcentage dit « de calcaire actif » est important [99].

➤ Mesure du pH : La mesure du pH permet de déterminer de façon précise l'acidité d'un sol. Cette mesure peut se faire de façon simple par l'emploi d'un pH-mètre (sonde électronique ou colorants qui change de couleur selon le pH) [99].

3.9. POTENTIEL HYDROGÈNE EN HORS SOL :

En hydroponie, le support hydroponique est inerte (également dite neutre) contenant beaucoup d'oxygène mais aucun nutriments. Ces derniers sont entièrement apportés par la solution nutritive. Elle est constituée essentiellement d'eau et d'un peu d'engrais, qui circule autour des racines. La qualité de l'eau ainsi que le dosage des nutriments sont donc primordiaux [100].

En système hydroponique, la plupart des végétaux poussent bien lorsque le pH est compris entre 5,5 et 6,5, et le pH idéal étant situé entre 5,8 et 6 [100].

3.10.1. pH DE LA SOLUTION NUTRITIVE :

Point clé de la réussite en hydroponie est la qualité de la solution nutritive. C'est par celle que l'on apporte aux plantes les minéraux indispensables à leur bon développement, pour que ces minéraux soient disponibles et assimilables, il faut que la température (doit être comprise entre 18 et 25 °C) et l'acidité de la solution soient convenables [20].

pH de la solution nutritive et du substrat doit être au plus proche de celui de la plante pour éviter tous risques de conflits électriques entre les racines et les ions contenus dans la solution et du substrat [100].

3.10.2. pH DE L'EAU D'IRRIGATION :

pH influence la forme et la disponibilité des éléments nutritifs dans l'eau d'irrigation. Le pH de ce dernier se situe entre 5,5 et 6,5. À ces valeurs, la solubilité de la plupart des micro-éléments est optimale [75].

D'après [20], l'eau du robinet est généralement basique. Il faut donc ajouter de l'acide à celle-ci pour obtenir le bon niveau d'acidité.

Acide phosphorique et l'acide nitrique peuvent être utilisés dans la correction de l'eau d'irrigation. Afin de calculer la quantité d'acide nécessaire pour abaisser le pH à la valeur désirée, on peut prendre un seau de 10 litre rempli d'eau d'irrigation et tranquillement rajouter l'acide en prenant soin de bien mélanger la solution. On mesure alors le pH de la solution jusqu'à ce qu'on obtienne le pH souhaité. La quantité d'acide nécessaire peut être très minime [75].

Gamme pour évaluer la qualité de l'eau est:

- Bonne : pH de 6 à 8,5 peut être utilisée sans problèmes ;
- Suffisante : pH de 5 à 6 et de 8,5 à 9 les cultures sensibles peuvent présenter des problèmes ;
- Pauvre : pH de 4 à 5 et de 9 à 10 à utilisé avec attention, éviter de mouiller la végétation ;
- Très pauvre : pH < 4 et pH > 10 présente d'autres anomalies à identifier à l'aide d'analyse chimique [94].

3.11. POTENTIEL HYDROGÈNE ET LA PLANTE :

pH a des effets surtout indirects sur la croissance des plantes. Une saine gestion du sol commence par la correction des problèmes de pH [101].

De façon générale, les plantes absorbent les nutriments du sol si ces derniers sont dissous dans l'eau. Le pH du sol, quant à lui, influe sur la solubilité des nutriments et sur l'activité des organismes qui sont responsables de la transformation de la matière organique et de la fixation de l'azote [101].

Chaque espèce végétale a un pH optimum et les végétaux ont été classés en acidophiles, neutrophiles et alcalinophiles [102].

- Plantes acidophiles : le pH du sol est compris entre 4,0 et 6,5.
- Plantes neutrophiles : le pH du sol est compris entre 6,5 et 7,5.
- Plantes basophiles : le pH du sol est compris entre 7,5 et 9,0 [90].

3.12. EFFET DU PH SUR L'ASSIMILATION DES ÉLÉMENTS MINÉRAUX :

Le pH exerce parfois une action indirecte sur la nutrition. Il peut par exemple entraîner une toxicité due à un excès de solubilisation de certains éléments chimiques (ex : aluminium) [102].

Si le pH devient trop bas, l'activité racinaire est perturbée ce qui nuit au développement des parties aériennes et au rendement. Si le pH est élevé, cela dénote généralement un bon fonctionnement racinaire, mais la situation perdure, il peut avoir un effet négatif sur l'assimilation des éléments nutritifs [96].

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 (libération d'ion OH^-) [96].

Plantes absorbent les nutriments dissous dans l'eau du sol et la solubilité des nutriments dépend largement de la valeur du pH. Par conséquent, la disponibilité des éléments est différente selon les niveaux de pH [94].

Un pH acide favorise la solubilisation des ions en particulier celle des phosphates et des carbonates de calcium. En milieu acide la forme H_2PO_4^- est favorisée alors qu'à pH plus basique, c'est la forme HPO_4^{2-} qui est présente. Le phosphate peut précipiter sous forme de sels d'aluminium, de calcium ou de fer suivant le pH. Le fer, sous forme Fe^{2+} (ferreux) ou Fe^{3+} (ferrique), est un élément métallique indispensable au transfert d'électrons donc impliqué dans les réactions d'oxydo-réduction. Dans la solution du sol, c'est habituellement le fer ferrique qui domine largement, excepté à pH élevé et surtout lorsque les conditions deviennent réductrices, du fait d'une moindre aération du sol suite à un excès d'eau par exemple. Un pH basique entraîne pour le fer la formation d'hydroxydes insolubles [103].

Chaque plante a besoin d'une quantité différente d'éléments, et c'est pourquoi chaque plante requiert une gamme particulière de pH afin d'optimiser sa croissance [94]. Par exemple, dans un milieu acide, le phosphore, le potassium, le calcium, le magnésium, le soufre et le molybdène sont moins facilement assimilables par la plante tandis que le fer, le manganèse, le bore, le cuivre et le zinc le sont moins dans un milieu basique [90].

Alimentation en certains éléments minéraux, comme le fer est difficile, à des pH peu élevés. Les chélates peuvent surmonter cette difficulté. Ceux sont des complexes organo-métalliques très stables où le métal est inséré dans une molécule complexe ou chélateur (Fer, Zinc, Calcium, Magnésium,) [89].

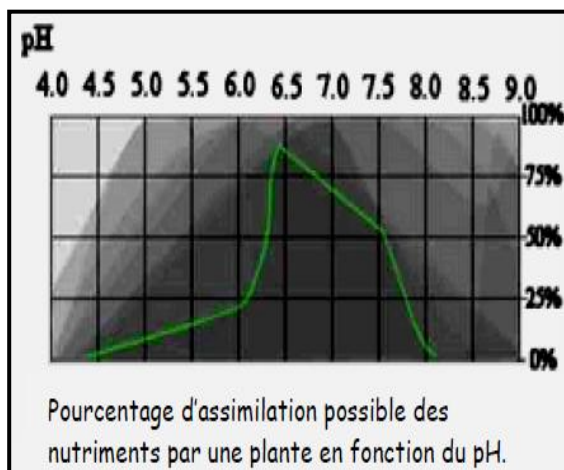


Figure 3.7: L'assimilation des éléments minéraux en fonction du pH [90].

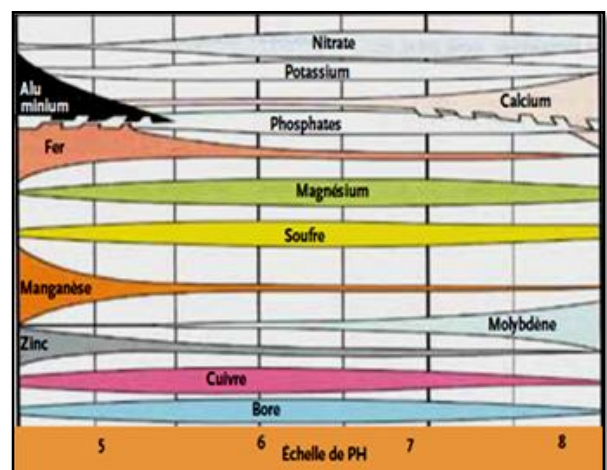


Figure 3.8 : La solubilité des éléments minéraux est accordée par la variation de la valeur du pH [104].

Plupart des plantes ont donc une croissance optimale lorsque le pH du sol est compris entre 6 et 7 car la majorité des éléments nutritifs sont assimilables dans cette zone de pH [90].

3.13. IMPORTANCE DU POTENTIEL HYDROGÈNE :

Importance du potentiel hydrogène réside dans le fait qu'il est indicateur de la solubilité des éléments nutritifs dans le substrat, [105]. Le pH est universellement reconnu comme un facteur d'importance primordiale pour la mobilité des éléments traces et leur disponibilité vis-à-vis des êtres vivants [93].

Tous les traités d'agronomie insistent, à juste titre, sur l'influence du pH du sol sur l'assimilabilité des principaux éléments fertilisants et des oligo-éléments [93].

La plupart des sels minéraux sont plus solubles en milieu acide qu'en milieu alcalin : les pH acides permettent donc une plus grande solubilisation des sels dans la solution du sol [106]. Il conditionne l'hydrolyse des sels d'acides ou de bases faibles, il change la forme de certains ions. Il peut même influencer certains sols en favorisant la floculation [89].

Concentration en ions H^+ a des effets encore plus profonds sur la croissance générale des plantes. Les effets sur la croissance sont suffisants pour commander une véritable répartition écologique des espèces en fonction du pH du sol [106].

D'après le même auteur, le pH du milieu influe directement sur l'absorption des ions par les racines. Les très bas pH (< 4) provoquent des lésions des tissus, avec nécrose et perte de sels.

Aux pH physiologiques (de 4 à 9), une baisse du pH du milieu stimule l'absorption des anions ($PO_4H_2^-$, NO_3^-) et inhibe au contraire l'absorption des cations (K^+ , Ca^{++}). On peut penser que les ions H^+ ou OH^- du milieu peuvent saturer les sites de fixation des ions, gênant ainsi respectivement la pénétration des cations et des anions [106].

Dans la solution du substrat, les variations de pH engendrées par l'absorption préférentielle de certains ions. L'absorption d'anions (exemple NO_3^-) provoque une alcalinisation de la solution car la racine rejette un ion (OH^-) pour garder son équilibre de charges. L'absorption de cation (exemple NH_4^+) entraîne une acidification par le rejet de (H^+) [23].

CHAPITRE 4 :

MATÉRIELS ET MÉTHODES

4.1. OBJECTIF DE L'EXPÉRIMENTATION :

But de notre travail est de déterminer l'influence de la correction du potentiel hydrogène d'une solution nutritive par deux types d'acides à savoir (l'acide nitrique et l'acide phosphorique), sur la nutrition minérale de deux glycophytes cultivée (la tomate variété Marmande et le haricot variété Djadida) cultivées en hors sol.

4.2. MATÉRIEL VÉGÉTAL UTILISÉ :

Les espèces étudiées dans notre expérimentation sont deux glycophytes cultivées : la tomate (*Solanum Lycopersicum*), variété Marmande, et le haricot (*Phaseolus vulgaris*) variété Djadida, dont les semences proviennent de l'institut technique de cultures maraichères et industrielles (ITCMI) de Staouali. Ces deux espèces ont été choisies parce qu'elles présentent des réactions rapides au changement du milieu, une rapidité de croissance et surtout une sensibilité et une tolérance moyenne aux sels respectivement pour le haricot et la tomate.

- ❖ Type Marmande est le plus cultivé caractérisé par :
 - ✓ Fruit : plat, côtelé, charnu. multiloculaire et a tendance à être irrégulier [98].
 - ✓ Poids : 150 à 250 g ;
 - ✓ Précocité : précoce ;
 - ✓ Port : indéterminé [107].
- ❖ Variété Djadida très cultivée en Algérie, est caractérisée par :
 - ✓ Variété : naine et de type mangetout ;
 - ✓ Gousses : longueurs moyennes (16 cm), et de diamètre de (10 mm) à couleur verte foncée sans fil ;
 - ✓ Graine : de couleur marron noirâtre ;
 - ✓ Précocité : précoce.

4.3. CONDITIONS EXPÉRIMENTALES :

4.3.1. LIEU DE L'EXPÉRIENCE :

Notre expérimentation a été réalisée dans une serre en polycarbonate, au niveau de la station expérimentale du département de biotechnologies de l'université de Blida 1. Cette serre dont l'orientation est Nord-Sud est aérée grâce à des fenêtres placées latéralement de part et d'autre et chauffée en hiver grâce à des radiateurs à eau chaude installés à l'intérieur de la serre expérimentale.



Figure 4.1 : Localisation du lieu de l'expérience.

Un thermomètre a été mis au milieu de la serre en vue de suivre la variation de température ambiante tout au long du cycle de développement des deux espèces étudiées.

Relevés quotidiens de la température ont été effectués à 3 moments de la journée : 9h, 12h et 15 :30 h. Le tableau n° 5.1 donne les moyennes par décade des températures enregistrées au niveau de la serre.

Tableau 4.1: Moyennes des températures par décade en °C.

Périodes	Température C°			Observation
	9 h	12 h	15:30 h	
Du 25/11/13 au 04/12/13	9,8	15,4	17,8	Transplantation de haricot
Du 05/12/13 au 14/12/13	10,9	23,2	24,8	Transplantation de la tomate
Du 15/12/13 au 24/12/13	12,2	21,5	21,7	Floraison de haricot
Du 25/12/13 au 03/01/14	12,6	20,4	20,5	
Du 04/01/14 au 13/01/14	15,3	26,5	27,6	
Du 14/01/14 au 23/01/14	16,6	24,4	22,8	Formation des gousses
Du 24/01/14 au 2/02/14	18,1	24,2	23,9	
Du 03/02/14 au 12/02/14	20,2	28,5	27,2	Formation de 1 ^{er} bouquet de tomate
Du 13/02/14 au 22/02/14	22,5	29,4	29	Floraison de tomate
Du 23/02/14 au 03/03/14	18,1	24,8	25,7	La récolte et la coupe de haricot
Du 04/03/14 au 13/03/14	20,4	26,3	27,4	Nouaison de la tomate
Du 14/03/14 au 23/03/14	21,5	26,2	27,4	Grossissement de fruits de tomate
Du 24/03/14 au 02/04/14	22,8	27,3	29,1	
Du 03/04/14 au 12/04/14	26	31	31,6	Maturité des fruits
Du 13/04/14 au 18/04/14	29,6	33,4	36	Récolte et la coupe de la tomate

D'une manière générale, nous pouvons dire que les températures pendant le cycle végétatif répondaient aux besoins des plantes de la tomate et de haricot, mis à part durant les périodes froides et avant l'installation de chauffage où on avait enregistré quelques chutes de température sans dommage remarquable.

4.3.2. SUBSTRAT :

Nous avons utilisé dans notre expérimentation, du gravier roulé de rivière d'un diamètre de 3 à 8 mm, provenant de la carrière de Chebli qui se situe à 25 Km d'Alger.

Ce substrat assure grâce à sa porosité une meilleure aération pour les racines des plantes et forme un milieu défavorable pour le développement des micro-organismes. Cependant, afin d'éloigner tous les risques de contamination par les maladies, nous avons procédé à la désinfection du substrat de la manière suivante :

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

4.3.3. CONTENEURS :

Conteneurs utilisés sont des pots en plastique de couleur noire pour éviter la formation des algues, ayant une capacité de 3,5 litres et présentant des ouvertures de drainage à leur base permettant l'évacuation de la solution nutritive excédentaires.



Figure 4.2 : Aspect général des conteneurs.

4.4. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL :

Dispositif expérimental qu'on a adopté est un plan sans contrôle d'hétérogénéité (randomisation totale), dans lequel l'affectation des traitements s'est faite d'une manière aléatoire selon la table des permutations des nombres de 1 à 10.

Dispositif expérimental est un dispositif à un seul facteur étudié (facteur potentiel hydrogène à 5 niveaux). L'ensemble est composé de cinq (5) traitements, et pour chaque traitement, nous avons douze (12) observations, soit 60 pots pour chaque espèce, et 120 pots au total pour les deux espèces.



Figure 4.3 : Vue générale du dispositif expérimental de la tomate.



Figure 4.4 : Vue générale du dispositif expérimental de haricot.

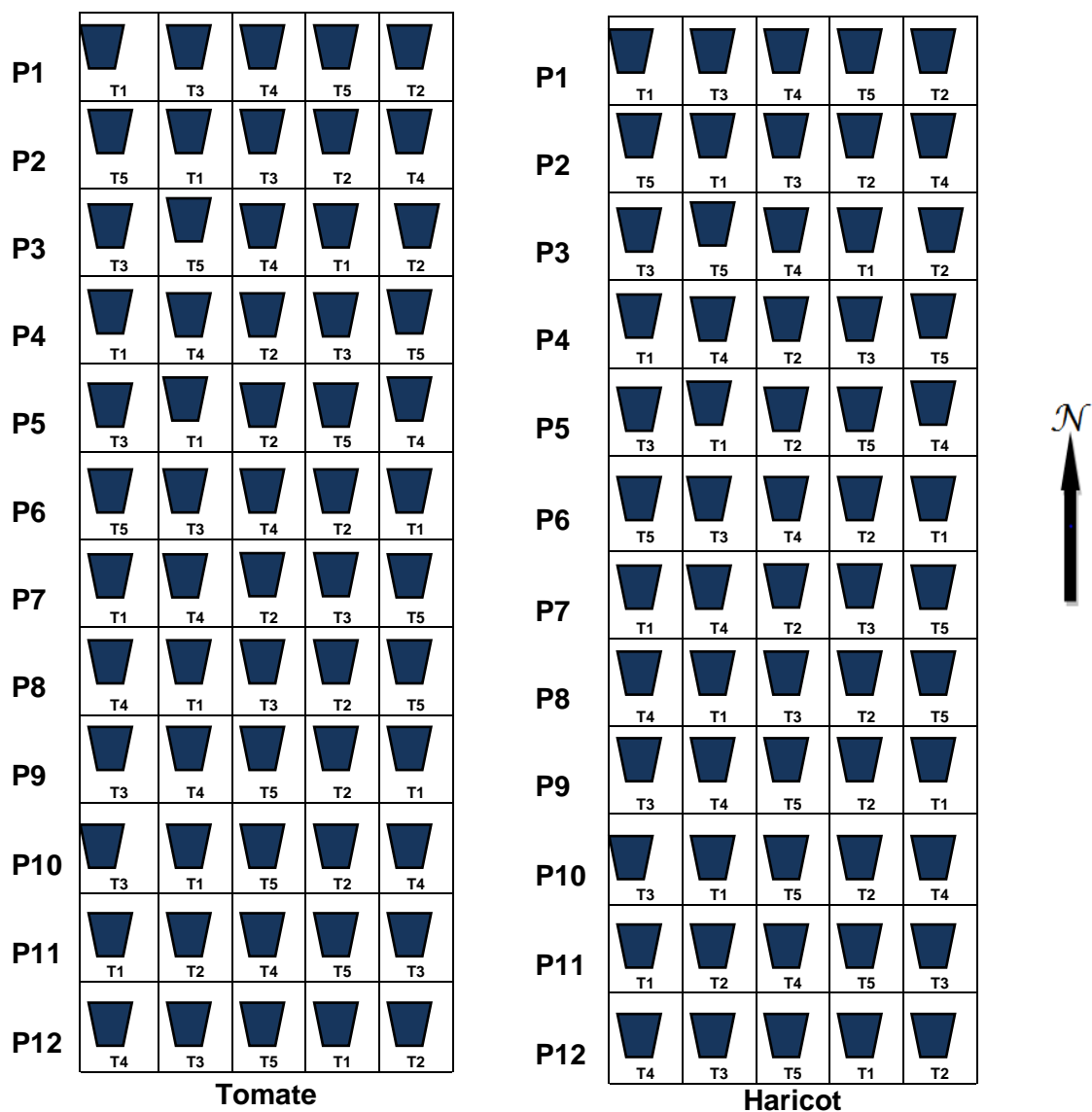


Figure 4.5 : Présentation du dispositif expérimental.

P1, P2,....., P12 : Observations des plantes.

T1, T2, T3, T4 et T5 : Traitements. Ces derniers sont :

- **T1** : Eau saline naturelle de Gassi Touil corrigée par l'acide nitrique (HNO₃) à pH de 5,5;
- **T2** : Eau saline naturelle de Gassi Touil, corrigé par l'acide phosphorique (H₃PO₄) à pH de 5,5 ;
- **T3** : Eau saline naturelle de Gassi Touil corrigée par deux acides (nitrique et phosphorique) à pH de 5,5 ;
- **T4** : Eau saline naturelle de Gassi Touil reconstituée par l'eau de Blida à pH 7,8 (témoin) ;
- **T5** : Solution saline naturelle transformée en solution nutritive à pH de 5,5.

4.5. ESSAI DE GERMINATION :

Essai de germination a été effectué au laboratoire le 19/11/2013 pour le haricot et le 26 /11/2013 pour la tomate. Les graines étaient déposées dans des boîtes de Pétrie sur du papier buvard imbibé d'eau et qui ont été mises à l'intérieur d'une étuve réglée à une température de 25°C. Les boîtes de Pétri, contenant chacune 50 graines de tomate et 45 graines de haricot, sont placées dans une étuve à 25±1°C pendant une semaine pour la tomate et de trois jours pour le haricot.

Dénombrement des graines germées s'est fait sur trois répétitions de 50 graines. Le pourcentage de germination a été calculé à partir de la moyenne des trois répétitions et a donné une faculté germinative de 85% après cinq jours de germination.



Figure 4.6 : Essai de germination de tomate et de haricot dans l'étuve à 25 C.



Figure 4.7 : germination des graines de haricot.

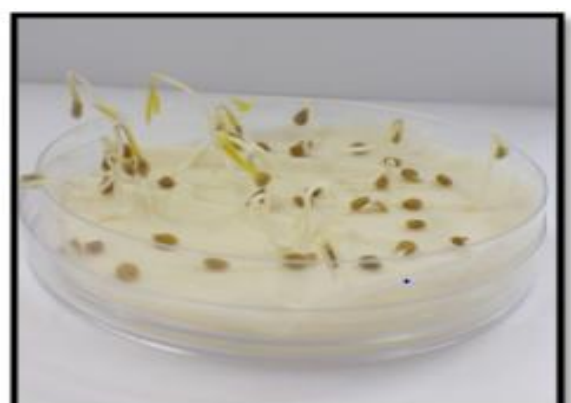


Figure 4.8 : germination des graines de tomate.

4.5.1. REPIQUAGE :

Après que les graines de tomate et de haricot mises dans l'étuve aient germé, un repiquage en place définitive dans des pots a été réalisé le 25/11/2013 pour le haricot et le 05/12/2013 pour la tomate à raison de deux à trois germes par pot.



Figure 4.9 : Aspect général des jeunes plantules de haricot après le repiquage.



Figure 4.10 : Aspect général des plantules de tomate après le repiquage.

Jeunes plantules de tomate et de haricot sont irriguées jusqu'à l'apparition des deux feuilles cotylédonaires par l'eau de robinet tiède pour favoriser la reprise des jeunes plantules jusqu'à la date de 18/12/2013. Après ce stade, les jeunes plantules sont irriguées par une solution nutritive standard du 19/12/2013 au 11/01/2014. Cette solution nutritive est composée par des macros et des micros éléments indispensables et ce dans le but d'avoir un matériel végétal vigoureux et homogène de départ. À partir du 12/01/2014 nous avons procédé à l'application des différents traitements. Soit 48 jours et 38 jours après le semis respectivement pour le haricot et la tomate.

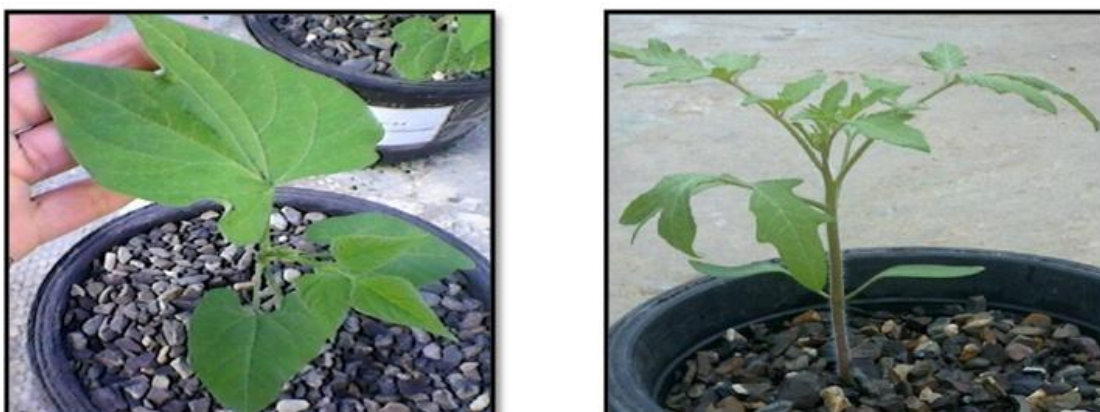


Figure 4.11 : Stade végétatif du haricot et de la tomate en début des traitements.

4.6. DESCRIPTION DES TRAITEMENTS :

Pour la préparation des traitements nous avons utilisé de l'eau potable de Blida, qui a été choisie uniquement pour des raisons pratiques, vu sa disponibilité sur le site expérimental et compte tenue les besoins en eau croissants des plantes.

Tableau 4.2 : Composition de l'eau de Blida en éléments minéraux (meq/l) [108].

Éléments	K ⁺	Ca ⁺⁺	Na ⁺	Mg ⁺⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	Total
Teneur en mg/l	00	56,00	29,90	21,60	21,70	38,40	21,3	245	433,90
Teneur en meq/l	00	2,80	1,30	1,80	0,35	0,80	0,60	4,08	11,73

Analyse de l'eau de Blida présentée dans le tableau ci-dessus révèle une quantité assez élevée en ions bicarbonates (4,08 méq /l), ce qui rend le milieu plus basique (pH = 7,8), nécessitant une correction de pH favorable pour les espèces testés.

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 jugé le plus favorable pour le développement et la croissance des plantes.

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

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

$$Q \text{ (meq/l)} = (\text{quantité d'HCO}_3 \text{ dans l'eau en meq/l}) \times 0,833$$
$$Q = 4,08 \times 0,833 = 3,39 \text{ meq / l d'eau}$$

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).

4.6.1. COMPOSITION DES SOLUTIONS NUTRITIVES ET TECHNIQUES DE PRÉPARATION DES DIFFÉRENTS TRAITEMENTS :

La façon de calculer la composition de la solution nutritive n'est pas la même si nous avons une eau très peu chargée (cas de l'eau de Blida) ou au contraire très chargée en ions (cas de l'eau de Gassi Touil).

4.6.1.1. FORMULE DE SOLUTION NUTRITIVE POUR UNE EAU NATURELLE PEU CHARGÉE EN IONS :

❖ Cas de l'eau de Blida transformée en solution nutritive (solution standard) :

Pour ce type de solution nutritive, l'eau renferme des teneurs insuffisantes en certains éléments utiles (KNO₃⁻). Parfois des éléments tels que le sodium, le calcium et les sulfates peuvent se trouver à des concentrations supérieures aux besoins des plantes. La formule de solution nutritive peu chargée en sels correspond à la solution nutritive de base synthétisée avec l'eau de Blida selon les normes définies par [109].

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

1. Sur les tableaux 4.3 et 4.4 ci après, on reporte chaque anion et cation selon les quantités contenues dans l'eau exprimées en meq / l.

2. Apport d'azote est fixé à 12 méq / l $\left\{ \begin{array}{l} 10,2 \text{ méq / l } \text{NO}_3^- \text{ représentant } 85\% \\ 1,8 \text{ méq / l } \text{NH}_4^+ \text{ représentant } 15\% \end{array} \right.$
3. Apport de chlore et de sodium étant au-delà des besoins normaux des plantes (0,2 meq / l) aucun apport complémentaire n'est nécessaire.
4. Apport du phosphore est fixé à 3,3 méq / l de H_3PO_4 . En comptant de façon théorique, (P) présent sous la forme trivalent PO_4^{3-} , 1,1 méq / l de H_3PO_4 satisferont les besoins en phosphore.

Quantité d'acide nécessaire pour ajuster le pH de l'eau 5,5 à 5,8 est de 3,3 méq/l ceci permet de satisfaire la totalité du besoin en phosphore en apportant 1,1 méq/l de H_3PO_4 , et un apport partiel de 2,2 méq/l de NO_3^- .

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

▪ NITRATES :

- Besoins: 10,2 méq / l ;
- Déjà disponibles: 0,35 méq / l (eau) + 2,20 méq / l = 2,55 méq / l ;
- A apporter: 10,2 méq / l - 2,55 méq / l = 7,65 méq / l.

