

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA**



**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département des Biotechnologies**

**THESE DE DOCTORAT en Sciences Agronomiques  
Spécialité : Agro-ressources**

**IMPACT DE LA SALINITE DES EAUX ET DU POTENTIEL  
HYDROGENE SUR L'ECOPHYSIOLOGIE DE QUELQUES  
GLYCOPHYTES CULTIVEES EN HORS-SOL**

Présentée par : **BENZAHERA Soraya**

Devant le jury composé de :

<b>Mr BENMOUSSA M.</b>	<b>Professeur, U. de Blida 1</b>	<b>Président</b>
<b>Mr SNOUSSI S.A.</b>	<b>Professeur, U. de Blida 1</b>	<b>Directeur de thèse</b>
<b>Mme BRADEA M.S.</b>	<b>Professeur, U. de Blida 1</b>	<b>Examinatrice</b>
<b>Mr ABDELKRIM H.</b>	<b>Professeur, ENSA EL Harrach</b>	<b>Examineur</b>
<b>Mr LAZALI M.</b>	<b>M.C.A, Université EL Khemis</b>	<b>Examineur</b>
<b>Mr AOUN O.</b>	<b>M.C.A, Université EL Khemis</b>	<b>Examineur</b>

Blida, Octobre 2019

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA**



**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département des Biotechnologies**

**THESE DE DOCTORAT en Sciences Agronomiques  
Spécialité : Agro-ressources**

**IMPACT DE LA SALINITE DES EAUX ET DU POTENTIEL  
HYDROGENE SUR L'ECOPHYSIOLOGIE DE QUELQUES  
GLYCOPHYTES CULTIVEES EN HORS-SOL**

Présentée par : **BENZAHERA Soraya**

Devant le jury composé de :

<b>Mr BENMOUSSA M.</b>	<b>Professeur, U. de Blida 1</b>	<b>Président</b>
<b>Mr SNOUSSI S.A.</b>	<b>Professeur, U. de Blida 1</b>	<b>Directeur de thèse</b>
<b>Mme BRADEA M.S.</b>	<b>Professeur, U. de Blida 1</b>	<b>Examinatrice</b>
<b>Mr ABDELKRIM H.</b>	<b>Professeur, ENSA EL Harrach</b>	<b>Examineur</b>
<b>Mr LAZALI M.</b>	<b>M.C.A, Université EL Khemis</b>	<b>Examineur</b>
<b>Mr AOUN O.</b>	<b>M.C.A, Université EL Khemis</b>	<b>Examineur</b>

Blida, Octobre 2019

## RESUME

La plupart des espèces végétales en cultures légumières sont des glycophytes dont la croissance est freinée par la salinité qui est un facteur majeur limitant la production agricole, en particulier dans les zones arides et semi-arides où l'eau disponible présente une forte minéralisation et un potentiel hydrogène alcalin, défavorables à l'irrigation. Ceci est le cas des eaux de la région de Gassi Touil dont la concentration en sel est de 2.5 g/l et le pH est de 7,8.

L'objectif de ce travail est d'étudier l'impact des eaux salines non conventionnelles et la correction de leur potentiel hydrogène par l'addition de deux types d'acide (acide nitrique  $\text{HNO}_3$  et l'acide phosphorique  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) sur le comportement des espèces étudiées. Il consiste à mettre à la disposition des plantes cinq traitements, dont un est une eau saline naturelle de Gassi Touil. Et quatre sont cette eau saline naturelle corrigée par l'abaissement du potentiel hydrogène et l'addition des oligo-éléments.

Les principaux résultats montrent que dans le cycle des irrigations avec une eau saline corrigée les paramètres de croissance et de production sont améliorés d'une façon significative par rapport à ceux obtenus avec une irrigation par une solution saline naturelle brute ou 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 a permis d'avoir une amélioration considérable de la croissance et du développement des plantes de haricot et du concombre et ce par rapport au milieu salin naturel à pH alcalin (7,8).

Mots clés : concombre, haricot, eau saline, potentiel hydrogène, hydroponie.

## SUMMARY

Most of the plant species in vegetable crops are glycophytes whose growth is slowed by the salinity, which is a major factor limiting agricultural production, particularly in arid and semi-arid areas where available water has a strong mineralization and alkaline hydrogen potential, adverse to irrigation. This is the case of the waters in the Gassi Touil region whose salt concentration is of 2.5 g/l and pH is the 7.8.

The objective of this work is to study the impact of unconventional saline water and the correction of their potential hydrogen by the addition of two types of acid (acid nitric  $\text{HNO}_3$  and acid phosphoric  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) on the behavior of the species studied. It involves five treatments, which is a natural saline water of Gassi Touil available to plants. And four are this natural saltwater corrected by the lowering of the hydrogen potential and the addition of micronutrients.

The main results show that in the cycle of irrigations with corrected saline water parameters of growth and production improved significantly compared to those obtained with irrigation by a natural saline solution brute or salt has a depressive effect on the development of plants through the studied parameters. The correction of the pH of the food environment by phosphoric acid and nitric acid could have improved considerable growth and development of cucumber and bean plants and compared to the saline environment pH (alkaline) (7,8).

Key words: Cucumber, Bean, Saline water, Potential hydrogen, hydroponics.

## الملخص

معظم الأصناف النباتية في زراعة الخضروات يتوقف نموها بسبب الملوحة التي تعتبر عامل رئيسي يهدد الإنتاج الزراعي، خاصة في المناطق الجافة حيث الماء المتوفر غير صالح للري وذلك لاحتوائه على كمية كبيرة من الأملاح وتركيبية هيدروجينية قاعدية. وهذه خاصية مياه غاسي طويل حيث تركيز الملوحة يعادل 2.50 ع ل و  $pH = 7.8$ .

الهدف من هذه التجربة دراسة تأثير المياه المالحة الغير صالحة للري وتصحيح pH بإضافة حمض النتريك وحمض الفسفور. وذلك بوضع الأصناف المدروسة تحت تأثير خمسة محاليل. واحد من بينهم عبارة عن ماء طبيعي مالح غاسي طويل وأربعة محاليل معالجة مع تخفيض pH وإضافة المغذيات الدقيقة.

أغلبية النتائج تظهر أن حلقة السقي بالمياه المالحة المصححة تحسن معايير النمو والإنتاج بطريقة ذات دلالة بالنسبة المتحصل عليها من السقي بالمحلول المالح الطبيعي الصافي. وتصحيح pH بإضافة حمض النتريك وحمض الفسفور حسن بطريقة فعالة كل من معايير النمو والإنتاج لنبات الخيار والفاصولياء على حد سواء مقارنة بالوسط المالح.

الكلمات الدالة: الخيار، الفاصولياء، مياه مالحة، التركيب الهيدروجيني

## TABLE DES MATIERES

Remerciement	
Dédicaces	
Résumé	
Table des matières	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
INTRODUCTION	13
CHAPITRE 01 : LA SALINITE	
1.1. Généralité	14
1.2. Salinité dans le monde	15
1.3. Situation de la salinité en Algérie	16
1.4. Salinisation des sols	17
1.5. Salinité des eaux	19
1.5.1. Évaluation de la qualité des eaux d'irrigation :	20
1.5.2. Rapport entre la salinité du sol et celle de l'eau d'irrigation	21
1.6. Impact du stress salin sur les végétaux	21
A. Effet osmotique	22
B. Toxicité ionique	22
C. Effets secondaires	23
1.6.1. Effet de la salinité sur la croissance des plantes	24
1.6.2. Effet de la salinité sur l'absorption de l'eau	25
1.6.3. Effet de la salinité sur l'anatomie de la feuille	26
1.6.3.1. Effet de la salinité sur la photosynthèse	26
A. Chlorophylle	27
B. Chlorophylle et le stress	27
C. Rôle de la chlorophylle	27
1.7. Réactions des plantes aux stress osmotiques	28
1.7.1. Proline	29
1.7.1.1. Synthèse de la proline	29
1.7.1.2. Proline et le stress	29
1.7.1.3. Rôle de la proline	30
1.7.2. Sucres solubles	30
1.7.2.1. Sucres et le stress	31
1.7.2.2. Rôle des sucres	31
1.8. Gestion de la salinité	31
CHAPITRE 2 : CULTURE HORS-SOL, LE POTENTIEL HYDROGENE ET LA NUTRITION HYDROMINIRALE DES PLANTES	
2.1. Culture hors-sol	33
2.1.1. Généralités	33
2.1.2. Différents systèmes de la culture hors sol	34
2.1.3. Mode d'apport de la solution nutritive	34
2.1.4. Présence ou absence de substrat	34
2.1.5. Composantes du système hors-sol	35
a. Substrat	35
b. Solution nutritive	35
c. Système d'irrigation	36
2.1.6. Pratique de la culture hors-sol	36

2.2. Potentiel hydrogène	37
2.2.1. Notion du potentiel hydrogène	37
2.2.2. Potentiel hydrogène du sol	39
2.2.3. Relation entre le pH et le complexe absorbant	39
2.2.4. Classification des sols en fonction de pH	40
2.2.5. Potentiel hydrogène en hors-sol	41
2.2.5.1. pH de la solution nutritive	41
2.2.5.2. pH de l'eau d'irrigation	41
2.2.6. Potentiel hydrogène et la plante	42
2.2.6.1. Effet du pH sur l'assimilation des éléments minéraux	42
2.2.6.2. Importance du potentiel hydrogène	44
2.3. Nutrition hydrominérale des plantes	45
2.3.1. Nutrition des plantes	45
2.3.2. Eau	47
2.3.3. Éléments minéraux	47
2.3.4. Absorption minérale	48
2.3.4.1. Définition	48
2.3.4.2. Modalités d'absorption	48
2.3.4.3. Étapes de l'absorption	49

### CHAPITRE 03 : GLYCOPHYTES CULTIVEES

3.1. Concombre	50
3.1.1. Description de la plante	50
3.1.2. Valeur nutritionnelle	52
3.1.3. Exigences de la plante	53
3.1.3.1. Exigences climatiques	53
3.1.3.2. Exigences édaphique	54
3.1.3.3. Exigences hydriques	55
3.2. Haricot	55
3.2.1. Description de la plante	56
3.2.2. Valeur nutritionnelle du haricot	57
3.2.3. Exigences de la plante	57
3.2.3.1. Exigences climatiques	57
3.2.3.2. Exigences Edaphiques	58
3.2.3.3. Exigences hydriques	59
3.2.4. Importance économique du haricot	60

### CHAPITRE 4 : MATERIEL ET METHODES

4.1. Objectif de l'expérimentation	61
4.2. Matériel végétal utilisé	61
4.3. Conditions de l'expérimentation	62
4.3.1. Lieu de l'expérience	62
4.3.2. Substrat	63
4.3.3. Containers	64
4.3.4. Dispositif expérimental	64
4.3.5. Pré germination	65
4.3.6. Description des différents traitements	65
4.4. Entretien des cultures	70
4.5. Paramètres étudiés	71
4.5.1. Paramètres biométriques	71

4.5.2. Paramètres de production	71
4.5.3. Paramètres de qualité	72
4.5.4. Paramètres biochimiques	72

## Chapitre 5 : Résultats et discussion

5.1. Paramètres de croissances	75
5.1.1 : Croissance en longueur et en épaisseur des plantes :	75
5.1.2 : Nombre moyen des feuilles et la surface foliaire	77
5.1.3 : Variation de la biomasse produite	79
5.1.3.1 : Biomasse fraîche produite	79
5.1.3.2 : Biomasse sèche produite	82
5.2 : Paramètres de production mesurés	84
5.3. Paramètres de qualité mesurés	87
5.4. Les paramètres biochimiques	89
5.4.1 : Teneur en chlorophylle	89
5.4.2 : Teneur en sucre soluble	92
5.4.3 : Teneur en proline	94
DISCUSSION GENERALE	98
CONCLUSION	107
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
ANNEXES	



## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Superficie affectée par la salinité dans différentes régions du monde	15
Tableau 1.2 : Superficies affectées par la salinité dans quelques périmètres de l'Ouest de l'Algérie	17
Tableau 1.3 : Classification des sols selon leur salinité	19
Tableau 1.4 : Évaluation de qualité des eaux irrigations en Algérie	20
Tableau 1.5 : Classe de tolérance des cultures à la salinité	22
Tableau 2.1 : Classification des sols en fonction du pH	40
Tableau 3.1 : Valeur nutritive du concombre	53
Tableau 3.2 : Composition du haricot vert (teneurs pour 100 grammes)	57
Tableau 3.3 : Besoins en température selon les stades de développement	58
Tableau 4.1 : Moyennes des températures par décade en (C°).	63
Tableau 4.2 : Teneurs des différents éléments minéraux contenus dans l'eau de Blida : pH=7.30	66
Tableau 4.3 : Composition de l'eau naturelle de Gassi Touil	67
Tableau 4.4 : Eau de Gassi Touil reconstituée avec l'eau de Blida	67
Tableau 4.5 : Composition des solutions complémentaires d'oligo-éléments A et B	69
Tableau 4.6 : Description des différents traitements	69
Tableau 4.7 : Doses et fréquences d'irrigation nécessaire	70
Tableau 5.1: Hauteur moyenne finale des plantes et du diamètre des tiges	75
Tableau 5.2 : Nombre des feuilles par plante et de la surface foliaire	77
Tableau 5.3 : Biomasse moyenne fraîche de la partie aérienne et racinaire	79
Tableau 5.4 : Biomasse moyenne sèche de la partie aérienne et racinaire	82
Tableau 5.5 : Nombre moyen des fleurs, le nombre, le poids frais moyen et la longueur du fruit du concombre	84
Tableau 5.6 : Nombre moyen des fleurs, le nombre, le poids frais moyen et la longueur du fruit du haricot	85
Tableau 5.7 : Quantité de la vitamine C et des sucre totaux	87
Tableau 5.8 : Teneur moyenne en chlorophylle : Chl (a) ; Chl (b) et Chl (c) [ $\mu\text{g/g}$ MF] chez le concombre.	90
Tableau 5.9 : Teneur moyenne en chlorophylle : Chl (a) ; Chl (b) et Chl (c) [ $\mu\text{g/g}$ MF] chez le haricot.	90
Tableau 5.10 : Teneur moyenne en sucres solubles [ $\mu\text{g/g}$ MF]	92
Tableau 5.11 : Teneur moyenne en proline [ $\mu\text{g/g}$ MF].	95

## LISTE DES FIGURES

Figure 1.1: Destruction de la structure du sol due à l'excès de sodium	16
Figure 1.2 Déstabilisation des enzymes par le stress salin	23
Figure 2.1 : Concentration des principaux minéraux en fonction du pH du sol	44
Figure 3.1. Coupe longitudinale de la fleur mâle (a) et femelle (b) de <i>concombre</i>	51
Figure 4.1 : Localisation du lieu de l'expérience	62
Figure 4.2 : Dispositif expérimental	64
Figure 4.3 : Essai de germination des graines de concombre et du haricot dans l'étuve à 25°C	65

## INTRODUCTION

L'eau est une ressource indispensable pour les végétaux. Sa présence est une condition incontournable pour que toute plante puisse se développer et assurer ses fonctions physiologiques et vitales. Cette ressource est mal répartie. L'Afrique du Nord et le Moyen-Orient présentent les zones les plus menacées de sécheresse [1].

Dans les zones arides et semi-arides, la rareté des pluies et les besoins élevés en eau des cultures font que la réussite des productions végétales dépend uniquement des eaux souterraines qui présentent souvent des teneurs en sels et pH élevés [2]. La valorisation de ces eaux par la modification de leurs propriétés physicochimiques et en particulier la correction de la composition chimique et du potentiel hydrogène de ces eaux souterraines permettraient également d'améliorer la croissance et le développement des cultures dans ces régions [3]. Aussi, la nécessité de développer des productions légumières et horticoles dans ces régions exige la pratique des cultures hors sol ce qui permettrait d'économiser l'eau et de valoriser les terrains affectés par la salinité, la correction de la composition chimique de l'eau d'irrigation permet également d'améliorer la croissance et le développement des cultures dans les régions où l'eau salée constitue une véritable contrainte à la croissance des plantes et en définitif à la production végétale [4], [5], [6].

C'est dans ce contexte notre travail s'inscrit. Dont l'objectif consiste à étudier le comportement des plantes du haricot et du concombre, plantes sensible à la salinité ; cultivées en hors-sol. Les plantes sont alimentées par un ensemble de cinq traitements salins naturel de la région de Gassi Touil reconstitués avec l'eau de Blida et transformés en solution nutritive par la correction du potentiel hydrogène par l'acidification avec deux types d'acides : nitrique et phosphorique, et l'addition des oligo-éléments qui les rendent équilibrées en sels ce qui facilite leurs absorptions par les plantes.

Afin de bien suivre l'effet des traitements, on a pratiqué un système d'un seul bloc où chaque traitement est représenté par 5 répétitions, et pour mettre en évidence la réponse des plantes nous avons procédé à un dosage des paramètres morphologiques, biochimiques et de qualité de fruits.

## CHAPITRE 01 LA SALINITE

### 1.1. Généralité

Les stress abiotiques sont responsables d'une perte de rendement estimée à 50% pour les cultures les plus répandus [7]. Ils constituent donc des facteurs limitant non négligeables pour l'agriculture mondiale. Ces stress se traduisent par des changements morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui affectent négativement la croissance de la plante et sa productivité [8]

Dans les régions arides et semi arides, les contraintes hydriques sont aggravées par la salinité accrue des milieux, qui elle-même est amplifiée par l'irrigation intensive avec des eaux riches en sels [9]. A l'échelle planétaire, 20% des surfaces irriguées sont affectées par la salinité. En termes de sécurité alimentaire, la salinité des sols représente un obstacle au développement de l'agriculture car 20% des sols sont irrigués et produisent 1/3 de l'alimentation mondiale [10]. En effet, la plupart des plantes cultivées, qui sont des glycophytes dont la croissance, le développement et la productivité sont réduites par des taux trop élevés en sel. Dans la majorité des sols salins, le NaCl est la forme chimique principalement retrouvée et représente entre 50 à 80 % des sels solubles totaux [11]. En Afrique, 39 Mha, soit 2 % des terres arables, sont des sols salins et parmi eux 34 Mha sont des sols sodiques [10]. Dans ces régions, les plantes doivent être irriguées afin de garantir les cultures et d'augmenter la production. Dans ces régions, la mauvaise qualité des eaux d'irrigation accompagnée d'un drainage insuffisant entraine souvent une accumulation de sels dans le sol. La physiologie des plantes poussant dans des sols salés est ainsi altérée, ce qui réduit leur croissance et leur rendement. [12]

L'excès de la teneur en sels est l'un des principaux soucis des agriculteurs. Une concentration élevée en sel dans l'eau d'irrigation ou dans les sols affectera négativement le rendement, provoquera une dégradation des sols et entrainera une pollution des eaux souterraines [13]

La salinité est définie comme étant la concentration de la solution nutritive s'exprimant en gramme de sels par litre d'eau [14]. C'est un facteur environnemental très important qui limite la croissance et la productivité [15].