▪ SULFATES :

- Besoins : 1,5 meq/ l
- Déjà disponibles: 0,8 méq / l.
- A apporter: 1,5 méq / l – 0,8 méq / l = 0,7 méq / l.

6. Apport d'ammonium (1,8 méq / l de NH_4^+) est assuré par l'emploi de NO_3NH_4 qui assurera en même temps l'apport de 1,8 méq / l de NO_3^- .

Anions disponibles pour apporter un complément de K, Ca et Mg sont les suivants:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Nitrates} = (7,65 - 1,8) \text{NO}_3\text{NH}_4 = 5,85 \text{ méq / l} \\ \text{Sulfates} = (1,5 - 0,8) = 0,70 \text{ méq / l} \end{array} \right\} \text{Total} = 6,55 \text{ méq / l}$$

7. Somme totale des cations K, Ca et Mg dans la solution nutritive finale :

$$\left\{ \begin{array}{l} (K + Ca + Mg) \text{ déjà présents dans l'eau} \\ + \\ (K + Ca + Mg) \text{ apportés sous forme de nitrates et de sulfates.} \end{array} \right.$$

$$\text{Total} = (0 + 2,8 + 1,8) + 6,55 = 11,15 \text{ méq/l.}$$

Selon les normes définies par [109] les proportions relatives de ces 3 éléments doivent être dans les proportions suivantes:

K : 39,6%

Ca : 47,6%

Mg : 12,8%

Ce qui donne dans le cas présent:

$$4,41 \text{ méq / l (K)} + 1,43 \text{ méq / l (Mg)} + 5,31 \text{ méq / l (Ca)} = 11,15 \text{ méq / l.}$$

On remarque que le Mg dans l'eau est supérieur à 1,43 meq/l avec une teneur de 1,8 meq/l. Apport à réaliser, sous déduction de ce qui est déjà présent dans l'eau.

Apport de Mg n'étant pas nécessaire compte tenu que : la teneur de l'eau est supérieur à l'apport souhaitable. Les $11,15 \text{ méq / l} - 1,8 \text{ méq / l (Mg)} = 9,35 \text{ méq / l}$ d'anions sont donc à partager entre K et Ca uniquement et en respectant les proportions **K+ Ca = 87,2** soit:

$$\begin{array}{l} \mathbf{K} = (9,3 \times 39,6) / 87,2 = 4,25 \text{ meq / l} \\ \mathbf{Ca} = (9,3 \times 47,6) / 87,2 = 5,10 \text{ meq / l} \end{array}$$

Tous les résultats sont reportés dans les tableaux suivants:

Tableau 4.3 : Composition de l'eau de Blida à pH de 7,8.

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

Tableau 4.4 : Eau de Blida corrigée (Solution nutritive standard) pH =5,8.

Eau de Blida	NO ₃ ⁻ 0,35	PO ₄ ³⁻ 00	SO ₄ ²⁻ 0,80	Cl ⁻ 0,60	Total
K ⁺ 00	3,55		0,70		4,25
Na ⁺ 1,30					1,30
Ca ⁺⁺ 2,80	2,30				5,10
Mg ₂ ⁺⁺ 1,80					1,80
NH ₄ ⁺ 00	1,80				1,80
H ⁺	2,20	1,10			3,30
Total	10,20	3,30	1,50	0,60	

Différents traitements sont élaborés à base de solutions mères de macroéléments puis diluées 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, ensuite on rajoute au fur et à mesure les autres produits. En dernier lieu, nous avons rajoute une solution d'oligoéléments composée des deux solutions complémentaires d'oligoéléments préconisées par [110]. Le contrôle de pH de la conductivité électrique est obligatoire avant chaque utilisation.

- Quantités et ordre de dissolution des sels de la solution nutritive élaboré avec l'eau de Blida (Solution standard) :

✓ HNO₃ = 2,20 × 63 = 138,6 mg/l

✓ H₃PO₄ = 1,10 × 98 = 107,8 mg/l

✓ KNO₃ = 3,55 × 101,10 = 358,90 mg/l

✓ NH₄NO₃ = 1,80 × 80,04 = 144,07 mg/l

✓ Ca (NO₃)₂ = 2,30 × 118,07 = 271,56 mg/l

✓ K₂SO₄ = 0,7 × 87 = 60,9 mg/l

✓ Sels de l'eau de Blida = 433,9 mg/l.

✓ Oligo éléments A et B = 14,80 mg/l.

Total = 1 530,53 mg/l.

Solutions de Gassi Touil salines corrigée reconstituée avec l'eau de Blida renferment aussi la solution complémentaire d'oligo-éléments représentés dans le tableau 4.5:

Tableau 4.5 : Composition des solutions complémentaires d'oligo-éléments A et B.

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

4.6.1.2. FORMULE DE SOLUTION NUTRITIVE POUR UNE EAU NATURELLE CHARGÉE EN IONS :

❖ Cas de l'eau de Gassi Touil :

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

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

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

Tableau 4.6 : Eau de Gassi Touil naturelle, reconstituée avec l'eau de Blida à pH de 7,8 (T4 : Témoin).

Eau de Blida	NO₃⁻ 0,35	PO₄³⁻ 00	SO₄²⁻ 0,80	Cl⁻ 0,60	Total
K⁺ 00			1,95		1,95
Na⁺ 1,30			12,42	16,73	30,45
Ca⁺⁺ 2,80				14,10	16,90
Mg₂⁺⁺ 1,80				5,45	7,25
HCO₃ 4,08					4,08
Total	0,35	00	14,87	36,88	

- Quantités et ordre de dissolution des sels de la solution nutritive T4 :

- ✓ $K_2SO_4 = 1,95 \times 87 = 169,65 \text{ mg/l}$
- ✓ $Na_2SO_4 = 12,42 \times 71,02 = 888,06 \text{ mg/l}$
- ✓ $NaCl = 16,73 \times 58,45 = 977,86 \text{ mg/l}$
- ✓ $CaCl_2 = 14,10 \times 73,51 = 1036,49 \text{ mg/l}$
- ✓ $MgCl_2 = 5,45 \times 101,65 = 553,99 \text{ mg/l}$
- ✓ Sels de l'eau de Blida = 433,9 mg/l

Total = 4 059,95 mg/l

- Remarque :

Ordre de dissolution des sels de la solution nutritive (T4) est le même pour le reste des traitements (T1, T2, T3)

On remarque à travers cette composition qu'il y a trop de Na⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, SO₄⁻ et de Cl⁻, par contre on enregistre un manque de NO₃⁻ et PO₄³⁻.

En pratique les eaux salines d'origines diverses n'étant pas disponibles en volume suffisant pour être expérimentées sur le lieu de l'expérimentation. Il a fallu les reconstituer à partir de l'eau de Blida. De façon pratique, cette reconstitution ne peut être à l'identique si l'on veut respecter un pH final de 7,8. Par conversion, on

se base donc à respecter les concentrations en cations et à admettre une légère variation de la concentration en chlorures et en sulfates.

Reconstitution a été réalisée comme suit:

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

Tableau 4.7 : Eau saline naturelle, corrigée par l'acide nitrique (H NO₃) pour avoir un pH = 5,5 **(T1)**.

Eau de Blida	NO³⁻ 0,35	PO₄³⁻ 00	SO₄²⁻ 0,80	Cl⁻ 0,60	Total
K⁺ 00			1,95		1,95
Na⁺ 1,30			12,42	16,73	30,45
Ca⁺⁺ 2,80				14,10	16,90
Mg₂⁺⁺ 1,80				5,45	7,25
H⁺	3,30				3,30
Total	3,65	0,00	14,87	36,88	

{ T1= quantité de sel de T4 + quantité de l'acide nitrique (HNO₃).
 Quantité de l'acide nitrique = 3,30 × 63 = 207,9 mg /l
 Quantité des sels dans la solution témoin T4 = 4 059,95 mg/l

Quantité total des sels de T1 = 4 059,95 + 207,9 = 4 267,85 mg/l.

- Quantités de nitrates ajoutés dans la solution nutritive T1 en (meq/ l):
 - Q (HNO₃ meq/l) = densité × % de dilution × 0,1587
 - Q (HNO₃ meq/l) = 1,40 × 20 × 0,1587,
 - Q (HNO₃ meq/l) = 4,4 meq/l

D'où on aura :

1 ml d'acide nitrique → 4,4 meq/l	}	X = 0,74 ml / l
X → 3,3 meq/l		

Tableau 4.8: Eau saline naturelle, corrigée par l'acide phosphorique (H₃PO₄) à pH = 5,5 (T2).

Eau de Blida	NO³⁻ 0,35	PO₄³⁻ 00	SO₄²⁻ 0,80	Cl- 0,60	Total
K⁺ 00			1,95		1,95
Na⁺ 1,30			12,42	16,73	30,45
Ca⁺⁺ 2,80				14,10	16,90
Mg₂⁺⁺ 1,80				5,45	7,25
H⁺		3,30			3,30
Total	0,35	3,30	14,87	36,88	

- T2 = quantité de sel de T4 + quantité de l'acide phosphorique.
- Quantité de l'acide phosphorique = 3,30 × 98 = 323,40 mg / l
- Quantité des sels dans la solution témoin T4 = 4 059,95 mg/l

Quantité des sels de T2 = 4 059,95 + 323,40 = 4 383,35 mg/l

- Quantités de phosphore apportées dans la solution nutritive T2 en (meq/l):

$$Q (\text{H}_3\text{PO}_4 \text{ meq/l}) = \text{densité} \times \% \text{ de dilution} \times 0,102$$

$$Q (\text{H}_3\text{PO}_4 \text{ meq/l}) = 1,70 \times 20 \times 0,102$$

$$Q (\text{H}_3\text{PO}_4 \text{ meq/l}) = 3,47 \text{ meq/l}$$

D'où on aura :

1 ml d'acide phosphorique → 3,47 meq/l	}	Y = 0,95 ml
Y → 3,30 meq/l		

Volume nécessaire d'acide phosphorique dans le traitement T2 et qui répond au besoin nutritif de la plante est de 0,95 ml/l.

Tableau 4.9 : Eau saline naturelle corrigée par l'acide nitrique et l'acide phosphorique pour un pH de 5,5 (**T3**).

Eau de Blida	NO³⁻ 0,35	PO₄³⁻ 00	SO₄²⁻ 0,80	Cl- 0,60	Total
K⁺ 0			1,95		1,95
Na⁺ 1,30			12,42	16,73	30,45
Ca⁺⁺ 2,80				14,10	16,90
Mg₂⁺⁺ 1,80				5,45	7,25
H⁺	2,20	1,10			3,30
Total	2,55	1,10	14,87	36,88	

T3 = quantité de sel de T4 + quantité de (l'acide nitrique + l'acide phosphorique).

{	Quantité de HNO ₃ = 2,20 × 63 = 138,60 mg/l
	Quantité de l'acide phosphorique = 1,10 × 98 = 107,80 mg /l
	Quantité de sel de T3 = 4059,95 + (138,60 + 107,80)

Quantité de sel de T3 = 4306,35 mg/l

- Volumes nécessaires d'acide nitrique et phosphorique à apporter dans le T3 en (ml/l) :

$$\begin{array}{l}
 1 \text{ ml d'acide nitrique} \rightarrow 4,4 \text{ meq/l} \\
 \quad \quad \quad \mathbf{X} \quad \quad \quad \rightarrow 2,20 \text{ meq/l} \\
 \\
 1 \text{ ml d'acide Phosphorique} \rightarrow 3,47 \text{ meq/l} \\
 \quad \quad \quad \mathbf{Y} \quad \quad \quad \rightarrow 1,10 \text{ meq/l}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} 1 \text{ ml d'acide nitrique} \\ \mathbf{X} \\ 1 \text{ ml d'acide Phosphorique} \\ \mathbf{Y} \end{array}} \right\}
 \begin{array}{l}
 \boxed{\mathbf{X = 0,50 \text{ ml/l}}} \\
 \\
 \boxed{\mathbf{Y = 0,31 \text{ ml/l}}}
 \end{array}$$

Volumes nécessaires des deux acides pour compléter les besoin nutritif dans la solution saline est de 0,50 ml/l de (HNO₃) et 0,31 ml/l de (H₃PO₄).

Tableau 4.10 : Solution saline corrigée (T5) ayant un pH de 5,5.

Eau de Blida	NO ³⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Cl-	Total
	0,35	00	0,80	0,60	
K ⁺				9,10	9,10
Na ⁺			14,75	14,40	30,45
Ca ⁺⁺	5,85			8,25	16,90
Mg ₂ ⁺⁺				5,45	7,25
NH ₄ ⁺	1,80				1,80
H ⁺	2,20	1,10			3,30
Total	10,20	1,10	15,55	37,80	

- Quantités et ordre de dissolution des sels de la solution nutritive T5 :

$$\begin{array}{l}
 \checkmark \text{ HNO}_3 = 2,20 \times 63 = 138,6 \text{ mg/l} \\
 \checkmark \text{ H}_3\text{PO}_4 = 1,10 \times 98 = 107,8 \text{ mg/l} \\
 \checkmark \text{ KCl} = 9,10 \times 74,50 = 677,95 \text{ mg/l} \\
 \checkmark \text{ Na}_2\text{SO}_4 = 14,75 \times 71,02 = 1047,54 \text{ mg/l} \\
 \checkmark \text{ NaCl} = 14,40 \times 58,45 = 841,68 \text{ mg/l} \\
 \checkmark \text{ Ca (NO}_3) = 5,85 \times 118,07 = 690,70 \text{ mg/l} \\
 \checkmark \text{ CaCl}_2 = 8,25 \times 73,51 = 606,45 \text{ mg/l} \\
 \checkmark \text{ MgCl}_2 = 5,45 \times 101,65 = 553,99 \text{ mg/l} \\
 \checkmark \text{ NH}_4\text{NO}_3 = 1,80 \times 80,04 = 144,07 \text{ mg/l} \\
 \checkmark \text{ Sels de l'eau de Blida} = 433,90 \text{ mg/l} \\
 \checkmark \text{ Oligo éléments} = 14,80 \text{ mg/l}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} \checkmark \text{ HNO}_3 \\ \checkmark \text{ H}_3\text{PO}_4 \\ \checkmark \text{ KCl} \\ \checkmark \text{ Na}_2\text{SO}_4 \\ \checkmark \text{ NaCl} \\ \checkmark \text{ Ca (NO}_3) \\ \checkmark \text{ CaCl}_2 \\ \checkmark \text{ MgCl}_2 \\ \checkmark \text{ NH}_4\text{NO}_3 \\ \checkmark \text{ Sels de l'eau de Blida} \\ \checkmark \text{ Oligo éléments} \end{array}} \right\}
 \boxed{\mathbf{\text{Total} = 5\,118,88 \text{ mg/l}}}$$

4.7. ENTRETIEN DE LA CULTURE :

4.7.1. IRRIGATION :

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

En culture hors sol, il est nécessaire de connaître les besoins journaliers en eau des cultures, pour pouvoir rationaliser les besoins selon les stades de développement du végétal afin d'éviter les carences et les éventuels excès de solution nutritive.

Dose et les fréquences des arrosages varient selon le cycle de développement de la plante et les conditions microclimatiques telle que la température et selon les phases physiologiques des plantes.

Tableau 4.11 : Doses et fréquences d'irrigation nécessaires pour la culture de haricot.

Dates	Stades végétatifs	Dose d'irrigation	Fréquence
Du 25/11/2014 au 12/01/2014	Germination au stade six feuilles	20 ml	2 fois/ jours
Du 12/01/2014 au 22/01/2014	Stade six feuilles au stade début floraison	30 ml	2 fois/ jours
Du 22/01/2014 au 27/01/2014	Stade début floraison à la formation des gousses	60 ml	3 fois / jours
Du 27/01/2014 au 26/02/2014	Formation des gousses à la récolte	100 ml	3 fois /jours

Tableau 4.12 : Doses et fréquences d'irrigation nécessaires pour la culture de tomate.

Dates	Stades végétatifs	Dose d'irrigation	Fréquence
Du 05/12/2013 au 18/01/2014	Germination au stade six feuilles	20 ml	2 fois/ jours
Du 18/01/2014 au 17/02/2014	Stade six feuilles au début floraison	30 ml	2 fois /jours
Du 17/02/2014 Au 24/02/2014	Début floraison au début nouaison	60 ml	3 fois /jours
Du 24/02/2014 Au 08/03/2014	Début nouaison à la pleine fructification	150 ml	3 fois/ jours
Du 8/03/2014 Au 17/04/2014	Stade maturation des fruits	200 ml	3 fois /jours

4.7.2. TRAITEMENTS PHYTOSANITAIRES :

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

Tableau 4.13 : Traitements phytosanitaires utilisés sur les plantes étudiées.

Dates	Produits	Matière active	Dose	Désignation	Fréquence du traitement
27/01/2014	POLO	Diafenthium (250 g/l) sous forme de suspension concentrée	2 ml/l	Traitements préventif contre les insectes	1 jour

4.7.3. PALISSAGE :

Malgré que la variété du haricot utilisée dans notre expérimentation est une variété naine, et la variété de tomate à croissance déterminée, mais à un moment donné on a remarqué que les plantes avaient tendance à se recourber ce qui nous

a permis de placer des ficelles, permettant de maintenir les plantes dressées au niveau des deux espèces étudiées.

4.7.4. ÉTÊTAGE :

Étêtage consiste à éliminer le bourgeon terminal (apex), afin d'arrêter la croissance de la plante. Dans notre expérimentation, l'étêtage a été effectué sur les plantes de la tomate, au 1^{er} bouquet en laissant deux feuilles au dessus de ce dernier. Cette opération a débuté le 22/02/2014.

4.7.5. LESSIVAGE :

Afin d'éliminer les sels non absorbés par les plantes et éviter qu'ils s'accumulent au fond du pot faussant ainsi les concentrations de départ, un arrosage à l'eau a été effectué chaque fin de semaine avec de l'eau du robinet.

4.7.6. RÉCOLTE :

Nous avons effectué deux récoltes, pour chaque espèce étudiée. La récolte de la tomate est effectuée au stade maturité des fruits et pour la récolte de haricot est réalisée au stade grossissement et allongement des gousses.

4.8. PARAMÈTRES MORPHOLOGIQUES :

4.8.1. VITESSE DE CROISSANCE :

Principe consiste à diviser la hauteur des plants de chaque traitement par le nombre de jours, correspondant à chaque mesure. Ce paramètre est exprimé en cm /jour.

4.8.2. HAUTEUR FINALE DES PLANTES :

Hauteurs sont mesurées périodiquement et ce tous les 10 jours, en centimètre (cm) du collet jusqu'à l'apex. Les mesures des hauteurs finales ont été mesurées au moment de chaque coupe à l'aide d'une règle graduée.

4.8.3. NOMBRE DES FEUILLES :

Principe consiste à faire un comptage des feuilles de chaque plante.

4.8.4. DIAMÈTRE DES TIGES :

Principe consiste à mesurer le diamètre des tiges à chaque coupe à l'aide d'un pied à coulisse et ce au niveau de tous les plants expérimentés.

4.8.5. BIOMASSE FRAÎCHE PRODUITE :

Ce paramètre consiste à peser les différents organes de la plante en gramme, à l'aide d'une balance et ce au niveau de tous les plants. Les pesées ont porté sur:

- Poids frais total : (tiges + feuilles) en g.
- Poids frais des tiges en g.
- Poids frais des feuilles en g.
- Poids frais des racines en g.

4.8.6. BIOMASSE SÈCHE PRODUITE :

Biomasse sèche a été mesurée après le dessèchement des poids frais des tiges, des feuilles, des racines et des fruits, de chaque traitement et pour chacun des plants et ce dans une étuve à 75°C jusqu'à la stabilité du poids sec:

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

4.8.7. TAUX DE MATIÈRE SÈCHE :

Taux de matière sèche est exprimé en pourcentage [%] et qui est calculé comme suite :

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

- Taux de matière sèche des feuilles en [%].
- Taux de matière sèche des tiges en [%].
- Taux de matière sèche total (feuilles+tiges).

4.9. DOSAGE DES PARAMÈTRES BIOCHIMIQUES:

4.9.1. DOSAGE DE LA CHLOROPHYLLE :

Chlorophylle a et b est dosés durant le stade végétatif, sur les feuilles médianes de la tomate, et de haricot, on utilisant 3 répétitions pour chaque traitement. L'extraction de la chlorophylle a et b est réalisé selon la méthode de Francis et al (1970). La méthode d'extraction consiste à une macération des feuilles (0.1g) 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.

Feuilles sont coupées en petits morceaux et mises dans les boites noires (pour éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière), 48h plus tard, on procède à la lecture des densités optiques des solutions avec un spectrophotomètre, à deux longueurs d'ondes : (645 et 663 nm).

Détermination des teneurs réalisée selon les formules :

- $\text{Chl a } (\mu\text{g/g MF}) = 12,7 \times \text{DO}_{(663)} - 2,59 \times \text{DO}_{(645)} \text{ V} / (1000 \times \text{W}).$
- $\text{Chl b } (\mu\text{g/g MF}) = 22,9 \times \text{DO}_{(645)} - 4,68 \times \text{DO}_{(663)} \text{ x V} / (1000 \times \text{W}).$
- $\text{Chl(c)} (\mu\text{g/g MF}) = 1000 \text{ DO}_{(470)} - [1,82 \text{ Chl a} - 85.02 \text{ Chl b}] / 100.$

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

4.9.2. DOSAGE DES SUCRES SOLUBLES :

Nous avons procédé au dosage des sucres solubles dans les feuilles des plantes selon la méthode de (Dubois M., 1965) Pour l'extraction des sucres solubles :

- Mettre 100 mg de matière fraîche végétale dans des tubes à essai
- Ajouter 2 ml d'éthanol à 80%.
- Laisser les tubes fermés au repos pendant 48h.
- Faire évaporer l'alcool en mettant les tubes à essai dans un bain Marie à 70°C.

Après refroidissement :

- Ajoute 20 ml d'eau distillée dans chaque tube à essai.
- Prendre 1 ml de la solution.
- Ajouter 1 ml de phénol à 5 % et bien agiter.
- Ajouter 5 ml d'acide sulfurique concentré, dans chaque tube à essai
- Passer au vortex.
- Laisser au repos pendant 10 mn
- Passer au bain Marie pendant 15 mn à 30°C.
- Procéder à la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 490 nm.

Détermination de la teneur des sucres solubles est réalisée selon la formule:

$$\text{Sucres solubles } (\mu\text{g/g MF}) = \text{DO}_{490} \times 1,657$$

4.9.3. DOSAGE DE LA PROLINE :

Proline est dosée selon la technique utilisée par [111], le principe est la quantification de la réaction proline-ninhydrine par mesure spectrophotométrique.

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.

Méthode consiste à :

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

Après refroidissement :

- Prélever 1 ml de la solution de chaque tube ;
- Mettre dans de nouveaux tubes ;

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

Après refroidissement des solutions :

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

Détermination de la teneur de la proline est réalisée selon la formule:

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

4.10. DOSAGE DES PARAMÈTRES TECHNOLOGIQUES :

4.10.1. DOSAGE DE LA VITAMINE « C » :

Teneur en vitamine « C » dans les fruits de tomate et de haricot est calculée selon la méthode de [112] comme suite :

Une quantité de 10g de fruits frais est réduite en pate mise en présence de 50 ml d'acide chlorhydrique (Hcl 2%) puis laisser en repos pendant 10 minutes. Faire filtrer le mélange dans un bécher de 100 ml.

Détermination de la vitamine « C » est passée par deux étapes :

1ère Étape :

- Prélever 10 ml d'extrais filtrée et mettre dans un erlenmayer, ajouter 30 ml d'eau distillé, on ajoute aussi 1 ml de solution d'iodure de potassium (K1%) en fin on additionne 2 ml de solution d'amidon 5%.

- Solution préparée est titrée à l'iodate de potassium (KIO₃ N/1000) jusqu'à l'apparition d'une coloration bleu
- Enregistrer le volume en ml d'iodure de potassium (KI) utilisé pour le titrage

2ème Étape :

On réalise un témoin dans les mêmes conditions, les 10 ml d'extrait sont remplacées par une quantité égale d'acide chlorhydrique 2%.

Le calcul : Teneur en vitamine « C » est calculée selon la méthode de [112] :

$$X = \frac{(N \cdot V_1 - 0,88)}{G \cdot V_2} \times 100$$

- **X** : mg d'acide ascorbique /g de produit a l'analyse.
- **N** : nombre d'iodate de potassium résultant de la différence entre le 1er titrage et le titrage témoin
- **V1**: volume total d'extrait obtenu pour analyse
- **V2** : volume initial d'extrait soumis à l'analyse
- **G** : quantité de produit analysé

4.10.2. DÉTERMINATION DE L'ACIDITÉ TITRABLE :

- | | | |
|---|---|---|
| Mode opératoire | { | <ul style="list-style-type: none"> • Moudre de la tomate ; • Prendre 5 à 30g de jus ; • Ajouter 100 ml d'eau distillé bouillante ; • Filtrer et compléter à 200 ml ; • Centrifuger la solution finale obtenue. |
| Dosage | { | <ul style="list-style-type: none"> • Prélever 100 ml du surnagent • Ajouter 3 à 4 gouttes de phénolphtaléine • Titrer à la soude (NaOH) N/10 |
| Expression des résultats :
Le calcule :
$N_1 V_1 = N_2 V_2$ | { | <ul style="list-style-type: none"> • En g d'acide citrique / 100g de jus • En g d'acide citrique / kg de fruit frais • En g d'acide malique / 100g de jus • En g d'acide malique / kg de fruit frais |

$$N_1 = N_2 V_2 / V_1$$

- N2 : normalité de la soude utilisée pour le titrage = 0.1
- V2 : Volume de soude versé en [ml] pendant le titrage
- V1 : Volume de surnageant prélevée = 100 ml

4.10.3. DOSAGE DES SUCRES TOTAUX DANS LES FRUITS :

Détermination de ce paramètre est réalisée à l'aide d'un réfractomètre. Le principe de cette opération est basé sur la mise d'une gouttelette de jus de tomate dans le réfractomètre puis passer à la lecture directe.

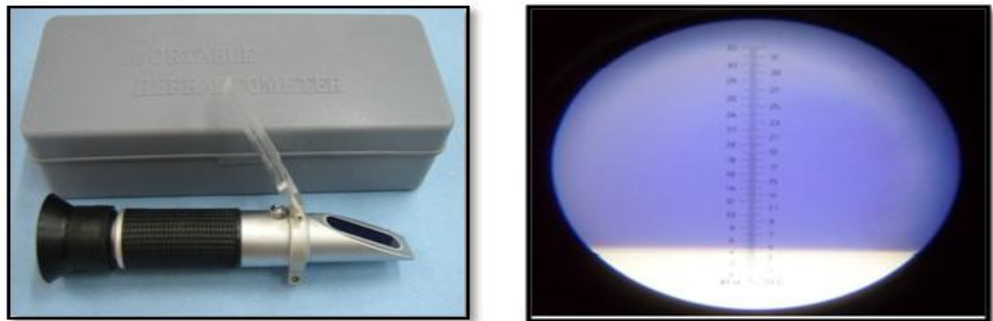


Figure 4.12 : Aspect général d'un réfractomètre et la manière de lecture.

CHAPITRE 5 :

RÉSULTATS ET DISCUSSION

5.1. PARAMÈTRES MORPHOLOGIQUES:

5.1.1. ASPECT GÉNÉRAL DES PLANTES :

Effet des traitements est bien apparu durant toute notre expérimentation. La distinction du comportement des plantes vis-à-vis des différents traitements testés se reconnaît facilement à la première observation que se soit l'espèce testée (tomate et haricot) (figure 5.1 et 5.2).



Figure 5.1 : Aspect général des plantes du haricot irriguées par les cinq traitements testés.

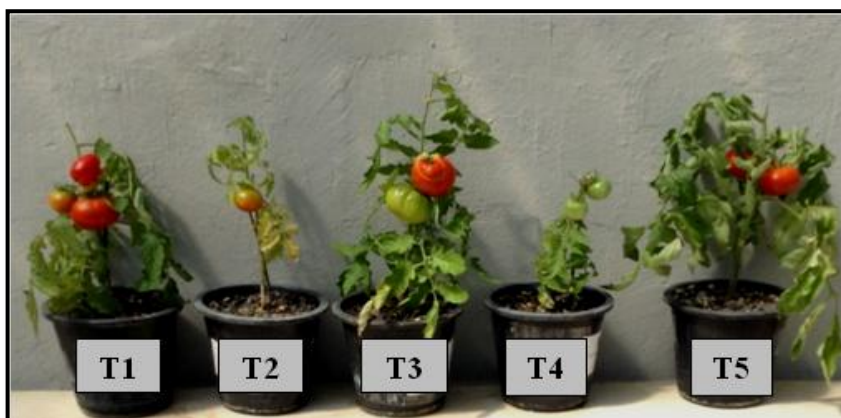


Figure 5.2 : Aspect général des plantes de la tomate irriguées par les cinq traitements utilisés.

Nous distinguons également au niveau des plantes de T4 et du T2 une densité de feuillage moindre avec une couleur vert pale. En effet, les deux traitements précités présentent également un aspect chétif comparativement aux plantes irriguées par les traitements corrigés partiellement (T1 et T3) et totalement le (T5) qui sont plus vigoureuses, bien développées, de couleur verte foncée, et présentant un nombre de feuilles et de fleurs élevées.

Des résultats semblables sont identifiés par les travaux de [113] où il a remarque que les effets de la salinité (en plus d'un effet toxique dû aux ions Na^+ et Cl^-) sont très semblables à ceux de la sécheresse; traduisant par des adaptations de la plante, qui cherche à réduire ses pertes d'eau et à maintenir ses fonctions vitales.

5.1.2. VITESSE DE CROISSANCE DES PLANTES :

Courbes suivantes montrent l'évolution de la vitesse de croissance des plantes de haricot et de la tomate.

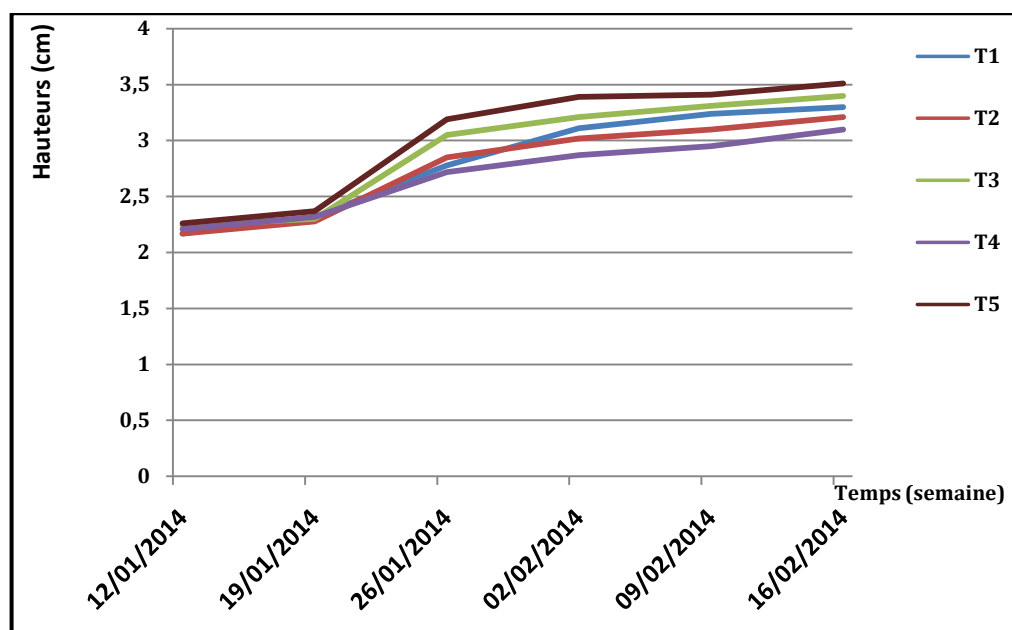


Figure 5.3: Vitesse de croissance des plants de haricot en (cm/jours)

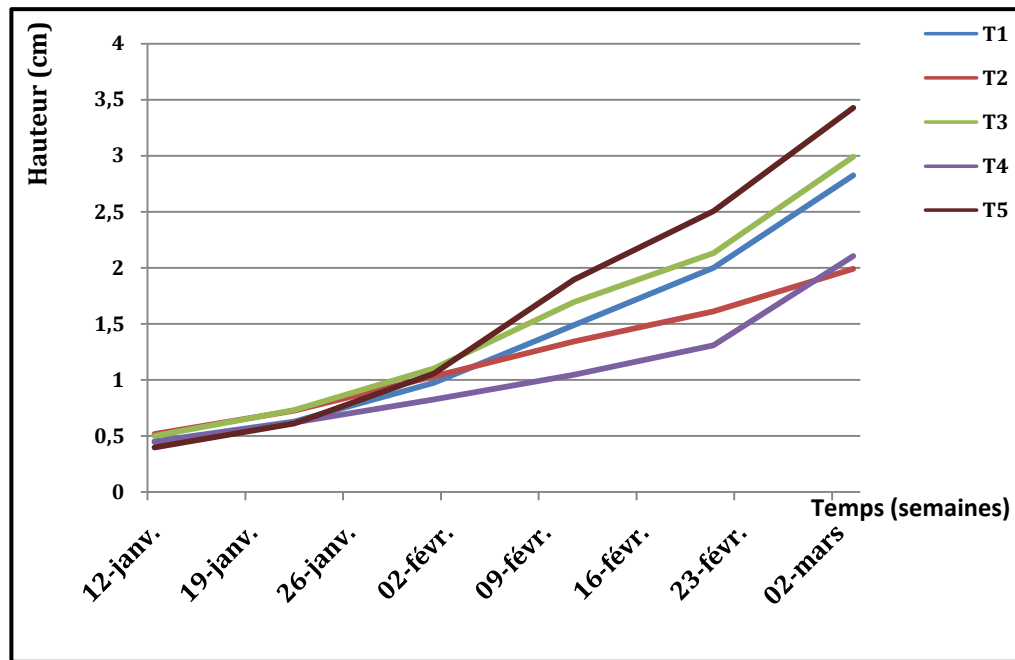


Figure 5.4: Vitesse de croissance des plantes de la tomate en (cm/semaine).

Selon les deux figures citées ci-dessus, on remarque que le facteur traitement a un effet remarquable sur la vitesse de croissance des plantes étudiées.

Vitesse de croissance des plantes alimentées par les différents traitements passe par trois phases. La première phase débute du 12/01/2014 au 19/01/2014 pour le haricot et de 12/01/2014 au 26/01/2014 pour la tomate. Cette phase se traduit par un ralentissement de la croissance des jeunes plantules pouvant être expliqué par la période d'adaptation de ces dernières dans les milieux nutritifs testés.

Selon les travaux de [114], la résistance à la salinité augmente avec l'âge de la plante. Au passage de la phase végétative à la phase productive, la plante acquiert, et probablement rapidement, un degré de résistance en sel bien important.

Deuxième phase végétative débute le 19/01/2014 au 02/02/2014 et le 26/01/2014 au 02/03/2014 pour le haricot et la tomate respectivement, où nous constatons une vitesse de croissance très importante au niveau de traitement T5 compte tenu de la richesse du milieu en éléments fertilisants notamment l'azote, le

phosphore, le potassium, le fer et les oligo-éléments appropriés à la croissance des plantes. La présence de ces éléments dans le milieu sont en équilibre ionique parfait. La même observation est enregistrée au niveau plantes alimentées par les traitements T1 et le T3 en raison de la présence partielle de l'azote dans le milieu de T1 et la présence de deux éléments majeurs (azote et le phosphore) dans le milieu T3 qui influe positivement sur la partie aérienne des plantes, tout en améliorant la photosynthèse, se traduisant aussi donc par une augmentation relative de la vitesse de croissance. Des résultats similaires sont obtenus par [115] où il y a eut effet marqué de l'addition des éléments majeurs sur la croissance de la tomate et du haricot.

Enfin la troisième phase végétative qui correspond à la fin du cycle de développement et qui correspond du (02/02/2014) jusqu'à (16/02/2014) pour le haricot. Compte tenue l'étêtage pratiqué au dessus de premier bouquet floral à savoir le (02/03/2014), la croissance de la tomate a été interrompue.

Correction du pH au niveau des traitements T1, T2 et T3 semble avoir un effet notable sur l'évolution de la croissance et ce par rapport au traitement salin naturel T4. Les résultats obtenus au niveau des plantes alimentées par le T1 et le T3 ont amélioré d'avantage le paramètre mesuré par rapport aux plantes alimentées par la solution nutritive T5. De ce fait on peut dire que le pH d'une solution nutritive est un facteur déterminant dans l'absorption hydrominérale des plantes dans un milieu salin.

Traitement T4 (eau saline naturelle) présente la vitesse de croissance la moins importante que celles observées chez les plantes alimentées par les autres traitements partiellement corrigées. Ceci peut être expliqué par l'absence de certains éléments essentiels à la croissance dans ce milieu, ainsi que le déséquilibre ionique du milieu alimentaire se traduisant par un ralentissement de la croissance des plantes.

Des observations similaires ont été observées dans les travaux de [5] les concentrations salines suffisamment élevées empêchent les plantes d'absorber l'eau et les éléments nutritifs et ralentissent par conséquent la croissance végétale. Il note aussi que le stress salin conduit donc à un stress hydrique. Ce

manque de disponibilité de l'eau entraîne un déséquilibre ionique, des perturbations dans l'homéostasie des ions et provoque la toxicité cellulaire. Puisque le stress salin suppose à la fois le stress osmotique et ionique, l'arrêt de la croissance est directement lié à la concentration totale en sels solubles du sol.

Aussi, ce ralentissement de la croissance est expliqué par [84] où il note que la vacuole permet un stockage massif de Na^+ , sans dommage pour le fonctionnement du reste de la cellule. Lorsque la capacité d'accumulation de la vacuole est saturée, les ions de Na^+ qui continuent à parvenir aux parties aériennes s'accumulent soit dans le cytoplasme, soit dans les parois cellulaires. La saturation des parois par un excès d'ions provoque un déséquilibre hydrique qui se traduit par une perte brutale en eau des cellules qui se déshydratent et meurent. La saturation du cytoplasme inhibe le métabolisme ce qui ralentit la croissance et provoque aussi la mort des cellules. [116] La capacité de séquestrer les ions apparaît comme un mécanisme commun chez les halophytes et les glycophytes.

Parmi les traitements partiellement corrigées, les plantes issues de T2, enregistrent une vitesse de croissance plus faible ceci peut être expliqué par l'absence de certains éléments nutritifs essentiels à la plante tel que l'azote, ce qui se traduit par un ralentissement de la croissance. [117] Le déséquilibre nutritionnel en est aussi cause possible de réduction de la croissance en présence de sels, notamment lorsque des ions essentiels comme K^+ et Ca^{++} deviennent limitants.

Les travaux de [118] ont montré que le NaCl peut augmenter la croissance et le développement des plantes, mais à un certain taux, le sel peut nuire et endommager la croissance et le développement des plantes à cause du changement du potentiel osmotique, du déséquilibre ionique et de la toxicité ionique dans les cellules. Aussi [119] in (FEIGIN, 1985) note que le NaCl altère le métabolisme et les sites de réception des hormones impliquées dans la division et l'expansion cellulaire.

D'après [120] l'effet principal de la salinité est l'augmentation du potentiel osmotique dans le milieu de culture ce qui provoque une réduction de la disponibilité en eau pour les cultures. Aussi, [114] montre que la pression

osmotique cellulaire élevée due à la présence des sels réduit la transpiration. D'autre part, les sels accroissent la force de succion du sol pour l'eau et la pression osmotique de la solution qui baigne les racines, de sorte que plus il ya de sels dans le sol, et moins il y a pénétration de l'eau dans la plante.

Stress salin influence la croissance à travers de nombreuses facettes du métabolisme, telle que l'absorption des éléments nutritifs, et leur distribution au sein de la plante, l'altération de la photosynthèse et de la respiration [121].

5.1.3 EFFET DU TRAITEMENT SUR LA HAUTEUR FINALE :

Les résultats obtenus en fin de cycle de développement révèlent qu'il y a une augmentation de la hauteur finale des plants au niveau des solutions salines partiellement corrigées (T1, T2 et T3) et totalement corrigées (T5) et ce par rapport au traitement salin naturel (T4) (Figures 5.5 et 5.6).

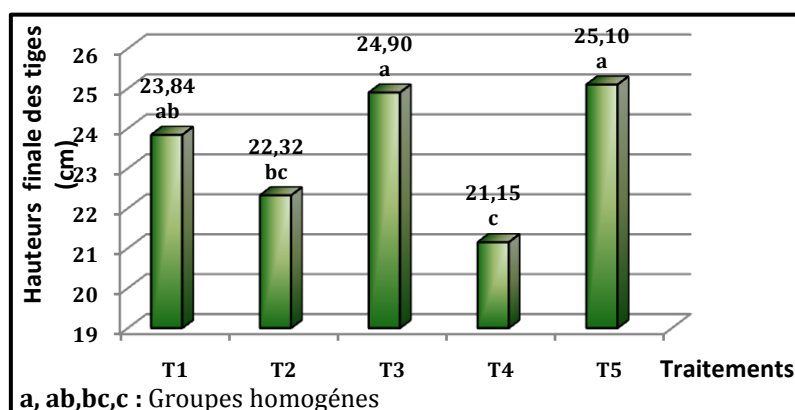


Figure 5.5 : Hauteur finale des plants de haricot en (cm)

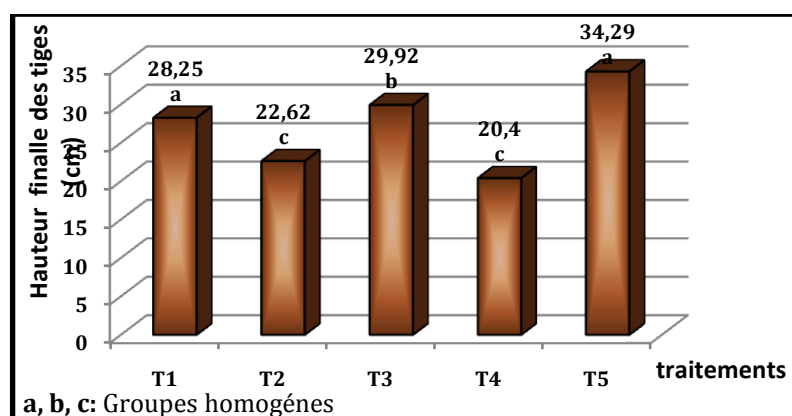


Figure 5.6 : Hauteur final des plants de la tomate en (cm)

Analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative ($P < 0,001$) du facteur traitement sur la hauteur finale des tiges (Annexe 01, Tableau 1 et 2).

Test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir trois et quatre groupes homogènes pour la tomate et le haricot respectivement.

Nous remarquons d'après les figures 5.5 et 5.6 que les hauteurs finales les plus élevées sont enregistrées chez les plantes irriguées par la solution saline naturelle corrigée T5 avec des valeurs de 25,10 et 34,29 cm pour le haricot et la tomate respectivement, Ceci peut s'expliquer par la richesse du milieu en éléments fertilisants, notamment la présence de l'azote, du phosphore, du potassium et la présence des oligoéléments. Les traitements T3, T1 et T2 permettent d'avoir chez les deux espèces des plantes présentant des hauteurs finales également importantes. Ceci en raison de par l'effet du pH favorable sur la dissolution des éléments minéraux dans les milieux salins naturels permettant ainsi leur assimilation par les plantes.

La présence des acides dans le milieu salin joue un double rôle d'une part l'abaissement du pH qui influe sur l'assimilation des éléments minéraux dans le milieu et de l'autre part l'apport des éléments utiles tels que l'azote et de phosphore aux plantes. De ce fait, nous avons observé une amélioration des paramètres étudiés chez les plantes alimentées par les traitements salins partiellement corrigés (T1, T2 et T3) et ce par rapport au traitement salin naturel (T4) (absence totale de l'azote et de phosphore dans le milieu nutritif).

Des résultats similaires ont été trouvés par [105] où ils ont montré que plus la quantité d'azote est importante, et plus leur influence est significative sur la croissance des entre nœuds. La quantité totale d'azote apportée reste toutefois le facteur le plus déterminant dans l'élongation des plantules.

La solution saline naturelle (T4) présente les plantes ayant les hauteurs les plus faibles par rapport aux autres traitements corrigés chez les deux espèces testées. Ceci en raison de la présence d'une grande quantité de sels dans la solution d'irrigation provoquant aussi la réduction de la division et de l'allongement cellulaire. Aussi, le pH alcalin (7,8) défavorable à une meilleure absorption

hydrominérale des plantes dans ce milieu et de son déséquilibre ionique en déduisant ainsi une réduction de la croissance des plantes. Selon [122] le stress salin résulte de la perturbation des fonctions de nutrition hydrique, minérale et carbonée des plantes.

La perturbation de la nutrition minérale proviendrait quant à elle de la compétition des ions Na^+ et Cl^- avec les ions nutritifs telluriques (Ca^{++} , K^+ , Mg^{++} ...). Mais le plus sûrement leur déficience en éléments majeurs utiles.

D'après [7] les carences en éléments majeurs provoquent d'abord l'arrêt de la croissance des tissus jeunes, puis rapidement cet état de déficience s'uniformise dans les différents organes, provoquant des troubles des fonctions de la plante, entraînant aussi d'une part un ralentissement et un retard de croissance et d'autre part des symptômes de nanisme et de rabougrissement des plantes.

Des résultats similaires ont été rapportés par [123], [124] et [61] où ils ont noté que la salinité affecte tous les processus physiologiques de la plante. Son effet se traduit notamment par une réduction de la croissance en hauteur considérée comme indicateur de l'effet inhibiteur du sel sur la croissance des plantes

5.1.4. EFFET DU TRAITEMENT SUE LE DIAMÈTRE DES TIGES :

Les tiges ont été mesurées au moment de la coupe finale à l'aide d'un pied à coulisse au niveau du collet de chaque plant, les valeurs obtenues sont présentées dans les figures 5.7 et 5.8.

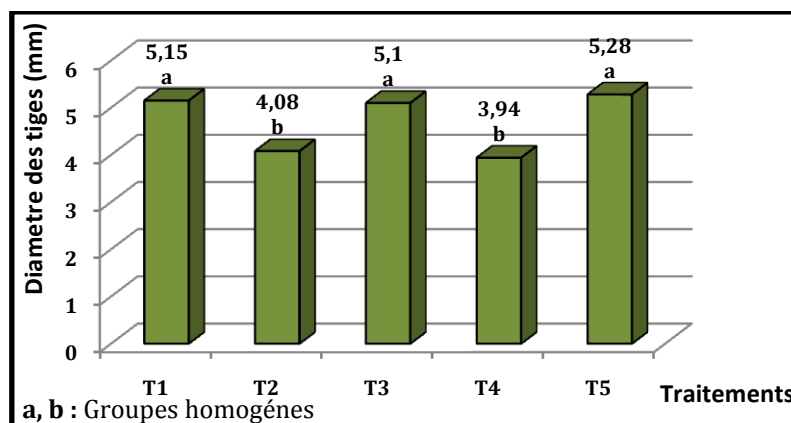


Figure 5.7 : Diamètres moyens des tiges des plants de haricot en (mm).

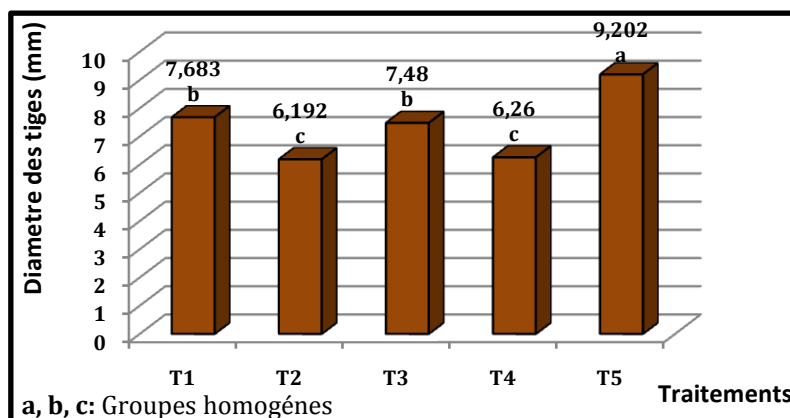


Figure 5.8 : Diamètres moyens des tiges des plants de la tomate en (mm).

L'analyse de la variance a révélé une différence hautement significative ($P < 0,001$) du facteur traitement sur le diamètre des tiges de deux espèces expérimentales. (Annexe n°01, Tableau 3 et 4).

Le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir deux groupes homogènes chez l'haricot et trois groupes homogènes chez la tomate (figure 5.7 et 5.8).

Les résultats obtenus durant la coupe finale révèlent qu'il y a une augmentation du diamètre des tiges chez les plantes alimentées par des solutions salines partiellement corrigées (T1 et T3) et totalement corrigée (T5) par rapport au traitement saline partiellement corrigé par l'acide phosphorique T2 et le traitement salin naturel T4.

Meilleure performance à été enregistrée au niveau du traitement totalement corrigé T5 avec des valeurs de 5,28 et 9,10 mm pour le haricot et la tomate respectivement, ceci peut s'expliquer par la richesse du milieu en éléments fertilisant qui sont interviennent dans la croissance de la partie aérienne. Les traitements T1 et T3 chez les deux espèces des plantes présentant des diamètres également important ceci en raison de la présence de l'azote dans le milieu, qui est un élément indispensable à la plante ; ainsi que la correction du pH favorise un équilibre ionique parfait.

Des résultats faibles sont observées chez les plantes arrosées par le traitement partiellement corrigé T2 et le traitement salin naturel T4. Ceci peut être

expliquer par le déficience de ces derniers en éléments essentiels a la croissance de la partie aérienne (tige et feuille) notamment l'azote, qui entraînent l'arrêt de la croissance des tissus juvéniles et provoquent par la suite des troubles fonctionnels chez la plante, ces troubles amènent à un ralentissement et un retard de croissance, à une inhibition de l'activité des méristèmes primaires et secondaires et à l'apparition du phénomène de plasmolyse qui aboutit à la formation de tiges moins rigides et donc peu développées.

Des résultats semblables sont identifiés par les travaux de [125] où il montre 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.

A l'image de nos résultats, des études antérieures avaient montré que les plantes de la tomate et de l'haricot affectées par la salinité ont tendance à être plus courtes et à produire des tiges plus minces [115].

5.1.5. EFFET DU TRAITEMENT SUR LE NOMBRE DE FEUILLE :

Le dénombrement des feuilles s'est réalisé au moment de la coupe finale au niveau de chaque plant, les résultats obtenus sont présentées dans les figures 5.9 et 5.10.

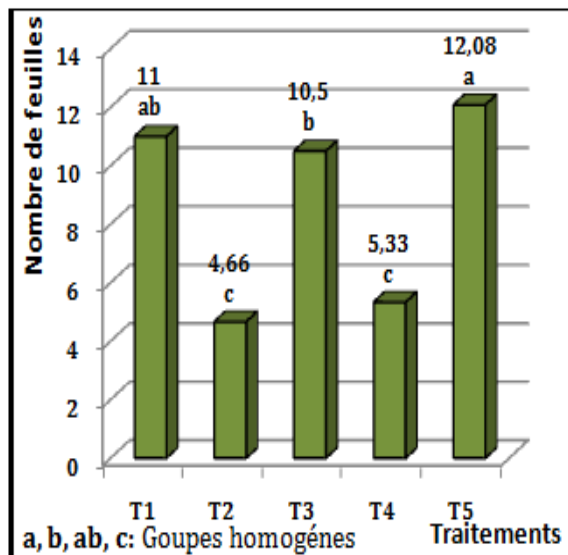


Figure 5.9 : Nombre final des feuilles de haricot

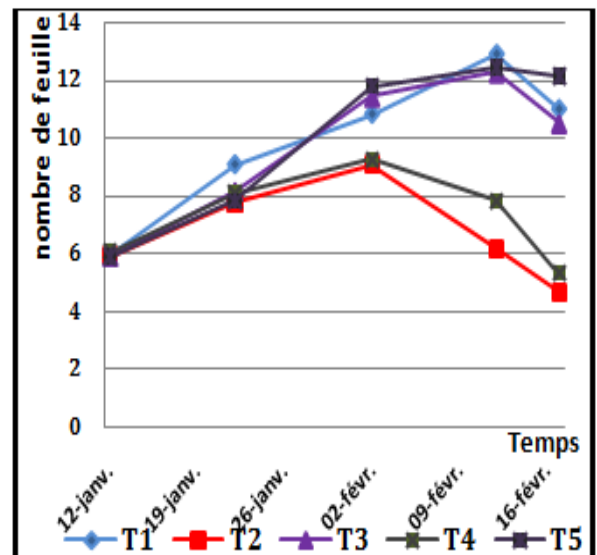


Figure 5.10 : Évolution du nombre des feuilles au cours de cycle de développement de haricot.

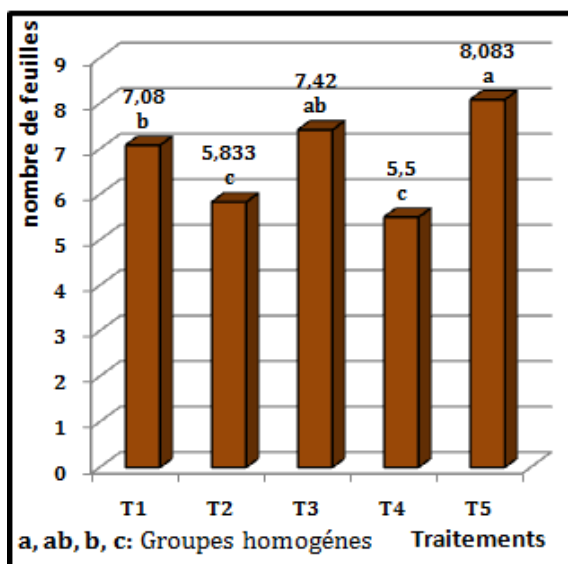


Figure 5.11 : Nombre final des feuilles de la tomate.

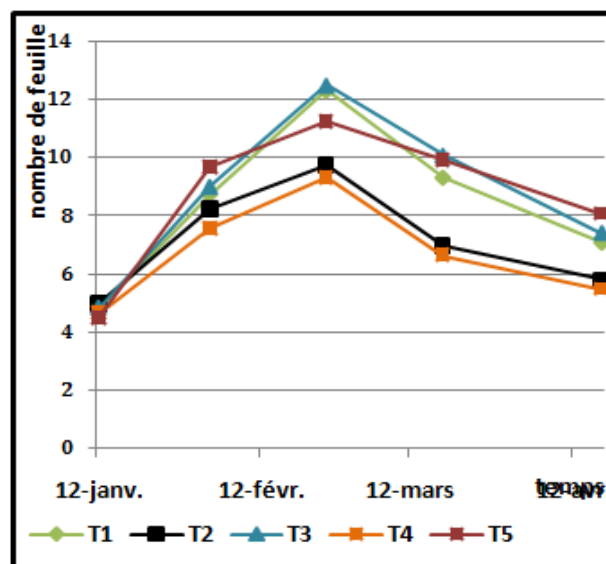


Figure 5.12 : Évolution du nombre des feuilles au cours de cycle de développement de la tomate.

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative ($p < 0,001$) pour les deux espèces étudiées (Annexe n°01 Tableau 5 et 6).

Le test de Newman et Keuls a seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir quatre groupes homogènes chez les deux espèces étudiées (figure 5.9 et 5.11).

La meilleure performance a été enregistrée au niveau de traitement salin totalement corrigées T5 par des valeurs de 12,08 et 8,08 chez le haricot et la tomate respectivement. Suivi par les traitements partiellement corrigées T3 et T1 par des valeurs également importantes, chez le haricot soit de 10,5 et 11 respectivement. Chez la tomate par le T1 et T3 soit de 7,42 et 7,08 respectivement, ceci peut s'expliquer par la présence de l'azote dans ces traitements (T1 et T3).

Des valeurs faibles sont enregistrées chez le traitement partiellement corrigé par l'acide phosphorique, avec des valeurs de 4,66 et 5,85 chez le haricot et la tomate respectivement. Ceci en raison de l'absence de certains éléments essentiels au développement de la partie aérienne notamment l'azote. Des résultats similaires ont été trouvés par [126] sur le pois chiche. [127], où il montre que l'azote est nécessaire à la multiplication cellulaire et au développement des organes végétatifs. Au cours du cycle de développement de la plante, l'utilisation

de l'azote ne cesse d'augmenter, et passe par un maximum avant la floraison. Aussi [123], note que la carence en azote entraîne une réduction de la surface foliaire avec réduction de l'activité photosynthétique par unité de surface, ceci rend les photoassimilats plus disponibles pour l'élaboration des racines et des organes de réserves.

Des résultats semblables sont identifiés par les travaux de [128] où il montre que le transfert des plantes de soja cultivées en hydroponie d'un milieu riche en un milieu pauvre en nitrate note en quelques jours un fort ralentissement de la croissance des jeunes feuilles et un blocage de la croissance des bourgeons après fourniture à nouveau du nitrate a ces mêmes plantes et de ce fait la croissance des jeunes feuilles reprend.