La salinité du sol ou de l'eau est causée par la présence d'une quantité excessive de sels. Généralement un taux élevé de  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  cause le stress salin. Le stress salin a un triple effet :

- Réduit le potentiel hydrique ;
- Cause un déséquilibre ionique ou des perturbations en homéostasie ionique ;
- Provoque une toxicité ionique.

Cet état hydrique altéré conduit à une croissance réduite et limitation de la productivité végétale. [16]

La salinisation est dite "secondaire" lorsqu'elle est produite par des activités anthropiques (agricoles, industrielles...) telles que l'irrigation, l'exploitation minière, le salage des routes ou le rejet d'eaux usées domestiques. Dans la nature, la plupart des cas de salinité sont dus aux sels de sodium et surtout au  $\text{NaCl}$  [16].

La haute salinité compromet des fonctions biologiques dans l'écosystème et cause la dégradation des ressources de sol et de l'eau [17].

## 1.2. Salinité dans le monde

La salinisation des terres est un problème majeur à l'échelle du globe. 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 [18].

Tableau 1.1 : Superficie affectée par la salinité dans différentes régions du monde [20].

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

Les superficies affectées par la salinité 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 [19].

### 1.3. Situation de la salinité en Algérie

En Algérie, plus de 20 % des sols irrigués sont concernés par le problème de la salinité. Dans la partie nord-ouest de l'Algérie, [21].

Les sols salés ou sols halomorphes sont caractérisés par leur teneur élevée en sels solubles dans l'ensemble ou dans une partie du profil ou par la dégradation de la structure de l'un de leurs horizons –ou de tout leur ensemble- sous l'influence de l'un des ions provenant de ces sels en particulier du sodium [22].



Figure 1.1: Destruction de la structure du sol due à l'excès de sodium [23]

Les sols sodiques en Afrique du Nord proviennent principalement d'une action de la mer (pas actuelle) ou de la présence de dépôts lagunaires salés et gypseux répartis dans l'échelle stratigraphique depuis le Trias jusqu'au Quaternaire.

En Algérie, il n'est recensé aucune étude cartographique fiable et précise permettant de délimiter les zones touchées par la salinité des terres et la quantification de la teneur des sels dans le sol [22]. Néanmoins il existe quelques données fragmentaires qui donnent une idée générale sur le phénomène de salinité et de la dégradation des terres. D'après [22] 3,2 million d'hectares subissent à des

degrés de sévérité variable, le phénomène de salinisation dont une bonne partie se trouve localisée dans les régions steppiques où le processus de salinisation est plus marqué du fait des températures élevées durant presque toute l'année, du manque d'exutoire et de l'absence de drainage efficient.

Ce phénomène est observé dans les plaines et vallées de l'Ouest du pays (Mina, Cheliff, Habra Sig, Maghnia) dans les hautes plaines de l'Est (Constantine, Sétif, Bordj Bou Arreridj, Oum El Bouagui), aux abords des Chotts et de Sbkhas (Chott Ech Chergui, Chott Gharbi, Chott Hodna, Chott Melghir, Sebkhia d'Oran, de Benziane, Zemmoul, Zazhrez Gharbi et Chergui, etc..) et dans le grand Sud (dans les Oasis, le long des oueds, etc...) [22].

Tableau 1.2 : Superficies affectées par la salinité dans quelques périmètres de l'Ouest de l'Algérie [22]

Périmètres irrigués	Sup irrigables	Sup affectées	%
Haut Cheliff	20200	6400	32
Moyen Cheliff	21800	8700	40
Bas Cheliff	22500	15000	67
Mina	9600	4190	44
Habra	19600	8100	41
Sig	8600	3200	37
Haut Cheliff	20200	6400	32

#### 1.4. Salinisation des sols

Bien que l'altération des roches et les minéraux primaires soit la principale source de tous les sels, les sols salés sont rarement formés par accumulation de sels in situ. Plusieurs causes sont à l'origine de ce phénomène [24].

La salinisation des sols se traduit par une accumulation de sels solubles à la surface ou en dessous de la surface des sols, à des niveaux de salinité nuisibles pour la croissance des plantes qui rendent les sols impropres à l'agriculture. Elle est due à l'évaporation qui laisse sur place les sels qui étaient dissous dans l'eau. La salinisation peut résulter de l'ascension capillaire des eaux souterraines salines ou de l'irrigation avec des eaux salées [23].

Les sols naturellement salins sont fréquents dans les zones arides, parce que l'évaporation potentielle du sol dépasse largement la quantité d'eau qui arrive au sol, ce qui permet aux sels de s'accumuler près de la surface [25].

En dépassant un certain seuil de minéralisation, le sol acquiert un caractère salé et les végétaux subissent une sécheresse physiologique due à une pression osmotique trop forte et à une toxicité due à l'adsorption de certains éléments comme le sodium, par échange cationique [26].

Dans le sol, les ions contenus dans les eaux météoriques (contaminées) se comportent différemment :

- Le  $\text{Cl}^-$  n'est pas un ion réactionnel. Il n'est pas retenu dans le sol. Il est lessivé vers les nappes phréatiques ;
- Le  $\text{Na}^+$  est retenu dans le sol et va réagir avec les particules chargées du sol [27].

L'accumulation de sels libres dans le sol ou salinisation [28], peut avoir :

- Une origine géologique : une roche mère sous-jacente pouvant libérer par le biais de l'altération des éléments riches en sodium.
- Mais également des causes anthropiques qui accentuent ce phénomène avec par exemple le rejet d'eaux d'irrigation salées ou l'utilisation des sels de déneigement [29].

Dans le sol, les charges négatives provenant des groupements chimiques de la matière organique et des charges de surface des argiles constituent des sites d'adsorption des ions sodium.

L'augmentation du sodium dans le sol conduit à l'augmentation de son pH qui peut atteindre 9. C'est l'alcalinisation. Ce phénomène est dû à la formation de carbonates de sodium, issus de la réaction entre les ions  $\text{Na}^+$  et les ions  $\text{CO}_3^{2-}$ . Lorsque le pH est très élevé, la matière organique peut se solubiliser formant ainsi les « salants noirs ». C'est un processus de dégradation des sols qui est difficile à éliminer car il faut utiliser des produits très acides pour augmenter la solubilité des carbonates de sodium et ainsi neutraliser le milieu [30].



Tableau 1.3 : Classification des sols selon leur salinité [31]

Conductivité électrique ds/cm	Concentration g/l	Nature de la salinité
CE < 0,25	< 0,2	Non saline
0,25 <CE< 0,75	0,2 - 0,5	Salinité moyenne
0,75 < CE 2,25	0,5 – 1,5	Forte salinité
2,25 <CE< 5	1,5 – 3,0	Très forte salinité
5 <CE< 20	3,0 – 7,0	Salinité excessive

### 1.5. Salinité des eaux

La salinisation est l'une des principales causes de dégradation de la qualité de l'eau dans le monde. Ce phénomène très répandu s'avère particulièrement problématique dans les régions arides et semi-arides où la ressource en eau douce se trouve en quantité très limitée [32].

Les eaux salées ou saumâtres proviennent, soit de la mer, soit de la terre (sources, rivières, nappes phréatiques et artésiennes) [33].

L'utilisation des eaux salines pour l'irrigation cumule les difficultés de l'irrigation en général et celles de l'utilisation des terres salines [34], On y ajoute les inconvénients du maintien de la salure dans ces terres cause des apports salins de l'eau [35].

En effet, l'irrigation à l'eau saline peut provoquer une importante accumulation de sels [35] dans le sol si la percolation est insuffisante. [36].

L'eau d'irrigation inclut toujours une certaine quantité de sels dissoutes, ces sels sont issus de la désagrégation des roches par l'eau. Le gypse et d'autres sources de sels sont dissous avec le temps, menant à des degrés variables de salinité dans l'eau d'irrigation [37].

La 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) [18].

Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), de magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), de sodium ( $\text{Na}^+$ ), les chlorures ( $\text{Cl}^-$ ), les

sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) et les bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ). 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 [38].

#### 1.5.1. Évaluation de la qualité des eaux d'irrigation

D'après [38], 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 ( $\text{Na}^+$ ) par rapport aux autres cations ;
- Alcalinité et la dureté : Concentration d'anions Carbonate ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) et bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ) en relation avec la concentration en calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et en magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) ;
- 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 plantes flétrissent parce que les racines n'absorbent pas suffisamment d'eau pour remplacer celle perdue par évapotranspiration [38].

D'après [18], la qualité des eaux d'irrigation est généralement subdivisée en 4 classes de risque de salinisation des sols :

Tableau 1.4 : Évaluation de qualité des eaux irrigations en Algérie [3], [18]

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

### 1.5.2. Rapport entre la salinité du sol et de l'eau d'irrigation

L'étude pédologique nous a montré que la plupart des sols irrigués sont affectés par la salinité. Cette dernière est liée à la salinité de l'eau d'irrigation. La salinité développée au niveau du sol va de pair avec celle de l'eau d'irrigation. Plus la conductivité électrolytique de l'eau d'irrigation est forte plus la teneur en Na augmente, provoquant ainsi un enrichissement net en sodium soluble. Lorsque la conductivité croît, le faciès chimique passe du type (Ca, Cl) au type (Na, Cl).

Les résultats ont montré que la salinisation était la conséquence d'une irrigation avec des eaux assez concentrées en sel. Bien que dans certains endroits, les eaux ne soient pas très salées, ce sont pourtant elles qui ont donné naissance aux différentes manifestations de salinisation à cause des caractéristiques spécifiques des sols (sols argileux). [39],

### 1.6. Impact du stress salin sur les végétaux

Tous les végétaux ne tolèrent pas de la même manière ce stress physiologique. Selon leur tolérance on peut les classer entre les deux catégories extrêmes que sont les halophytes et les glycophytes [40].

- 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.... [13].

Tableau 1.5 : Classe de tolérance des cultures à la salinité [20].

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

Le stress salin cause des dégâts multiples aux plantes. Ceci est dû au caractère multifactoriel de ce stress physiologique. En effet le stress salin est la résultante de trois effets toxiques sur les végétaux, qui sont :

L'effet osmotique, la toxicité ionique des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  et les effets secondaires du stress salin [41].

#### A. Effet osmotique

L'effet osmotique va se traduire par un approvisionnement des plantes en eau moins important les exposant ainsi à un stress hydrique. En effet, l'eau se déplace toujours, dans la plante, des compartiments les plus concentrés vers les compartiments les moins concentrés (l'eau va dans le sens des potentiels hydriques  $\psi_w$  décroissants). C'est le phénomène d'osmose. Ainsi l'augmentation de la concentration en ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  dans la solution du sol va aller à l'encontre de l'absorption racinaire de l'eau. Les plantes étant moins approvisionnées en eau, vont ainsi présenter des carences en éléments minéraux essentiels tel que les ions  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{--}$ . Le développement de la plante va donc être fortement compromis [42].

#### B. Toxicité ionique

L'homéostasie ionique contribue au maintien d'un taux constant et faible des espèces ioniques dans le cytoplasme des cellules afin de limiter les effets du  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  sur la fonctionnalité des enzymes. (Figure 1.2).

Le peu d'eau prélevée dans le sol par les plantes va être fortement concentrée en sel ce qui va donc se traduire par une élévation de la concentration

en ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  dans les compartiments intracellulaires et tout particulièrement dans les feuilles. Ce déséquilibre des concentrations va causer un grand nombre de dysfonctionnements métaboliques dans les cellules. En effet les ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  vont, à fortes concentrations, déstabiliser la structure tertiaire des enzymes qui est essentielle pour les rendre fonctionnelles [42].

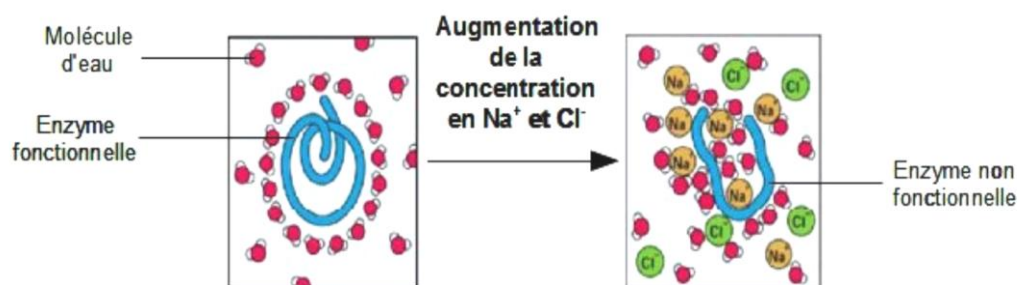


Figure 1.2 Déstabilisation des enzymes par le stress salin [42]

Les ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  vont modifier la distribution des molécules d'eau autour des protéines entraînant un changement de conformation de ces dernières et modifiant de façon partielle et/ou totale l'activité des enzymes [43]

Au sein des membranes cellulaires, il existe des transporteurs d'ions  $\text{K}^+$ , permettant leur entrée dans la cellule. Ces ions sont vitaux car ils sont impliqués dans la synthèse de protéines, l'activation de certaines enzymes, l'osmorégulation, le maintien de la turgescence et la stimulation de la photosynthèse.

Une forte concentration en  $\text{Na}^+$  va provoquer des phénomènes de compétition entre  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  au niveau de ces transporteurs et dans les compartiments intracellulaires. Ainsi de fortes concentrations de ces ions dans les chloroplastes vont provoquer une baisse de l'activité photosynthétique (par une affectation du métabolisme du carbone et de photophosphorylation [40]

### C. Effets secondaires

D'autres effets néfastes peuvent être constatés suite à une forte salinité dans l'environnement de la plante. Il s'agit notamment de modifications de l'intégrité membranaire et métabolique ainsi que de la production de molécules toxiques telles que des formes d'oxygène très réactives et donc source de problèmes physiologiques. Il a été également mis en évidence que les effets primaires et

secondaires pouvaient causer des modifications des divisions et des expansions cellulaires causant ainsi des troubles dans la croissance végétale [44].

Cependant toutes ces pathologies végétales précédemment citées n'interviennent qu'à un certain seuil de salinité car les plantes présentent différentes stratégies pour réduire l'impact de ce stress salin comme la présence des glandes au niveau des feuilles pour cristalliser le sel, l'augmentation de la synthèse de composés « compatibles » dans le cytosol afin de faire baisser le potentiel osmotique de ce milieu pour continuer à absorber l'eau du sol ou encore la compartimentation du sel dans les vacuoles [44].

Depuis que le stress salin implique aussi bien le stress osmotique qu'ionique [33], l'arrêt de la croissance est directement relié à la concentration des sels solubles ou au potentiel osmotique de l'eau du sol [45]

Durant le début et le développement du stress salin à l'intérieur de la plante, tous les processus majeurs tels que : la photosynthèse, la synthèse des protéines, le métabolisme énergétiques... sont affectés. La première réponse est la réduction de la vitesse d'extension de la surface foliaire, suivi par l'arrêt de l'extension avec l'intensification du stress. [46]

#### 1.6.1. Effet de la salinité sur la croissance des plantes

La réponse immédiate du stress salin est la réduction de la vitesse de l'expansion de la surface foliaire ce qui conduit à l'arrêt de l'expansion si la concentration du sel augmente [47]. Le stress salin résulte aussi dans la diminution de la biomasse sèche et fraîche des feuilles, tiges et racines [48]. Il a été montré par les travaux de [49] que la salinité accrue est accompagnée par une réduction significative dans la biomasse racinaire, la hauteur de la plante, le nombre de feuilles par plante, la longueur des racines et la surface racinaire chez la tomate, ainsi le taux élevé de NaCl se manifeste par une croissance dans la biomasse des racines, tiges et feuilles et une augmentation dans le ratio partie racinaire/partie aérienne chez le coton [50].

Un stress salin extrême conduit au nanisme et à l'inhibition de la croissance racinaire. Les feuilles deviennent sclérosées avant même d'avoir fini leur croissance et l'organisme tout entier risque de dépérir assez vite [51].

Les effets néfastes de la salinité sur la croissance des plantes sont généralement associés au faible potentiel osmotique [52], 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, entre en concurrence avec le potassium 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 [53].

#### 1.6.2. Effet de la salinité sur l'absorption de l'eau

Le potentiel hydrique et le potentiel osmotique des plantes deviennent de plus en plus négatifs avec l'augmentation de la salinité ainsi que la pression de la turgescence [46]. Dans les conditions de concentrations élevées de salinité accrue, le potentiel hydrique de la feuille et la vitesse d'évaporation diminuent significativement chez l'halophyte [54].

Chez les plantes cultivées sur milieu témoin sans sel, la concentration totale de la solution foliaire en solutés organiques tend à diminuer avec l'avancement en âge des plantes, alors qu'un effet opposé est noté pour la concentration inorganique totale de la feuille [55].

Irriguer avec de l'eau chargée en sels réduit la faculté des racines des plantes à puiser de l'eau du sol. Entre deux irrigations, alors que l'humidité du sol diminue, les sels de la solution du sol peuvent se concentrer à hauteur de 2 à 5 fois leur valeur initiale. Ceci cause une augmentation de la pression osmotique de la solution du sol et rend encore plus difficile pour les racine d'extraire l'eau du sol. C'est ce qu'on appelle une sécheresse physiologique [24]. Les effets osmotiques du stress salin peuvent également limiter la croissance des racines, ce qui limite les possibilités l'absorption des éléments nutritifs du sol [42].

En présence de sel, l'absorption des cations  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  dépasse souvent celle des anions  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{PO}_4^{4-}$  et  $\text{NO}_3^-$ , ce qui engendre un déficit anionique pour le végétal. Dans les feuilles, les Chlorures ( $\text{Cl}^-$ ) sont toujours accumulés proportionnellement à la teneur globale en sel et en plus grande quantité que le  $\text{Na}^+$  [56]. Le chlore, en entrant en compétition avec le  $\text{NO}_3$ , inhibe dans les plantes

sensibles aux sels l'absorption et le transport à longue distance de cet anion vers les parties aériennes et engendre ainsi une carence nutritionnelle qui est estimée par la différence entre la teneur globale en cations majeurs  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{Na}^+$  et la teneur en  $\text{Cl}^-$  [57]. Le stress salin réduit dramatiquement la fixation de l'azote  $\text{N}_2$  et l'activité nitrogénase de nodosités chez les légumineuses herbacées [57].

### 1.6.3. Effet de la salinité sur l'anatomie de la feuille

La salinité cause une augmentation de l'épaisseur de l'épiderme, l'épaisseur du mésophylle, la longueur des cellules palissadiques le diamètre des cellules palissadiques dans les feuilles du haricot, du coton et de l'atriplex. La salinité réduit aussi l'espace intercellulaire dans les feuilles. L'épaisseur du mésophylle et de l'épiderme ainsi que l'espace intercellulaire diminuent significativement dans les feuilles traitées avec le NaCl de la mangrove [46].

Le stress salin cause :

1- le développement de la vacuolisation et un gonflement partiel du réticulum endoplasmique ;

2- le gonflement de la mitochondrie ;

3- la vésiculation et la fragmentation du tonoplaste ;

4- la dégradation du cytoplasme par le mélange de la matrice cytoplasmique et vacuolaire des feuilles de la patate douce [46].