D'après résultats obtenus chez les plantes alimentées par le traitement partiellement corrigées (T2) nous pouvons constater que le phosphore n'intervient pas sur la partie aérienne de la plantes (nombre de feuille et la surface foliaire). Cette observation est confirmée par une faible différence entre les valeurs obtenues chez les plantes irriguées par la solution saline partiellement corrigée par l'acide nitrique (T1) et les valeurs obtenus chez les plantes irriguées par la solution saline partiellement corrigée par l'acide nitrique et l'acide phosphorique (T3).

Des résultats faibles sont enregistrés chez les plantes alimentées par la solution saline naturelle (T4) avec des valeurs de 5,33 et 5,5 chez le haricot et la tomate respectivement. De ce fait le pH est défavorable à la dissolution des éléments minéraux dans ce dernier, ainsi que le taux de sel dans ce milieu entraînent une toxicité et des nécroses foliaires (Figures 5.13 et 5.14).

Selon les travaux de [123] confirment que les deux principales manifestations de la salinité sont la réduction de la taille des plantes, et l'apparition de nécroses foliaires par excès d'accumulation de sel dans les feuilles. [7] et [129], ils notent aussi que la réponse à la salinité se manifeste généralement chez les glycophytes par un effet dépressif sur la croissance et le développement des organes aériens et se traduit par une réduction de la surface foliaire causée par un ralentissement des divisions cellulaires. Dans le même ordre d'idées, [130] ont également montré

que la présence de sels dans la solution nutritive affecte considérablement le niveau foliaire et la biomasse, ce qui se manifeste par une réduction de la surface foliaire, une chute des feuilles et une diminution des poids frais et sec des feuilles.

D'après les travaux de [131] sur les plantules de trèfle (*Trifolium alexandrinum* L.) ont mentionné que la croissance n'a été affectée qu'à partir de 4 g/l de NaCl, alors que la croissance pondérale de la partie aérienne a été réduite de 20 % à 4 g/l et de 44% à 6 g/l.

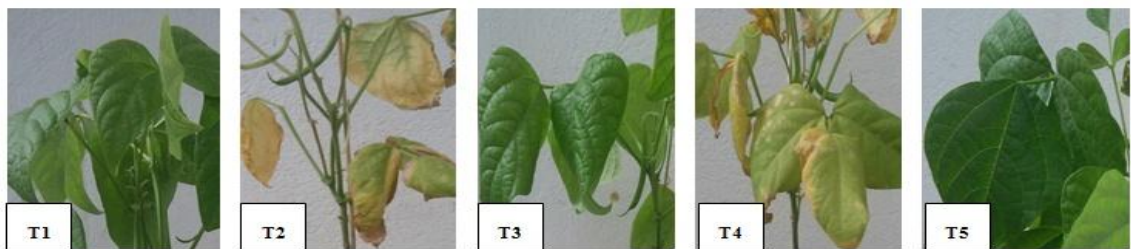


Figure 5.13 : L'état des feuilles du haricot irrigué par les cinq traitements utilisés.

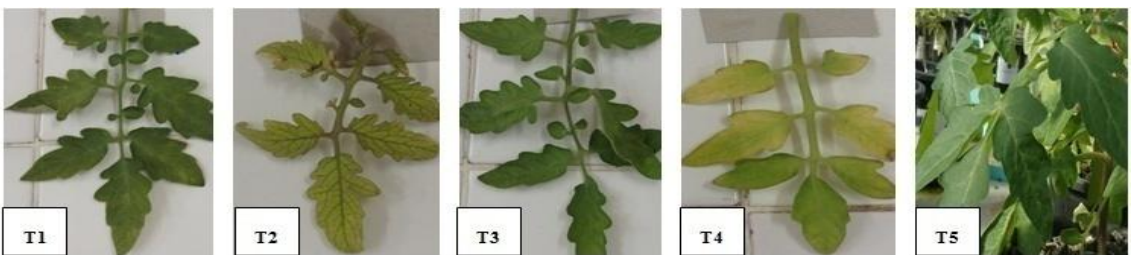


Figure 5.14 : L'état des feuilles de la tomate irriguée par les cinq traitements utilisés.

Selon les figures (5. 10 et 5.12) nous observons qu'il y a une évolution du nombre des feuilles au cours de cycle de développements de deux glycophytes étudiées. Nous constatons une chute de feuilles chez les deux espèces alimentées par les différents traitements, mais les plus marquées à celle de haricot irriguées par les traitements T2 et T4, ceci est expliquer par le haricot est considéré comme une espèce très sensible à la salinité comparativement à la tomate qui est une espèce moyennement sensible. Aussi peut s'expliquer par l'effet toxique de certains éléments notamment le chlore, le sodium, la carence en certains éléments minéraux et le taux de sel dans milieu alimentaire.

Des observations similaires ont été observées dans les travaux de [132] où il montre que l'apparition d'une nécrose et d'une fanaison limitées au niveau des

feuilles âgées suggère que les glycophytes procèdent à une accumulation sélective des ions salins au niveau du premier étage foliaire pour protéger les jeunes feuilles et assurer ainsi sa survie sous stress salin. Cette surcharge en ions Na^+ et Cl^- entraîne l'accélération de la sénescence des parties foliaires les plus adultes. La rétention des ions Na^+ et Cl^- dans les étages inférieurs pourrait constituer un mécanisme de protection des feuilles jeunes contre les effets toxiques de ces ions. Dans le même d'ordre d'idées [133] a également montré que l'un des effets secondaires induit par la salinité est la compétition des ions Na^+ et K^+ pour les transporteurs racinaires de potassium, qui se traduit chez les plantes sensibles par une carence nutritive en K^+ . Aussi il note que les feuilles pleinement développées qui transpirent abondamment accumulent des ions et présentent des symptômes liés à leurs effets toxiques, alors que les feuilles en développement sont plutôt affectées par le stress hydrique et la perte de turgescence qui en résulte. Les feuilles âgées font en quelque sorte office de poubelles ioniques, maintenant un gradient de potentiel osmotique entre le sol et les parties aériennes.

Les travaux de [121] ont montré que les plantes qui réussissent leur croissance en milieu salin sont celles qui maintiennent un rapport K^+/Na^+ plus élevé dans leur cytoplasme que dans la rhizosphère. Aussi [134] ont relié la tolérance des plants de tomate à la salinité à leur aptitude à contrôler Na^+ dans les feuilles adultes tout en maintenant une faible concentration de cet élément dans les jeunes feuilles. [135] où ils ont noté que les feuilles sont les organes les plus sensibles aux changements qui se produisent au niveau du métabolisme primaire, due en grande partie à la réponse générale aux stress environnementaux, tels que les stress hydriques et salins.

Les travaux de [124] ont montré que la salinité affecte l'activité physiologique de la feuille, et plus particulièrement la photosynthèse, qui présente la cause principale de la réduction de la productivité végétale. [124] in (MUNNS, 2008), il note aussi que la réduction de la photosynthèse est liée à la diminution du potentiel hydrique foliaire, dans le même d'ordre d'idées [136] ont également montré que une forte concentration en sel réduit l'eau disponible à la plante, et crée un stress osmotique qui rend le transport électronique photosynthétique

inactif, de même, il entraîne la fuite de Na^+ du cytosol, ce qui inactive à la fois le transport d'électrons pour la photosynthèse et la respiration.

5.1.6. EFFET DU TRAITEMENT SUR LA BIOMASSE FRAICHE :

5.1.6.1. BIOMASSE FRAICHE DE LA PARTIE AÉRIENNE :

Les pesées des organes végétaux de deux espèces étudiées sont effectuées au même temps que les coupes réalisées.

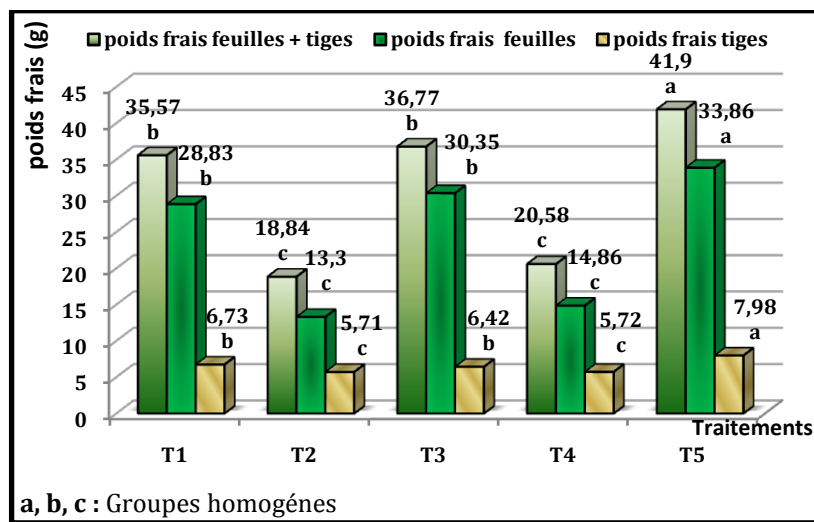


Figure 5.15 : Poids frais de la partie aérienne des plants du haricot en (g).

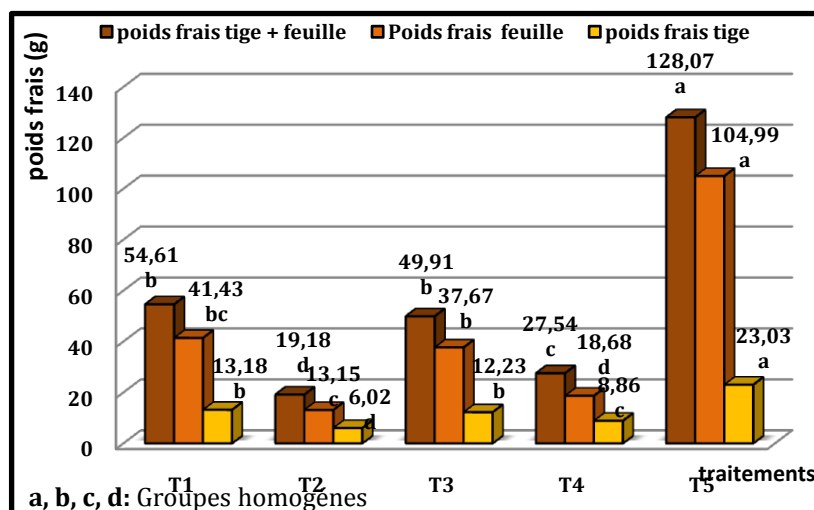


Figure 5.16 : Poids frais de la partie aérienne des plants de la tomate en (g).

Analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative ($P < 0,001$) entre les différentes moyennes mesurées du poids frais des organes de la partie aérienne (tiges et feuilles) de la tomate et de haricot (Annexe

n° 1, Tableau 7 et 8). Ceci met en évidence l'influence des différents traitements sur les paramètres mesurés chez les deux espèces étudiées.

En outre, le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir quatre et trois groupes homogènes chez la tomate et le haricot respectivement. Qui sont illustrés dans les figures (5.15 et 5.16).

Correction partielle de l'eau saline naturelle à un effet bénéfique sur la croissance des plantes quelque soit l'espèce testée (tomate et haricot) durant tous leurs cycles végétatifs, compte tenu l'équilibre ionique parfait dans les traitements.

Meilleure performance est enregistrée chez les plantes arrosées par le traitement salin totalement corrigée T5, par des valeurs de 128,07g (soit de 104,99g poids des feuilles et 23,03 g poids des tiges) et de 41,9 g (soit de 33,86 g poids des feuilles et 7,65 g poids des tiges) chez la tomate et le haricot respectivement. Des valeurs également importantes sont enregistrées au niveau les plantes de la tomate qui sont alimentées par les traitements partiellement corrigés T1 et le T3 avec des valeurs de 54,61 g (soit de 41,43g poids des feuilles et 13,18 g poids des tiges) et 49,91g (soit de 37,67g poids des feuilles et 12,23g poids des tiges) respectivement. Les mêmes résultats sont observés chez le haricot avec des valeurs de 36,77g (soit de 30,35g poids des feuilles et 6,42g poids des tiges) chez les plantes traitées par le T3, et 35,57g (soit de 28,83g poids des feuilles et 6,42g poids des tiges) au niveau des plantes de T1.

Parmi les traitements salins partiellement corrigés, le T2 présente des valeurs plus faibles comparativement au traitement totalement corrigées T5, avec des valeurs de 18,84 g (13,3g de poids frais des feuilles et 5,71 g poids frais des tiges) et 19,18 g (13,15g de poids frais des feuilles et 6g de poids frais des tiges) chez le haricot et la tomate respectivement. Ce traitement est classé dans le même groupe homogène de la solution naturelle T4, pouvant être expliquée d'une part par l'absence de l'azote dans ce milieu ce qui se traduit par un jaunissement des feuilles et par conséquent une réduction de la photosynthèse. [137], où il montre que quant l'azote est le facteur limitant la production, une plante en

croissance produira des feuilles de plus en plus petite taille avec un efficacité photosynthétique plus faible, la biomasse produite sera globalement réduite.

D'autre part cette diminution c'est l'un des symptômes causés la présence d'une quantité importante de sel dans ce traitement T2. L'excès de sels selon [138], provoque la réduction de toutes les dimensions de la plante (Diminution de la surface foliaire, arrêt de la croissance et de l'allongement des organes et de leurs ramifications), ainsi qu'une perturbation dans le métabolisme azoté et glucidique, se traduisant par une réduction de la synthèse des protéines ce qui entraîne une chute des feuilles.

Dans le même d'ordre d'idée, [139] a également montré que la salinité du milieu naturel agit sur la croissance en diminuant la biomasse totale, en faisant tomber les feuilles qui atteignent le seuil d'accumulation de Na^+ .

Traitements partiellement corrigés T1, T3 et totalement corrigé T5 tout en améliorant la production de la biomasse fraîche de la partie aérienne de ce fait on peut dire que la correction du pH (5,5) agit sur la dissolution des éléments minéraux dans un milieu salin et ce qui se traduit par un équilibre ionique parfait. [105] et [140] où ils ont noté que l'importance du pH réside dans le fait qu'il est indicateur de la solubilité des éléments nutritifs dans le substrat. Il joue donc un rôle très important dans la disponibilité des éléments nutritifs pour la plante et sur l'assimilabilité des oligo-éléments. Aussi, cette amélioration pouvant être expliquée par la présence des éléments fertilisants dans ces traitements notamment l'azote .

5.1.6.2. BIOMASSE FRAICHE DE LA PARTIE RACINAIRE :

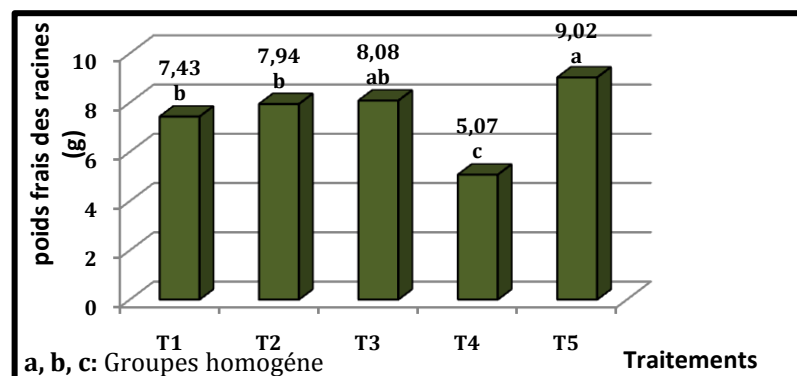


Figure 5.17 : Poids frais des racines des plants de haricot en (g)

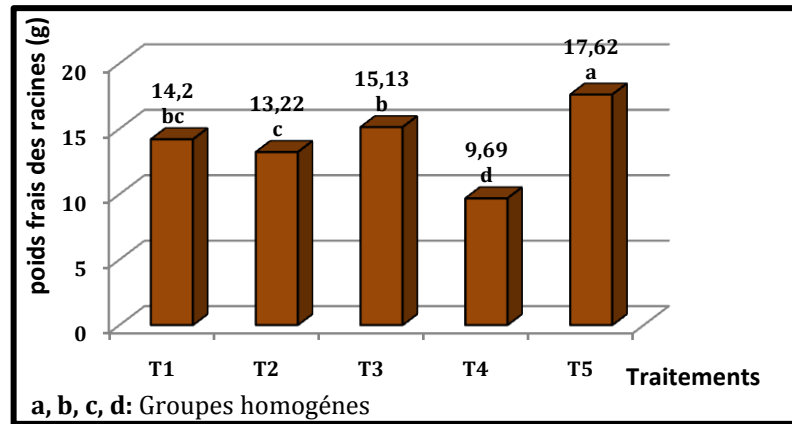


Figure 5.18 : Poids frais des racines des plantes de la tomate en (g)

Analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative ($P < 0,001$) entre les différentes moyennes mesurées du poids frais de la partie racinaire de la tomate et de haricot (Annexe n° 1, Tableau 9 et 10). Ceci met en évidence l'influence des différents traitements sur le paramètre mesuré chez les deux glycophytes étudiées.

En outre, le test de Newman et keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir cinq groupes homogènes au niveau des plantes de la tomate et quatre groupes homogènes au niveau des plantes de haricot (figure 5.17 et 5.18).

Une meilleur performance est enregistrées chez les plantes alimentées par le traitement salin totalement corrigé T5 chez les deux espèces étudiées. Soit par une production de la biomasse fraîche racinaire importante, avec des valeurs de 9,02 g et 17,62 g chez le haricot et la tomate respectivement. Aussi des résultats également intéressants sont enregistrés au niveau des plantes traitées par les traitements partiellement corrigés (T1, T2 et T3), pouvant être expliquée par l'équilibre ionique parfait qui en relation avec la correction du pH de la solution saline et qui influe sur la dissolution et des éléments minéraux dans ces derniers. Aussi, la présence de certains éléments majeurs notamment l'azote et le phosphore intervenant sur le développement de la biomasse fraîche de la partie racinaire des plantes étudiées.

Les travaux de [141] in (STENVENSON, 1986), ont montré que l'azote favorise l'utilisation des hydrates de carbone, stimule le développement et l'activité racinaire, favorisant ainsi l'absorption des autres éléments minéraux et la

croissance des plantes. [141] in (LAMAZE et al. ,1990) l'azote est essentiel pour la synthèse des enzymes de la photosynthèse.

D'après les résultats obtenus chez les plantes alimentées par le traitement partiellement corrigées par l'acide phosphorique T2, et par l'addition de deux acides dans le traitement T3 nous constatons que le phosphore améliore d'avantage poids frais des racines chez les plantes de haricot par rapport aux plantes de la tomate issus de même traitement (T2) en raison de la formation des nodosités au niveau des racines du haricot qui permettent la fixation de l'azote en présence de phosphore et ces dernières influent sur le poids frais totale de paramètre cité en dessus. Les nodosités c'est une particularité caractérise les légumineuses (Figure 5.19). Dans le même d'ordre d'idée [141] a montré que la réduction de l'azote étant coûteuse en énergie, les systèmes les plus efficaces sont ceux qui permettent un couplage entre la photosynthèse et la fixation biologique de l'azote. Dans ces associations fixatrices d'azote, le microorganisme induit l'apparition de structures différenciées, appelées nodules.

Des résultats semblables sont identifiés par les travaux de [131] où il a remarqué que la disponibilité du phosphore dans le sol et surtout sa mobilisation par la plante ont un effet sur la capacité à fixer l'azote atmosphérique. Et selon [142] la fixation de l'azote est une réaction très coûteuse en énergie.

Stress salin influence sur la biomasse fraîche de la partie racinaire des plantes. Cela est observé chez les plantes alimentées par la solution saline naturelle T4, donnent un chevelu racinaire chétif (Figure 5.19 et 5.20) en raison de l'accumulation des sels nocifs au niveau des racines des plantes étudiées. Aussi le pH de ce traitement est défavorable à la dissolution des éléments minéraux ce qui se traduit par un déséquilibre ionique.

Des observations similaires ont été observées dans les travaux de [143] où il montre que la salinité accrue est accompagnée par une réduction significative dans la biomasse et surface racinaire chez la tomate.



Figure 5.19 : L'aspect générale des racines des plants de haricot.



Figure 5.20 : L'aspect générale des racines des plantes de la tomate.

D'après les figures (5.19) et (5.20) nous constatons que la partie racinaire des plantes alimentées par le traitement (T2) chez les plantes du haricot est bien développées. Selon [144], le développement de la partie racinaire au dépend de la partie aérienne est considéré par plusieurs auteurs comme un critère de résistance à la salinité; l'augmentation du rapport racine / tige est la réponse typique des glycophytes à la salinité. Aussi [145], ont fait une observation semblable, les racines répondent différemment par rapport aux feuilles en étant beaucoup moins sensible à la salinité.

Les nodosités joue un rôle de la fixation de l'azote atmosphérique mais d'après les résultats obtenus sur la biomasse foliaire des plants de haricot traitées par le T2 sont faibles, de ce fait on peut dire que la salinité affectée le fonctionnement des nodules. Des résultats semblables sont identifiés par les travaux de [1], la salinité affecte l'initiation, le développement et le fonctionnement

des nodules. Généralement l'activité des nodules est plus touchée par le sel que la nodulation. Aussi selon les travaux de [59] l'augmentation de la teneur en nitrate peut interrompre le développement des nodules, lorsque la nodosité est active, le nitrate peut entraver le mécanisme biochimique de fixation de l'azote. Cette constatation est observée dans notre expérimentation au niveau des plantes de haricot alimentées par le traitement partiellement corrigées T1 et T3 et totalement corrigée T5.

Les plantes alimentées par la solution saline naturelle (T4) enregistrent un poids frais racinaire faibles, cela est expliqué par l'effet défavorable du pH alcalin sur la dissolution des éléments minéraux, ce qui entraîne un déséquilibre ionique dans ce dernier.

Les travaux de [124], ont montré que les effets osmotiques du stress salin peuvent également limiter la croissance des racines, ce qui limite les possibilités d'absorption des éléments nutritifs du sol.

D'après les travaux de [124] in (MUNNS, 2002) montrent que sous contrainte saline, la plante dépense plus d'énergie photosynthétique pour maintenir un statut hydrique élevé et pour la production de racines en vue de la recherche d'eau et/ou la réduction de la perte d'eau. Dans ces conditions, il semble que l'arrêt de la croissance foliaire soit déclenché par des signaux hormonaux et une part importante des photosynthétats soit alors réallouée à la croissance racinaire. C'est l'une des réponses anatomiques clés aux stress osmotiques chez de nombreuses espèces, dont le caractère adaptatif apparaît évident puisqu'une augmentation du ratio masse des racines / masse de la partie aérienne maximise la surface d'absorption de l'eau en diminuant la surface d'évaporation.

5.1.7. EFFET DU TRAITEMENT SUR LA BIOMASSE SÈCHE :

5.1.7.1. BIOMASSE SÈCHE DE LA PARTIE AÉRIENNE :

Poids sec total (feuilles+ tiges) est présenté dans les tableaux suivants :

Tableau 5.1 : Poids sec de la partie aérienne (feuilles + tiges) des plantes de haricot en (g).

Paramètres étudiés traitements	T1	T2	T3	T4	T5
Poids sec des feuilles de haricot en (g)	3,59 ± 1,08 (a)	1,48 ± 0,32 (b)	3,57 ± 0,51 (a)	1,71 ± 0,62 (b)	3,89 ± 0,93 (a)
Poids sec des tiges de haricot en (g)	1,21 ± 0,55 (a)	0,86 ± 0,26 (c)	1,12 ± 0,4 (ab)	1,04 ± 0,51 (b)	1,23 ± 0,43 (a)
Poids sec totale (feuilles + tiges) en (g)	4,80 ± 0,86 (b)	2,34 ± 0,42 (d)	4,69 ± 0,67 (b)	2,75 ± 0,81 (c)	5,12 ± 1,29 (a)

Tableau 5.2 : Poids sec de la partie aérienne (feuilles+ tiges) des plantes de la tomate en (g).

Paramètres étudiés traitements	T1	T2	T3	T4	T5
Poids sec des feuilles de la tomate en (g)	4,43 ± 1,87 (c)	1,23 ± 0,46 (e)	6,38 ± 3,27 (b)	2,95 ± 2,16 (d)	10,91 ± 2,68 (a)
Poids sec des tiges de la tomate en (g)	1,63 ± 0,24 (b)	0,54 ± 0,27 (d)	1,61 ± 0,51 (b)	0,9 ± 0,78 (c)	2,81 ± 0,78 (a)
Poids sec totale (feuilles + tiges) en (g)	6,06 ± 2,03 (c)	1,77 ± 0,63 (e)	7,99 ± 2,63 (b)	3,85 ± 2,77 (d)	13,72 ± 2,77 (a)

Analyse de la variance révèle un effet très hautement significatif ($P < 0,001$) du facteur traitement sur la biomasse sèche totale (Annexe n° 1, Tableau 11 et 12). Le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir quatre groupes et cinq groupes homogènes pour le haricot et la tomate respectivement, tableau (5.1 et 5.2).

Une meilleure performance est enregistrée chez les plantes alimentées par la solution saline totalement corrigées T5, suite à son équilibre ionique parfait et à sa composition chimique parfaite pour la croissance des plantes. Les traitements

partiellement corrigés T1 et T3 améliorant d'avantage le poids sec total quelque soit l'espèce testées. De ce fait on peut dire que la correction du pH à un effet sur l'équilibre ionique des éléments minéraux, qui induit une augmentation de l'absorption hydrominérale malgré que le milieu soit salin.

Les résultats obtenus chez les plantes alimentées par le traitement salin naturel T4 sont expliquées par l'alcalinité du traitement ($\text{pH} > 7$), qui est défavorable à la dissolution des éléments minéraux. Aussi, la présence d'un taux de sel important dans ce milieu engendre une pression osmotique élevée qui se traduit par un déséquilibre ionique par conséquent une mauvaise alimentation hydrominérale des plantes étudiées et par conséquent une diminution de la matière sèche.

Nos résultats concordent avec ceux obtenus dans les travaux de [146], [132], où ils ont été démontrés que le stress salin provoque l'inhibition de la croissance pondérale de la matière sèche. [57] il note aussi que la salinité inhibe la croissance des organes de la partie aérienne ce qui se présente très visiblement sur le squelette de ces plantes entraînant un faible taux de la biomasse sèche totale produite.

A l'image de nos résultats [147] 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.

Dans le même d'ordre d'idée, les travaux de [148] ont montré également que la réduction de la production de la matière sèche correspond à une diminution du nombre des feuilles par plante, de la surface foliaire et vraisemblablement de l'activité photosynthétique.

5.1.7.2. BIOMASSE SÈCHE DE LA PARTIE RACINAIRE :

La biomasse sèche de la partie racinaire des plantes de deux espèces étudiées sont présentées dans les tableaux suivants :

Tableau 5.3: Poids sec de la partie racinaire des plantes de haricot en (g).

Paramètre étudiés traitements	T1	T2	T3	T4	T5
Poids sec des racines de haricot en (g)	1,51 ± 0,84 (a)	0,80 ± 0,38 (c)	1,51 ± 0,85 (a)	0,70 ± 0,62 (c)	1,02 ± 0,34 (b)

Tableau 5.4 : Poids sec de la partie racinaire des plantes de la tomate (g).

Paramètre étudiés traitements	T1	T2	T3	T4	T5
Poids sec des racines de la tomate en (g)	2,45 ± 0,88 (b)	1,71 ± 0,42 (c)	2,67 ± 0,82 (a)	1,37 ± 0,68 (d)	2,73 ± 0,51 (a)

Analyse de la variance révèle un effet très hautement significatif ($P < 0,001$) du facteur traitement sur la biomasse sèche racinaire totale (Annexe n° 1, Tableau 13 et 14).

Test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir trois et quatre groupes homogènes au niveau de haricot et la tomate respectivement.

Au niveau de l'espèce du haricot nous avons enregistré des meilleures performances chez les plantes alimentées par les traitements partiellement corrigées (T1, T3) avec une valeur de 1,51g, suivi par le traitement totalement corrigé T5 avec une valeur de 1,02g. Ceci en raison de la sensibilité de haricot à la salinité, dans ce cas la, les racines sont les plus affecté par le NaCl. La réduction de la surface racinaire c'est une sorte d'adaptation a la salinité pour minimisé le taux d'absorption des éléments toxiques (Na^+ , Cl^-) à la plantes, cette constatation explique l'élévation de la matière sèche dans les milieux partiellement corrigées T1 et T3 par rapport au milieu totalement corrigé (T5).

Au niveau de la tomate, la meilleure performance est observée chez les plantes alimentées par le traitement totalement corrigé (T5) avec une valeur de 2,73g, suivi par les traitements partiellement corrigés (T3 et T1) avec des valeurs de (2,67 et 2,47 g) respectivement. Pouvant être expliqué par la sensibilité moyenne de la tomate à la salinité.