#### 1.6.3.1. Effet de la salinité 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 [12].

L'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 [58].

L'effet à long terme s'exprime après plusieurs jours de l'exposition au sel et la diminution de l'assimilation du carbone est due à l'accumulation du sel dans les



feuilles en développement [59]. Aussi il a été rapporté la suppression de la photosynthèse sous les conditions d'un stress salin [60]. Et qu'elle ne diminue pas mais plutôt stimulée par de petites concentrations de sel [61]. La diminution de la vitesse photosynthétique est due à plusieurs facteurs : (1) la déshydratation des membranes cellulaires ce qui réduit leur perméabilité au CO<sub>2</sub>, (2) la toxicité du sel, (3) la réduction de l'approvisionnement en CO<sub>2</sub> à cause de la fermeture hydro active des stomates, (4) la sénescence accrue induite par la salinité et (5) le changement dans l'activité des enzymes causé par le changement dans la structure cytoplasmique [62].

#### A. Chlorophylle

La chlorophylle est un pigment assimilateur principal des végétaux supérieurs. Ce pigment situé dans les chloroplastes des cellules végétales, La chlorophylle est responsable de la capture de l'énergie lumineuse utilisée dans la photosynthèse. La molécule de chlorophylle est constituée de deux parties ; une tête formée d'une « porphyrine » et une longue queue d'hydrocarbures ou « phytol » [63]

#### B. Chlorophylle et le stress

Tous les polluants atmosphériques retenus par les feuilles sont transformés à l'intérieur de la plante et affectent sa respiration, sa transpiration et sa photosynthèse. Les dommages causés se manifestent par des chloroses au niveau des feuilles et des lésions nécrotiques, donc par dégradation des chlorophylles [64]

La biosynthèse des chlorophylles est beaucoup plus inhibée par le froid que par la chaleur [65].

Le taux de la chlorophylle et des caroténoïdes des feuilles diminuent en général sous les conditions de stress salin. Les feuilles les plus âgées commencent à développer une chlorose et finissent par tomber pendant une période prolongée de stress salin [66].

#### C. Rôle de la chlorophylle

En plus de son rôle primordial dans la photosynthèse, cette dernière est responsable de la formation des réserves glucidiques. Le glucose se transforme en

amidon par poly-concentration. La réaction de synthèse du glucose, réaction endothermique est possible grâce à l'absorption par la chlorophylle et de l'énergie de radiations lumineuses, Elle s'effectue en deux phases :

- Une phase photochimique : la chlorophylle absorbe les réactions lumineuses et amorce la réaction de synthèse.
- Une phase thermochimique : la réaction de synthèse déclenchée par la lumière grâce à la chlorophylle se poursuit par un mécanisme chimique sensible à toute variation de température [67].

### 1.7. Réactions des plantes aux stress osmotiques

Le stress fait subir une perte importante d'eau au niveau des cellules, provoquant une tension entre la membrane plasmique et la paroi végétale, entraînant un dysfonctionnement de la photosynthèse, et donc une baisse de rendement, Pour y remédier la plante synthétise :

- Des osmoprotecteurs, comme la proline ou la glycine bêtaïne, qui permettent de maintenir l'équilibre d'eau des cellules végétales et son environnement extérieur ;
- Des protéines spécifiques ;
- Des acides gras afin de modifier la perméabilité de la membrane plasmique [68].

Les facteurs de stress abiotiques environnementaux comme la sécheresse, la salinité et les températures extrêmes sont des facteurs limitant la croissance de la plante et la productivité des cultures, Les organismes vivants dans ces habitats où ces facteurs sont prédominants développent des formes d'adaptation variés en accumulant des solutés organiques tels que les sucres, les alcools, et les acides aminés principalement la proline. [69]

Les 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 [70].

Parmi les stratégies biochimiques il y a :

- Synthèse et accumulation de la proline
- Accumulation de sucres

### 1.7.1. Proline

C'est un acide aminé dont les propriétés biochimiques sont assez voisines de celle des autres aminés. Son poids moléculaire est de 115.13 g/mol. La proline est un acide aminé non polaire caractérisé par un cycle pyrodique. Il est à noter que la proline contient dans sa molécule une fonction amide, ce qui en fait un aminoacide. Sa fréquence moyenne dans les protéines est de 5.2% [71].

L'accumulation de la 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 [72]

#### 1.7.1.1. Synthèse de la proline

La proline est synthétisée à partir de l'acide glutamique, ce qui engendrera une réaction se déroulant entre g-carboxyle du glutamate et la molécule d'ATP pour former l'acyle phosphate et donne g-glutamyl phosphorique acide qui se recyclera en dégageant une molécule d'H<sub>2</sub>O et forme D-pyroline carboxylique qui se recyclera à son tour avec une molécule NADPH et qui donnera la proline [73]. La réductase forme la proline en utilisant le NADH, H<sup>+</sup> ou le NADPH, H<sup>+</sup> [74]. La dégradation de la proline induit du glutamate avec la formation intermédiaire du glutamate – 5- semi- aldéhyde [75].

#### 1.7.1.2. Proline et le stress

- L'accumulation des polyamides aliphatiques, dans les plantes supérieures résulte de nombreux stress biotiques et abiotiques.
- L'augmentation de leur concentration peut donc représenter un marqueur [76].

- Le taux de proline s'accroît dans les feuilles lorsque la température s'élève [51].
- La proline est un acide aminé dont la présence est souvent associée à des situations de stress [45].
- La production et l'accumulation de la proline sont fréquemment associées à un stress tel que la sécheresse, la salinité, la température et la lumière [45].

#### 1.7.1.3. Rôle de la proline

La proline est un acide aminé indispensable chez les végétaux, Elle est considérée comme un indicateur des stress [77].

La proline semble jouer un rôle important dans la réponse des plantes à la sécheresse. Son accumulation rapide lors du stress hydrique a été mise en évidence chez de nombreuses plantes, particulièrement chez l'orge [78], chez l'Eucalyptus [79], chez les blés tendres [80].

Elle joue un rôle consistant dans l'osmoprotection et la régulation du pH cytoplasmique. Elle fournit une réserve d'azote pouvant être utilisée en condition de stress comme un moyen de réduction de l'acidité ou l'élimination de résidu [75].

#### 1.7.2. Sucres solubles

Les hydrates de carbone sont les composants majeurs des arbres, Ils représentent trois quart de leur poids sec [81]. Les 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 [72].

Pour une fonction normale d'une cellule, ou d'un organe, les sucres solubles sont indispensables. Chez les végétaux les besoins sont couverts par la photosynthèse, cependant après excès on aura une voie de stockage sous forme d'amidon ou sous forme d'autres glucides complexes [82].

### 1.7.2.1. Sucres et le stress

Il a été démontré que certains composés notamment, les sucres solubles s'accumulent dans les tissus des plantes cultivées sous stress [85]. L'accumulation des sucres solubles est un moyen adopté par les plantes en cas de stress, afin de résister aux contraintes du milieu [84].

### 1.7.2.2. Rôle des sucres

➤ Les glucides ont un rôle fondamental dans la vie des végétaux, Ce sont les produits primaires de la photosynthèse et les composés à partir desquels sont synthétisés les lipides et les protéines.

➤ Ce sont des indicateurs de degrés de stress. À cause de son importante augmentation lors de la sévérité, les sucres métaboliques (glucose, galactose, saccharose et fructose) permettent la résistance aux différents stress [85]. Les sucres solubles associés à d'autres solutés organiques (protéines, glucides, acides organiques (malate), acide aminés) interviennent dans le processus d'osmorégulation [86].

➤ Le saccharose et les monosaccharides, jouent un rôle osmotique dans la baisse du potentiel osmotique et par voie de conséquence dans l'ajustement osmotiques, chez les différentes plantes et leur confèrent une tolérance vie à vie du stress [80].

## 1.8. 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 [87].

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 [87].

- Maintien de niveaux satisfaisants de la fertilité, du pH et de la structure des sols pour favoriser la croissance des cultures à haut rendement [88].
- Optimisation de la couverture de la surface du sol, par exemple avec des espèces à récoltes multiples [88].
- Paillage de la terre afin de conserver l'humidité du sol et de réduire l'érosion [88].
- Choix des cultures appropriées ; par exemple par l'utilisation de plantes aux racines profondes pour maximiser l'extraction de l'eau [88]. Aussi L'utilisation des plantes résistantes à la salinité [83]

## CHAPITRE 2

### LA CULTURE HORS-SOL, LE POTENTIEL HYDROGENE ET LA NUTRITION HYDROMINIRALE DES PLANTES

#### 2.1. Culture hors-sol

Pour que les végétaux poussent de manière optimale, ils ont besoin de lumière (qu'elle soit naturelle ou artificielle), d'une température stable et tempérée, d'une hygrométrie de l'air suffisante ainsi que d'une oxygénation satisfaisante des racines, enfin, d'une nourriture adéquate en suffisance composée d'eau, de sels minéraux et d'oligo-éléments [89].

##### 2.1.1. Généralités

Les premières expériences de culture hors sol ont été réalisées en France dans les années trente, rendues possibles, entre autres, par les nouvelles formulations de solutions nutritives, utilisables encore de nos jours [90].

Les cultures hors sol ou sans 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 [89].

L'hydroponie ou culture hydroponique (ou agriculture hors-sol), du grec ponos : effort et hydro : eau, est la culture de plantes réalisée sur substrat neutre et inerte [91]. [92], rapportent que ces matériaux peuvent être du gravier, sable, vermiculite, laine de roche, brique concassé, et même du polystyrène. Ce substrat est régulièrement irrigué d'un courant de solution qui apporte les sels minéraux et nutriments essentiels à la plante [93].

Selon [93], l'hydroponie est décrite comme la science de la croissance des plantes sans l'utilisation de sol, mais plutôt par l'emploi d'un substrat relativement inerte (sable, perlite, vermiculite, laine de roche, fibre de verre, roche volcanique, tourbe, sciures) additionné d'une solution nutritive contenant tous les éléments essentiels dont la plante a besoin pour une croissance normale [90].

### 2.1.2. Différents systèmes de la culture hors sol

Les cultures hors sol sont presque toujours utilisées sous serre ou sous abri. Lorsque l'on utilise ces techniques de culture hors sol et sous abri, il faut raisonner en système et non porter sa réflexion sur un élément isolé [89].

On appelle « système » un ensemble constitué par la présence ou l'absence d'un substrat, son réseau de distribution avec l'ensemble des appareillages nécessaires au fonctionnement, en intégrant tout cet ensemble sous l'effet « abri » [89].

Le terme de « culture hors sol » s'applique à une multitude de systèmes qui paraissent, à priori, très différents les uns des autres. Ces systèmes de culture hors-sol sont classés selon différents critères [91].

### 2.1.3. Mode d'apport de la solution nutritive

➤ **Les installations à solution perdue** ou **circuit ouvert**, où le liquide nutritif est fourni aux racines en excédent, celui-ci étant éliminé par drainage du substrat et généralement rejeté à l'extérieur du système [91].

➤ **Les systèmes à solution recyclée** ou **circuit fermé**, Où la solution fertilisante apportée en excès est récupérée après alimentation des racines, Elle est éventuellement complétée et désinfectée, puis à nouveau fournie aux plantes [91].

### 2.1.4. Présence ou absence de substrat

#### ➤ Absence du substrat

Dans ce type de système, les racines des végétaux sont alimentés par un milieu liquide minéral appelé solution nutritive, qui apporte l'eau, l'oxygène et les éléments minéraux indispensables au développement de la plante [89].

Cette technologie de production végétale caractérisée par une alimentation minérale des racines, la solution nutritive, ne nécessite pas de support solide [89].

#### ➤ Présence du Substrat

Dans la pratique, les cultures hors sol avec substrat constituent de loin le système le plus répandu. Le terme de « substrat » employé ici s'applique à tout matériau qui permet l'ancrage du système racinaire et joue le rôle de support.



La gamme est large et variée, et dans laquelle le producteur peut faire son choix qui, généralement, s'arrête sur la base de critères économiques [89]

#### 2.1.5. Composantes du système hors-sol

##### a. Substrat

C'est une substance inerte chimiquement (qui est incapable de réagir avec d'autres substances), qui remplace la terre, et qui est utilisée comme support de culture pour les plantes. Il doit protéger les racines de la lumière et leur permettre de respirer [94].

Le milieu de culture doit répondre aux quatre besoins essentiels de la plante : l'eau, les éléments nutritifs, l'oxygène et un support pour les racines. Pour être efficace, le substrat doit être bien aéré, riche en éléments nutritifs, exempt d'agents pathogènes et avoir une bonne capacité de rétention en eau [95].

##### b. Solution nutritive

En hors sol, il n'y a pas d'apport d'éléments minéraux par le substrat. Ces derniers doivent donc être fournis par la solution nutritive, en même temps que l'eau et doivent être suffisants pour couvrir à chaque instant les besoins de la plante [96].

Les solutions nutritives sont fabriquées à partir des eaux naturelles qui peuvent renfermer des sels. Certains sels sont indésirables, mais la technologie de fabrication permet de tenir en compte ou de corriger les teneurs [97].

Les auteurs [98] indiquent que la solution nutritive est caractérisée par trois paramètres principaux :

- Le pH ;
- La concentration saline ;
- L'équilibre ionique.

D'après [99], les doses et les fréquences d'apports de solution nutritive seront finement calculées de même que les équilibres de la solution. Il faut apporter tous les éléments dont la plante a besoin (macro et oligo-éléments), dans une formulation facilement et rapidement assimilable, avec les équilibres convenant aux stades de cultures.

### c. Conteneurs

Le choix des conteneurs doit se faire en fonction de l'espèce cultivée et de son système racinaire, car ils doivent être de forme et de dimensions adéquates avec la culture et le substrat, chimiquement inertes, résistants, faciles à mettre en œuvre, à désinfecter et à un prix réduit [100].

En général les containers sont en matière plastique, chimiquement inertes, étanches, durables et dont la mise en place doit être facile. Selon [101].

#### 2.1.6. Pratique de la culture hors-sol

Aujourd'hui, la culture hors-sol est pratiquée en agriculture sur des millions d'hectares dans le monde. Un grand nombre des légumes frais comme la tomate, le concombre, la courgette, la laitue, le poivron, les piments, les épinards, les brocolis, les haricots, les carottes, les betteraves, les pommes de terre, les herbes aromatiques, qui sont cultivés en serre sont issus de cultures hors-sol, C'est également le cas de la majorité des fleurs coupées que l'on retrouve chez les fleuristes [102].

La culture hors sol a été initialement une technique de laboratoire visant à étudier en détail le fonctionnement des plantes. Elle a été utilisée ensuite chez les producteurs à partir des années 70 pour s'affranchir des parasites telluriques qui devenaient une menace croissante dans les monocultures intensives (exemple de la fusariose sur l'œillet de Nice). Mais l'essor actuel de cette technique sur une grande quantité d'espèces cultivées en serres (rose, tomate, concombre, poivron...) est principalement motivé par les progrès de productivité et par l'amélioration de la qualité des récoltes [97].

Ces progrès résultent d'une meilleure disponibilité de l'eau et des éléments minéraux, apportés sous forme d'une solution nutritive qui assure les besoins complets de la plante dans des substrats souvent inertes. Mais cette disponibilité ne s'obtient qu'au prix d'une gestion précise des apports car les substrats utilisés sont de faible capacité. La première tâche a été d'apprécier par l'expérience les besoins moyens en minéraux des espèces concernées, suivant leur stade de développement, à l'échelle de la journée ou de la semaine. Cela s'est traduit par

des pourcentages respectifs bien définis d'azote, de phosphore, de potassium, et autres éléments majeurs [102].

De même, les besoins quotidiens en eau, comptabilisés par m<sup>2</sup> de feuillage, ont été estimés empiriquement et corrélés aux conditions climatiques [103].

La culture hydroponique est très présente en horticulture et dans la culture forcée de certains légumes sous serre. Cette technique de culture s'est développée pour aboutir aujourd'hui à l'aéroponie et depuis très récemment l'ultraconion. Elle permet d'accélérer le processus de maturation des fruits grâce à un rythme nycthéral plus rapide et permet plusieurs récoltes par an [104].

## **2.2. Potentiel hydrogène**

Le pH est une abréviation de potentiel hydrogène, permettant d'exprimer le degré d'acidité ou de basicité d'une solution aqueuse [105]. Le pH est une valeur qui est proportionnelle au taux de protons (ions hydrogène : H<sup>+</sup>) et inversement proportionnelle aux ions hydroxydes (OH<sup>-</sup>) dans une substance [106].

Une substance sera dite « neutre » pour un pH =7 [105], c'est-à-dire la concentration en ions H<sup>+</sup> est égale à celle des ions OH<sup>-</sup> [107]. Lorsque la concentration en ions H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> d'une solution est supérieure à 10<sup>-7</sup>. Le pH est inférieur à 7, on considère qu'elle est « acide » [108]. Pour un pH supérieur à 7 le milieu est dit « basique » ou « alcalin » [106].

### **2.2.1. Notion du potentiel hydrogène**

On appelle potentiel hydrogène d'une solution (pH) le logarithme décimal négatif de sa concentration en ions H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> :

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

En fait le pH correspond au logarithme décimal négatif de l'activité des ions H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>. Mais aux concentrations habituelles des solutions nutritives, on peut assimiler l'activité des ions à leur concentration [108].

Les 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 hydroxydes est indiquée pour chacune des valeurs du pH [107].

D'après [109] 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

Le 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 [110].

L'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 [111].

Le 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  $\text{NH}_4^+$  (ammonium). Il est rapidement absorbé par les plantes et cette absorption s'accompagne d'une libération d'ion  $\text{H}^+$  ; 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  $\text{NH}_4^+$  et aura une conséquence une élévation du pH [111].

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 [111].

### 2.2.2. Potentiel hydrogène du sol ( $\text{pH}_{\text{EAU}}$ et $\text{pH}_{\text{KCL}}$ )

Dans une suspension de terre dans l'eau, tous les ions  $\text{H}^+$  ne sont pas dissociés. Une partie d'entre eux est retenue énergiquement par des molécules organiques ou par des minéraux argileux. Les ions  $\text{H}^+$  dissociés conditionnent le  $\text{pH}_{\text{eau}}$  (acidité actuelle). Ceux qui ne sont pas dissociés constituent une acidité potentielle, laquelle peut être déterminée par neutralisation à l'aide d'une base [109].

La mesure du  $\text{pH}$  d'une suspension d'un échantillon de sol dans l'eau ( $\text{pH}_{\text{eau}}$ ) rend compte de la concentration en ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  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 [109].

En pédologie, dans le cas des sols acides, il est intéressant de déterminer le  $\text{pH}$  d'une suspension de sol dans une solution de chlorure de potassium ( $\text{pH}_{\text{KCL}}$ ). L'ions  $\text{K}^+$  s'échangent avec les ions  $\text{H}^+$  qui n'étaient pas dissociés en suspension aqueuse. La différence entre  $\text{pH}_{\text{eau}}$  et  $\text{pH}_{\text{KCL}}$  donne une bonne idée de l'acidité potentielle. Le  $\text{pH}_{\text{KCL}}$  est en outre un paramètre plus stable dans le temps que le  $\text{pH}_{\text{eau}}$  [109].

- $\text{pH}_{\text{eau}}$  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 [113].
- $\text{pH}_{\text{KCL}}$  d'un sol : est obtenu en mélangeant la terre à une solution de chlorure de potassium (KCL). Ce  $\text{pH}$  donne une idée de l'acidité absorbée sur les particules du sol (complexe argilo- humique). Il est toujours plus bas que le  $\text{pH}_{\text{eau}}$  [112].

### 2.2.3. Relation entre le $\text{pH}$ et le complexe absorbant

Le  $\text{pH}$  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  $\text{Ca}^{++}$ ) et un sol entièrement dé-saturé [113].

Le complexe absorbant d'un sol à forte capacité d'échange pourra libérer dans la solution beaucoup plus d'ions  $\text{H}^+$  qu'un sol à faible CEC. L'origine des ions  $\text{H}^+$  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 actions échangeables (y compris  $Al^{3+}$  pour les sols acides et très acides) [109].

#### 2.2.4. Classification des sols en fonction du pH

Le 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 [112].

Tableau 2.1 : Classification des sols en fonction du pH [112]

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	

Aussi on peut connaître la nature des sols selon les signes suivants :

- Plantes indicatrices : La présence de certaines plantes peut indiquer si le sol est calcaire ou acide [114].
- 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 [114].
- 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 [114].
- 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) [114].

### 2.2.5. Potentiel hydrogène en hors-sol

En hydroponie, le support hydroponique est inerte (également dite neutre) contenant beaucoup d'oxygène mais aucun nutriment. 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. 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 [115].

#### 2.2.5.1. Potentiel hydrogène de la solution nutritive

Le 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 [116].

Le 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 [115].

#### 2.2.5.2. Potentiel hydrogène de l'eau d'irrigation

Le 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 microéléments est optimale [38].

D'après [116], 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 [38].

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 utiliser 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 [117].

### 2.2.6. Potentiel hydrogène et la plante

Le pH a des effets surtout indirects sur la croissance des plantes. Une saine gestion du sol commence par la correction des problèmes de pH [118].

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 [118].

Chaque espèce végétale a un pH optimum et les végétaux ont été classés en acidophiles, neutrophiles et alcalinophiles [119].

- 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 [105].

#### 2.2.6.1. 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) [119].

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 perdue, il peut avoir un effet négatif sur l'assimilation des éléments nutritifs [111].



La nutrition azotée des cultures légumières hors sol est basée en grande partie sur la forme nitrique. L'absorption du nitrate par la plante ( $\text{NO}_3^-$ ), conduit à une élévation du pH dans le milieu racinaire (libération d'ion  $\text{OH}^-$ ) [111].

Les 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 [117].

Un pH acide favorise la solubilisation des ions en particulier celle des phosphates et des carbonates de calcium. En milieu acide la forme  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  est favorisée alors qu'à pH plus basique, c'est la forme  $\text{HPO}_4^{2-}$  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  $\text{Fe}^{2+}$  (ferreux) ou  $\text{Fe}^{3+}$  (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 [122].

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 [92]. 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 [105].

L'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, ....) [106].

La 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 [105].

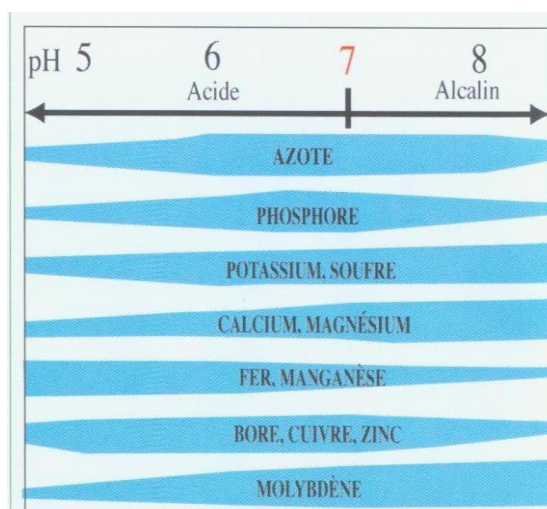


Figure 2.1 : Concentration des principaux minéraux en fonction du pH du sol [121].

#### 2.2.6.2. Importance du potentiel hydrogène

L'importance du potentiel hydrogène réside dans le fait qu'il est indicateur de la solubilité des éléments nutritifs dans le substrat, [122]. 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 [109].

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 [109].

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 [123]. Le pH 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 [106].

La 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 [123].

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 [123].

Dans la solution du substrat, les variations de pH engendrées par l'absorption préférentielle de certains ions. L'absorption d'anions (exemple  $\text{NO}_3^-$ ) provoque une alcalinisation de la solution car la racine rejette union ( $\text{OH}^-$ ) pour garder son équilibre de charges. L'absorption de cation (exemple  $\text{NH}_4^+$ ) entraîne une acidification par le rejet de ( $\text{H}^+$ ) [124].

### **2.3. Nutrition hydrominérale des plantes**

Comme tous les êtres vivants, les plantes ont besoin de nourriture pour croître, se développer et se reproduire. L'Homme et les animaux ne vivent que d'aliments sous forme organique, c'est-à-dire dérivés de plantes ou d'animaux. Les plantes, au contraire, peuvent constituer des tissus organiques directement à partir d'éléments minéraux. Pour se développer, les plantes utilisent de l'eau et des substances minérales à partir du sol, de la lumière (énergie solaire), du carbone (sous forme de  $\text{CO}_2$ ) et l'oxygène de l'air [125].

La 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. [126].

#### **2.3.1. Nutrition des plantes**

Les végétaux sont autotrophes c'est à dire qu'ils sont capables de produire de la matière organique avec les éléments minéraux du sol. Par divers mécanismes, les plantes accumulent les éléments minéraux nécessaires à leur développement on parle alors de nutrition minérale [127].

La solution du sol se compose de l'eau et des éléments nutritifs dissous. Cette solution est retenue dans les pores et interstices du sol et la plante doit dépenser de l'énergie pour absorber cette eau et les particules nutritives qu'elle contient [127].

Dans un sol totalement dépourvu en eau, la plante ne pourra pas absorber les éléments minéraux du sol même si ceux-ci sont disponibles en grande quantité [128]. 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. Les 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 admis actuellement que les racines sont les clés de la deuxième évolution verte [129].

L'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. [126].

Selon [126] 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.

Les 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 [130].
- 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 [130].

Les 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 ; Certaines espèces sont indifférentes au pH, mais la plupart affectionnent des pH particuliers [106].

### 2.3.2. Eau

L'eau est considérée comme l'une des substances les plus importantes de la terre. Elle couvre plus de 70% de la surface du globe. Elle entre dans plus de 60 à 90% de la composition des êtres vivants. L'eau, c'est le solvant universel, il n'y a que très peu de substances insolubles dans l'eau. La structure moléculaire est composée de 2 atomes d'hydrogène et de 1 atome d'oxygène. La molécule d'eau est donc assimilable à un dipôle, à la fois un anion et un cation [131].

La disponibilité de l'eau dépend avant tout des apports, c'est-à-dire de la hauteur des précipitations et de la proportion de ces apports qui s'infiltrer dans le sol, mais elle dépend aussi de la faculté des plantes à prélever l'eau du sol [132].

L'eau est le constituant le plus abondant des végétaux, Elle présente jusqu'à 85-90% de la matière fraîche. Elle est indispensable à l'activité des végétaux car elle facilite la pénétration et le transport des sels minéraux [133].

L'eau est un constituant fondamental des tissus végétaux, particulièrement des tissus ayant une vie active. Dans une plante en végétation, les feuilles contiennent environ 85% d'eau, les tiges et pétioles 90%, et les racines 94% [134].

Les besoins en eau dépendent des facteurs liés au climat, au sol et à la culture, [135]. [136] indiquent que la teneur en eau des tissus varie suivant : les espèces, les tissus, l'âge des tissus, l'intensité du métabolisme, la rigidité des tissus, de la croissance, du métabolisme cellulaire, du transport des éléments minéraux et la régulation thermique grâce à l'évapotranspiration.

### 2.3.3. Eléments minéraux

Parmi les éléments minéraux essentiels, six (6) sont nécessaires en grande quantité, ce sont :

➤ **Les éléments majeurs** : l'azote (N), le phosphore (P), le potassium (K), le soufre (S), le calcium (Ca) et le magnésium (Mg). Les trois premiers, N, P et K, sont les éléments minéraux dont la plante a besoin en plus grandes quantités, C'est

pourquoi ces 3 éléments sont intégrés dans la composition de la majorité des engrais chimiques [132].

➤ **Les éléments mineurs**, dits **oligo-éléments**, sont également nécessaires en quantité moindre : le fer, le zinc, le cuivre, le bore, le manganèse, le silicium, le molybdène, le sodium, le cobalt et le chlore [132].

Les besoins de la plante évoluent au cours de son développement. Aux stades où ils sont nécessaires, les éléments minéraux doivent pouvoir être prélevés par la plante dans le sol. Ils doivent être disponibles en quantités suffisantes et sous une forme disponible. Si les éléments ne sont pas disponibles au moment nécessaire, la croissance de la plante sera limitée et le rendement final plus faible [130].

#### 2.3.4. Absorption minérale des plantes

##### 2.3.4.1. Définition

Les éléments minéraux dissous dans la solution aqueuse du sol pénètrent dans la plante par les racines sous la forme d'ions. Chaque espèce végétale a des besoins précis en ions, liés à son métabolisme propre et à des résistances variées aux éléments toxiques. La plante développe des mécanismes particuliers de transport d'ions, réglant ainsi les quantités absorbées selon ses besoins [128].

Par les poils absorbants de ses racines, la plante absorbe la solution du sol, c'est-à-dire l'eau et les sels minéraux, qui constituent la sève brute. Par les feuilles, là où la photosynthèse s'effectue, la plante reçoit des acides aminés et des sucres qui constituent la sève élaborée [136].

L'absorption des éléments minéraux présente des caractères sensiblement identiques et relève des mêmes mécanismes qu'il s'agisse d'un poil absorbant de racine, d'une algue ou d'une quelconque cellule végétale. L'absorption se mesure par la quantité de matière qui en un temps donné passe du milieu extérieur au sein du végétal [132].

##### 2.3.4.2. Modalités d'absorption

L'absorption des substances minérales s'effectue chez les végétaux supérieurs par les poils absorbants ou les régions non subérisées de la racine [134].

Les éléments minéraux sont généralement absorbés sous forme d'ions. Certains éléments comme le fer sont difficilement absorbables à pH élevé. L'existence de certains complexes organométalliques, les chélates, permet de surmonter cette difficulté [135].

Les cellules n'absorbent pas indifféremment les ions. Il existe une perméabilité sélective (le Na pénètre très mal dans la cellule. A l'opposé, le K se trouve à des concentrations plus élevées à l'intérieur qu'à l'extérieur (accumulation) [135].

Les cations ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ) présentent une vitesse de franchissement des membranes plus grande que celle des anions ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{--}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) [135].

#### 2.3.4.3. Étapes de l'absorption

Il existe deux étapes :

- L'adsorption, étape de fixation superficielle, passive et réversible pendant laquelle, l'élément adsorbé peut être désorbé [126].
- L'absorption (au sens strict) qui suit la première étape et peut être active ou passive, selon les ions [126].

-Passage avec l'eau, diffusion, échange et adsorption

-Soit par transport actif par des processus métaboliques, espace libre [137].

## CHAPITRE 03

### GLYCOPHYTES CULTIVEES

#### 3.1. Concombre

Le concombre (*Cucumis sativus* L.) est une plante herbacée annuelle et rampante de la famille des Cucurbitacées. La plupart des cultivars sont monoïques avec des fleurs mâle et femelle séparées et portées par un même pied [85]. Des hybrides gyniques produisant en majorité des fleurs femelles sont aussi développées [138]. Il existe aussi des variétés parthénocarpiques qui produisent des fruits sans graines [85].

La plante qui poussait naturellement au pied de l'Himalaya aurait été domestiquée pour la première fois en Inde il y a au moins 3 000 ans [139]. Elle est largement cultivée à travers le monde [140].

Le concombre est très répandu en Europe dès le 17<sup>ème</sup> siècle où il est apprécié pour ses vertus rafraîchissantes, sa rusticité et sa rapidité de production, Le concombre sous châssis ou en plein champ dans l'ensemble des secteurs maraîchers jusqu'à la première moitié du 20<sup>ème</sup> siècle, peu après la seconde guerre mondiale, la maîtrise de la production sous abris, stimule le développement de cette culture. Les techniques de production hors sol ont permis de valoriser l'important potentiel de cette espèce [141].

##### 3.1.1. Description de la plante

C'est une plante rampante, membre de la famille des Cucurbitacées qui comprend la Calebasse, la courgette et la citrouille. Elle pousse mieux quand on la laisse s'étaler tout au long du sol dans la pépinière. Ceci est dû au fait que les racines secondaires se développent le long de la tige principale rampante au niveau des nœuds. Les racines secondaires sont une source supplémentaire de nutriments pour les plantes et les fruits. [140].

##### ➤ Les feuilles

Les feuilles à nervation palmée comptant de trois à cinq lobes. Les bords du limbe sont dentés, rarement trilobés, à sommet acuminé, molle et le plus souvent poilues. Elles sont grandes, alternes et stipulées. Le concombre présente une grande variabilité foliaire sur le même individu [142].



➤ La fleur

Les auteurs [66] indiquent que les fleurs apparaissent très tôt, dès le 3<sup>ème</sup> ou le 4<sup>ème</sup> nœud, à l'aisselle des feuilles.

Les fleurs sont jaunes pâle. Les fleurs mâles et femelles sont distinctes, mais portées par le même pied (plante monoïque) [139]. Elles sont formées de 5 pétales ridés et partiellement soudés [143].

Les fleurs mâles, beaucoup plus nombreuses, naissent en bouquets et apparaissent quelques temps (environ une dizaine de jours) avant les fleurs femelles. Chaque fleur est portée par un mince pédoncule et présente trois étamines, dont deux portent deux anthères et la troisième une anthère (fig.3.1. a).

Les fleurs femelles ou pistillées sont habituellement solitaires et sont portées par un fort pédoncule. Comme chez d'autres Cucurbitaceae, elles sont facilement reconnaissables par leur ovaire allongé à la base de la fleur. Leur stigmate, formé de trois lobes épais, est porté par un large style. L'ovaire est formé de 3 chambres, pourvue chacune de plusieurs rangs d'ovules (fig.3.1. b) [143].

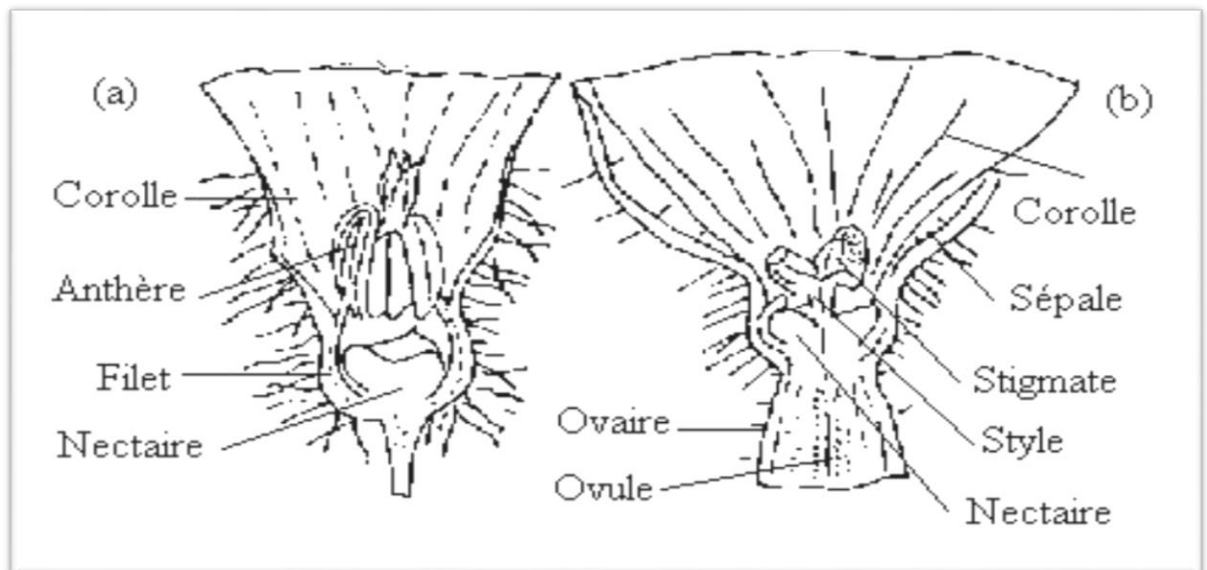


Figure 3.1. Coupe longitudinale de la fleur mâle (a) et femelle (b) de *Cucumis sativus* [144]

➤ Le fruit

Le fruit est à peu près cylindrique, allongée, avec des extrémités effilées. Les concombres cultivés à être mangés frais (*trancheuses* disant) et ceux destinés pour le décapage (appelé à *mariner*) sont similaires [143].

Les fruits allongés et charnus, au toucher rugueux, peuvent atteindre 30 cm de long et 5 cm de diamètre [139]. Le fruit peut être aussi grand que 60 centimètres de long et 10 centimètres de diamètre [143]. Ce sont des baies contenant de nombreuses graines. Leur couleur à maturité varie selon les variétés du vert au blanc en passant par le jaune. [139]

Le fruit est récolté vert et se consomme cru, généralement en salade, ou cuit. C'est la même espèce qui produit les cornichons [140].

➤ Les graines

Des graines sont nombreuses longuement ovales aplaties, blanchâtres semblables à celles du melon, Elles sont trouvées noyées dans la pulpe qui remplit les trois loges centrales des fruits [145].

### 3.1.2. Valeur nutritionnelle

Malgré sa valeur nutritive relativement faible, le fruit du concombre est très estimé et il est consommé en frais et encore sous la forme de différentes conserves [143].

Bien que moins nutritifs que la plupart des fruits, des concombres frais sont toujours une source de vitamine C , vitamine K, et de potassium , qui prévoit également des fibres alimentaires, vitamine A , vitamine B6 , thiamine, acide folique, acide pantothénique , de magnésium , de phosphore , de cuivre , et le manganèse [86].

La valeur alimentaire de concombre est négligeable, Ils renferment 96% de l'eau dans sa composition. L'huile contenue dans le concombre contient 22,3% d'acide linoléique, l'acide oléique 58,5%, 6,8% d'acide palmitique et 3,7% d'acide stéarique [86].

Tableau 3.1 : Valeur nutritive du concombre [86].