Traitement partiellement corrigé (T2) est enregistré des faibles valeurs de la biomasse sèche racinaire, cela est dû à l'effet de la concentration des sels sur la diminution de la biomasse sèche des racines.

Des résultats similaires, ont été rapportés par plusieurs auteurs, entre autres [149] qui ont expliqué que la réduction de la biomasse sèche était en relation direct avec la salinité qui réduit énormément les teneurs en N, P, K⁺, Mg⁺⁺ et Ca⁺⁺ en accentuant l'accumulation du Na⁺ du Cl⁻ qui s'avèrent être très nocifs pour la croissance des plantes.

5.1.7.3. EFFET DU TRAITEMENT SUR LA MATIÈRE SÈCHE TOTAL (%) :

Taux de la matière sèche totale est calculé par la règle suivante :

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

Résultats de taux de la matière sèche de la partie aérienne et racinaire de deux espèces étudiées sont présentés dans les tableaux suivant :

Tableau 5.5 : Taux de la matière sèche totale des plants de haricot (%) :

Paramètre étudiés traitements	T1	T2	T3	T4	T5
Taux de la matière sèche totale (feuille + tiges) (%)	12,53 ± 2,41 (a)	12,69 ± 1,73 (cd)	12,76 ± 0,96 (c)	13,41 ± 1,51 (b)	12,24 ± 2,17 (d)
Taux de la matière sèche des racines (%)	12,32 ± 2,23 (a)	10,4 ± 1,38 (e)	12,69 ± 2,43 (b)	13,9 ± 3,09 (c)	11,31 ± 2,55 (d)

Tableau 5.6 : Taux de la matière sèche totale des plantes de la tomate (%) :

Paramètre étudiés traitements	T1	T2	T3	T4	T5
Taux de la matière sèche totale (feuille + tiges) (%)	11,09 ± 1,71 (c)	9,26 ± 1,58 (d)	13,01 ± 1,97 (a)	16,97 ± 1,89 (b)	10,71 ± 1,75 (c)
Taux de la matière sèche des racines (%)	13,25 ± 1,17 (a)	12,93 ± 1,51 (d)	13,64 ± 3,63 (a)	14,55 ± 1,89 (c)	11,50 ± 2,04 (b)

Analyse de la variance révèle un effet très hautement significatif ($P < 0,001$) du facteur traitement sur la biomasse sèche totale (Annexe n° 1, Tableau 15 et 16). Le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir des groupes homogènes pour chaque paramètre étudié, sont présentés dans les tableaux ci-dessus.

Présence des ions nocifs dans la solution d'irrigation provoque donc une réduction de la matière fraîche et par conséquent une augmentation dans le taux de la matière sèche (%). Des résultats similaires ont été rapportés par [150] qui confirment que la salinité manifeste par l'apparition des nécroses foliaires, signes d'une toxicité au niveau des feuilles et des tiges. Cela rapproche le taux de la matière sèche totale à celui de la matière fraîche totale.

D'après les travaux de [151] où il indique qu'une forte salinité des eaux induisait une réduction de la croissance et une élimination partielle du feuillage par sénescence prématurée. Aussi dans les travaux de [152] où il ajoute que ces teneurs élevées en sel provoquaient une sécheresse physiologique hâtive, ce qui rend l'absorption de l'eau et des nutriments par les plantes stressées de plus en plus difficile.

En outre, ce taux élevé de matière sèche au niveau des traitements salins naturels s'explique par une forte accumulation d'éléments minéraux et de matières solides (sucres principalement). Cependant, cette hausse du taux de matière sèche est souvent accompagnée par une réduction de la taille des fruits [153].

5.2. EFFET DU TRAITEMENT SUR LES PARAMÈTRES BIOCHIMIQUES :

5.2.1. QUANTITÉ DU PROLINE ACCUMULÉ :

Proline est un acide aminé synthétisé par la plante pour affronter un stress environnemental. D'après les travaux de [119] où il montre que sur le plan biochimique, la proline est très citée comme "élément osmorégulateur". L'accumulation de cet acide aminé est suggérée comme indice de résistance non seulement au stress salin mais également au stress hydrique.

Nous avons réalisé un dosage de proline dans les feuilles médianes de deux espèces étudiées, pour avoir la réaction des plantes traitées par les cinq traitements utilisés au stress salin sur le plan biochimique. Les résultats sont présentés dans les figures ci-dessous.

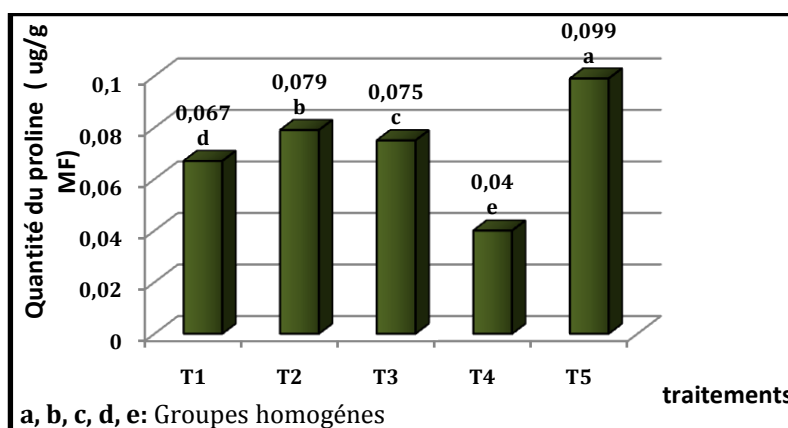


Figure 5.21 : Quantité du proline accumulé dans les feuilles du haricot (ug/g MF).

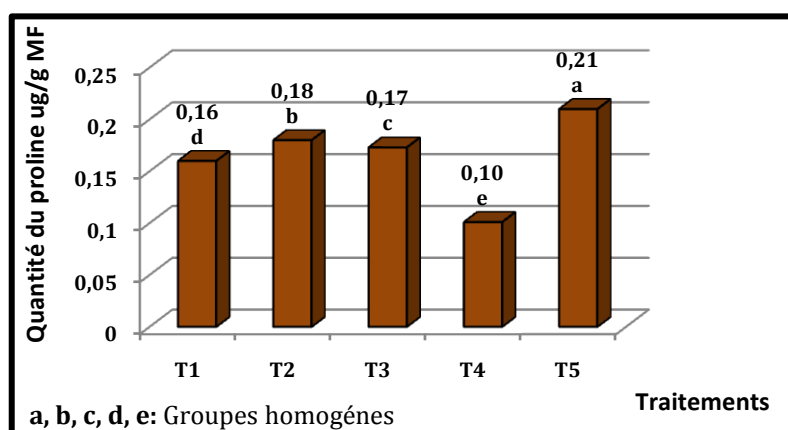


Figure 5.22 : Quantité du proline accumulé dans les feuilles de tomate (ug/g MF).

Analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative ($P < 0,001$) entre les différentes valeurs du proline produite au niveau des feuilles médianes chez les deux espèces étudiées (Annexe n°02, Tableau 1 et 2). Ceci met en évidence l'influence des différents traitements sur le paramètre étudié.

En effet, le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir cinq groupes homogènes pour chaque espèce étudiée.

Correction de l'eau saline naturel (T4) améliore considérablement l'absorption hydrominérale des plantes de ce fait on peut dire que le milieu nutritif est convenable pour la croissance de la plante.

Teneurs en proline foliaire au niveau du traitement salin totalement corrigé T5 atteignent un accroissement d'environ de deux fois plus élevé par rapport au traitement salin naturel T4 au niveau de deux espèces étudiées, avec une valeur de 0,09 ug/g MF chez le haricot et 0,21ug/g MF chez la tomate ceci en raison de la présence d'un taux de sel élevé dans ce traitement, soit de 5,11g/l. Suivi par les traitements T2, T3, T1 avec des valeurs de 0,079 ug/g M.F, 0,075 ug/g M.F et 0,067 ug/g M.F respectivement chez l'haricot, et de 0,18 ug/g M.F, 0,17 ug/g M.F et 0,16 ug/g M.F respectivement chez la tomate. A partir de ces résultats nous constatons qu'il y a une corrélation entre la quantité du proline et la concentration des sels, cela est expliqué par l'osmolarité externe est donc plus forte, et qui nécessite un ajustement de l'osmolarité interne encore plus forte (pour ne pas se déshydraté car l'eau va du milieu de moins concentrés vers le milieu le plus concentré) et qui ce traduit par une production accrue de proline.

Des résultats similaires ont été trouvés par [154], où ils sont indiqués que l'augmentation de la teneur en proline dans les feuilles est en fonction de l'augmentation de la salinité. D'après les travaux de [155], où il note que l'élévation des teneurs de la solution d'irrigation en sel est accompagnée parallèlement par un accroissement relativement régulier de proline.

De nombreux travaux de [156], [157] et [131], avaient déjà mentionné que le rôle prépondérant de l'accumulation des osmotocums et notamment de la proline et des sucres solubles dans le cas de stress osmotique.

D'après les travaux de [113] ont montré que les mécanismes d'adaptation permettent aux plantules de maintenir la turgescence foliaire en diminuant le potentiel hydrique favorisant ainsi l'absorption d'eau malgré la présence du sel dans le sol. Aussi [158] il note que le rôle attribué à la proline dans la réponse des plantes aux stress, son accumulation contribue à l'acquisition de la résistance de la plante à la contrainte saline grâce à l'ajustement osmotique dont la proline est responsable. Elle pourrait, également, intervenir dans la régulation du pH cytoplasmique ou constituer une réserve de carbone et d'azote réduits, utilisés par la plante postérieurement à la période du stress.

Des observations similaires ont été trouvées dans les travaux de [5] où il note que dans les conditions de stress hydrique, la cellule entraîne une accumulation élevée de la proline endogène et pourrait donc constituer une approche efficace pour atténuer les effets néfastes de la dessiccation. En plus de son rôle dans l'ajustement osmotique, elle protège les enzymes, les structures des protéines et les membranes des organites. Elle fournit également de l'énergie pour la croissance et la survie de la plante.

Aussi, dans les travaux de [7] ont montré que l'accumulation de la proline, induite par le stress, peut être le résultat de trois processus complémentaires, stimulation de sa synthèse, inhibition de son oxydation et/ou altération de la biosynthèse des protéines.

Stress osmotique perçu par les plantes de traitement (T4) induit une repense de défense par une production de proline pour ajusté l'osmolarité interne mais qui reste inférieure à celle produite par les plantes alimentées par les solutions salines partiellement corrigées et totalement corrigées, ceci est dû au fait que le traitement T4 est chargé de sel déséquilibrés donc crée un potentiel osmotique externe plus fort.

D'après les travaux de [11] montrent que dans les conditions normales, la proline est presque absente car elle est oxydée au fur et à mesure de sa formation. L'augmentation de la concentration de la proline a été observée chez plusieurs plantes soumises à une contrainte hydrique.

Accumulation de la proline serait attribuée à l'effet inhibiteur du stress sur son oxydation dans les mitochondries, ainsi que sur son incorporation dans les protéines. La néosynthèse de la proline serait déclenchée par la perte de la turgescence due à la salinité. Celle-ci active une série d'événements complexes corrélés avec le niveau du stress, la tolérance de la plante et sa croissance [121].

5.2.2. QUANTITÉ DE SUCRES SOLUBLES PRODUITE :

D'après les travaux de [131] où il note que certains composés notamment les sucres solubles et la proline s'accumulent dans les tissus des plantes cultivées sous stress salin. Ils seraient impliqués dans des mécanismes d'ajustement osmotique.

Moyennes révélées du sucre soluble de deux espèces étudiées sont présentés dans les figures suivantes :

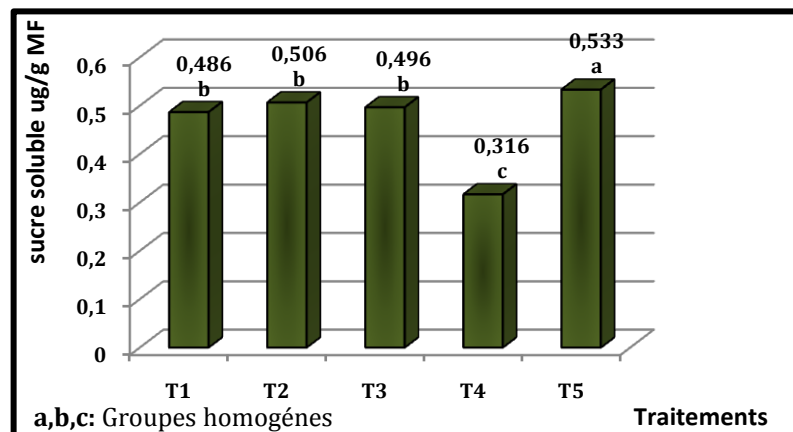


Figure 5.23 : Quantité de sucre soluble dans les feuilles de haricot en (ug/g MF).

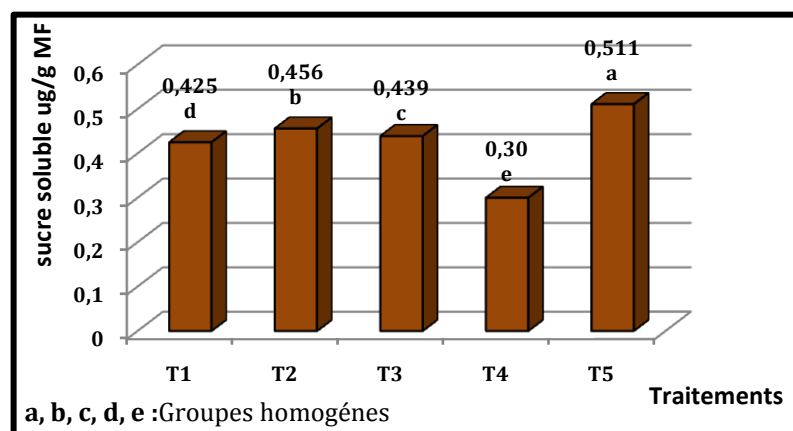


Figure 5.24 : Quantité de sucre soluble dans les feuilles de la tomate (ug/g MF).

Analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative ($P < 0,001$) entre les différentes quantités de sucres solubles dans les feuilles mesurées de la tomate et de l'haricot (Annexe n°02, Tableau 3 et 4).

Test de Newman et keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir trois groupes homogènes au niveau du haricot et cinq groupes homogènes au niveau de la tomate, figures (5.23 et 5.24).

Irrigation des plantes par la solution saline totalement corrigée (T5) manifestent le taux de sucres solubles le plus élevé, avec des valeurs de 0,611 $\mu\text{g/g}$ MF chez la tomate et 0,533 $\mu\text{g/g}$ MF chez l'haricot. Les traitements partiellement corrigées T1, T2 et le T3 tout en améliorant le paramètre mesuré par rapport à la même solution saline naturelle (T4). Ces constatations mettent en évidence l'existence d'une corrélation positive entre la quantité des sucres solubles produite au niveau des feuilles et la correction des eaux salines.

Quantité de sucre soluble la plus faible est enregistrée au niveau des plantes alimentées par le traitement salin naturel (T4), avec des valeurs de 0,316 $\mu\text{g/g}$ MF et 0,246 $\mu\text{g/g}$ M.F chez l'haricot et la tomate respectivement. Pouvant être expliquée par une faible activité photosynthétique qui nécessite une grande quantité d'énergie sous forme d'ATP, aussi, pH de la solution est alcalin et avec une concentration importante de sel dans ce dernier ce qui influencé sur l'absorption hydrominérale de la plante.

Nous constatons qu'il y a une augmentation des sucres solubles dans le traitement partiellement corrigé par l'acide phosphorique (T2) de ce fait, on peut dire que le $\text{pH}=5,5$ est favorable à la dissolution des éléments minéraux dans le milieu et surtout lors de la combinaison du phosphore avec le calcium qui sera insoluble dans un milieu alcalin ; aussi, le phosphore est un autre facteur qui intervient sur l'augmentation de teneur de sucre soluble par le transfert de l'énergie.

Selon les travaux de [152] le phosphore est un aliment minéral le plus limitant pour les plantes, joue un rôle capital dans le transfert d'énergie, le règlement métabolique, et l'activation de protéine, il se trouve dans la plante sous forme de phospho-esters, comprenant les glucides phosphorylés qui jouent un rôle

extrêmement important dans la photosynthèse, dans le même d'ordre d'idée, les travaux de [159] ont montré que le phosphore rentre dans tous les processus de croissance et sa répartition dans les tissus est très inégale, et il augmente généralement avec la teneur en azote.

Des observations similaires ont été observées dans les travaux de [160] sur le haricot et le riz, et dans les travaux de [161], sur le tournesol.

Des résultats semblables sont identifiés par les travaux de [131] où il confirme le contenu foliaire en sucres solubles est significatif lorsque la salinité des eaux d'irrigation devient très importante.

D'après les travaux de [113] ont montré que l'augmentation de la teneur en sucres solubles lors d'un stress salin est parmi les phénomènes les plus observés dans la réponse au stress. Cette augmentation serait due à une modification d'activités enzymatiques liées au métabolisme glucidique. Ainsi, les plantes de riz soumises à un stress salin, il ya une diminution de l'activité du fructose 2-6-biphosphatase (F26BP), conduisant à une accumulation du saccharose et contribuant ainsi à l'augmentation de la tolérance au sel chez certaines variétés en augmentant l'osmolarité interne des cellules et les réserves disponibles en carbone.

Dans les travaux de [162] où il note que si les cellules sont limitées en azote, elles accumulent plus de réserves glucidiques car le glucose est dirigé préférentiellement vers la formation d'amidon, au lieu de fournir les précurseurs carbonés nécessaires à la synthèse des acides aminés, éléments de base des protéines. Ces réserves glucidiques pourront lors être utilisées par la cellule pour synthétiser les acides aminés.

5.2.3. EFFET DU TRAITEMENT SUR LA CHLOROPHYLLE :

5.2.3.1. QUANTITÉ DE CHLOROPHYLLE (A) :

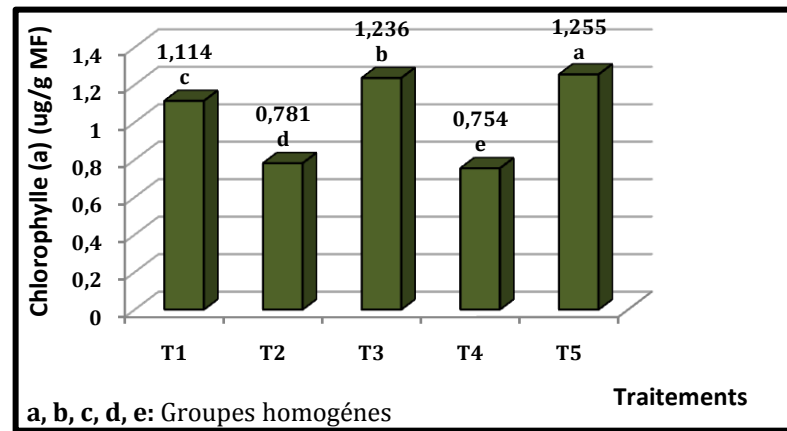


Figure 5.25 : Quantité de la chlorophylle (A) chez les plantes de haricot.

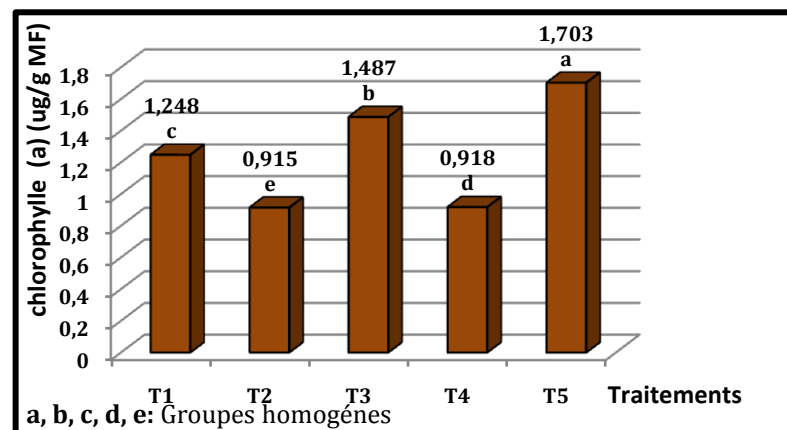


Figure 5.26 : Quantité de la chlorophylle (A) chez les plantes de tomate.

Analyse de la variance montré qu'il existe une différence hautement significative ($P < 0,001$) du facteur traitement sur la quantité de la chlorophylle (A) dans les feuilles médianes des plantes de tomate et du haricot (Annexe n°02, Tableau 5 et 6).

En effet, le test de Newman et keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir cinq groupes homogènes pour les deux espèces étudiées. Cependant, les plantes traitées par les solutions salines partiellement corrigées (T1, T3) et totalement corrigées (T5) synthétisent une quantité importante de la fluorescence chlorophyllienne (A).

Une meilleure performance est enregistrée chez les plantes alimentées par le traitement T5 avec des valeurs de 1,255 et 1,703 ug/g MF chez le haricot et la tomate respectivement, ceci met en évidence de l'importance de la présence des éléments fertilisant dans ce traitement notamment l'azote, le phosphore, le potassium, le fer et les oligoéléments ; aussi, le pH est autre facteur qui intervient sur cette augmentation par leur influence sur la dissolution des éléments minéraux et par conséquent un équilibre ionique parfait tout en améliorant l'alimentation hydrique des plantes dans un milieu salin, ce qui se traduit par un croissance de la partie aérienne notamment le processus de la photosynthèse et la quantité de la chlorophylle produite chez les deux espèces étudiées.

Résultats obtenus au niveau des plantes alimentées par les traitements partiellement corrigées (T1, T3) ont amélioré d'avantage le paramètre mesurés par rapport au traitement totalement corrigés, avec des valeurs de 1,11 et 1,23 ug/g MF respectivement chez le haricot, et de 1,24 et 1,48 ug/g MF respectivement chez la tomate. Ceci en raison de la présence de l'azote dans le milieu qui améliore la surface foliaire de la plante, cette constatation est confirmée par une faible quantité de la chlorophylle chez les plantes alimentées par la solution saline naturelle (T4) et les plantes traitées par le (T2).

Des observations similaire ont été observées dans les travaux de [163] où il montre que l'azote est prélevé en plus grandes quantités que les autres éléments, il est l'élément nutritif le plus limitant pour les cultures, est un composant principal de la chlorophylle et donne une couleur verte foncée et améliore la qualité du feuillage.

Quantité de la chlorophylle chez les plantes alimentées par le traitement partiellement corrigée par l'acide phosphorique (T2) reste faible malgré qu'il ya des nodosités au niveau des racines de haricot et qui intervient sur la fixation de l'azote. De ce fait, on peut dire que cette fixation est reste limitée dans un milieu salin. D'après les travaux de [131] on montré que le processus d'installation de la nodosité est plus sensible au stress osmotique. Chez le trèfle ils ont observé une chute du nombre de nodules par unité de masse racinaire en fonction du degré de la salinité accompagnée d'une résistance relative de la croissance des racines.

Excès de sel est un facteur qui influe sur la quantité de la chlorophylle produite, au niveau des plantes traitées par la solution saline naturelle T4.

Des résultats semblables sont identifiés par les travaux de [61] où il montre que la concentration en sel excède le niveau de tolérance de la plante, des perturbations fonctionnelles apparaissent au niveau de la photosynthèse, par effet du sel dans le stroma des chloroplastes qui perturbe le transport des électrons. La glycolyse et le cercle de Krebs sont aussi affectés. L'acquisition des nutriments minéraux, comme le potassium, les nitrates ou le calcium sont également réduites. La plante montre alors des signes de stress par la production d'anthocyanes ou la destruction de la chlorophylle.

5.2.3.2. QUANTITÉ DE LA CHLOROPHYLLE (B) :

Résultats obtenus de dosage de la chlorophylle (B) sont présentés dans les figures suivantes :

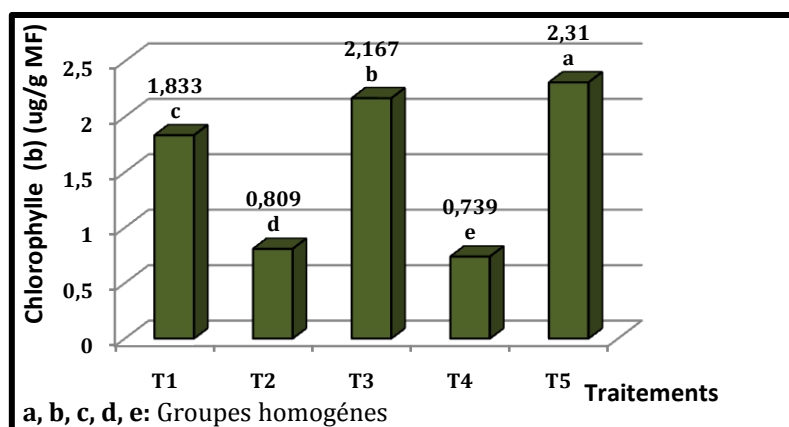


Figure 5.27 : Quantité de la chlorophylle (B) chez les plantes du haricot.

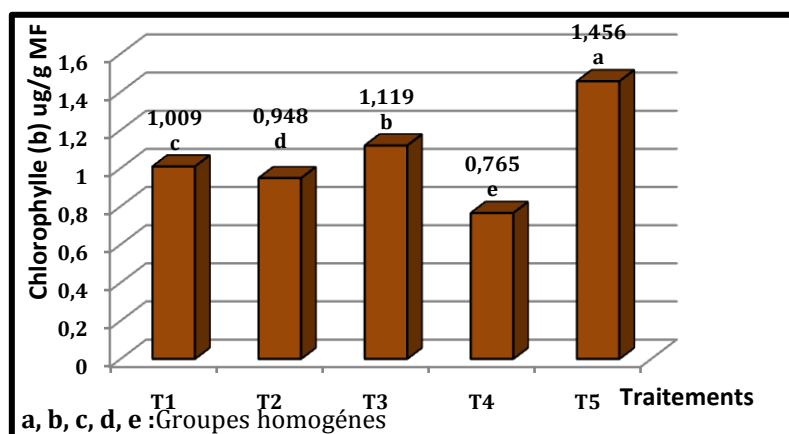


Figure 5.28: Quantité de la chlorophylle (B) chez les plantes de tomate.

Analyse de la variance montré qu'il existe une différence hautement significative ($P < 0,001$) du facteur traitement sur la quantité de la chlorophylle (B) dans les feuilles médianes des plantes de tomate et du haricot (Annexe n°02, Tableau 7 et 8).

En effet, le test de Newman et keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir cinq groupes homogènes pour les deux espèces étudiées. Cependant, les plantes traitées par les solutions salines partiellement corrigées (T1, T3) et totalement corrigée (T5) synthétisent la plus grande quantité de fluorescence chlorophyllienne (B).

D'après les résultats cités dans les figures (5.27 et 5.28) nous observons que les plantes traitées par les solutions salines partiellement corrigées le T1 et T3 et totalement corrigées le T5 synthétisent une quantité importante de la chlorophylle (B) par rapport au plantes alimentées par la solution saline naturelle (T4) avec des valeurs qui correspondent 1,833 ug/g MF, 2,167 ug/g MF et 2,310 $\mu\text{g/g}$ MF respectivement chez le haricot, et de 1,009 ug/g MF, 1,119 ug/g MF et 1,456 ug/g MF respectivement chez la tomate.

Traitement totalement corrigées (T5) est caractérisée par un taux de sel élevé soit de 5,11 g/l par rapport aux autres traitements utilisés, et tout en améliorant la quantité de la chlorophylle (B) produite, quelque soit l'espèce testées (tomate et haricot). Ceci en raison de l'effet du pH à 5,5 sur la dissolution des éléments minéraux dans un milieu salin et favorise un équilibre ionique parfait ce qui se traduit par une élévation de l'absorption hydrominérale. Cette constatation est confirmée par les faibles valeurs obtenues chez les plantes alimentées par le traitement salin naturel (T4) avec un pH de 7,8.

Résultats obtenus chez les plantes alimentées par la solution salines partiellement corrigée T2 avec des valeurs de 0,809 et 0,948 ug/g MF chez le haricot et la tomate respectivement. Ceci en raison de l'absence de certains éléments fertilisants notamment l'azote, qui est intervient sur l'augmentation de la surface foliaire des plantes et sur le processus de la photosynthèse. La quantité de la chlorophylle (B) chez plantes de la tomate traitées par le T2 est élevée par

rapport aux plantes du haricot arrosée par le même traitement, cela est dû au degré de la sensibilité du haricot à la salinité est plus fort que la tomate.