Calories	39	Calories% provenant du gras	7.8
Total, matières grasses (g)	0.4	Calories% de glucides	73,8
Gras saturés (g)	0.1	Calories% de protéines	18,5
Gras mono-insaturés (g)	0.0	Refuse%	3.0
Gras polyinsaturés (g)	0.2	Vitamine C (mg)	16
Cholestérol (mg)	0	La vitamine A (UI)	647
Glucides (g)	8.3	Vitamine B6 (mg)	0,13
Fibres alimentaires (g)	2.4	La vitamine B12 (mcg)	0
Protéines (g)	2.1	La thiamine B1 (mg)	0,07
Sodium (mg)	6	B2 Riboflavine (mg)	0,07
Potassium (mg)	433	Folacine (mcg)	39,1
Calcium (mg)	42	La niacine (mg)	0.7
Fer (mg)	0.8	La caféine (mg)	0.0
Zinc (mg)	0.6	Alcool (g)	0.0

### 3.1.3. Exigences de la plante

#### 3.1.3.1. Exigences climatiques

##### A. La Température

Le concombre doit pousser sous des températures chaudes et en pleine lumière solaire. Il faut éviter de le planter à la saison des pluies et les jours de vent. Il mûrit rapidement et s'adapte bien à la croissance dans un champ [139].

Les concombres de serre sont très sensibles aux extrêmes de température et aux modifications brusques de cette dernière. La température influe sur la vitesse de développement de la plante, la longueur du fruit, sa couleur et l'équilibre végétation-fructification [140].

L'optimum de croissance racinaire est de 22 -25°C, Un minimum de 12°C est exigé pour le développement racinaire. L'optimum de croissance végétative est de 20-22°C le jour et de 17-18°C la nuit. En période de production, la culture exige 20-25°C le jour et 17-20°C la nuit [146].

##### B. L'humidité

Ce facteur joue un rôle très important dans les niveaux de production. Le rendement final étant très étroitement corrélé avec une hygrométrie élevée de jour : 35% d'augmentation de rendement pour une hygrométrie passant de 60 à 80% [13].

L'hygrométrie excessive (au-dessus de 90%) est très défavorable, surtout durant le jour, car elle bloque le transit de la sève brute, avec une perturbation de l'alimentation minérale de la plante [13].

L'humidité est étroitement surveillée et contrôlée pour les cultures de concombres de serre. Une humidité trop forte favorise le blanc, tandis que les variations brusques de la température peuvent mener à la condensation sur les feuilles, qui favorise les maladies, telles que la moisissure grise (botrytis) [139].

### C. La lumière

Le concombre réagit positivement jusqu'à des niveaux d'intensité lumineuse très élevée. Les plantes cultivées sous de faibles niveaux d'éclairage en durée et intensité sont grêles, à entre-nœuds longs, feuilles plus petites et des ramifications très réduites [13].

A l'inverse, sous forte insolation et surtout en jour long, la plante adopte un port à tendance plus buissonnante, avec des entre-nœuds courts et des ramifications abondantes [13].

#### 3.1.3.2. Exigences édaphiques

Le concombre pousse mieux sur des sols meubles, des marnes sablonneuses mais il peut tout aussi bien se développer sur n'importe quel sol bien drainé avec un pH de 6.0 à 7.3 [139].

Avant de préparer le sol, il faut en retirer toutes les grosses pierres et les branches trop longues. Il faut rajouter au sol des résidus de matériau végétal au moins quatre semaines avant de planter ou de semer. Il faut contrôler les mauvaises herbes avec un labourage superficiel du sol (à la herse) avant de planter le concombre [139].

Les exigences en sol ne sont pas importantes. Le pH optimal est de 5.5 à 6.8. Il ne doit pas être asphyxiant ni trop frais au printemps. Il est recommandé d'éviter les sols pauvres, trop lourds ou compacts, Un niveau élevé en matière organique est toujours souhaitable [146].

### 3.1.3.3. Exigences hydriques

Le concombre a besoin de suffisamment d'eau pour un rendement adéquat. Le système adéquat est l'irrigation au système goutte à goutte. Il est recommandé d'arroser les plantes chaque semaine s'il ne pleut pas [140].

Les besoins en eau de la culture se situent aux environs de 500 mm pour une culture d'arrière-saison. Moins l'eau est nécessaire pour une culture de plein champ en période pluvieuse : 300 à 500 mm. En période post-florale, il ne faut pas exposer la culture à la pluie ou à l'aspersion car elle sera rapidement détruite par les maladies cryptogamiques, Le meilleur système d'irrigation est le système goutte à goutte [146].

## **3.2. Haricot**

Le haricot commun, *Phaseolus vulgaris L.*, a été domestiqué en Amérique centrale et en Amérique du Sud il y a plus de 9 700 ans. Des graines sèches furent introduites et semées au XVI<sup>e</sup> siècle en Europe puis, sa culture s'est rapidement diffusée dans les zones méditerranéennes et subtropicales. Il est produit principalement en Amérique latine et en Afrique ; il est répandu surtout dans la zone Amazonienne du Brésil, dans les Cordillères des Andes et en Amérique centrale, tandis qu'en Afrique, il est produit principalement en Afrique centrale et Orientale [147].

Le haricot *Phaseolus vulgaris L.* est une plante annuelle appartenant à l'ordre des légumineales et à la famille des légumineuses dont le nombre chromosomique est  $2n = 22$  [13]. 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 [148] 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* [149]. A l'intérieur de l'espèce, la variabilité génétique est extrêmement importante et se révèle par l'autogamie. Elle caractérise le port des plantes, la forme, les couleurs des fleurs, des graines, des gousses et bien d'autres traits morphologiques ou physiologiques. Les croisements interspécifiques avec les autres espèces sont difficiles à réaliser et n'ont été que peu utilisés en sélection [150]. Les travaux de

sélection ont donné naissance à un grand nombre de nouveaux cultivars, mieux adaptés aux exigences de la production moderne.

### 3.2.1. Description de la plante

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 épigée, il y a formation de deux feuilles opposées simples puis de feuilles trifoliolées à folioles cordiformes [147]. Selon [13] la racine d'haricot se forme progressivement après le stade de germination. Elle est formée par une racine principale et des racelles de plus en plus fines, Elle est pivotante et capable d'aller chercher l'eau profondément dans le sol. Les racines présentent des renflements ou nodosités. Elles sont le siège de phénomènes de nodulation par symbiose avec une bactérie du genre *Rhizobium* qui peut fixer l'azote atmosphérique et fournir de l'ammonium [151].

La tige du haricot est herbacée parfois lignifiée à la base. Généralement elle est angulaire mince, volubile chez les variétés à rames avec une longueur différente d'après la variété : 30 à 50cm pour les variétés naines et jusqu'à 02m (même plus) pour les variétés à rames [152].

Les feuilles du haricot sont entières, légèrement pubescentes à trois nervures qui partent de la base. Cette plante possède deux types de feuilles. Elle forme sur le deuxième nœud deux premières feuilles appelées feuilles primaires. C'est à partir du troisième nœud qu'elle développe les feuilles typiques du haricot.

D'après [150], les deux premières feuilles sont simples et s'attachent face à face sur la tige alors que toutes celles qui suivent sont trifoliolées disposées d'une façon alterne, habituellement ovales. Elles mesurent entre 7,5 et 14 cm de long sur 5,5 à 10 cm de large. Les folioles latérales sont asymétriques, la centrale est symétrique.

Les fleurs sont autogames de types cinq (10 étamines dont 9 soudées et une libre). A l'aisselle des feuilles apparaissent les fleurs groupées en inflorescences de 4 à 10 fleurs [152], Selon [147], la floraison est terminale que ce soit sur la tige ou sur les rameaux, la fleur de couleur blanche ou violette produit des gousses allongés, plates ou plus ou moins arrondis, leurs couleurs varient selon les cultivars, du vert pâle ou du jaune au vert foncé. Elles sont parfois tachées de couleurs diverses à maturité et peuvent être renforcées par des fibres ligneuses formant un parchemin sur les côtés. La longueur des gousses varie en fonction de la variété et

en fonction du nombre et de l'espacement entre les graines. Chaque gousse renferme deux à douze graines.

La Culture de cette légumineuse a pris une très grande importance en raison de la place qu'elle occupe dans l'alimentation humaine. Elle est utilisée soit pour sa gousse (consommation en vert), soit pour ses graines à l'état frais ou sec ou encore pour la conserve [148].

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 [153].

### 3.2.2. Valeur nutritionnelle du haricot

Tableau 3.2 : Composition du haricot vert (teneurs pour 100 grammes) [149].

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

### 3.2.3. Exigences de la plante

#### 3.2.3.1. Exigences climatiques

- Lumière :

Le Haricot est très exigeant en lumière surtout pendant les premières étapes de son développement. Plus tard, pendant la floraison et la nouaison, la lumière diffusée et une augmentation d'humidité de l'air peuvent favoriser considérablement la qualité des gousses et l'augmentation des rendements [154].

➤ Température :

Le 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 [155].

Le 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 [156].

Tableau 3.3 : Besoins en température selon les stades de développement [157].

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

### 3.2.3.2. Exigences édaphiques

➤ Sol

Le Haricot peut donner de bons résultats économiques sur des sols de textures très diverses (sablo-argileux, limono-sableux) [157] 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 [154].

La 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 [157].



➤ pH :

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

Le 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 [158].

➤ 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 [159].

La Salinité diminue 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 [160].

Dans une étude effectuée sur plusieurs espèces sur le genre *Phaseolus*, la salinité a un effet significatif sur la concentration des tissus en  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Cl}^-$  et sur leur vitesse d'absorption, en plus de l'effet toxique des concentrations élevée en  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  dans le tissu végétal. Les changements qui se passent dans les conditions de salinité de l'absorption de nutriments semblent contribuer dans la réduction de la croissance [161].

Le 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 [157].

### 3.2.3.3. Exigences hydriques

Les 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 voire 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 [156].

Le manque d'eau accompagné d'un excès de chaleur provoque le flétrissement des fleurs et leur coulure [154].

Le haricot demande 300 à 400 mm d'eau pendant la durée de sa végétation [157], 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 [158].

#### 3.2.4. Importance économique du haricot

Le haricot *Phaseolus vulgaris* est une source de protéines diététiques dans beaucoup de pays en développement [162]. 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 [159].

## CHAPITRE 4

### MATERIEL ET METHODES

#### 4.1. Objectif de l'expérimentation

Le problème de la salinité prend de plus en plus d'ampleur dans la plupart des pays en voie de développement, où les terres fertiles et les eaux de bonne qualité sont devenues nettement insuffisantes pour une population sans cesse croissante. A cet effet, nous serons obligés de nous orienter vers les eaux non conventionnelles pour l'irrigation en agriculture. Ces eaux d'irrigation présentent un pH alcalin et beaucoup de sels qu'il apparaît indispensable de valoriser en agriculture.

Ce travail consiste donc à étudier les moyens qui permettront l'utilisation de ces eaux salines en irrigation. A cet effet la correction du potentiel hydrogène serait un moyen permettant à la plante d'assurer partiellement la nutrition pour la croissance et le développement des deux espèces testées : le concombre et le haricot. La correction du potentiel hydrogène de l'eau saline de Gassi Touil s'est fait par deux types d'acides (l'acide nitrique et l'acide phosphorique),

Le travail consiste à analyser l'eau saline de Gassi Touil et de la reconstituer avec l'eau de Blida compte tenu d'une part l'impossibilité de l'approvisionnement de cette eau durant toute notre expérimentation, et des besoins élevés en eau des plantes en cours de culture, de l'autre part. Cette reconstitution naturelle est réalisée dans un premier temps avec un choix de sels appropriés afin qu'un total anion et cation soit le plus proche possible de l'analyse de l'eau saline naturelle.

#### 4.2. Matériel végétal utilisé

Les espèces testées durant l'expérimentation sont : le concombre et le haricot

1. Le concombre (*Cucumis sativus*), variété super-marketer dont les semences proviennent de l'ITCMI (STAOULI). Elles sont récoltées en 2014 et ont une pureté de 90%. Les caractéristiques de cette variété sont :

- Variété fixée demi précoce et productive ;
- Fruits demi-longs de forme cylindrique,
- Variété sensible à la salinité ;

- Bonne aptitude à la fructification.

2. Le haricot (*Phaseolus vulgaris*) est une espèce qui se développe rapidement, mais qui est sensible à la salinité. Sa tolérance aux sels est faible. Elle est de l'ordre de 0.5 à 2g/l. La variété testée est Djadida.

C'est une variété très cultivée en Algérie qui possèdent les caractéristiques suivantes :

- type mangetout, variété naine ;
- Bonne vigueur ;
- Gousses de longueurs moyennes (16 cm), et de diamètre de (10 mm) à couleur verte foncée sans fil ;
- graine de couleur marron noirâtre.

#### 4.3. Conditions de l'expérimentation

##### 4.3.1. Lieu de l'expérience

Notre expérimentation s'est déroulée au niveau de la station expérimentale de département des Biotechnologies de l'université de Blida 1 située dans la plaine de la Mitidja, dans une serre en polycarbonate dont l'orientation est nord-sud.

L'aération est assurée par des fenêtres placées latéralement de part et d'autres de la serre. Le chauffage de la serre en période froide est réalisé à l'aide de radiateurs à eau chaude. L'évolution de la température interne de la serre a été contrôlée par un thermomètre suspendu au centre de la serre.



Figure 4.1 : Localisation du lieu de l'expérience

Durant notre expérimentation, nous pouvons dire que les températures pendant le cycle végétatif répondaient aux besoins des plantes, mis à part durant les périodes

froides où on a enregistré quelques chutes de température qui n'ont causé aucun dégât physiologique sur les plantes.

Suite aux données établies dans le tableau 4.1, nous constatons que les températures moyennes matinales, étaient défavorables à la croissance des deux espèces expérimentées et ce par rapport aux données préconisées par [146] qui se situent entre 20 et 22°C. A partir de 12h, les températures moyennes devenaient plus favorables à la croissance des espèces étudiées.

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

périodes	Températures			Périodes	Températures		
	09 <sup>h</sup>	12 <sup>h</sup>	16 <sup>h</sup>		09 <sup>h</sup>	12 <sup>h</sup>	16 <sup>h</sup>
15.12.2014 24.12.2014	15.5	25	22.3	14.02.2015 23.02.2015	13.3	20.40	21.40
25.12.2014 03.01.2015	11.9	20.3	20.1	24.02.2015 05.03.2015	13.2	23.80	23.35
04.01.2015 13.01.2015	12.4	21.8	20.9	06.03.2015 15.03.2015	12	21.90	23.30
14.01.2015 23.01.2015	13.2	24.4	23	16.03.205 25.03.205	13.2	26.70	25.90
24.01.2015 03.02.2015	16.8	25	23.75	26.03.2015 05.04.2015	14.4	25.40	25.85
04.02.2015 13.02.2015	12.4	20.3	19.25	06.04.2015 15.04.2015	15.5	30	28.5

#### 4.3.2. Substrat

Le substrat utilisé dans notre expérimentation est le gravier de rivière. Il constitue un milieu défavorable pour le développement de micro-organismes. Grâce à sa porosité, il assure une meilleure aération pour les racines des plantes.

Afin d'éliminer tous les risques de contamination par les maladies parasitaires une procédure de désinfection de substrat a été effectuée comme suite :

- Elimination des particules terreuses et les débris végétaux par un lavage abondant et répété du gravier à l'eau courante ;
- Remplissage des pots avec le substrat lavé ;
- Désinfection du substrat avec une solution d'hypochlorite de sodium diluée ;

- Rinçage abondant des pots à l'eau de robinet pour éliminer toute trace d'hypochlorite de sodium fortement nocive pour les racines des jeunes plantules du concombre et du haricot.

#### 4.3.3. Containers

Les containers utilisés sont des pots en polyéthylène de couleur noire, ayant une capacité de 4 L et présentant un orifice de drainage à leur base permettant l'évacuation de la solution nutritive excédentaire.

#### 4.3.4. Dispositif expérimental

L'affectation des traitements est faite d'une manière aléatoire selon la table des permutations des nombres aléatoires de (01) à (10), et en randomisation totale.

Le dispositif expérimental est constitué par la combinaison de deux facteurs : (facteur solution à 5 niveaux et facteur variété à 2 niveaux), L'ensemble est composé de 5 traitements. Chaque traitement comporte 08 répétitions.

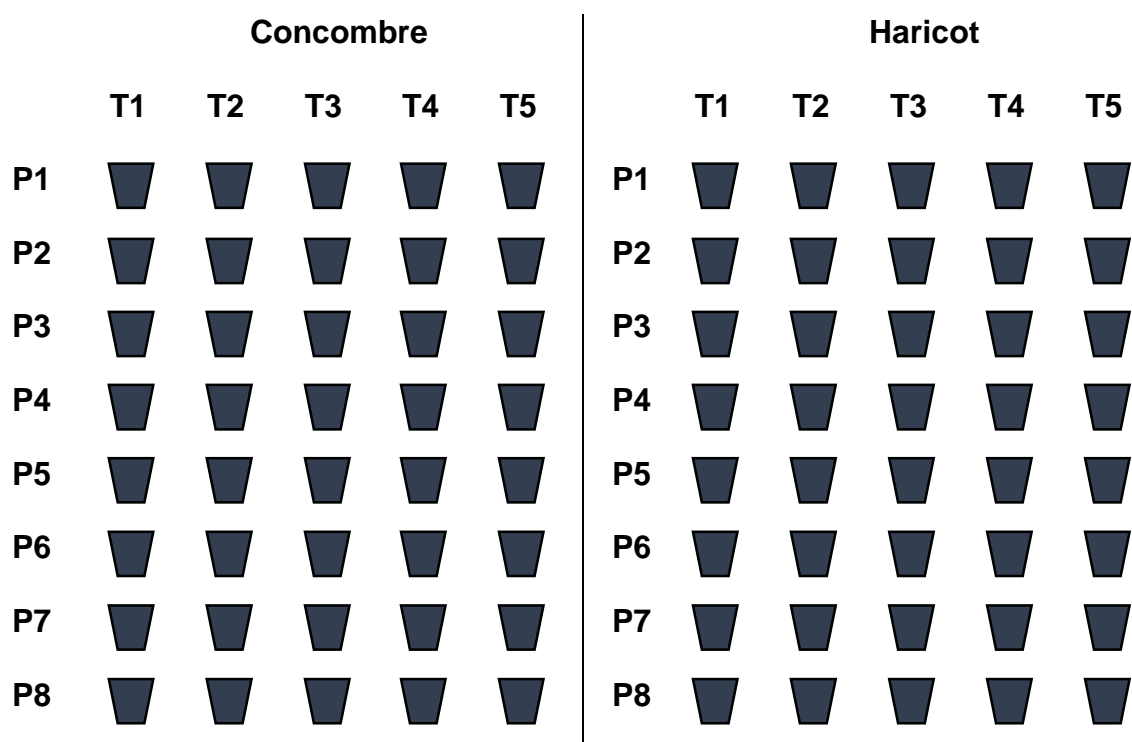


Figure 4.2 : Dispositif expérimental

#### 4.3.5. Pré germination

La pré-germination a été réalisée le : **10/12/2014** dans une étuve à une température de 25°C, dans des boîtes de pétri. La faculté germinative était de 90%, après 10 jours de germination pour le concombre et après 5 jours pour le haricot.