D'après les travaux de [164] où il montre que la diminution de la quantité de chlorophylle est liée à la diminution de la quantité relative en eau qui est due essentiellement, à la réduction des échanges du CO₂, limitée par une fermeture des stomates. Ce phénomène engendre par conséquent la résistance de la feuille à la diffusion du CO₂, cette constatation se confirme par la diminution de la capacité photosynthétique de la plante entière due à la réduction des surfaces foliaire de la plante.

Des résultats similaires ont été trouvés dans les travaux de [165] où ils montrent que dans un milieu salin, le taux de chlorophylle (B) est affecté en raison des perturbations coursées au niveau des chloroplastes.

Les travaux de [122] ont montré que, au niveau de la nutrition carbonée, l'action du NaCl résulterait de l'accumulation de Na⁺ et Cl⁻ dans les organes foliaires empêchant le déroulement normal des processus photosynthétiques.

Les résultats obtenus chez les plantes alimentées par le (T2) sont des résultats semblables aux travaux de [162] où il montre que la diminution de l'azote dans le milieu entraîne une baisse de la capacité photosynthétique de la cellule. Le déclin de cette activité s'explique d'une part par la baisse de la concentration en protéines et d'autre part par la diminution de la quantité de chlorophylle dans la cellule. Cette baisse d'activité photosynthétique diminue la capacité de la cellule à utiliser l'énergie lumineuse captée pour la transformée en produits carbonés.

Aussi, dans les travaux de [121] ont montré que la réduction de la chlorophylle 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)

5.2.3.3. QUANTITÉ DE LA CHLOROPHYLLE (C) (CAROTÉNOÏDES) :

Les résultats du dosage de la chlorophylle (C) présentées dans les figures suivantes :

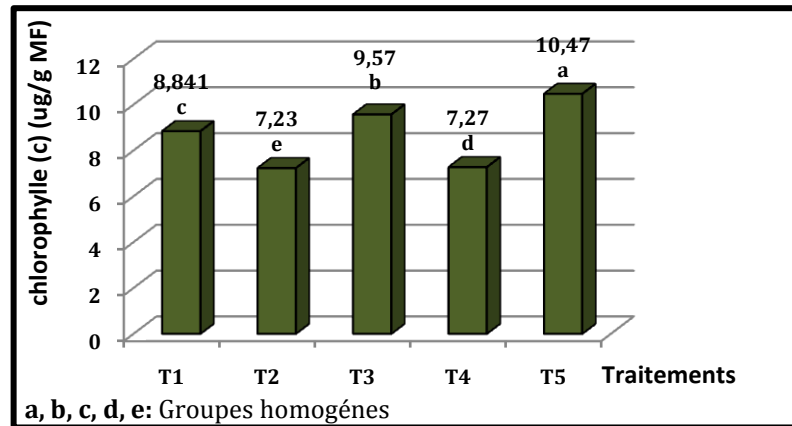


Figure 5.29: Quantité de la chlorophylle (C) chez les plantes de haricot, [$\mu\text{g/g MF}$]

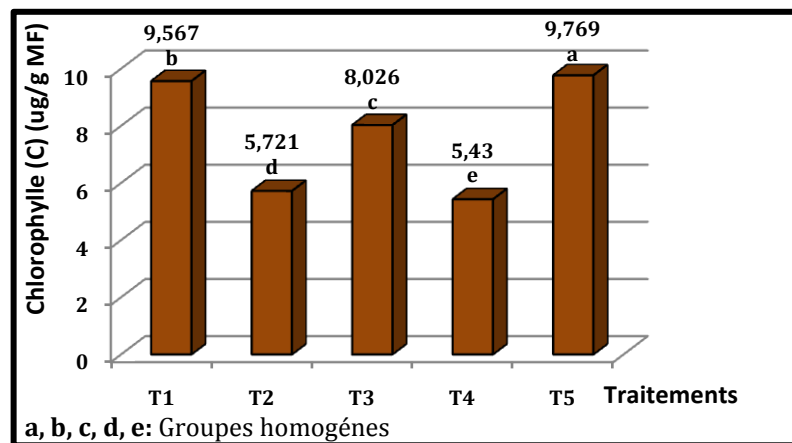


Figure 5.30: Quantité de la chlorophylle (C) chez les plantes de tomate, [$\mu\text{g/g MF}$]

Analyse de la variance montre qu'il existe une différence hautement significative ($P < 0,001$) du facteur traitement sur la quantité de la chlorophylle (C) dans les feuilles médianes des plantes de tomate et du haricot (Annexe n°02, Tableau 9 et 10).

En effet, le test de Newman et keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir cinq groupes homogènes pour les deux espèces étudiées.

La meilleure performance est enregistrée chez les plantes alimentées par le traitement totalement corrigé (T5) avec des valeurs de 10,47 et 9,76 $\mu\text{g/g MF}$ chez le haricot et la tomate respectivement. Les traitements partiellement corrigés T1 et

T3 permettent d'avoir chez les deux espèces des plantes présentant des teneurs en chlorophylles (C) également importantes, avec des valeurs de 9,57 et 8,84 ug/g MF chez le haricot respectivement aux traitements (T3, T1), et par des valeurs de 9,56 et 8,02 ug/g MF chez la tomate respectivement aux traitements (T1, T3), ceci en raison de l'effet du pH favorable sur la dissolution des éléments minéraux dans les milieux salins naturels, permettant ainsi leur assimilation par les plantes.

Plantes alimentées par la solution saline partiellement corrigée par l'acide phosphorique (T2) manifestent une quantité de caroténoïdes faible par rapport aux autres traitements partiellement corrigés T1 et T3 et totalement corrigé T5 ceci peut s'expliquer par l'absence de certains éléments fertilisant notamment l'azote et les oligo-éléments dans ce milieu.

Dans les travaux de [152] ont montré que l'azote est un élément-clé de la nutrition des cultures à travers son rôle dans l'élaboration des protéines et de la chlorophylle. Aussi [166] il ajoute que l'azote joue un rôle essentiel dans la synthèse de la matière vivante à partir de la matière minérale.

5.3. EFFET DU TRAITEMENT SUR LES PARAMÈTRES DE QUALITÉ :

5.3.1. QUANTITÉ DES SUCRES TOTAUX DANS LES FRUITS [%] :

Résultats de ce paramètre sont présentés dans les figures ci-dessous :

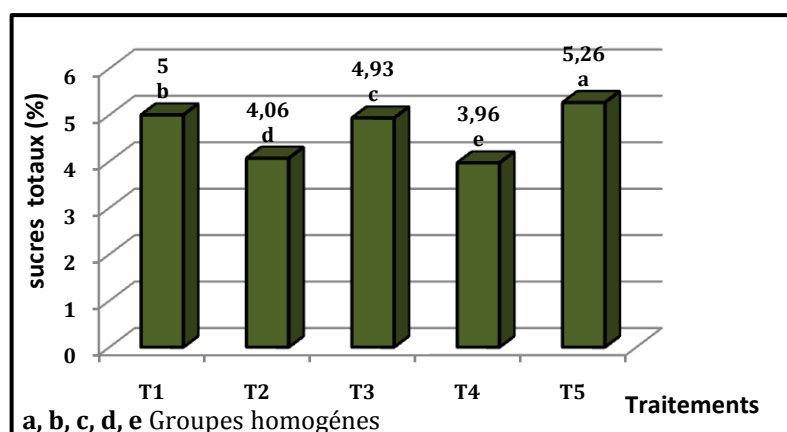


Figure 5.31 : Quantité de sucres totaux dans les gousses de haricot en (%)

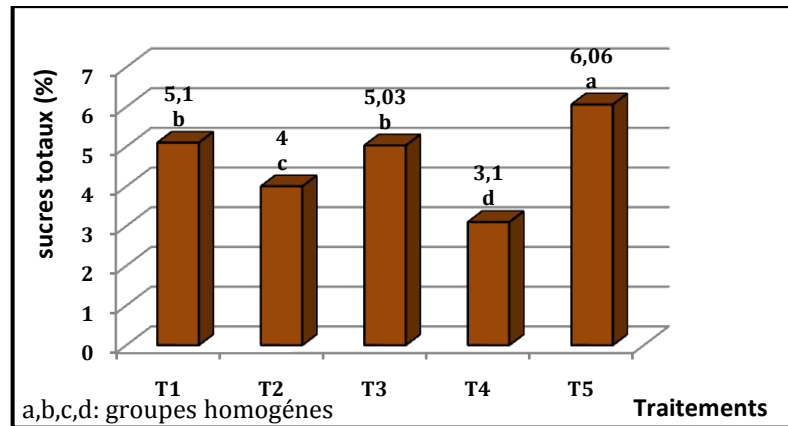


Figure 5.32 : Quantité de sucres totaux dans les fruits de la tomate en (%).

Analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative de l'effet de traitement sur la quantité de sucres totaux produite dans les fruits de la tomate et dans les gousses de haricot (Annexe n° 3, Tableau 1 et 2). Le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir cinq groupes homogènes chez le haricot et quatre groupes homogènes chez la tomate.

Les fruits récoltés à partir des plantes irrigués par des traitements salins corrigés (T1, T2, T3 et T5) tout en améliorant la teneur de sucres totaux des fruits de deux espèces étudiées, avec des valeurs qui correspondent (5,1%, 4%, 5,03% et 6,06 %) chez la tomate, et (5%, 4,06%, 4,93% et 5,26%) chez l'haricot.

Contrairement, les plantes alimentées par le traitement salin naturel (T4) sont présentées par des valeurs faibles, ceci est dû aux déséquilibres ioniques grâce à l'alcalinité de ce milieu, ce qui se traduit par une mauvaise absorption des éléments minéraux et par conséquent la diminution de la teneur en sucre totaux dans les fruits.

Nous constatons que la correction des eaux salines naturelles améliore d'avantage la quantité de sucres totaux dans les fruits de deux espèces étudiées. D'après [152] il note que l'amélioration de la quantité de sucre dans les fruits est due à une baisse d'utilisation des sucres pour la croissance, et donc dépend de l'aptitude de la plante à croître en conditions de salinité lorsque le milieu salin est corrigé.

Azote a un effet sur l'amélioration de la quantité de sucre dans les fruits, d'après les travaux de [163] il note que l'azote a des impacts sur la quantité

(grains, racine) et sur la qualité (protéine, teneur en sucre) de la récolte. Dans le même d'ordre d'idées, les travaux de [158] ont montré que une augmentation des sucres totaux résultant d'un blocage de la glycolyse ou du saccharose provenant d'une forte hydrolyse de l'amidon.

Des résultats comparables ont été rapportés par [131] chez le riz cultivé sous stress salin, il a été observé une dégradation de l'amidon et une accumulation des sucres.

Correction du pH est un autre facteur qui intervient sur l'augmentation des sucres totaux dans les fruits, par leur influence sur la dissolution des éléments minéraux dans les traitements corrigés tout en améliorant l'absorption hydrominéral des plantes.

Les plantes traitées par la solution saline naturelle T4 au niveau de deux espèces étudiées présentant par des valeurs faible de la quantité de sucre dans les fruits, ceci peut s'expliquer par l'effet néfaste de la salinité sur ce paramètre mesuré. De ce fait, on peut dire que les plantes testées produisent des fruits et des gousses les moins sucrées étant donné que ces osmo-régulateur sont utilisées pour la survie des plantes.

Dans ce contexte [152] montre que l'excès de sel peut provoquer des problèmes de membranes, des inhibitions enzymatiques ou un dysfonctionnement métabolique général, d'où une photosynthèse réduite induisant une réduction de la synthèse glucidique.

5.3.2. TAUX DE VITAMINES « C » DANS LES FRUITS :

Nous avons préconisées un dosage de la vitamine « c » dans les fruits récoltés de deux espèces traités par cinq traitements différents.

Les résultats obtenus sont présentés dans les figures suivantes :

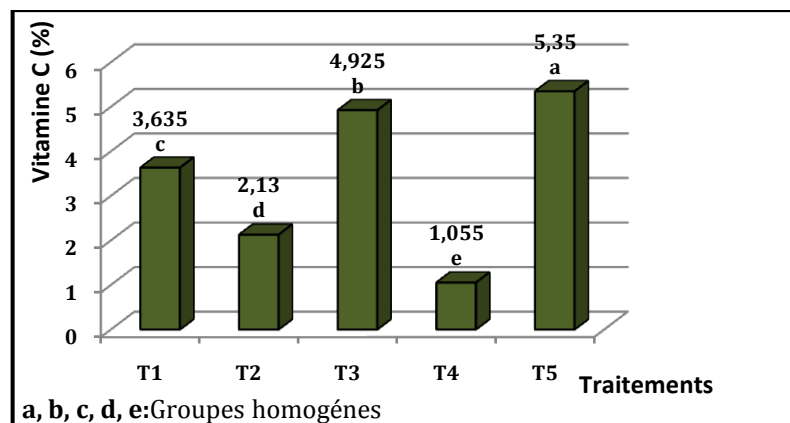


Figure 5.33 : Taux de vitamines « C » dans les gousses de haricot (%).

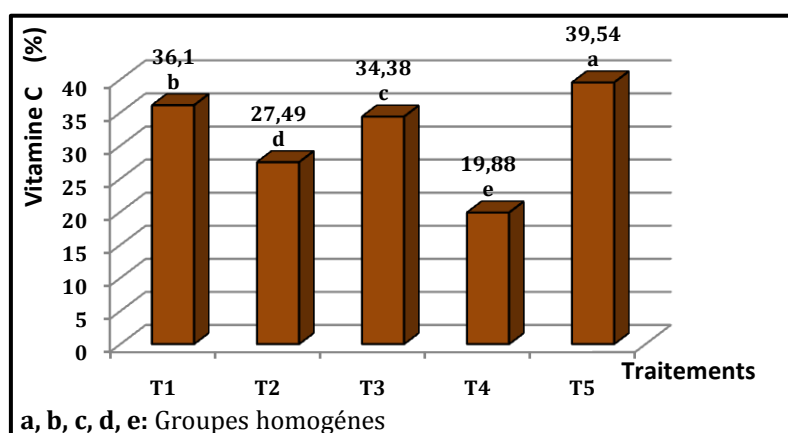


Figure 5.34 : Taux de vitamines « C » dans les fruits de tomate (%).

Analyse de la variance montre qu'il y a une différence hautement significative entre les différentes moyennes mesurées de la quantité de la vitamine (C) dans les fruits de tomate et dans les gousses du haricot (Annexe n° 3, Tableau 3 et 4). Le test de Newman et keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir cinq groupes homogènes pour les deux espèces, figures (5.33 et 5.34).

Les fruits récoltés à partir des plantes qui sont arrosées par le traitement salin totalement corrigé (T5) sont les plus riches en acide ascorbique avec des valeurs de 5,35 chez le haricot et 36,54% chez la tomate. Les traitements partiellement corrigés (T1, T2, T3) permettant d'avoir chez les deux espèces des plantes présentant des valeurs également importantes, alors que le traitement salin naturelle (T4), présente par un taux faible de la vitamine (C), avec une valeur de 1,05% et 19,88% chez l'haricot et la tomate respectivement.

Nous pouvons justifier les résultats obtenus au niveau des plantes alimentées par les traitements partiellement corrigés (T1,T2 et T3) et totalement corrigés (T5) chez les deux espèces étudiées par un déclenchement de l'activité enzymatique qui dégrade l'amidon en sucre et en vitamine en quantité très, ceci en raison d'une meilleure alimentation hydrominérale, c'est une résultat d'un équilibres ioniques parfait du milieu nutritif, soit par influence du pH à 5,5 sur la dissolution des éléments minéraux.

5.3.3. QUANTITÉ D'ACIDITÉ TITRABLE :

Nous avons préconisées un dosage de l'acidité titrable dans les fruits de tomate traités par les différents traitements utilisés. Les valeurs moyennes de l'acidité des fruits sont présentées dans la figure ci-dessous :

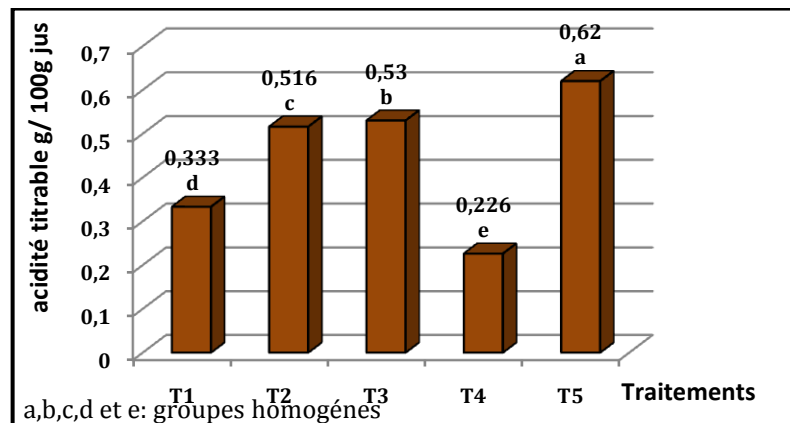


Figure 5.35 : Quantité d'acidité titrable dans les fruits de la tomate en (g d'acide citrique/100g de jus).

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence hautement significative entre les différentes moyennes mesurées de la quantité de l'acidité titrable dans les fruits de tomate (Annexe n° 3, Tableau 5).

Le test de Newman et keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir cinq groupes homogènes, figure (5.35).

Les fruits récoltés à partir des plantes alimentées par la solution saline totalement corrigée (T5) présentent par une quantité d'acidité élevée avec une valeur de 0.620 g d'acide citrique/100 g de jus. Les plantes irriguées par les traitements salins partiellement corrigés (T3, T2 et T1) permettant d'avoir des

valeurs également importantes soit de 0.53, 0.516 et 0,333 g d'acide citrique/100g de jus respectivement.

Augmentation de l'acidité titrable dans les fruits de la tomate est expliquée par une meilleure alimentation des plantes dans un milieu légèrement acide (pH= 5,5), des résultats semblables sont identifiés par les travaux de [167] in (QIAN et al, 2001) où ils ont remarqué que la salinité associée à une meilleure alimentation des plantes, notamment le potassium, améliore l'accumulation des acides organiques tout en diminuant la teneur en eau des cellules. A cet effet, la plante peut maintenir la turgescence des cellules et reprendre ainsi au stress salin modéré.

Nous pouvons constater que le pH à 5,5 joue un rôle sur l'amélioration de la quantité de l'acidité titrable dans les fruits de la tomate soit par leur influence sur la solubilité des éléments minéraux dans le milieu salin ce qui se traduit par l'augmentation de l'absorption hydrominérale des plantes.

Plantes arrosées par le traitement salin naturel (T4) présentant par des teneurs faibles en acidité titrable dans les fruits de la tomate, avec une valeur de 0,226 g d'acide citrique/100g de jus), ceci représente un écart par rapport aux résultats obtenus chez les plantes alimentées par le traitement salin totalement corrigés (T5) ceci peut s'expliquer par l'effet du pH alcalin est défavorable sur la dissolution des éléments minéraux ce qui se traduit par un déséquilibre ionique et une mauvaise absorption hydrominérale par ces plantes.

5.4. EFFET DU TRAITEMENT SUR LE RENDEMENT :

Paramètres de rendements enregistrés chez les plantes de haricot et de la tomate sont présentés dans les figures suivantes :

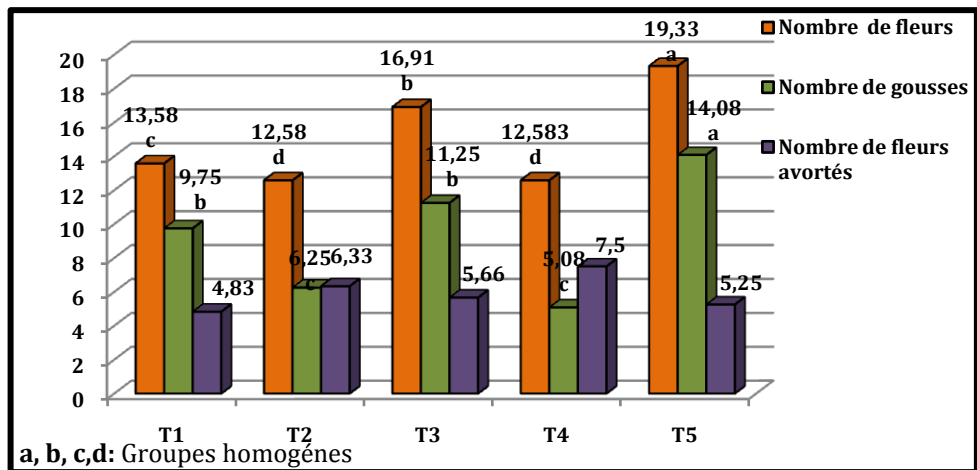


Figure 5.36 : Nombre moyenne de fleurs et de gousses produites par le haricot.

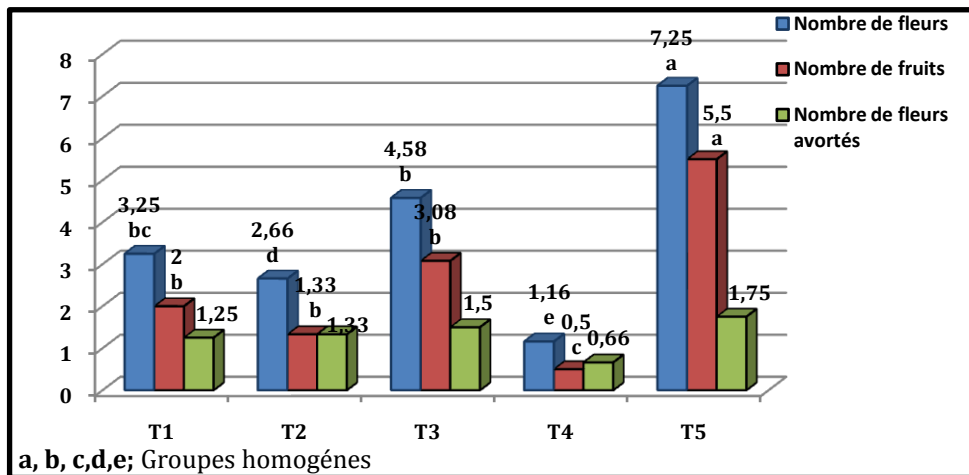


Figure 5.37 : Nombre moyenne de fleurs et de fruits produite par la tomate.

5.4.1. NOMBRE DE FLEURS ET DE FRUITS :

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence hautement significative entre les différentes moyennes mesurées de nombre de fleurs et de fruits chez les plantes de la tomate et du haricot (Annexe n° 4, Tableau 1 et 2).

Concernant le nombre de fleurs produites, le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir quatre groupes homogènes au niveau du haricot et cinq groupes au niveau de la tomate. Pour le nombre de fruits, le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir trois groupes homogènes au niveau de deux espèces étudiées.

Les meilleures performances pour les deux paramètres mesurés sont enregistrées chez les plantes alimentées par le traitement totalement corrigés (T5). Aussi les traitements partiellement corrigés (T3, T1) sont enregistrées également des valeurs importantes quelque soit l'espèce testée (le haricot et la tomate).

Le nombre de fleurs et de fruits chez les plantes du haricot traitées par le (T2) et le (T4) sont classées dans les mêmes groupes homogènes, contrairement aux plantes de la tomate où nous avons enregistré une amélioration de ces deux paramètres au niveau de traitement (T2) par rapport au traitement (T4) ceci peut s'expliquer par la sensibilité de haricot à l'absence des éléments fertilisants notamment l'azote. D'après [59] le rendement et le développement du haricot sont très dépendants de la teneur en azote du sol. Aussi pouvant être expliquée par le degré de sensibilité de haricot à la salinité est élevé par rapport à la tomate.

Selon les travaux de [168] ont montré que généralement quand la plante est stressée, elle met tout en œuvre pour hâter sa floraison et produire les fruits, c'est l'un des mécanismes de survie des espèces végétales. L'accumulation progressive du sel dans les organes se traduit par une altération de la floraison et une baisse de la production.

Selon [5] il montre que l'effet néfaste du sel est observé au niveau de la plante entière se traduisant soit par sa mort soit par une diminution de la productivité végétale. Bien que les changements dans l'état physique de l'eau soient la cause directe de cet arrêt, la contribution des processus tels que l'inhibition de la division cellulaire.

5.4.2. EFFET DU TRAITEMENT SUR LE TAUX D'AVORTEMENTS :

Les résultats du taux d'avortement ont été élaborés sur la base du comptage du nombre de fleurs totales et du nombre de fruits par plante et par traitement.

Les résultats relatifs aux taux de fleurs avortés sont présentés dans les figures suivantes :

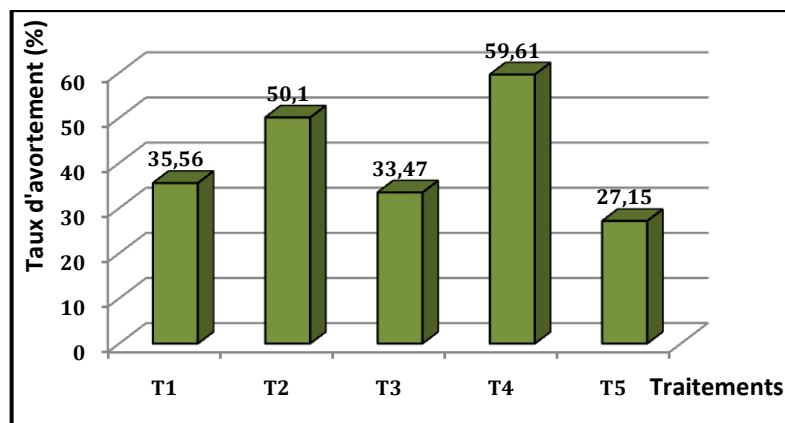


Figure 5.38 : Taux d'avortement chez les plants de haricot en (%)

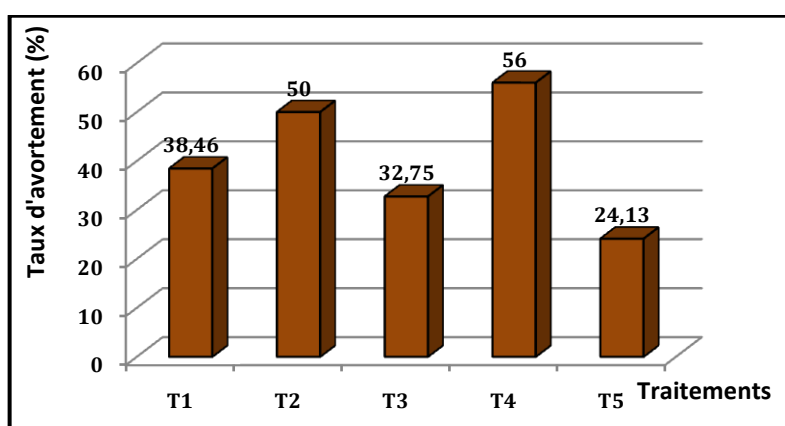


Figure 5.39 : Taux d'avortement chez les plantes de la tomate en (%)

Taux d'avortement était plus élevé chez les plantes traitées par le traitement salin naturel (T4) par rapport aux traitements corrigés (T1, T3, T5), ceci peut s'expliquer par une faible absorption hydrominérale par les racines grâce au déséquilibre ionique et l'absence des éléments fertilisants essentiel à la fructification.

Aussi, des résultats faibles sont enregistrés au niveau des plantes de deux espèces étudiées alimentées par le traitement (T2) ceci peut expliquer par l'absence totale de l'azote dans ce milieu et par conséquence une diminution du nombre de feuille et de la surface foliaire et son tour influencé négativement sur le processus de la photosynthèse et en alimentation en carbone; même que le taux de sel dans ce traitement est un autre facteur qui influe sur la chute des fleurs.

Chute physiologique est un phénomène naturel, se traduit depuis la floraison jusqu'à la fructification, cependant son intensité est liée à la disponibilité de l'eau. La salinité est souvent associée à un stress hydrique dont souffre la plante. Dans le

même d'ordre d'idée, les travaux de [168] ont rapporté que la recherche d'une meilleure précocité est le moyen le plus utilisé pour éviter les effets du déficit hydrique sur le poids des fruits.

Nous constatons que le taux d'avortement est plus élevés chez les plantes traitées par la solution saline partiellement corrigées par l'acide nitrique (T1) par rapport aux plantes alimentées par une solution saline corrigées par l'acide nitrique et l'acide phosphorique (T3) au niveau de deux espèces étudiées, ceci peut expliquer par l'absence du phosphore dans le milieu, De ce fait, les travaux de [19] ont montré que, le phosphore régularise la mise à fleurs ainsi que la mise à fruits.