Figure 4.3 : Essai de germination des graines de concombre et du haricot dans l'étuve à 25°C

#### 4.3.6. Description des différents traitements

Les traitements utilisés sont des eaux salines non conventionnelles provenant de la région de GASSI TOUIL. Pour satisfaire les besoins des plantes durant l'expérimentation, il nous apparut difficile de s'approvisionner en cette eau. Donc, il a été nécessaire de reconstituer cette eau saline avec l'eau de Blida sur le site expérimental.

##### ❖ Caractéristiques de l'eau de Blida

L'eau de Blida a une concentration globale de sels qui voisine de 0.43/g/l (tableau N°) concentration supérieure à la norme recommandée par [3] et qui est de 0.2g/l. A cet effet, une analyse de l'eau de Blida est jugée nécessaire afin d'en tenir compte lors de la préparation des différentes solutions nutritives.

Tableau 4.2 : Teneurs des différents éléments minéraux contenus dans l'eau de Blida :pH=7.30 [3].

	Teneur en mg/l	Teneur en meq /l
K <sup>+</sup>	00	00
Ca <sup>++</sup>	56,00	2.80
Na <sup>+</sup>	29.90	1.30
Mg <sup>++</sup>	21.60	1.80
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	21.70	0.35
SO <sub>4</sub> <sup>- -</sup>	38.40	0.80
CL <sup>-</sup>	21.30	0.60
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	245,00	4.08
Total	433.90	11.73

❖ Correction du pH de l'eau de Blida

L'analyse de l'eau de Blida présentée dans le tableau ci-dessus révèle une quantité assez élevée en ions bicarbonates (4.08 méq /l) ; ce qui rend le milieu plus basique (pH = 7.8), défavorable pour la nutrition des jeunes plantules.

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

Deux types d'acides ont été utilisés à savoir, l'acide nitrique (HNO<sub>3</sub>) et l'acide phosphorique (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) Ces deux acides permettent d'une part l'abaissement du pH et l'apport des éléments utiles tels que les nitrates et le phosphore de l'autre part.

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

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

$$Q = 4.08 \times 0.833 = \mathbf{3.30} \text{ méq / l d'eau} \quad [3]$$

Cette quantité d'acide sera partagée entre :

- **H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> = 1.1 méq / l** (correspondant aux besoins des végétaux qui sont de 3.3 méq / l de phosphore) compte tenu que H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> est trivalent ;
- **HNO<sub>3</sub> = 3.3 – 1.1 = 2.2 méq / l** (besoin partiel en nitrates).



- ❖ Composition des solutions nutritives et technique de préparation des différents traitements
- ❖ Compositions de l'eau naturelle de GASSI TOUIL

Les tableaux ci-dessous représentent la composition de l'eau de Gassi Touil naturelles tableau (4.3), et celle reconstituée avec l'eau de Blida tableau (4.4).

Tableau 4.3 : Composition de l'eau naturelle de Gassi Touil en meq /l

	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>---</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Total
	0.55	00	17.70	14.10	
K <sup>+</sup>					
0.50					0.50
Na <sup>+</sup>					
16.50					16.50
Ca <sup>++</sup>					
9.10					9.10
Mg <sup>++</sup>					
8.40					8.40
CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>					
2.22					2.22
Total	0.55	00	17.70	14.10	0.55

Tableau 4.4 : Eau de Gassi Touil reconstituée avec l'eau de Blida meq /l

	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>---</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Total
	0.35	00	0.80	0.60	
K <sup>+</sup>					
00	0.20			0.30	0.50
Na <sup>+</sup>					
1.30			9.35	5.85	16.50
Ca <sup>++</sup>					
2.80				6.30	9.10
Mg <sup>++</sup>					
1.80			6.60		8.40
CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>					
4.08					4.08
Total	0.55	00	16.75	13.05	

Quantités et ordre de dissolution des sels :

- $\text{KNO}_3 = 0.20 \times 101.10 = 20.22 \text{ mg / l}$
- $\text{KCl} = 0.30 \times 74.5 = 22.35 \text{ mg / l}$
- $\text{Na}_2\text{SO}_4 = 9.35 \times 71.02 = 664.03 \text{ mg / l}$
- $\text{MgSO}_4 = 6.60 \times 123 = 811.8 \text{ mg / l}$
- $\text{NaCl} = 5.85 \times 58.45 = 341.93 \text{ mg / l}$
- $\text{CaCl}_2 = 6.30 \times 73.51 = 463.11 \text{ mg / l}$
- Elements présents dans l'eau de Blida = 188.9 mg/l
- Total = 2515.34 mg/l soit 2.51g/l

➤ Assurer l'apport des éléments minéraux

éléments	Existant (cmol) dans l'eau de Blida	Nécessaires (cmol)	A apporter (cmol)
Azote	0.35	0.55	0.20 $\text{KNO}_3$
Calcium	2.8	9.10	6.30 $\text{CaCl}_2$
Magnésium	1.8	8.4	6.6 $\text{MgSO}_4$
Sodium	1.3	16.5	9.35 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 5.85 $\text{NaCl}$
Sulfate	0.8	17.70	9.35 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 6.6 $\text{MgSO}_4$
Chlorures	0.6	14.10	0.30 $\text{KCl}$ 5.85 $\text{NaCl}$ 6.30 $\text{CaCl}_2$
Potassium	0	0.50	0.20 $\text{KNO}_3$ 0.30 $\text{KCl}$

❖ La quantité d'acide nécessaire pour la correction du pH des eaux

Quantité d'acide	T1	T2	T3	T4	T5
$\text{HNO}_3$		2.20 méq / l;	2.20 méq / l;	3.3 méq / l;	
$\text{H}_3\text{PO}_4$		3.30 méq / l;	3.30 méq / l;		9.90 méq / l;

Les différents traitements sont élaborés à base d'une solution mère de macroéléments puis diluée au moment de la préparation de la solution qui sera prête à l'utilisation. Un certain ordre de dissolution est respecté afin d'éviter toute précipitation et ceci en commençant par les produits à fonction acide et les plus solubles, en suite on rajoute au fur et à mesure les autres produits chimiques.

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

Solution A		
Eléments	Dose (g/l)	Prélèvement (ml/l)
Molybdates D'ammonium (NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> (MO <sub>7</sub> O <sub>24</sub> )4H <sub>2</sub> O	0.50	0.10
Acide borique (H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> )	15	
Sulfate de manganese (MnSo <sub>4</sub> 5H <sub>2</sub> O)	20	
Sulfate de cuivre (CuSo <sub>4</sub> 5H <sub>2</sub> O)	2.50	
Sulfate de zinc (ZnSo <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O)	10	
Solution B		
Eléments	Dose (g/l)	Prélèvement (ml/l)
Séquestrène de Fer	2.00	5.00

Tableau 4.6 : composition des différents traitements testés

Références eaux	Eléments en méq / l								
	pH	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>---</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>
<b>Eau de Blida</b>	7.2	0.35	00	0.60	0.80	1.30	2.80	1.80	00
<b>Eau saline naturelle de Gassi Touil</b>	7.8	0.55	00	14.10	17.70	16.50	9.10	8.40	0.50
<b>T1 : E.S.N de Gassi Touil reconstituée</b>	7.8	0.55	00	13.05	16.75	16.50	9.10	8.40	0.50
<b>T2 : E.S.Gassi Touil (HNO<sub>3</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)</b>	5.6	2.75	3.30	13.05	16.75	16.50	9.10	8.40	0.50
<b>T3 : E.S. de Gassi Touil (HNO<sub>3</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) + O.E</b>	5.6	2.75	3.30	13.05	16.75	16.50	9.10	8.40	0.50
<b>T4 : E.S. Gassi Touil (HNO<sub>3</sub>)</b>	5.6	3.85	00	13.05	16.75	16.50	9.10	8.40	0.50
<b>T5 : E.S. Gassi Touil (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)</b>	5.6	0.55	9.9	13.05	16.75	16.50	9.10	8.40	0.50

#### 4.4. Irrigation et estimation des besoins hydrominéraux journaliers des plantes

En hors-sol, il est important de connaître les besoins hydrominéraux journaliers des cultures afin de pouvoir rationaliser ceci, selon les stades de développement du végétal et ce pour éviter les éventuels excès de solution nutritive distribuée.

Pour calculer le volume de solution nutritive à donner pour chaque plant, nous avons installé un dispositif appelé bloc E.T.M (évapotranspiration maximale) au voisinage des cultures, mis au point par [3].

Le procédé consiste à alimenter les plantes du bloc E.T.M avec un volume de solution nutritive connue et ce au goutte à goutte.

Le bilan hydrominéral journalier est obtenu en faisant la différence entre l'apport initial et celle du drainage après 24 heures.

Les besoins journaliers des plants expérimentés sont calculés en fonction de l'évapotranspiration réelle maximale de la veille, majoré d'un drainage de 30%. Les doses et les fréquences des arrosages varient suivant les différents stades physiologiques de la plante et les conditions microclimatiques ambiantes. Plus la température est élevée et plus les besoins en eau des plantes sont élevés.

De ce fait, il nous a paru intéressant de réduire les doses d'apport et d'en augmenter les fréquences afin de mieux valoriser la solution mise à la disposition de la plante [3].

Les doses et les fréquences d'irrigation appliquées pour la culture de haricot et du concombre sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 4.7 : Doses et fréquences d'irrigation nécessaire

Stade végétatif	La dose d'irrigation		La fréquence	Les besoins/jour	
Germination au stade trois feuilles	20 ml		3 fois / jour	60 ml	
Stade trois feuilles au début floraison	40 ml		3 fois / jour	120 ml	
Début floraison à la formation des fruits (cornichons/ gousses)	haricot	concombre	3 fois / jour	haricot	concombre
	60 ml	80 ml		180 ml	240 ml
Formation des fruits à la récolte	haricot	concombre	4 fois / jour	haricot	concombre
	80 ml	120 ml		320 ml	480 ml

#### 4.5. Paramètres mesurés

Afin d'évaluer le comportement et l'évolution de nos espèces étudiées, différents paramètres ont été mesurés :

##### 4.5.1. Paramètres biométriques

- ❖ La hauteur finale des plantes en cm
- ❖ Le nombre des feuilles
- ❖ Le diamètre des tiges en cm
- ❖ La surface foliaire en cm<sup>2</sup>
- ❖ La matière fraîche et sèche :
  - Poids frais et sec de la partie aérienne (tige + feuilles) en g.
  - Poids frais et sec des racines en g.

##### 4.5.2. Paramètres de production

- ❖ La récolte
  - Estimation de la floraison par plante et par traitement.
  - Estimation de la nouaison par plante et par traitement.

Nous avons effectué la récolte au stade final (maturité des fruits). Nous avons pris en considération le nombre, le poids, la longueur des fruits.

##### 4.5.3. Paramètres de qualité

- ❖ Dosage de la vitamine C

La teneur en vitamine « C » dans les fruits est déterminée comme suite :

- Une quantité de 10g de fruits frais est réduite en pâte
- Ajouter 50ml d'acide chlorhydrique (HCl 2%)
- Laisser en repos pendant 10 minutes.
- Filtrer le mélange dans un bécher de 100 ml

La détermination de la vitamine « c » est passée par deux étapes :

1<sup>ère</sup> Etape :

- Prélever 10ml d'extrais filtrée et mettre dans un erlenmeyer,
- Ajouter 30ml d'eau distillé
- Ajouter 1ml de solution d'iodure de potassium (KI 1%)
- Additionnes 2ml de solution d'amidon 5%.

- Titrer la solution à l'iodate de potassium (KINO3 N/1000) jusqu'à l'apparition d'une coloration bleue
- Enregistrer le volume en ml d'iodure de potassium (KI) utilisé pour le titrage

2<sup>ème</sup> Etape :

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

Les calculs :

$$X = \frac{N \cdot V_1 - 0.88}{G \cdot V_2} \times 100$$

- X : mg d'acide ascorbique /g de produit à l'analyse
- N : nombre d'iodate de potassium résultant de la différence entre le 1<sup>er</sup> titrage et le titrage témoin
- V<sub>1</sub> : volume total d'extrait obtenu pour analyse
- V<sub>2</sub> : volume initial d'extrait soumis à l'analyse
- G : quantité de produit analysé

#### Dosage des sucres totaux

La détermination de la teneur en sucre totaux des fruits est réalisée à l'aide d'un réfractomètre. Le principe de cette opération est basé sur la mise d'une gouttelette de jus de fruit dans le refractomètre puis passer à la lecture directe.

#### 4.5.4. Paramètres biochimiques

##### ❖ Dosage de la chlorophylle

L'extraction de la chlorophylle (a) et (b) a été réalisé selon la méthode de [163]. 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.

Les feuilles sont coupées en petits morceaux et mises dans les boîtes noires (pour éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière). On procède après 48h 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 :

- Chl a ( $\mu\text{g/g MF}$ ) =  $12,7 \times \text{DO}_{(663)} - 2,59 \times \text{DO}_{(645)} \times V / (1000 \times W)$ .
- Chl b ( $\mu\text{g/g MF}$ ) =  $22,9 \times \text{DO}_{(645)} - 4,68 \times \text{DO}_{(663)} \times V / (1000 \times W)$ .
- 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

#### ❖ Dosage de la proline

La proline est dosée selon la technique utilisée par [164] simplifiée et mise au point par [165]. Le principe est la quantification de la réaction proline-ninhydrine par mesure spectro-photométrique. La proline se couple avec la ninhydrine en formant un complexe coloré. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de proline dans l'échantillon. La méthode consiste à :

- Mettre 100 mg de matière fraîche végétale dans des tubes à essai
- 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.

On procède à la lecture de la densité optique des échantillons avec le spectrophotomètre à la longueur d'onde de 528 nm.

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

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

❖ Dosage des sucres solubles

Nous avons procédé au dosage des sucres solubles dans les feuilles des plantes selon la méthode de [166].

L'extraction des sucres solubles s'est faite comme suite :

- Mètre 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.
- Ajouté 5 ml d'acide sulfurique concentré, dans chaque tube à essai
- Passer au vortex,
- Laisser au repos pendant 10mn
- Passer au bain Marie pendant 15 mn à 30°C.
- Procéder à la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 490 nm.

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

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

Analyse statistique

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



## Chapitre 5

### Résultats et discussion

Pour mettre en évidence la réponse des plantes des deux espèces étudiées soumises au stress salin, nous avons mesuré les paramètres suivants :

#### 5.1. Paramètres de croissances

##### 5.1.1 : Croissance en longueur et en épaisseur des plantes

La hauteur finale des tiges a été mesurée à partir de collet jusqu'à l'apex. La mesure du diamètre des tiges a été effectuée à l'aide d'un pied à coulisse au niveau du collet de chaque plante. Les résultats relatifs aux paramètres mesurés, sont présentés dans les tableaux ci-dessous.

Tableau 5.1: Hauteur moyenne finale des plantes et du diamètre moyen des tiges

		T1 Témoin	T2 (HNO <sub>3</sub> ,H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	T3 (HNO <sub>3</sub> ,H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ) +O.E	T4 (HNO <sub>3</sub> )	T5 (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )
Concombre	<b>Longueur des tiges (cm)</b>	33,80 ± 0.84 D	76,40 ± 0.73 B	98,00 ± 0.78 A	70,00 ± 0.82 C	68,60 ± 0.63 C
	Variation (%) / Témoin	100	+ 126.03	+ 189.94	+ 107.10	+ 102.95
	<b>Diamètre des tiges (cm)</b>	00.29 ± 0.95 D	00.44 ± 1.13 B	00,56 ± 1.23 A	00.38 ± 1.42 C	00.32 ± 1.33 D
	Variation (%) / Témoin	100	+ 37.93	+ 93.10	+ 31.03	+ 10.34
Haricot	<b>Longueur des tiges (cm)</b>	21.35 ± 01.51 B	24.50 ± 01.85 B	28,60 ± 01.28 A	23,20 ± 0.99 B	22.78 ± 02.01 B
	Variation (%) / Témoin	100	+ 14.64	+ 33.95	+ 08.66	+ 06.69
	<b>Diamètre des tiges (cm)</b>	00.29 ± 00.08 C	00.48 ± 00.10 A	00.50 ± 00.11 A	00.39 ± 00.07 B	00.38 ± 00.15 B
	Variation (%) / Témoin	100	+ 65.51	+ 72.41	+ 34.48	+ 31.03

L'analyse de la variance au seuil de 5% montre que le facteur traitement exerce une action significative sur les paramètres mesurés (annexe 01). En effet les résultats obtenus montrent que la croissance en longueur et en épaisseur, est affectée négativement suite à l'irrigation par les eaux salines étudiées. L'acidification des eaux salines pour l'irrigation par les deux acides (HNO<sub>3</sub> et H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) améliore la croissance des deux espèces étudiées.

Nous remarquons d'après le tableau 5.1 que la hauteur finale la plus élevée est enregistrée chez les plantes irriguées par le traitement T3 avec des valeurs de 98 cm et 28.60 cm pour le concombre et le haricot respectivement, ainsi pour le diamètre des tiges on a enregistré 0.56 cm pour le concombre et 0.50 cm pour le haricot. Ceci s'explique par la richesse du milieu en éléments fertilisants, notamment la présence de l'azote, du phosphore et les oligoéléments.

Lorsque les oligo-éléments A et B sont ajoutés au traitement salin corrigé T3 nous remarquons une amélioration de la croissance en longueur plus marquée pour le concombre (+189 %) que pour le haricot (+33.95%).

Les traitements corrigés T2, T4 et T5 permettent d'avoir chez les deux espèces des plantes présentant des hauteurs finales également importantes. Ceci en raison de l'effet du pH favorable de 5.6 sur la dissolution des éléments minéraux dans les milieux salins naturels, permettant ainsi leur assimilation par les plantes.

La présence de l'acide nitrique et l'acide phosphorique, 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 le phosphore aux plantes. De ce fait, nous avons observé une amélioration de deux paramètres étudiés chez les plantes alimentées par les traitements salins partiellement corrigés (T2, T4 et T5). Des résultats similaires ont été trouvés par [122] qui a 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 (T1) présente les plantes ayant la croissance la plus faible 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 [167] le stress salin résulte de la perturbation des fonctions de nutrition hydrique, minérale et carbonée des plantes.

D'après [168] 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. Ainsi, l'accroissement des tiges est sous l'influence de l'azote et du potassium, qui agissent sur les cellules méristématiques notamment sur les méristèmes secondaires [169].

Des résultats similaires ont été rapportés par [170], [171] et [172], 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.

D'après les travaux de [83] sur les plantules de trèfle (*Trifolium alexandrinum* L.), 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.

### 5.1.2 : Nombre moyen des feuilles et la surface foliaire

Tableau 5.2 : Nombre moyen des feuilles par plante et de la surface foliaire

		T1 Témoin	T2 (HNO <sub>3</sub> ,H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	T3 (HNO <sub>3</sub> ,H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ) +O.E	T4 (HNO <sub>3</sub> )	T5 (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )
Concombre	<b>Nombre de feuilles</b>	09,60 ± 1.09 C	12.75 ± 0.38 B	14.80 ± 1.05 A	09.60 ± 0.78 C	09.20 ± 0.64 C
	Variation (%) / Témoin	100	+ 32.81	+ 54.16	0	-4.16
	<b>Surfaces foliaires (cm<sup>2</sup>)</b>	63,99 ± 0.84 D	181.71 ± 1.23 B	204.78 ± 1.01 A	172.88 ± 0.69 B	166.35 ± 1.59 C
	Variation (%) / Témoin	100	+ 183.96	+ 220.01	+ 170.16	+ 159.96
Haricot	<b>Nombre de feuilles</b>	07.00 ± 2.14 B	08.80 ± 02.11 B	11.00 ± 01.85 A	10.00 ± 01.99 A	05.80 ± 02.08 C
	Variation (%) / Témoin	100	+ 25.71	+ 57.14	+ 42.85	-17.14
	<b>Surfaces foliaires (cm<sup>2</sup>)</b>	58.02 ± 07.23 D	141.64 ± 03.95 B	156.69 ± 08.23 A	135.20 ± 05.48 B	129.19 ± 07.32 C
	Variation (%) / Témoin	100	+ 144.12	+ 170.06	+ 133.02	+ 122.66

L'analyse de la variance a révèlè une différence très hautement significative ( $p < 0,001$ ) pour les deux espèces étudiées (Annexe 02). Le test de Newman et Keuls a seuil  $\alpha = 5\%$  fait ressortir quatre groupes homogènes pour la surface foliaire et trois groupes homogènes pour le nombre de feuilles, chez les deux espèces étudiées (tableau 5.2).

La première réponse des plantes face à la concentration élevée en sel au niveau du traitement salin naturel (T1) est la réduction de la vitesse d'extension de la surface foliaire, du nombre de feuilles et du grossissement des tiges.

Les résultats de la surface foliaire obtenus montrent que la meilleure performance a été enregistré chez les plantes alimentées par le solution saline corrigée (T3) avec une valeur supérieure à  $200 \text{ cm}^2$  chez le concombre et  $150 \text{ cm}^2$  chez le haricot ; suivie par les traitements à pH corrigé (T2, T4 et T5) par rapport aux traitement salin naturel T1 qui donne des valeurs inférieures à  $70 \text{ cm}^2$  pour les deux espèces étudiées. L'ajout des oligo-éléments aux milieu salin naturel agit positivement sur le nombre et la surface foliaire chez les deux espèces testées.

D'après [163], le sel provoque un effet défavorable à la formation des feuilles. Il diminue leur masse, et finit par entraîner leur dessèchement. En revanche, l'effet de la correction du pH des solutions salines naturelles améliore la production de la biomasse des feuilles. Ceci permet d'affirmer que la formation des feuilles est dépendante du milieu de culture et tout particulièrement de sa composition ionique.

La meilleure performance concernant le nombre de feuilles a été enregistrée au niveau du traitement salin corrigé T3 par des valeurs de 14.80 et 11 chez le concombre et le haricot respectivement. Suivi par les traitements partiellement corrigées T4 (par l'acide nitrique) et T2 (par les deux acides nitrique et phosphorique) par des valeurs également importantes. Des valeurs faibles ont été enregistrées chez le traitement partiellement corrigé par l'acide phosphorique T5 ; 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 [173] sur le pois chiche. [128], 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 [170], 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 photo-assimilats plus disponibles pour l'élaboration des racines et des organes de réserves.

D'après les résultats obtenus chez les plantes alimentées par le traitement partiellement corrigées (T4) 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 (T4) et les valeurs obtenues chez les plantes irriguées par la solution saline partiellement corrigée par l'acide nitrique et l'acide phosphorique (T2).

Des résultats faibles sont enregistrés chez les plantes alimentées par la solution saline naturelle (T1) avec des valeurs de 9.60 et 7 chez le concombre et le haricot respectivement. De ce fait on peut dire que le pH alcalin est défavorable à la dissolution des éléments minéraux dans ce dernier, ainsi que le taux de sel dans ce milieu entraîne une toxicité et des nécroses foliaires.

Selon les travaux de [170], 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. [168] et [174], 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, [175] également montre 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.

La chute des feuilles peut être aussi liée à des perturbations du taux de régulateurs de croissance (cytokinines et l'acide abscissique) induites par les sels [166]. Aussi, la faible activité photosynthétique induisant un nombre réduit de feuilles déformées portant de petites taches sur les bords, se nécrosent rapidement amenant une dessiccation prématurée suite à une diminution de la conductance stomatique du CO<sub>2</sub> sous la contrainte saline.

Selon [127], le sel provoque un effet défavorable à la formation des feuilles. Il diminue leur masse individuelle, et finit par entraîner leur dessèchement. En revanche, l'effet de la correction des solutions saline naturelles améliore la production de la biomasse des feuilles.

Aussi selon [176], ce résultat peut être due au calcium qui joue un rôle d'antagoniste en empêchant l'absorption du magnésium, du potassium et même du phosphore et d'autres oligo-éléments tel que le zinc, le fer et le manganèse, se traduisant ainsi par un arrêt de photosynthèse et aboutissant au phénomène de chlorose. Et par conséquent on aboutit à une réduction du nombre de feuilles au niveau des plantes.

### 5.1.3 : Variation de la biomasse produite

#### 5.1.3.1 : Biomasse fraîche produite

Les résultats relatifs à la biomasse fraîche produite par les deux espèces sont présentés dans les tableaux suivants.

Tableau 5.3 : Biomasse moyenne fraîche de la partie aérienne et racinaire

		T1 Témoin	T2 (HNO <sub>3</sub> ,H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	T3 (HNO <sub>3</sub> ,H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ) +O.E	T4 (HNO <sub>3</sub> )	T5 (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )
Concombre	<b>Poids des tiges (g)</b>	03,86 ± 0.55 D	11,19 ± 0.64 B	16.35 ± 0.53 A	10.61 ± 0.82 C	08.31 ± 0.49 C
	Variation (%) / Témoin	100	+ 189.89	+ 323.57	+ 174.87	+ 115.28
	<b>Poids des feuilles (g)</b>	08,16 ± 0.69 C	25,37 ± 0.93 A	28,71 ± 0.75 A	19,04 ± 1.03 B	17,39 ± 0.63 B
	Variation (%) / Témoin	100	+ 210.90	+ 251.83	+ 133.33	+ 113.11
	<b>Poids des racines (g)</b>	05,30 ± 1.25 C	12,69 ± 0.99 A	14.34 ± 0.95 A	09,21 ± 0.56 B	08,83 ± 1.03 B
	Variation (%) / Témoin	100	+ 139.43	+ 170.56	+ 73.77	+ 66.60
Haricot	<b>Poids des tiges (g)</b>	05.15 ± 01.90 C	05.64 ± 01.09 B	06.82 ± 01.05 A	06.02 ± 00.87 A	05.81 ± 01.24 B
	Variation (%) / Témoin	100	+ 09.51	+ 32.42	+ 16.89	+ 12.81
	<b>Poids des feuilles (g)</b>	16.20 ± 02.34 C	18.86 ± 03.04 B	22.40 ± 02.12 A	17.18 ± 01.98 B	16.97 ± 02.45 C
	Variation (%) / Témoin	100	+ 16.14	+ 38.27	+ 06.04	+ 04.75
	<b>Poids des racines (g)</b>	11.56 ± 03.32 C	23.28 ± 03.08 A	26.04 ± 04.27 A	18.23 ± 02.56 B	17.56 ± 02.86 B
	Variation (%) / Témoin	100	+ 101.38	+ 125. 25	+ 57.69	+ 51.90

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative entre les différentes moyennes mesurées de la biomasse fraîche produite au niveau de la partie aérienne et la partie racinaire, pour les deux espèces étudiées. En effet, le test de Newman et keuls au seuil  $\alpha = 5\%$  fait ressortir trois groupes homogènes pour le haricot et quatre groupes homogène pour le concombre (annexe 03).

La correction du potentiel hydrogène d'une eau saline naturelle à un effet bénéfique sur la croissance des plantes quel que soit l'espèce testée. La meilleure performance est enregistrée chez les plantes arrosées par le traitement corrigé T3 (pH 5.6 + oligoéléments). Des résultats également importants sont enregistrées par les plantes qui sont alimentées par les traitements partiellement corrigés (T4) par l'acide nitrique et (T2) par les deux acides (nitrique et phosphorique) avec des valeurs plus ou moins élevées, pour les deux espèces étudiées.

Le traitement salin partiellement corrigé par l'acide phosphorique T5 présente des valeurs faibles comparativement au traitement T4 et T2. Ces résultats sont expliqués 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. [177], 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.

De ce fait on peut dire que la correction du pH de 7.8 à 5.8 d'une eau saline, agit sur la dissolution des éléments minéraux dans le milieu, ce qui se traduit par un équilibre ionique parfait. [122] et [178] ont noté que l'importance du pH reside dans le fait qu'il est indicateur de la solubilité des éléments nutritifs. 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 .

Le stress salin influe sur la biomasse fraîche des plantes. Cela est observé chez les plantes alimentées par la solution saline naturelle T1, donnent des plantes chétives en raison de l'accumulation des sels nocifs au niveau des racines des plantes étudiées. Aussi le pH de 7.8 de ce traitement est défavorable à la dissolution des éléments minéraux ce qui se traduit par un déséquilibre ionique.

Cette diminution c'est l'un des symptômes causés la présence d'une quantité importante de sel dans ce traitement T1. L'excès de sels selon [179], 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, [180] a également montré que la salinité du milieu agit sur la croissance en diminuant la biomasse totale, en faisant tomber les feuilles qui atteignent le seuil d'accumulation de  $\text{Na}^+$ . Des observations similaires ont été observées dans les travaux de [142] où il montre que la salinité accrue est accompagnée par une réduction significative dans la biomasse fraîche.

### 5.1.3.2 : Biomasse sèche produite

Tableau 5.4 : Biomasse moyenne sèche de la partie aérienne et racinaire

		T1 Témoin	T2 ( $\text{HNO}_3, \text{H}_3\text{PO}_4$ )	T3 ( $\text{HNO}_3, \text{H}_3\text{PO}_4$ ) +O.E	T4 ( $\text{HNO}_3$ )	T5 ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )
Concombre	<b>Poids des tiges (g)</b>	01,41 ± 1.01 C	05.74 ± 1.02 A	05.83 ± 0.68 A	03.56 ± 0.74 B	03.18 ± 1.03 B
	Variation (%) / Témoin	100	+ 307.09	+ 313.47	+ 152.48	+ 125.53
	<b>Poids des feuilles (g)</b>	01.22 ± 0.95 C	02,84 ± 0.87 B	03,58 ± 1.09 A	01.56 ± 0.55 C	01,47 ± 1.12 C
	Variation (%) / Témoin	100	+ 132.78	+ 193.44	+ 27.86	+ 20.49
	<b>Poids des racines (g)</b>	00,41 ± 0.86 C	01,16 ± 0.67 A	01.26 ± 0.75 A	00,67 ± 1.03 B	00,56 ± 0.84 B
	Variation (%) / Témoin	100	+ 182.92	+ 207.31	+ 63.41	+ 36.58
Haricot	<b>Poids des tiges (g)</b>	01.99 ± 02.32 C	02.30 ± 02.56 B	02.68 ± 02.09 A	02.01 ± 03.31 C	02.44 ± 02.13 B
	Variation (%) / Témoin	100	+ 15.57	+ 34.67	+ 01.00	+ 22.61
	<b>Poids des feuilles (g)</b>	02.39 ± 01.14 C	04.05 ± 01.84 B	04.70 ± 01.45 A	04.85 ± 01.36 A	02.44 ± 02.21 C
	Variation (%) / Témoin	100	+ 69.45	+ 96.65	+ 102.92	+ 02.09
	<b>Poids des racines (g)</b>	02.76 ± 03.71 C	04.79 ± 04.23 B	05.24 ± 05.01 A	03.58 ± 04.25 B	02.91 ± 03.86 C
	Variation (%) / Témoin	100	+ 73.55	+ 89.85	+ 29.71	+ 05.43



En se référant au tableau 5.4, nous pouvons conclure que la salinité manifeste un effet néfaste sur la matière sèche produite. Les plantes issues des solutions salines à pH corrigé révèlent un poids sec élevé par rapport à celui des plantes stressées.

La biomasse sèche produite par les plantes alimentées par les traitements salins à pH corrigé est due essentiellement à la richesse de ces solutions en azote et en phosphore (T2, T3, T4 et T5) et en oligo-éléments T3, et ayant un potentiel hydrogène (pH) le plus favorable à savoir (5.5 à 5.8) facilitant l'absorption de ces derniers par les plantes. Ce résultat confirme le travail de [5], qui montre que la correction des eaux salines provoque l'augmentation de la biomasse sèche.

L'addition des oligo-éléments et la correction du potentiel hydrogène du traitement T3 donne une meilleure performance par rapport aux traitements à pH corrigé T2, T4 et T5 qui améliorent d'avantage le poids sec total quel que soit l'espèce testées. De ce fait on peut dire que la correction du pH a 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 T1 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 [181], [182], le stress salin provoque l'inhibition de la croissance pondérale de la matière sèche. [161] note aussi que la salinité inhibe la croissance des organes 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 [183] 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 [184] montre 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.

Des résultats similaires, ont été rapportés par plusieurs auteurs, entre autres [185] explique que la réduction de la biomasse sèche était en relation direct avec la salinité qui réduit énormément les teneurs en N, P, K<sup>+</sup>, Mg<sup>++</sup> et Ca<sup>++</sup> en accentuant l'accumulation du Na<sup>+</sup> du Cl<sup>-</sup> qui s'avère être très nocifs pour la croissance des plantes.

## 5.2 : Paramètres de production mesurés

Selon les résultats relatifs à l'analyse de la variance, nous remarquons que le facteur traitements au seuil de 5% manifeste un effet significatif sur les paramètres mesurés (annexe 05). L'irrigation avec les eaux salines naturelle de Gassi Touil reconstituées s'est traduite par une diminution importante du nombre de fruits par plante chez le concombre comparativement au haricot Tableau (5.5 et 5.6).

Tableau 5.5 : Nombre moyen des fleurs, le nombre, le poids frais moyen et la longueur du fruit du concombre

		T1 Témoin	T2 (HNO <sub>3</sub> ,H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	T3 (HNO <sub>3</sub> ,H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ) +O.E	T4 (HNO <sub>3</sub> )	T5 (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )
Concombre	<b>Nombre des fleurs</b>	4.50 ± 1.42 B	9.20 ± 1.36 B	9.80 ± 1.87 B	9.00 ± 1.45 B	8.80 ± 2.04 B
	Variation (%) / Témoin	100	+ 104.44	+ 117.77	+ 100	+ 95.55
	<b>Nombre de fruits</b>	2.25 ± 1.45 B	6.60 ± 2.11 A	6.80 ± 1.75 A	6.80 ± 1.98 A	6.20 ± 2.03 A
	Variation (%) / Témoin	100	+ 193.33	+ 202.22	+ 202.22	+ 175.55
	<b>Poids frais moyen (g)</b>	74.77 ± 2.03 C	148.40 ± 1.24 B	155.17 ± 1.95 A	143.74 ± 1.98 B	141.11 ± 1.04 B
	Variation (%) / Témoin	100	+ 98.47	+ 107.52	+ 92.24	+ 88.72
	<b>Longueur du fruit (cm)</b>	07.41 ± 3.01 B	12.82 ± 2.01 A	12.92 ± 2.31 A	12.39 ± 1.95 A	12.41 ± 1.87 A
	Variation (%) / Témoin	100	+ 73.00	+ 74.35	+ 67.20	+ 67.47

Tableau 5.6 : Nombre moyen des fleurs, le nombre, le poids frais moyen et la longueur du fruit du haricot

		T1 Témoïn	T2 (HNO <sub>3</sub> ,H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	T3 (HNO <sub>3</sub> ,H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ) +O.E	T4 (HNO <sub>3</sub> )	T5 (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )
Haricot	<b>Nombre des fleurs</b>	15.40 ± 2.30 C	26.60 ± 1.80 B	28.00 ± 2.97 A	26.60 ± 1.10 B	22.80 ± 2.12 B
	Variation (%) / Témoïn	100	+ 72.72	+ 81.81	+ 72.72	+ 48.05
	<b>Nombre de fruits</b>	13.20 ± 03.03 C	21.20 ± 2.13 B	23.25 ± 02.80 A	20.10 ± 02.60 B	19.20 ± 1.98 B
	Variation (%) / Témoïn	100	+60.60	+ 78.03	+ 52.27	+ 45.45
	<b>Poids frais moyen (g)</b>	21.65 ± 01.23 C	35.10 ± 01.75 A	38.97 ± 02.01 A	33.70 ± 02.31 B	31.42 ± 01.98 B
	Variation (%) / Témoïn	100	+ 62.50	+ 80.41	+ 56.01	+ 45.12
	<b>Longueur du fruit (cm)</b>	08.12 ± 2.03 C	11.76 ± 2.37 B	12.47 ± 3.12 A	12.18 ± 1.98 A	10.80 ± 2.41 B
	Variation (%) / Témoïn	100	+ 44.82	+ 53.57	+ 50.00	+ 33.00

Les meilleures performances pour les quatre paramètres mesurés sont enregistrées chez les plantes alimentées par le traitement à pH corrigé plus les oligo-éléments (T3). Aussi les traitements à pH corrigé (T2, T4 et T5) sont enregistrés également des valeurs importantes quel que soit l'espèce testée (le haricot ou le concombre).

La floraison des plantes a débuté 75 jours après semis et a duré 30 jours chez le concombre et 55 jours après semis et a duré 20 jours chez le haricot. La floraison des plantes stressées a été plus réduite par rapport aux autres traitements. On note que les premières fleurs qui sont apparues étaient observées au niveau des plantes alimentées par le traitement T1 pour les deux espèces étudiées, cette précocité de mise à fleurs est l'une des conséquences de la salinité. Les plantes issues de ce traitement faisant face au stress salin raccourcissent leur cycle de développements en produisant des fleurs qui se transforment vite en fruits et ce par rapport aux plantes alimentées par les eaux salines corrigées. Des résultats similaires ont été trouvés par [186] qui montre que le nombre de fleurs diminue avec l'augmentation de la salinité du milieu.

A partir des tableaux (5.5) et (5.6) nous constatons que les traitements salins à pH corrigé améliorant d'avantage la longueur et le poids des fruits récoltés quel que soit l'espèce étudiée (concombre ou haricot), par rapport aux plantes alimentées par la solution saline naturelle (T1), de ce fait on peut dire que la correction du pH des eaux salines naturelles 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 à pH corrigé plus oligo-éléments (T3) où elles expriment un poids de fruits élevé chez les deux espèces étudiées avec 155.17g pour le concombre et 38.97g pour les gousses du haricot. Aussi les plantes alimentées par les solutions salines à pH corrigé (T2, T4 et T5) permettant d'avoir une amélioration du paramètre cité au-dessus, ceci est expliqué par l'équilibre ionique.

Les plantes issues de traitement salin naturel (T1) exprimant les valeurs les plus faibles soit pour le poids ou pour la longueur, 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, réduisant les sources de réserve pour les fruits.