Un taux d'avortement chez les plantes alimentée par le traitement salin totalement corrigés (T5) est faible, ceci peut s'expliquer par l'effet du pH à 5,5 sur l'équilibre ionique parfait ce qui se traduit par une absorption hydrominérale importante, aussi la richesse de ce dernier en éléments fertilisants essentiel rentre dans la mise à fleurs et la diminution du taux d'avortement au niveau de deux l'espèce étudiées (haricot et tomate).

5.4.3. NOMBRE, CALIBRE ET LE POIDS DES FRUITS :

Le nombre, le calibre et le poids des fruits récoltés chez les deux espèces étudiées sont présentées dans les tableaux (5.7) et (5.8).



Figure 5.40 : Aspect général des gousses de haricot traité par les cinq traitements



Figure 5.41: Aspect général des fruits de la tomate traités par les cinq traitements.

D'après les figures ci-dessus nous pouvons observer visuellement l'état de la forme des fruits de la tomate et les gousses de haricot alimentés par les traitements salin corrigés et le traitement salin naturel. Dans la figure 5.41 les fruits de la tomate traités par la solution saline naturelle sont absent ceci est due à un retard de la maturité, et l'état des plantes traitées par ce traitement est présenté dans la figure (5.2).

Tableau 5.7 : Répartition du calibre et de poids des gousses de haricot :

	Nombre moyen des gousses	Longueur moyenne des gousses (cm)	Poids frais moyen des gousses		Classes			
					Classe B [6 - 12 cm]		Classe A > 12 cm	
					(g)	(%)	Nbr	Poids (%)
T1	9,75	12,65	34,48	24,72	2	20,40	7,75	26,34
T2	6,25	12,71	19,84	14,22	2,34	12,14	3,91	14,45
T3	11,25	12,12	30,60	21,94	3,16	26,30	8,09	20,19
T4	5,08	11,92	19,17	13,74	2,41	19,05	2,66	11,57
T5	14,08	12,78	35,35	25,35	3,75	22,08	10,33	27,42

Tableau 5.8 : Répartition du calibre et de poids des fruits de la tomate

	Paramètres mesurés	< 47	[47 - 57]	[57 - 67]	[67 - 77]	>77	Moyenne
T1	Nombre de fruit	10	8	1	4	1	2
	Poids des fruits(g)	19,14	51,06	65,72	95,285	110,3	100,06
T2	Nombre de fruit	8	8	-	-	-	1,33
	Poids des fruits(g)	23,56	42,65	-	-	-	18,89
T3	Nombre de fruit	14	10	8	2	3	3,08
	Poids des fruits(g)	16,77	62,64	85,88	99,32	111,7	136,31
T4	Nombre de fruit	6	2	-	-	-	0,5
	Poids des fruits(g)	18,68	44,75	-	-	-	15,07
T5	Nombre de fruit	39	21	3	2	1	5,5
	Poids des fruits(g)	19,46	52,6215	69,65	87,84	143,8	199,55

A partir des tableaux (5.7) et (5.8) nous constatons que les traitements salins partiellement corrigés (T1, T2, T3) et totalement corrigés (T5) améliorant d'avantage le calibre et le poids des fruits récoltés quelque soit l'espèce étudiée (tomate et haricot), par rapport au plantes alimentées par la solution saline naturelle (T4), de ce fait on peut dire que la correction du pH des eaux salin naturel influe sur la dissolution des éléments minéraux dans ces milieux et par suite une absorption hydrominérale idéal par les plantes.

Une meilleure performance est enregistrée au niveau des plantes irriguées par le traitement salin totalement corrigé (T5) où elles expriment d'un poids de fruits élevé chez les deux espèces étudiées. Aussi les plantes alimentées par les solutions salines partiellement corrigées (T1, T3) permettant d'avoir une amélioration du paramètre cité au dessus, ceci peut expliquer par l'équilibre ionique parfait qui influe sur la disponibilité et l'absorption du potassium en quantité suffisante dans ces traitements corrigés. A ce propos, [169] note que le potassium est le principal constituant minéral des fruits, il favorise une bonne

croissance végétative, accroît les organes de réserves et offre de ce fait une bonne production.

Les plantes issues de traitement salin naturel (T4) exprimant les valeurs les plus faibles, ceci est dû à un retard de fructification et un taux d'avortement élevé [Figures (5.38) et (5.39)]. En outre, cette réduction est expliquée d'une part par une diminution d'activité racinaire dans un milieu salin et d'autre part l'activité photosynthétique limitée au niveau des feuilles et des tiges, réduisant les sources de réserve pour les fruits.

Les plantes traitées par la solution saline partiellement corrigées (T2) sont enregistrées des valeurs faibles par rapport aux autres traitements corrigés (T1, T3, T5), ceci peut s'expliquer par l'absence de l'azote et présence de sel dans ce traitement ce qui se traduit par un jaunissement des feuilles et la diminution de l'activité photosynthétique de ce fait une alimentation carbonique est faible. Selon [136] il note que la réduction de la photosynthèse par NaCl est l'une des causes majeures de la réduction de la croissance et de la productivité végétale. Ceci peut résulter des effets inhibiteurs directs du sel sur les réactions biochimiques de la photosynthèse, ou aux restrictions stomatiques de l'apport du CO₂ à la feuille par induction de la fermeture des stomates.

D'après [132] la salinité est le facteur majeur affectant la croissance et la productivité des végétaux. L'inhibition de l'activité de croissance par le NaCl est un comportement général caractérisant les glycophytes.

DISCUSSION GÉNÉRALE

Réaction des plantes à la salinité se fait par des modifications adaptatives morphologiques, anatomiques, structurales et métaboliques. Pour détecter la tolérance des plantes à la salinité, il est intéressant de disposer de moyens précis et simples. La teneur en proline et la fluorescence chlorophyllienne sont considérées comme des outils rapides et efficaces en agriculture [170].

Expérimentation a été réalisée dans le but de déterminer l'importance de la correction de potentiel hydrogène des eaux salines naturelles sur la croissance et le développement de la tomate (variété Marmande) et du haricot (variété Djadida) cultivées en hors-sol.

Apport de l'eau saline naturelle (T4) et des eaux salines partiellement corrigées T1, T2, T3 et totalement corrigée T5 ont été testées sur deux glycophytes a fin d'évaluer la croissance, le développement et la synthèse des osmorégulateurs. Les résultats expérimentaux illustrent les effets de la salinité de l'eau saline naturelle sur la tomate (moyennement sensible) et le haricot (très sensible à la salinité). L'influence de la correction du pH des milieux nutritifs est significative sur les paramètres analysés.

Irrigation avec les solutions salines conduit a l'augmentation de la salinité dans le milieu racinaire. Le déséquilibre ionique de traitement salin naturel (T4) accentue l'effet de la salinité du milieu alimentaire, ce qui limite la croissance des plantes de la tomate et du haricot, et réduit en conséquence la consommation hydrique et minérale qui en relation avec l'évapotranspiration. Par contre, la concentration élevée de sels dans le milieu nutritif totalement corrigé et dont l'équilibre ionique est parfait, favorise le développement végétatif des plantes de la tomate et du haricot.

Salinité agit sur la croissance en diminuant la biomasse totale en faisant tomber les feuilles qui atteignent le seuil d'accumulation toxique de Na^+ [139].

Cette toxicité est beaucoup plus observée au niveau de plantes traitées par la solution saline naturelle (T4).

Afin d'expliquer l'influence de la salinité sur les paramètres de croissance des plantes, le poids sec de la biomasse végétale est mesuré. Il en ressort que des fluctuations importantes sont observées sous la contrainte saline. Ainsi, les résultats indiquent que la salinité exerce une action dépressive et a entraîné une chute considérable de la production de la matière sèche par rapport aux traitements salins partiellement corrigés.

Des résultats analogues ont montré que la salinité restreint la production de la biomasse à travers une limitation de l'absorption du potassium et du calcium [139].

Également, nous avons remarqué chez les plantes des deux espèces étudiées alimentées par la solution saline partiellement corrigée par l'acide phosphorique (T2) un jaunissement des feuilles et l'apparition des nécroses foliaires induisant une diminution de la biomasse fraîche aérienne (feuilles+ tiges). Selon les résultats obtenus lors des analyses biochimiques, nous avons remarqué qu'il y a une élévation de la quantité du proline et des sucres solubles au niveau des organes analysés du traitement T2. La diminution de la biomasse fraîche aérienne s'explique par l'absence de l'azote dans le milieu alimentaire T2 et par conséquent sur la diminution du processus de la photosynthèse, et qui induit un jaunissement des feuilles.

Carences en éléments fertilisants au niveau des traitements T2 et T4 provoquent d'abord l'arrêt de la croissance des tissus jeunes, puis rapidement cet état de déficience s'uniformise dans les différents organes, provoquant des troubles des fonctions de la plante, entraînant ainsi d'une part un ralentissement et un retard de croissance et d'autre part une faible activité photosynthétique induisant un nombre réduit des feuilles.

Plantes de tomate et de haricot alimentées par le traitement T5 arrivent à croître et à se développer dans des conditions de salinité élevée grâce principalement au mécanisme d'ajustement osmotique. A cet effet, elles synthétisent davantage un osmorégulateur entre autres la proline et ce par rapport à l'eau saline naturelle T4. Dans le but d'ajuster l'osmolarité interne qui doit être plus élevée que le milieu externe, pour ne pas se déshydrater car l'eau va de

milieu le moins concentré vers le plus concentré ce qui se traduit par une production accrue de proline dans les traitements salins corrigés.

Correction de l'eau saline naturelle a une influence importante sur la production des deux espèces, avec une production de gousses et de fruits de la tomate les meilleurs par rapport au traitement témoin (T4). Nous avons expliqué ce résultat par l'importance de potentiel hydrogène sur la dissolution des éléments minéraux dans un milieu salin entraînant ainsi une meilleure alimentation hydrominérale.

Correction partielle des eaux salines naturelles par les acides nitrique et phosphorique à un double rôle. D'une part elle influe sur la diminution du potentiel hydrogène en détruisant partiellement les bicarbonates, tout en permettant la solubilité des éléments minéraux et leurs assimilation par les plantes et d'autres part il y a apport des éléments fertilisant utiles tels que les nitrates et de PO_4 .

Correction partielle de l'eau saline naturelle (T1) par l'acide nitrique à une influence beaucoup plus importante sur tous les paramètres mesurés. Néanmoins la correction partielle de l'eau saline par l'acide phosphorique (T2) à la même influence mais uniquement la production d'osmorégulateurs et de qualité à savoir la vitamine (C). L'addition des deux acides dans la correction de l'eau saline (T3) conduit à une augmentation plus importante de la croissance des plantes et s'approche du traitement le plus performant à savoir la solution nutritive (T5).

D'après les résultats obtenus chez les plantes de deux espèces, la correction partielle de l'eau saline naturelle affecte différemment la croissance des plantes des deux espèces étudiées. Les résultats font apparaitre une différence pour la tolérance à la salinité entre les deux glycophytes étudiées. En effet le haricot présente un indice de sensibilité supérieur à celui de la tomate.

CONCLUSION :

L'eau est une ressource indispensable pour les végétaux et reste un indicateur physiologique intéressant pour l'estimation de l'état d'hydratation des plantes en fonction de la disponibilité de l'eau dans la rhizosphère et l'aptitude de ces plantes son absorption.

L'adaptation des plantes aux stress abiotiques a souvent été associée à des changements biochimiques au niveau de la plante, tels que l'accumulation des sucres solubles et de la proline, le changement de la composition lipidique des membranes. La production des osmorégulateurs est une réponse induite de défense pour ajuster l'osmolarité interne pour éviter une déshydratation rapide des tissus végétaux suivis de la mort des plantes.

L'exposition des plantes de tomate et de haricot, cultivées en hors-sol, en milieu salin est traduite par des modifications biochimiques et structurales se traduisant par une production accrue de la teneur en sucres solubles et en proline.

Correction complète de la solution saline naturelle (T5) à amélioré d'avantage tous les paramètres mesurés quelque soit l'espèce étudiée (haricot et tomate). Les traitements partiellement salins corrigés (T1, T2, T3) permettant d'avoir également des résultats intéressants notamment au niveau de la précocité de la production et la quantité des fruits produits chez les deux espèces étudiées par rapport au plantes alimentées par le traitement salin naturel (T4).

Effet de la correction du potentiel hydrogène à 5,5 des traitements a permis d'augmenter d'une manière significative l'absorption hydrominérale des plantes se traduisant ainsi par l'augmentation du nombre et du calibre des fruits par plante de deux espèces testées et ce par rapport aux plantes alimentées par la solution saline naturelle.

Au terme de cette étude, nous pouvons conclure que la salinité constitue un facteur limitant affectant un grand nombre de processus morphologiques, physiologiques et biochimiques. Il serait donc intéressant d'utiliser des techniques basées sur la biologie moléculaire des caractères pour une meilleure identification

des marqueurs moléculaires qui pourraient être d'importance sérieuse dans le processus d'amélioration génétique des glycophytes à la salinité.

En fin, ces résultats seront d'un apport important pour participer à une meilleure conduite de la tomate et du haricot dans les zones semi-arides et arides où la qualité des eaux fournie pour l'irrigation est défavorable à l'irrigation.

ANNEXES

ANNEXE N° 01 : PARAMÈTRES MORPHOLOGIQUES :

Annexe n° 01. Tableau 1 : Tableau de l'ANOVA de la hauteur final du haricot :

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	138,398	4	34,599	9,32	0,0000	10,27
Intra-groupes	204,242	55	3,713			
Total (Corr.)	342,639	59				

Annexe n° 01. Tableau 2 : Tableau de l'ANOVA de la hauteur final de la tomate :

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	1117,68	4	279,419	36,20	0,0000	18,46
Intra-groupes	424,52	55	7,718			
Total (Corr.)	1542,21	59				

Annexe n° 01. Tableau 3 : Tableau de l'ANOVA de diamètre des tiges du haricot :

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	0,200	4	0,050	30,43	0,0000	14,89
Intra-groupes	0,090	55	0,001			
Total (Corr.)	0,291	59				

Annexe n° 01. Tableau 4 : Tableau de l'ANOVA de diamètre des tiges de la tomate :

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	73,08	4	18,27	23,80	0,0000	18,98
Intra-groupes	42,22	55	0,76			
Total (Corr.)	115,30	59				

Annexe n° 01. Tableau 5 : Tableau de l'ANOVA de nombre de feuilles du haricot :

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	570,933	4	142,733	310,9	0,0000	16,46
Intra-groupes	25,25	55	0,459			
Total (Corr.)	596,183	59				

Annexe n° 01. Tableau 6 : Tableau de l'ANOVA de nombre de feuilles de tomate :

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	56,76	4	14,19	14,61	0,0000	19,40
Intra-groupes	53,41	55	0,97			
Total (Corr.)	110,18	59				

Annexe n° 01. Tableau 7 : Tableau de l'ANOVA de la biomasse fraîche aérienne totale du haricot :

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	5147,15	4	1286,79	221,4	0,0000	11,33
Intra-groupes	319,664	55	5,812			
Total (Corr.)	5466,81	59				

Annexe n° 01. Tableau 8 : Tableau de l'ANOVA de la biomasse fraîche aérienne totale de tomate :

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	88852,5	4	22213,1	874,8	0,0000	19,57
Intra-groupes	1396,57	55	25,39			
Total (Corr.)	90249,1	59				

Annexe n° 01. Tableau 9 : Tableau de l'ANOVA de la biomasse fraîche racinaire du haricot :

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	105,19	4	26,27	16,84	0,0000	13,94
Intra-groupes	85,82	55	1,560			
Total (Corr.)	190,93	59				

Annexe n° 01. Tableau 10 : Tableau de l'ANOVA de la biomasse fraîche racinaire de la tomate :

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	407,31	4	101,82	726,66	0,0000	19,01
Intra-groupes	7,70	55	0,140			
Total (Corr.)	415,02	59				

Annexe n° 01. Tableau 11 : Tableau de l'ANOVA de la biomasse sèche aérienne totale du haricot :

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	78,56	4	19,64	10077,18	0,0000	19,12
Intra-groupes	0,10	55	0,001			
Total (Corr.)	78,66	59				

Annexe n° 01. Tableau 12 : Tableau de l'ANOVA de la biomasse sèche aérienne totale de la tomate :

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	1006,05	4	251,512	662,32	0,0000	12,41
Intra-groupes	20,88	55	0,379			
Total (Corr.)	1026,93	59				

Annexe n° 01. Tableau 13 : Tableau de l'ANOVA de la biomasse sèche racinaire du haricot :

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	7,005	4	1,751	46,04	0,0000	15,33
Intra-groupes	2,092	55	0,038			
Total (Corr.)	9,097	59				

Annexe n° 01. Tableau 14 : Tableau de l'ANOVA de la biomasse sèche racinaire de la tomate :

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	17,93	4	4,48	152,08	0,0000	16,31
Intra-groupes	1,62	55	0,029			
Total (Corr.)	19,55	59				

Annexe n° 01. Tableau 15 : Tableau de l'ANOVA de taux de la matière sèche (Tiges + feuilles) du haricot :

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	927,66	4	231,91	384,88	0,0000	17,06
Intra-groupes	33,14	55	0,602			
Total (Corr.)	960,80	59				

Annexe n° 01. Tableau 16 : Tableau de l'ANOVA de taux de la matière sèche (Tiges+ Feuilles) de la tomate :

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	363,09	4	90,77	289,65	0,0000	19,78
Intra-groupes	17,23	55	0,31			
Total (Corr.)	380	59				

ANNEXE N° 02 : PARAMÈTRES BIOCHIMIQUES :

Annexe n° 02. Tableau 1 : Tableau de l'ANOVA de la quantité du proline dans les feuilles du haricot :

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	0,0069	4	0,0017	71,63	0,0000	19,84
Intra-groupes	0,0002	10	0,00002			
Total (Corr.)	0,0071	14				

Annexe n° 02. Tableau 2 : Tableau de l'ANOVA de la quantité du proline dans les feuilles de la tomate:

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	0,019	4	0,004	497,00	0,0000	12,71
Intra-groupes	0,00001	10	0,00001			
Total (Corr.)	0,0199	14				

Annexe n° 02. Tableau 3: Tableau de l'ANOVA de la quantité du sucre soluble dans les feuilles du haricot :

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	0,022	4	0,005	29,43	0,0000	8,58
Intra-groupes	0,001	10	0,0001			
Total (Corr.)	0,024	14				

Annexe n° 02. Tableau 4: Tableau de l'ANOVA de la quantité du sucre soluble dans feuilles de la tomate:

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	0,072	4	0,018	8240,05	0,0000	16,88
Intra-groupes	0,00002	10	0,000002			
Total (Corr.)	0,072	14				

Annexe n° 02. Tableau 5 : Tableau de l'ANOVA de la chlorophylle (A) dans les feuilles du haricot :

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	0,714	4	0,178	178705,5	0,0000	11,46
Intra-groupes	0,00001	10	0,00001			
Total (Corr.)	0,7148	14				

Annexe n° 02. Tableau 6 : Tableau de l'ANOVA de chlorophylle (A) dans feuilles de la tomate:

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	1,451	4	0,362	36280,7	0,0000	15,67
Intra-groupes	0,00001	10	0,00001			
Total (Corr.)	1,451	14				

Annexe n° 02. Tableau 7: Tableau de l'ANOVA de la chlorophylle (B) dans les feuilles du haricot :

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	6,72	4	1,682	1682,13	0,0000	14,11
Intra-groupes	0,00001	10	0,00001			
Total (Corr.)	6,728	14				

Annexe n° 02. Tableau 8: Tableau de l'ANOVA de chlorophylle (B) dans feuilles de la tomate:

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	0,787	4	0,196	19684,8	0,0000	12,38
Intra-groupes	0,00001	10	0,00001			
Total (Corr.)	0,787	14				

Annexe n° 02. Tableau 9 : Tableau de l'ANOVA de la chlorophylle (C) dans les feuilles du haricot :

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	24,33	4	6084,48	6084486,6 0	0,0000	15,19
Intra-groupes	0,0001	10	0,000001			
Total (Corr.)	24,338	14				

Annexe n° 02. Tableau 10 : Tableau de l'ANOVA de chlorophylle (C) dans feuilles de la tomate:

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	24,33	4	12,70	127065 2	0,0000	14,73
Intra-groupes	0,00001	10	0,00001			
Total (Corr.)	50,82	14				

ANNEXE 03 : PARAMÈTRES DE QUALITÉ :

Annexe n° 03. Tableau 1 : Tableau de l'ANOVA de sucres totaux chez le haricot :

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	4,19	4	1,047	2277,52	0,0000	11,79
Intra-groupes	0,004	10	0,00046			
Total (Corr.)	4,195	14				

Annexe n° 03. Tableau 2 : Tableau de l'ANOVA de sucres totaux chez la tomate:

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	15,47	4	3,86	38697,6	0,0000	12,57
Intra-groupes	0,001	10	0,0001			
Total (Corr.)	15,48	14				

Annexe n° 03. Tableau 3: Tableau de l'ANOVA de vitamines (C) chez le haricot :

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	39,90	4	9,97	12162651,	0,0000	19,37
Intra-groupes	0,00008	10	0,000008			
Total (Corr.)	39,9	14				

Annexe n° 03. Tableau 4 : Tableau de l'ANOVA de vitamine (C) chez la tomate:

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	735,515	4	183,87	43711,24	0,0000	13,02
Intra-groupes	0,042	10	0,004			
Total (Corr.)	735,557	14				

Annexe n° 03. Tableau 5 : Tableau de l'ANOVA de l'acidité titrable chez la tomate:

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	0,2133	4	0,0533	17393,99	0,0000	16,71
Intra-groupes	0,00003	10	0,000003			
Total (Corr.)	0,213	14				

ANNEXE 04 : RENDEMENT

Annexe n° 04. Tableau 1: Tableau de l'ANOVA de nombre de fleurs chez le haricot:

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	433,667	4	108,417	128,70	0,0000	19,01
Intra-groupes	46,33	55	0,842			
Total (Corr.)	480,0	59				

Annexe n° 04. Tableau 2: Tableau de l'ANOVA de nombre de fleurs chez la tomate:

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	253,567	4	63,39	312,23	0,0000	16,23
Intra-groupes	11,166	55	0,20			
Total (Corr.)	264,73	59				

Annexe n° 04. Tableau 3: Tableau de l'ANOVA de nombre de gousses chez le haricot:

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	647,6	4	161,9	1037,42	0,0000	15,92
Intra-groupes	8,58	55	0,156			
Total (Corr.)	656,183	59				

Annexe n° 04. Tableau 4: Tableau de l'ANOVA de nombre de fruits chez la tomate:

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	179,4	5	44,85	212,96	0,0000	12,44
Intra-groupes	11,58	55	0,210			
Total (Corr.)	190,98	59				

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. **LARADJ ZAZOU R. (2013)** : Effet de la salinité sur le comportement hydrique et minéral du haricot (*Paseolus vulgaris L.*), mémoire de magister, Université d'Oran, Algérie, 123 P.
- [2]. **BELKHOUDJA M. & BIDAI Y. (2004)** : Analyse de la proline pour l'étude de la résistance d'une halophyte *Atriplex halimus L.* à la salinité, Université d'Oran, Algérie, 1-8 pp.
- [3]. **DJERROUDI ZIDANE O., BELKHODJA M., HADJADJ S. & BISSATI S., (2010)** : Effect of Salt Stress on the Proline Accumulation in Young Plants of *Atriplex Halimus L.* and *Atriplex Canescens* (Pursh) Nutt, European Journal of Scientific Research, 249- 260 pp.
- [4]. **LACHHAB I., LOUAHLIA S., LAAMARTI M., & HAMMANI K. (2013)** : Effet d'un stress salin sur la germination et l'activité enzymatique chez deux génotypes de *Medicago sativa*, Vol. 3, N° 2, 511- 516 pp.
- [5]. **SILINI A. (2013)** : Effet des molécules osmoprotectrices sur la survie et l'activité d'azotobacter et sur la croissance du blé dur en milieu salin, Thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas Sétif, Algérie, 138 P.
- [6]. **ANNOU G. & OULD EL-HADJ KHELIL A. (2012)** : Mécanismes adaptatifs de l'halophyte spontanée *Sueada mollis* sous deux régimes hydriques différents de la région de Ouargla, Algérie, Annales des sciences et Technologie, Vol. 4, N° 1, 9-17 pp.
- [7]. **EL-MOKHTAR S. M. (2010)** : Étude des réponses physiologique et métabolique de dix variétés de riz (*Oryza sativa L.*) aux premiers stades de développement vis-à-vis du stress salin, Thèse de magister, université de Nouakchott, 142 P.
- [8]. **GUILLAUME C. (2006)** : Effet du stress salin sur les plantes, comparaison entre deux plantes modèles, *Arabidopsis thaliana* et *Thellungiella halophila*, recherche Biotechnologie du gène à la molécule, 14 P.
- [9]. **BESRI M. (1990)** : Effet de la salinité sur le développement des maladies des plantes, Institut technique et vétérinaire Hassan II, Maroc, 9-11 pp.
- [10]. **DJILI K. & DAOUD Y. (2000)** : Influence des hauteurs des précipitations sur la répartition du calcaire et du pourcentage de sodium échangeable

dans les sols de Nord de l'Algérie, Sechresse, Vol. 11 (1), 37-43 pp.

- [11]. **CHORFI A. (2009)** : Contribution à l'étude de la résistance à la salinité chez une variété de blé dur Algérien (*triticum durum* desf.) var. Mohamed Ben Bachir, Science & Technologie, N° 29, 41-44 pp.
- [12]. **ZAGHDOUD C., DEBOUBA M. & GOUIA H. (2011)** : Comportement physiologique de deux espèces de tabac au stress salin (*Nicotiana tabacum*) et (*Nicotiana rustica*), Revue des Régions Arides N° 25, 3-14 pp.
- [13]. **AÏT HOUSSA A., NOUGA E., OUALILI H., CHTAIBAT Y. & CHADDADA A. (2005)** : La fertigation de la tomate en hors sol, Bulletin N° 128, institut agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat, 1- 4 pp.
- [14]. **WILLIAM T. (2013)** : L'hydroponie pour tous, tout sur l'horticulture à la maison, Ed. Mama, Paris (France), 14 P.
- [15]. **MORARD P. & MARTINEZ S. (2000)** : Recyclage des solutions nutritives en hors sol, Forum Graines de chercheurs, ENSAT, (France), 1-4 pp.
- [16]. **THIAULT J.F. (2004)** : La maîtrise de la culture hors sol, produire au service de la qualité et de l'environnement, Bulletin N° 215, Paris, 1 - 4 pp.
- [17]. **ALAIN V. (2003)** : Fondements et principes du hors-sol, doc. 3.1, 10 P.
- [18]. **TAKSIR G. (1996)** : Culture hydroponique, Fiche technique N° 4, 2 P.
- [19]. **VILAIN M. (1997)** : La production végétale, la maîtrise technique de la production, Vol. 2, Ed. N° 2 Lavoisier, 449 P.
- [20]. **BONTE L.H. (2010)** : Réaliser et entretenir son mur végétal, Ed. N° 2 EYROLLES (Paris), 95 P.
- [21]. **URBAN L. (1997)** : Introduction à la production sous serre, l'irrigation fertilisante en culture hors sol, Tome II. Ed. Lavoisier, 210 P.
- [22]. **PIVOT D., GILLI C. & CARLEN C. (2005)** : Données de base pour la fumure des cultures de légumes, de fleurs et de fraises sur substrat, Revue Vitic. Arboric. Hortic. Vol. 37 (2), Ed. AMTRA, 8 P.
- [23]. **ANONYME (1995)** : Maitrise de l'irrigation fertilisante, centre technique interprofessionnelle des fruits et légumes, Ed. TEC & DOC Lavoisier, 220 p.
- [24]. **URBAN L. & URBAN I. (2010)** : La production sous serre, l'irrigation fertilisante en culture hors sol, Tome 2, 2^e Ed. TEC & DOC Lavoisier, France, 234 P.

- [25]. **ROBERTO K. (2003)** : How-to Hydroponic, 4th Ed. Futuregarden press, New Yourk, 102 P.
- [26]. **BENTON JONES J. (2005)** : Hydroponics, practical Guide for the soilless Grower, 2nd Ed. CRC Press, United States of America, 423 P.
- [27]. **SNOUSSI S.A. & ABBAD M. (2012)** : L'impact de la salinité sur quelques paramètres organoleptiques des fruits de tomate cultivée en zone aride, Revue Agrobiologia N°02, 9-16 pp.
- [28]. **MESSAÏ N., HANNACHI C. & ZID E. (2006)** : Régénération *in vitro* de plantes de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) adaptées au NaCl, article N° 24 (4), Tunisie, 221-228 pp.
- [29]. **BOUCHET V. & SOISSONS P. (2010)** : La tomate et la biodiversité, création JAPA, Cahiers d'information de IMAGRAIN, France, 1-6 pp.
- [30]. **PERON J.Y. (2006)** : Production légumières, 2^e Ed., Lavoisier, France, synthèse agricole, 613 P.
- [31]. **CHANFORAN C. (2010)**: Stabilité de micro-constituants de la tomate (composés phénoliques, caroténoïdes, vitamines C et E) au cours des procédés de transformation : études en systèmes modèles, mise au point d'un modèle stoechio-cinétique et validation pour l'étape unitaire de préparation de sauce tomate, Thèse doctorat, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, 388 p.
- [32]. **EL FADL A. & CHTAINA. N. (2010)** : Étude de base sur la culture de la tomate au Maroc, Projet GTFS-REM-070-ITA, 110 P.
- [33]. **CHAUX C. (1972)** : Production légumières, Ed. J.B Bailliére, Paris, 414 P.
- [34]. **GRUBBEN G. J. H. & DENTON O. A. (2004)** : Légumes, Ressources végétales de l'Afrique tropicale 2, Ed. PROTA, 737 P.
- [35]. **TAHI H. (2008)** : Efficience de l'utilisation de l'eau d'irrigation chez la tomate par la technique de P.R.D. (*Partial Rootzone Drying*) et étude des mécanismes physiologiques et biochimiques impliqués, Thèse de doctorat en biotechnologie végétale, Université Cadi Ayyad, Marrakech, 258 P.
- [36]. **PHILOUZE J. (1993)** : Les tomates, Station d'amélioration des plantes maraichères, INRA, N° 6-7, 1-4 pp.
- [37]. **CHOUGAR S. (2011)** : Bioécologie de la mineuse de la tomate *Tuta absoluta* sur trois variétés de tomates sous serre (Zahra, Dawson et

Tavira) dans la wilaya de Tizi-Ouzou, mémoire de magister en science biologique, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 112 p.

- [38]. **RANC N. (2010)** : Analyse du polymorphisme moléculaire de gènes de composantes de la qualité des fruits dans les ressources génétiques sauvages et cultivées de tomate , Thèse de doctorat, INRA, France, 261.
- [39]. **NAIKA S., HILMI M., VAN DAM B. & GOFFAU M. (2005)** : La culture de la tomate, production, transformation et commercialisation, Agrodok 17, Ed. PROTA, 105 P.
- [40]. **ANONYME (1999)** : Tomate sous serre, fiche technique N°57, Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA, Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat, 1- 4 pp.
- [41]. **DOORENBOS J. & KASSAM A. H., (1987)** : Réponse des rendements à l'eau, Bulletin FAO d'irrigation et de drainage N° 33, Rome (Italie), 235 P.
- [42]. **EL HAJRI J. (2010)** : Répartition des températures et culture des tomates en Tunisie, Publication de l'Association Internationale de Climatologie, Vol. 15, Université de Manouba, Tunisie, 80-86 pp.
- [43]. **LAUMONNIER R. (1979)**: Cultures légumières et maraichères, Tome III, Ed. J-B. Bailliere, 276 P.
- [44]. **MAPPA D. (2000)** : Les productions légumières, Ed. Educagri, 148 P.
- [45]. **SNOUSSI (2010)** : Étude de base sur la tomate en Algérie, Rapport de mission, GTFS-REM-070-ITA, Université de Blida, Algérie, 52 P.
- [46]. **RAZDAN M.K. & MATTOO A.K. (2007)**: Genetic improvement of Solanaceous Crops, Vol. 2, Tomato, Ed. Science Publishers, India. 637P.
- [47]. **ANONYME (2013)** : FAO, STAT Source internet, www.faostat.fao.org.
- [48]. **ANONYME, (2013)** : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, Statistique agricole, Algérie.
- [49]. **FERNANDEZ F., GEPTS P. & MARCELIANO LOPEZ G. (1987)** : Étape de développement de la plante du haricot commun, cahier d'étude série 4 F.B-9. 03 (décembre), Ed. Joëlle Coquerie de Gomez, Colombia, 32 P.
- [50]. **HUBERT P. (1978)** : Le haricot, Fiches techniques, Madagascar, 1- 6 pp.
- [51]. **TIRILLY Y. & BOURGEOIS C.M. (1999)** : Technologie des légumes, Ed. Tec et Doc Lavoisier (Paris), 588 P.

- [52]. **PERRET C. & BÉLIARD E. (2013)** : Cultiver des haricots verts, Fiche technique N° 9016, 1 -6 pp.
- [53]. **HALLOUIN (2012)** : Tout savoir sur la culture du Haricot sous abris et en plein champ, fiche culturelle haricot, 3 - 16 pp.
- [54]. **LABUSCHAGNE (2011)** : Haricot (*phaseolus vulgaris*), Ed. P.I.P. 98 P.
- [55]. **HENRI, 1983** : La fertilisation des cultures légumières, Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, 287-293 pp.
- [56]. **MUNNS R. (2002)**: Comparative physiology of salt and water stress, Plant Cell Environ, N° 25, 239-250 pp.
- [57]. **BOUZID S. (2010)** : Étude de l'effet de la salinité et de la présence du molybdène sur le comportement éco physiologique de deux variétés de plantes de l'espèce *Phaseolus vulgaris* L., mémoire de magister, Université de Mentouri Constantine, 124 P.
- [58]. **ALLEN D. J. (1987)** : Les systèmes de production du haricot en Afrique, Cahier d'étude série 4 F.B-1.01 (décembre), Ed. Joëlle Coquerie de Gomez, Colombia, 21 P.
- [59]. **GEUNE N.F. (2000)** : Utilisation des inoculum de rhizobium pour la culture du haricot (*Phaseolus vulgaris*) au Sénégal, Thèse de doctorat en 3^{ème} cycle, université Cheikh Anta Diop Dakar, 112 P.
- [60]. **ANNONYME, (2006)** : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, Statistique agricole, Alger.
- [61]. **BABA SIDI-KACI S. (2010)** : Effet du stress salin sur quelques paramètres phénologiques (biométrie, anatomie) et nutritionnels de l'Atriplex en vue d'une valorisation agronomique, mémoire de magister, université KASDI Merbah, Ouargla, Algérie, 95 P.
- [62]. **BISSATI S., DJERROUDI O., MEHANI M. & BELKHODJA M. (2011)** : Effet du stress salin sur deux paramètres hydriques (turgescence et transpiration) de jeunes plants d'*atriplex halimus* et *atriplex canescens*, Revue des Bio Ressources, Vol. 1, N° 1, 31- 38 pp.
- [63]. **MONTOROI J.P. (1997)** : Conductivité électrique de la solution du sol et d'extraits aqueux de sol, article France, 279-297 pp.
- [64]. **ABOUMERIEM I., ISMAILI M., NASSIRI L., BEN MESSAOUD B., LAHRACH Z. & IBIJBIJEN J. (2013)** : Effet du stress salin sur la

croissance, la nodulation et la nutrition minérale de la légumineuse arbustive « *Medicago arborea* », Ed. Mersenne, Vol. N°5, 12 P.

- [65]. **MARLET, S. & JOB J.O. (2006)** : Processus et gestion de la salinité des sols, seconde édition, Tec & Doc Lavoisier, 28 P.
- [66]. **FAO (1990)** : Étude et prospections pédologiques en vue de l'irrigation, Bulletin pédologique de la FAO, État Unie, N° 42, 180p.
- [67]. **LEGROS J.P. (2009)** : La salinisation des terres dans le monde, Bulletin N° 40, 257-269 pp.
- [68]. **BENZELLAT B. (2012)** : Contribution à l'amélioration des rendements des plantes cultivées en sols salés, mémoire de magister, Université de Aboubekr Belkaid Tlemcen, 150 P.
- [69]. **ACHOUR S., NEZLI I.E. & DJABRI L. (2007)** : Approche géochimique des processus d'acquisition de la salinité des eaux de la nappe phréatique de la basse vallée de l'oued m'ya (Ouargla), N° 6 ,121-134 pp.
- [70]. **BRADAÏ A., DOUAOUI A. & MARLET S. (2008)** : Qualité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risques de dégradation des sols dans la plaine du Bas-Cheliff, Algérie, 1-7 pp.
- [71]. **MADANI Dj. (2008)** : Relation entre le couvert végétal et les conditions édaphiques en zone à déficit hydrique, mémoire de magister, université d'El Hadj Lakhdar, Batna, 119 p.
- [72]. **FORGES M. (1972)** : Irrigation et salinité, Éd. CIHEAM, Paris, Option Méditerranéennes N°14, 40- 45 pp.
- [73]. **LAHLOU M., BADRAOUI M. & SOUDI B. (2000)** : Modélisation de l'évolution de la salinité et de l'alcalinité dans les sols irrigués, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat 2-3, 135- 151 pp.
- [74]. **BRADY N.C. (2011)**:The nature and Properties of Soils. New Jersey, USA. Prentice Hall. 3 P.
- [75]. **COUTURE I. (2004)** : Analyse d'eau pour fin d'irrigation, MAPAQ Montérégie-Est, 1- 7 pp.
- [76]. **SNOUSSI S.A. (2011)** : Valorisation des eaux non conventionnelles en aridoculture, université de Blida, revue Agrobiologia n° 01, 8-15 pp.
- [77]. **SNOUSSI S.A., ABBAD M. & DEROUICH B. (2012)** : Effet d'un environnement salin sur la production de proline chez deux glycophytes

- cultivées (tomate et haricot), revue *Agrobiologia* N° 03, 19-26 pp.
- [78]. **SLAMA F. (1987)** : Recherches sur les causes de l'exclusion du sodium des feuilles des plantes sensibles à NaCl, 517-522 pp.
- [79]. **ANONYME (2008)** : Les sols salins en Algérie., Institut national des sols, de l'irrigation et du drainage (INSID).
- [80]. **LEVITT J. (1980)** : Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na^+ , K^+ et Ca_2^+) et du chlore (Cl^-) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent, 235-244 P.
- [81]. **NOYER M. & HEIDARI R. (2008)** : Drought-induced Accumulation of Soluble Sugars and Proline in Two Maize Varieties, *World Applied Sciences Journal* 3 (3), Ed. IDOSI, Iran, 448-453 pp.
- [82]. **ZAID E. 2006** : Physiologie végétale, complément de cours, 11 P.
- [83]. **HANANA MOHSEN, HAMROUNI L., CAGNAC O. & BLUMWALD E. (2011)** : Mécanismes et stratégies cellulaires de tolérance à la salinité (NaCl) chez les plantes, Vol 19, 121 -141 pp.
- [84]. **JABNOUNE M. (2008)** : Adaptation des plantes au stress salin : caractérisation de transporteurs de sodium et de potassium de la famille HKT chez le riz, thèse de doctorat, Montpellier Cedex 1- France, 127 P.
- [85]. **SLAMA F. (2004)** : La salinité et la production végétale, Ed. Centre de publication universitaire, Tunisie, 163 P.
- [86]. **GRIGNON C., CHALABI N. & DEMARLY Y. (1991)** : L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides, Ed. John Libbey and Company LTD, Paris, 183 P.
- [87]. **GAUDRY J. F. (2013)** : Nutrition minérale des plantes, aspect moléculaire, INRA, France, 21 P.
- [88]. **LAJILI M. (2009)** : Nutrition minéral des plantes, Doc. P.P.F., 1-7 pp.
- [89]. **CHAUVIN P. (2003)** : Mieux vivre grâce aux plantes, Éd. Manuscrit, 70 P.
- [90]. **DINON E. & GERSTMANS A. (2008)** : L'influence du pH sur l'assimilation des éléments nutritifs du sol par les plantes et sur la variété des plantes, Fiche technique, Université de Liège, 4 p.
- [91]. **NABORS M. (2009)** : Biologie végétale, Éd. Nouveaux Horizons, ARS, Paris, 614 p.

- [92]. **LAURENT L. 1991** : Éléments minéraux, technique d'analyse et de contrôle agroalimentaire, Vol. 4, Ed. Lavoisier, Paris, 69-75 pp.
- [93]. **BAIZE D. (2000)** : Guide des analyses en pédologie, Ed. N° 2 revue et augmenté, I.N.R.A, (Paris), 240 P.
- [94]. **ANONYME (2004)** : Trousse d'analyse du pH du sol, Hanna instruments, Canada, 4 P.
- [95]. **GAGNON S. (2003)** : Des méthodes faciles pour mesurer le pH et la conductivité électrique, plant-prod, Québec, 19 P.
- [96]. **BRAJEUL E., QUILLEC S., SÉDILOT C., CHRISTIANE R. & GRASSELLY D. (2002)** : Gestion des effluents des cultures légumières sur substrat, Ed. Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, 197 P.
- [97]. **LORENT V. & WOUTERS P. (2002)** : Le pH_{eau} du sol, estimer le niveau trophique du sol, Fiche technique N° 4, Belgique, 1 -8 pp.
- [98]. **BRIGITTE N. (2011)** : Tomate, Ed. TEC & DOC Lavoisier, 269 P.
- [99]. **ANONYME (2012)** : Le point sur la fertilité des sols, Centre Technique interprofessionnelle des fruits et légumes N° 33, 10 P.
- [100]. **HANNA (2009)** : Cultures hydroponiques et horticoles, Fiche technique, Ed. N° 3 Hanna instrument, France, 1-44 pp.
- [101]. **ANONYME (2003)** : Détermination du pH à l'eau dans les sols agricoles, centre d'expertise en analyse environnementale du Québec et Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, M.A. 1010 – pH 1.0, 8 P.
- [102]. **VILAIN M. (1993)** : La production végétale, les composantes de la production, Éd. TEC & DOC Lavoisier, 438 P.
- [103]. **CHAILLOU S. (2008)** : Développement racinaire, fonctionnement de la rhizosphère et nutrition minérale, 6 P.
- [104]. **BILODEAU G. (2010)** : Le pH, c'est pas compliqué, Fiche technique IQDHO, 7 P.
- [105]. **VALLEE C. & BILODEAU G. (1999)** : Les techniques de la culture en multicellules, Ed. Les presses de l'université Laval (Québec), 204 P.
- [106]. **MAZLIAK P. (1982)** : Physiologie végétale, nutrition et métabolisme, Ed. HERMANN, Paris, 340 P.

- [107]. **POLSE J. (2007)** : La culture des tomates, Ed. Artémis, 92 P.
- [108]. **SNOUSSI S.D. (2001)** : Valorisation des eaux salines pour la nutrition des plantes cultivées, thèse de doctorat d'état en science agronomique, I.N.A El-Harrach, Alger, 152 P.
- [109]. **COIC Y. & LESAIN CH. (1983)** : Cultures hydroponiques, technique d'avenir, Ed. Maison Rustique, Paris, 300 P.
- [110]. **COIC Y. (1975)** : La nutrition minérale en eau des plantes en horticulture avancée, Doc S.C.P.A. N° 23, Versailles, 219 P.
- [111]. **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.): Étude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement, *Agronomie*, 6, 583-590 pp.
- [112]. **HELA B.A., MANAA A. & ZID E. (2008)**: Tolérance à la salinité d'une poaceae à cycle court : la séttaire (*Setaria verticillata* L.) ; Compte rendus Biologies 331, 164-170 pp.
- [113]. **ZRAIBI L., NABLOUSSI A., MERIMI J., EL-AMRANI A., KAJEIOU M., KHALID A. & SERGHINI CAID H. (2012)** : Effet du stress salin sur des paramètres physiologiques et agronomiques de différentes variétés de carthame (*Carthamus tinctorius* L.), Maroc, 16 - 40 pp.
- [114]. **HAYWARD H.E. (1955)** : Utilisation des eaux salines, salin compte rendu de recherches, Ed. UNESCO, 39-76 pp.
- [115]. **SNOUSSI S.A. & HALITIM A. (1998)** : Valorisation des eaux salines pour la nutrition minérale des plantes cultivées, étude de la gestion des sols, 5 et 4, 289-298 pp.
- [116]. **YOUSFI M. (2011)** : Étude de l'impact de l'hydro-halomorphie des sols sur la biogéographie des hydro-halophytes dans la cuvette de Ouargla, mémoire de magister, Université Kasdi Merbah, Ouargla, Algérie, 156 P.
- [117]. **LAHOUEL H. (2013)** : Contribution à l'étude de l'influence de la salinité sur le rendement des céréales (cas de l'orge) dans la région de Hemadna à Relizane, mémoire de magister en amélioration végétales, Université d'Abou-Bekrbelkaid, Tlemcen, 104 P.
- [118]. **EL-FIRIHA S. (2010)** : Influence de la salinité sur la formation des nodosités chez la fève (*Vicia faba* L.), mémoire de magister, Oran, 119 P.

- [119]. **DRIOUICH A. et RACHIDAI A. (1996)** : Effet du traitement salin sur la croissance du blé dur (*Triticum durum Desf.*), Ed. Actes Rabat, Vol. 16 (1), Maroc, 33-40 pp.
- [120]. **SCHLEIFF U. (1979)**: Salt contents in the Rhizosphere and in soil solution outside the Rhizosphere under controlled irrigation, soils in Mediterranean type climates and their yield potential, Espagne, 93 - 98 pp.
- [121]. **EL-IKLIL Y., KARROU M., MRABET M. & BENICHOU M. (2002)** : Effet du stress salin sur la variation de certains métabolites chez *Lycopersicon esculentum* et *Lycopersicon sheesmanii*, Can. J. Plant Sci. N° 82, Maroc, 177- 183 pp.
- [122]. **LEPENGUE A.N., MOUARAGADJA I., IBRAHIM B., AKE S. & M'BATCHI B. (2012)** : Réponse du maïs (*Zea mays* var. LG 60) au stress salin, étude de la synthèse de quelques composés biochimiques, Journal of Animal & Plant Sciences, Vol. 14, 1866-1872 pp.
- [123]. **ZID E. & GRIGNON C. (1991)** : Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress cas des stress salin et hydrique, laboratoire de physiologie végétale, Tunisie, 91-108 pp.
- [124]. **ASHTON J. & VERMA S., 1993** : Proline biosynthesis and osmoregulation in plants, mini review Vol.4 N° 2, 215- 223 pp.
- [125]. **MOURAVINE. E., SMIRNOV. P., STOROJENKO. V. & RAKIPOV. N. (1977)** : L'agrochimie. Ed. Mir. Moscou, 280 P.
- [126]. **BOULBABA L., BOUAZIZ S., MAINASSARA Z., MOKHTAR H. & MOKHTAR L. (2009)** : Effets de la fertilisation azotée, de l'inoculation par *Rhizobium sp.* et du régime des pluies sur la production de la biomasse et la teneur en azote du pois chiche, Vol. 13, N° 4, 1-14 pp.
- [127]. **RAKOTONDRAONA R. (2005)** : La nutrition minérale des plantes, E.N.S. Université d'Antananarivo, Madagascar, 180 P.
- [128]. **MÂALEM S., RAHMOUNE C. (2001)**: Toxicity of the Salt and Pericarp Inhibition on the Germination of Some *Atriplex* Species. American-Eurasian Journal of Toxicologic Sciences 1 (2), 43-49 pp.
- [129]. **BOUNAQBA S. (1998)**: Analyse des déterminants de 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, Thèse de doctorat, 230 P.

- [130]. **DALI N., BEN GHANEM H. & MOUGOU A. (1996)** : Effet du stress salin sur la répartition entre amidon et sucre solubles dans les feuilles de deux lignées de tomate. Revue de l'INAT II.
- [131]. **BEN KBALED L., MORTE GÓMEZ A., HONRUBIA M. & OIHABI A. (2003)** : Effet du stress salin en milieu hydroponique sur le trèfle inoculé par le *Rhizobium*, article INRA, 553-560 pp.
- [132]. **LAUCHI A. & EPSTEIN E., 1984** : How plants adapt to salinity, University of California, Davis, 18-20 pp.
- [133]. **LUGAN R. (2008)** : Phénotypage métabolique des réponses aux stress abiotiques chez *Arabidopsis thaliana*. Analyse fonctionnelle et intégrative du métabolome, Thèse de doctorat en amélioration des plantes et biotechnologie végétale, Université de Rennes I, France, 64 P.
- [134]. **FERNANDEZ F. & LUZ MARIA MEDINA L. (1999)** : Morphologie de la plante de du haricot commun (*Phaseolus Vulgaris L.*), cahier d'étude série 4 F.B-9.01 (décembre), Ed. Joëlle Coquerie de Gomez, Colombia, 64 P.
- [135]. **OUIS M. & BELKHOUDJA M. (2009)** : Réponse protéique d'une halophyte face aux stress salin, Université Es-Senia, Oran, Algérien journal of arid environment, Vol. 2 (1), 16-24 pp.
- [136]. **RADHOUANE L. (2009)** : La photosynthèse du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.) en présence de contrainte hydrique et saline, Journal of Agriculture and Environment, 103 (3), 185- 200 pp.
- [137]. **LEMAIRE (1996)** : La maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes, les colloques N° 38, Ed. INRA, France, 328 P.
- [138]. **MONGI H. (1982)** : Adaptations physiologiques à la salinité des plantes cultivées, Faculté des sciences, Tunisie, 169 P.
- [139]. **LACHAAL M., ABDELLY C., GRIGNON G., SOLTANI A. & HAJJI M. (1996)** : Variation de la sensibilité au sel en fonction du stade de développement chez la lentille (*Lens culinaris. L.*), Vol. 16, Elsevier, INRA, 381-390 pp.
- [140]. **BOYER J. (1978)** : Le calcium et le magnésium dans les sols des régions tropicales humides et sub-humides, Ed. ORSTOM, Paris, 176 P.

- [141]. **SBIHI F.Z. (2008)** : Les Bactéries Nodulant les Légumineuses (B.N.L) : caractérisation des bactéries associées aux nodules de la Légumineuse Fourragère, *Hedysarum perrauderianum*, mémoire de magister en génétique et amélioration des plantes, Université Constantine, 112 P.
- [142]. **GOBAT J.M., ARAGNO M. & MATHENY W. (2010)** : Le sol vivant, bases de pédologie- biologie des sols, 3ème édition revue et augmenté, 660 P.
- [143]. **MOHAMMED M., SHIBLI R., AJOUNI M. & NIMRI L. (1998)** : Tomato root and shoot responses to salt stress under different levels of phosphorus nutrition, J. Plant Nutr., 21, 1667-1680 pp.
- [144]. **LEMZERI H. (2007)** : Réponses écophysiologicals de trois espèces forestières du genre Acacia, Eucalyptus et Schinus soumise à un stress salin, mémoire de magistère, Universtité de Constantine, Algérie, 141 P.
- [145]. **MUNNS R. (1993)** : Physiological processes limiting plant growth in saline soils : some dogmas and hypothèses, Plant Cell Environ (16), 15-24 pp.
- [146]. **MUSTARD. J. & RENAULT. S. (2006)** : Effects of NaCl on water relations and cell wall elasticity and composition of red-osier dogwood (*Cornus stolonifera*) seedlings Physiol. Plant, (121), 265 - 271 pp.
- [147]. **HELLER R. (1981)** : Physiologie végétale, nutrition, 2^e édition, Ed. Masson. Paris. 244P.
- [148]. **ABDELLY C., LACHAAL M., GRIGNON C., SOLTANI A. & HAJJI M. (1995)** : Association épisodique d'halophytes stricts et de glycophytes dans un écosystème hydromorphe salé en zone semi-aride, 557-568 pp.
- [149]. **HOUCHI R. & COUDRET A., (1994)** : Essai d'utilisation de l'ajustement osmotique comme critère physiologique pour la sélection variétale des triticales tolérants au chlorure de sodium, Revue vol 6, 99 - 109 pp.
- [150]. **ZID E., HELA B. A. & MANAA A. (2008)** : Tolérance à la salinité d'une poaceae à cycle court, la sétairie (*Setaria verticillata* L.), compte rendus biologies (331), 164- 170 pp.
- [151]. **HAMZA. M., MEZNI. M., & BIZID. E. (1999)** : Effet de la salinité des eaux d'irrigation sur la survie et la croissance de trois cultivars de luzerne pérenne, 169-178 pp.
- [152]. **HOPKINS W.G. (2003)** : Physiologie végétale, Ed. Boeck, Paris, 495 P.

- [153]. **HOUASSINE D. (2004)**: Effet de toxicité du magnésium lié aux sulfates et aux chlorures chez certaines variétés de tomates conduites sous serre en culture hydroponique. Thèse de magister, université de Blida, 92 P.
- [154]. **BELKHOUDJA. M., DJERROUDI. Z.O. & HADJADJ. S. (2010)** : Effet du Stress Salin sur l'accumulation de Proline Chez Deux Espèces d'*Atriplex Halimus* L. et *Atriplex Canescens* (Pursh) Nutt. EuroJournals Publishing, Algérie, 12 P.
- [155]. **BETTAIEB. T., DENDEN. M., SALHI. A. & MATHLOUTHI. M. (2005)** : Effet de la salinité sur la fluorescence chlorophyllienne, la teneur en proline et la production florale de trois espèces ornementales, *Tropicultura* N°24, 220-225 pp.
- [156]. **EL-MEKKAOUI M., AGBANI M. & MONNEVEUX P. (1994)** : Rôle de la sélectivité K/Na et de l'accumulation de proline dans l'adaptation à la salinité de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) et du blé (*Triticum durum* Desf.), Ed. Actes, Rabat, Vol. 14 (2), Maroc, 17- 36 pp.
- [157]. **TAHRI E., BELABED A. & SADKI K. (1998)** : Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum*), Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, N°21, 81-87 pp.
- [158]. **HADJADJ S. (2009)**: Contribution à l'étude de l'effet de la salinité sur des marqueurs biochimiques (proline et sucres solubles) de plantes juvéniles d'*Atriplex halimus* L. et d'*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt., mémoire de magister en Biochimie et analyse des bioproduits, Université de Kasdi Merbah, Ouargla, Algérie, 100 P.
- [159]. **MIHOBI A. (2012)** : Dynamique du phosphore dans le système sol-plante en conditions pédoclimatiques sahariennes, mémoire de magister, Université Kasdi Merbah, Ouargla, 101 P.
- [160]. **RATHER G. (1984)** : Sucrose and starch content of plant parts as possible indicators for salt tolerance, 491- 495 pp.
- [161]. **EL-MIDAOUI M., BENBELLA M., AÏT HOUSSA A., IBRIZ M. & TALOUIZTE A. (2007)** : Contribution à l'étude de quelques mécanismes d'adaptation à la salinité chez le tournesol cultivé (*helianthus annuus* L.), Revue HTE N°136, Maroc, 29- 34 pp.

- [162]. **LAROSIERE B.C. (2012)** : Étude de la croissance de *Chlorella vulgaris* en photobioréacteur batch et continu, en présence de concentrations élevées de CO₂, Thèse de doctorat, Paris, 232 P.
- [163]. **ZHOR A. (2013)** : Notions sur les propriétés chimiques du sol et la nutrition des plantes, Institut national de la recherche agronomique, CRRRA-Settat, 35 P.
- [164]. **CHAOUIA C., BENREBIHA F.Z., SNOUSSI S.D., BOUCHENAK F., & MOUSSI H. (2012)** : Étude de quelques paramètres phénologiques et physiologiques d'*Artemisia campestris*, Revue N°3, Agrobiologia, 55-63 pp.
- [165]. **CHEIKH M'HAMED H., ABDELLAOUI R., KADRI K., BEN NACEUR M., BELHADJ S. (2008)**: évaluation de la tolérance au stress salin de quelques accessions d'orge (*Hordeum vulgare* L.) cultivées en Tunisie, approche physiologique, Sciences & Technologie N° 28, 30 -37 pp.
- [166]. **BEN-AHMED A. (2010)** : Rôle et influence des exopolysaccharides bactériens sur la nodulation de la légumineuse *Hedysarum coronarium*, mémoire de magister, Université Mentouri de Constantine, Algérie, 118 P.
- [167]. **SNOUSSI S.A. & ABBAD M. (2014)** : Impact de la salinité des eaux sur quelques paramètres organoleptiques des fruits de tomate, Revue agrobiologia N° 5, 11-16 pp.
- [168]. **BENNANI K. (2013)** : Analyse de la diversité agro-physiologique d'écotypes locaux de certaines légumineuses fourragères annuelles et recherche de potentialités liées au stress salin, thèse de doctorat, université Mohamed Agdal, Rabat, 161 P.
- [169]. **COIC Y., (1984)** : Les cultures sans sol, Revue science et vie, N°146, 68-75 pp.
- [170]. **DENDEN M., BETTAIEB T., SALHI A. & MATHLOUTHI M. (2005)** : Effet de la salinité sur la fluorescence chlorophyllienne, la teneur en proline et la production florale de trois espèces ornementales, Tropicultura Vol. 23, N° 4, 220-225 pp.