Les plantes traitées par le traitement (T5) ont enregistré des valeurs faibles par rapport aux autres traitements corrigés (T2, T3, et T4), ceci est expliqué par l'absence de l'azote 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 [187] note que la réduction de la photosynthèse 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 CO<sub>2</sub> à la feuille par induction de la fermeture des stomates.

On peut dire que la salinité provoque un effet défavorable sur les paramètres de production. La diminution de la productivité des plantes est due au déficit hydrique induit par une osmolarité externe élevée ce qui réduit leur croissance et leur surface foliaire, tout en ayant pour conséquence une diminution de la capacité photosynthétique de la plante entière.

A l'inverse, les plantes irriguées par les solutions salines corrigées donnent un nombre de fruits élevé et de qualité qui résulte d'un équilibre parfait des milieux

nutritifs correspondant. Des résultats similaires ont été observé par les travaux de [188] qui montre que le nombre de fruit dépend de l'alimentation hydrominérale et notamment de l'équilibre parfait de  $K^+$  et de  $Ca^{++}$ .

Selon [189], 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. D'après [190] 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.

Selon [182] 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.

## 5.2. Paramètres de qualité mesurés

Les résultats relatifs aux paramètres de qualité mesurés à savoir la quantité de la vitamine C et des sucre totaux sont illustrés dans le tableau suivant :

Tableau 5.7 : Quantité de la vitamine C et des sucre totaux

		T1 Témoin	T2 (HNO <sub>3</sub> ,H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	T3 (HNO <sub>3</sub> ,H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ) +O.E	T4 (HNO <sub>3</sub> )	T5 (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )
Concombre	<b>Vitamine c</b>	13.82 ± 0.89 C	15.93 ± 1.09 A	16.05 ± 0.64 A	15.14 ± 1.57 B	14.69 ± 0.42 B
	Variation (%) / Témoin	100	+ 14.54	+ 16.36	+ 09.55	+ 06.29
	<b>Sucres totaux</b>	4.22 ± 0.75 C	6.02 ± 1.01 A	6.08 ± 0.98 A	5.22 ± 1.23 B	4.88 ± 2.01 B
	Variation (%) / Témoin	100	+ 50.50	+ 44.07	+ 24.28	+ 16.19
Haricot	<b>Vitamine c</b>	1.52 ± 1.11 C	4.18 ± 1.41 B	4.46 ± 1.45 A	4.03 ± 0.98 B	3.91 ± 1.23 B
	Variation (%) / Témoin	100	+ 175.00	+ 193.42	+ 165.13	+ 175.23
	<b>Sucres totaux</b>	3.48 ± 0.73 D	5.09 ± 1.85 B	5.42 ± 0.98 A	4.64 ± 1.23 C	5.01 ± 1.34 B
	Variation (%) / Témoin	100	+ 46.26	+ 55.74	+ 33.33	+ 43.96

Analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative de l'effet de traitement sur la vitamine C et la quantité de sucres totaux produite dans les fruits du concombre et dans les gousses de haricot (Annexe 06), Le test de Newman et keuls au seuil  $\alpha = 5\%$  fait ressortir trois groupes homogènes pour la vitamine C et quatre groupes homogènes pour les sucres totaux.

Les fruits récoltés à partir des plantes irriguées par des traitements salins à pH corrigé (T2, T3, T4 et T5) tout en améliorant la teneur de sucres totaux des fruits de deux espèces étudiées. Avec des valeurs importantes. Contrairement, les plantes alimentées par le traitement salin naturel (T1) 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 du pH des eaux saline naturelles améliore d'avantage la quantité des sucres totaux dans les fruits des deux espèces étudiées. D'après [63] 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.

Aussi l'azote a un effet sur l'amélioration de la quantité du sucre dans les fruits, ce qui confirme par les résultats obtenus par les traitements corrigés par l'acide nitrique T2, T3 et T4 ; par rapport au traitement corrigé par l'acide phosphorique T5 qui donne des résultats moins importants. D'après les travaux de [191] l'azote a des impacts sur la quantité et sur la qualité (protéine, teneur en sucre) de la récolte. Dans le même ordre d'idées, les travaux de [192] montrent qu'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 [83] chez le riz cultivé sous stress salin, il a été observé une dégradation de l'amidon et une accumulation des sucres.

La 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 T1 au niveau de deux espèces étudiées présentant par des valeurs faibles 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-régulateurs sont utilisées pour la survie des plantes.

Dans ce contexte [63] montre que l'excès de sel peut provoquer des problèmes de membranes, des inhibitions enzymatiques ou un dysfonctionnement métabolique général, d'où à une photosynthèse réduite induisant une réduction de la synthèse glucidique.

Concernant la quantité de la vitamine C l'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 du concombre et les gousses du haricot (Annexe 06). Le test de Newman et keuls au seuil  $\alpha = 5\%$  fait ressortir trois groupes homogènes pour les deux espèces. Tableau 5.7

Les fruits récoltés à partir des plantes arrosées par le traitement (T3) sont les plus riches en acide ascorbique avec des valeurs de 4.46 pour le haricot et 16.02 pour le concombre. Les traitements partiellement corrigés (T2, T4 et T5) permettant d'avoir chez les deux espèces des fruits présentant des valeurs également importantes, alors que le traitement salin naturelle (T1), présente un taux faible de la vitamine (C), avec une valeur de 1,52 % et 13.82 % chez le haricot et le concombre respectivement.

### 5.3. Paramètres biochimiques

#### 5.3.1 : Teneur en chlorophylle

Les teneurs en chlorophylle sont enregistrées dans les tableaux 5.8 et 5.9 pour le concombre et le haricot respectivement.

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative (annexe 20) entre les différentes moyennes mesurées des teneurs de chlorophylle en présence du stress salin. Le test de Newman et keuls au seuil  $\alpha = 5\%$  fait ressortir trois groupes homogènes chez le haricot et quatre groupes chez le concombre (annexe 07).

Tableau 5.8 : Teneur moyenne en chlorophylle : Chl (a) ; Chl (b) et Chl (c) [ $\mu\text{g/g MF}$ ] chez le concombre.

		T1 Témoïn	T2 ( $\text{HNO}_3, \text{H}_3\text{PO}_4$ )	T3 ( $\text{HNO}_3, \text{H}_3\text{PO}_4$ ) +O.E	T4 ( $\text{HNO}_3$ )	T5 ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )
Concombre	<b>Chlorophylles a</b> $\mu\text{g/g MF}$	$0.20 \pm 0.01$ B	$0.28 \pm 0.07$ A	$0.30 \pm 0.02$ A	$0.20 \pm 0.11$ B	$0.21 \pm 0.09$ B
	Variation (%) / Témoïn	100	+ 40.00	+ 50.00	00.00	+ 05.00
	<b>Chlorophylles b</b> $\mu\text{g/g MF}$	$0.10 \pm 0.03$ B	$0.23 \pm 0.05$ A	$0.21 \pm 0.01$ A	$0.12 \pm 0.09$ B	$0.14 \pm 0.10$ B
	Variation (%) / Témoïn	100	+ 130.00	+ 110.00	+ 20.00	+ 40.00
	<b>Chlorophylles c</b> $\mu\text{g/g MF}$	$4.46 \pm 0.12$ D	$7.62 \pm 0.03$ A	$7.74 \pm 0.08$ A	$7.52 \pm 0.11$ B	$6.58 \pm 0.09$ C
	Variation (%) / Témoïn	100	+ 70.85	+ 73.54	+ 68.60	+ 47.53

Tableau 5.9 : Teneur moyenne en chlorophylle : Chl (a) ; Chl (b) et Chl (c) [ $\mu\text{g/g MF}$ ] chez le haricot.

		T1 Témoïn	T2 ( $\text{HNO}_3, \text{H}_3\text{PO}_4$ )	T3 ( $\text{HNO}_3, \text{H}_3\text{PO}_4$ ) +O.E	T4 ( $\text{HNO}_3$ )	T5 ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )
Haricot	<b>Chlorophylles a</b> $\mu\text{g/g MF}$	$0.72 \pm 0.13$ C	$1.22 \pm 0.07$ A	$1.27 \pm 0.15$ A	$1.12 \pm 0.06$ B	$0.76 \pm 0.02$ C
	Variation (%) / Témoïn	100	+ 69.44	+ 76.38	+ 55.55	+ 05.55
	<b>Chlorophylles b</b> $\mu\text{g/g MF}$	$0.71 \pm 0.04$ C	$2.12 \pm 0.05$ A	$2.17 \pm 0.01$ A	$1.79 \pm 0.13$ B	$0.81 \pm 0.09$ C
	Variation (%) / Témoïn	100	+ 198.59	+ 205.63	+ 152.11	+ 14.08
	<b>Chlorophylles c</b> $\mu\text{g/g MF}$	$7.18 \pm 1.23$ B	$9.48 \pm 0.64$ A	$10.33 \pm 1.09$ A	$7.19 \pm 0.87$ B	$7.23 \pm 0.75$ B
	Variation (%) / Témoïn	100	+ 32.03	+ 43.87	+ 00.13	+ 00.69

Une meilleure performance est enregistrée chez les plantes alimentées par le traitement T3 pour les deux espèces étudiées, et pour les trois types de la chlorophylle. ceci met en évidence de l'importance de la présence des éléments fertilisant dans ce traitement notamment l'azote, le phosphore, le fer et les oligoéléments ; aussi, le pH favorable, 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 une croissance de la partie aérienne notamment le processus de la



photosynthèse et la quantité de la chlorophylle produite chez les deux espèces étudiées.

Les résultats obtenus par les plantes alimentées issues des traitements corrigés par l'acide nitrique (T4 et T2) ont amélioré d'avantage le paramètre mesuré par rapport au traitement salin naturel T1 et au traitement corrigé par l'acide phosphorique T5, Ceci en raison de la présence de l'azote dans le milieu qui améliore la surface foliaire de la plante.

Des observations similaires ont été observées dans les travaux de [191] 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.

Par contre la quantité de la chlorophylle chez les plantes alimentées par le traitement partiellement corrigée par l'acide phosphorique (T5) reste faible malgré qu'il y a des nodosités au niveau des racines du haricot, qui intervient sur la fixation de l'azote. De ce fait, on peut dire que cette fixation est restée limitée dans un milieu salin. D'après les travaux de [83] le processus d'installation de la nodosité est plus sensible au stress osmotique. La même observation enregistrée pour les plante du concombre. Ces résultats semblables aux travaux de [193] où il montre que la diminution de l'azote dans le milieu entraine 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.

Les plantes issues du traitement salin naturel T1 donne les valeurs les plus faible pour ce paramètre pour les deux espèces. Des résultats semblables sont identifiés par les travaux de [172] 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, est également réduite. La plante

montre alors des signes de stress par la production d'anthocyanes ou la destruction de la chlorophylle.

D'après les travaux de [194] 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 CO<sub>2</sub>, limitée par une fermeture des stomates. Ce phénomène engendre par conséquent la résistance de la feuille à la diffusion du CO<sub>2</sub>, 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.

Ainsi les travaux de [167] ont montré que, au niveau de la nutrition carbonée, l'action du NaCl résulterait de l'accumulation de Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> dans les organes foliaires empêchant le déroulement normal des processus photosynthétiques.

Ces résultats montrent l'effet dépressif du sel sur les espèces étudiées, ce qui confirme l'étude menée par [194] qui ont rapporté la diminution du taux de la chlorophylle sous des conditions de salinité, et que la diminution est significative chez les génotypes sensibles par rapport aux génotypes tolérants [79].

Ainsi, il a été constaté que le taux de la chlorophylle (A) diminue en général sous les conditions de stress salin et les feuilles les plus âgées commencent à développer une chlorose et finissent par tomber pendant une période prolongée du stress salin [66]. Les travaux de [196], ont montré que dans un milieu salin, la fluorescence chlorophyllienne (b) est affectée par des perturbations au niveau des chloroplastes.

### 5.3.2 : Teneur en sucre soluble

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative ( $P < 0,001$ ) (annexe 08) entre les différentes moyennes mesurées de la teneur des sucres soluble dans les feuilles de l'espèce étudiée. En effet le test de Newman et keuls au seuil  $\alpha = 5\%$  fait ressortir trois groupes homogènes. Les résultats présentés dans le tableau 5.10.

Tableau 5.10 : Teneur moyenne en sucres solubles [ $\mu\text{g/g MF}$ ]

		T1 Témoïn	T2 ( $\text{HNO}_3, \text{H}_3\text{PO}_4$ )	T3 ( $\text{HNO}_3, \text{H}_3\text{PO}_4$ ) +O.E	T4 ( $\text{HNO}_3$ )	T5 ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )
Concombre	<b>Sucres solubles <math>\mu\text{g/g MF}</math></b>	$0.53 \pm 0.21$ C	$0.70 \pm 0.19$ B	$0.90 \pm 0.13$ A	$0.78 \pm 0.02$ B	$0.75 \pm 0.14$ B
	Variation (%) / Témoïn	100	+ 32.07	+ 69.81	+ 47.16	+ 41.50
Haricot	<b>Sucres solubles <math>\mu\text{g/g MF}</math></b>	$0.30 \pm 0.01$ C	$0.47 \pm 0.12$ B	$0.57 \pm 0.10$ A	$0.46 \pm 0.09$ B	$0.47 \pm 0.08$ B
	Variation (%) / Témoïn	100	+ 56.60	+ 21.27	+ 53.33	+ 56.66

La diminution des sucres solubles au niveau des plantes alimentées par les eaux salines naturelles serait due à l'arrêt du développement de la plante en raison de la toxicité au sel. Ces résultats sont confirmés par les travaux de [82] qui ont montré que le contenu foliaire en sucres solubles est diminué lorsque la salinité des eaux d'irrigation devient très importante.

L'irrigation des plantes par la solution saline corrigée (T3) manifeste le taux de sucres solubles le plus élevé, avec des valeurs de  $0,90 \mu\text{g/g MF}$  chez le concombre et  $0,57 \mu\text{g/g MF}$  chez le haricot. Les traitements partiellement corrigées T2, T4 et T5 tout en améliorant le paramètre mesuré par rapport à la même solution saline naturelle (T1). 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 du pH des eaux salines.

La quantité du sucre soluble la plus faible est enregistrée au niveau des plantes alimentées par le traitement salin naturel (T1), avec des valeurs de  $0,53 \mu\text{g/g MF}$  et  $0,30 \mu\text{g/g MF}$  chez le concombre et le haricot respectivement, pouvant être expliquée par une faible activité photosynthétique qui nécessite une grande quantité d'énergie sous forme d'ATP, aussi, le pH de la solution est alcalin et avec une concentration importante du 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 (T5) de ce fait, on peut dire que le  $\text{pH}=5,5$  est favorable à la dissolution des éléments minéraux dans le milieu,

aussi, le phosphore est un autre facteur qui intervient sur l'augmentation de la teneur en sucre soluble par le transfert de l'énergie.

Selon les travaux de [66] 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 joue un rôle extrêmement important dans la photosynthèse, dans le même d'ordre d'idée, les travaux de [197] 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 [198] sur le haricot et le riz, et dans les travaux de [67], sur le tournesol.

Des résultats semblables sont identifiés par les travaux de [83] où il confirme le contenu foliaire en sucres solubles est significatif lorsque la salinité des eaux d'irrigation devient très importante.

Les travaux de [199] 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.

Dans les travaux de [193], 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.

### 5.3.3 : Teneur en proline

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative (annexe 09) entre les différentes moyennes mesurées de la teneur de la proline des espèces étudiées. Le test de Newman et Keuls au seuil  $\alpha = 5\%$  fait ressortir deux groupes homogènes pour le haricot et trois groupes pour le concombre.

Tableau 5.11 : Teneur moyenne en proline [ $\mu\text{g/g MF}$ ].

		T1 Témoin	T2 ( $\text{HNO}_3, \text{H}_3\text{PO}_4$ )	T3 ( $\text{HNO}_3, \text{H}_3\text{PO}_4$ ) +O.E	T4 ( $\text{HNO}_3$ )	T5 ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )
Concombre	<b>Proline (<math>\mu\text{g/g MF}</math>)</b>	$0.040 \pm 0.03$ C	$0.070 \pm 0.08$ B	$0.092 \pm 0.10$ A	$0.069 \pm 0.015$ B	$0.060 \pm 0.01$ B
	Variation (%) / Témoin	100	+ 75.00	+ 130.00	+ 72.50	+ 50.00
Haricot	<b>Proline (<math>\mu\text{g/g MF}</math>)</b>	$0.043 \pm 0.02$ B	$0.073 \pm 0.07$ A	$0.097 \pm 0.09$ A	$0.056 \pm 0.12$ B	$0.048 \pm 0.03$ B
	Variation (%) / Témoin	100	+ 69.76	+ 125.58	+ 30.23	+ 11.62

La correction du potentiel hydrogène des eaux salines naturelles permet aux plantes d'absorber l'eau et les éléments nutritifs contenus dans les milieux correspondant ce qui entraîne une accumulation de sels dans les racines en premier lieu, entraînant le déclenchement d'une activité biochimique afin de réduire l'effet nocif des sels sur les tissus et ce par la production accrue de proline au niveau des racines des plantes irriguées par les traitements salins corrigés [202].

La teneur en proline accumulée dans les feuilles atteint les valeurs les plus importantes pour les traitements salins corrigés. Il est à rappeler que les plantes irriguées par ces traitements produisent plus de proline que celles irriguées par l'eau saline naturelle T1, les plantes stressées accumulent moins de proline, ceci est dû au fait que les milieux nutritifs sont chargés en sel qui crée un déséquilibre du potentiel osmotique extérieur qui reste plus fort, induisant une réponse de défense qui se traduit par une production de proline pour réajuster l'osmolarité interne et permettre à l'eau de passer du milieu le moins concentré vers le milieu le plus concentré.

Des résultats similaires ont été trouvés par [201], où il indique que, l'augmentation de la teneur en proline dans tous les organes de la plante est en fonction de l'augmentation de la salinité.

La correction du pH de l'eau saline naturelle 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.

Les teneurs en proline foliaire au niveau du traitement salin corrigé T2 atteignent un accroissement d'environ de deux fois plus élevé par rapport au traitement salin naturel T1 pour les deux espèces étudiées, avec une valeur de 0,092 ug/g MF chez le concombre et 0.097ug/g MF chez le haricot. Suivi par les traitements T2, T4, et T5 avec des valeurs moins importantes.

Des résultats similaires ont été trouvés par [202], 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 [203], 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 [204], [205] et [83], avaient déjà mentionné que le rôle prépondérant de l'accumulation des osmo-régulateurs notamment de la proline et des sucres solubles dans le cas de stress osmotique.

D'après les travaux de [199], 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 [192] 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 [192] 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 [168] 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.

Le stress osmotique perçu par les plantes du traitement (T1) 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 corrigées, ceci est dû au fait que le traitement T1 est chargé de sel déséquilibrés donc crée un potentiel osmotique externe plus fort.

D'après les travaux de [206], 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 sommées à une contrainte hydrique.

Par contre l'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 néo synthèse 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 [207].

## DISCUSSION GENERALE

L'expérimentation a été réalisée dans le but de déterminer l'importance de la correction de potentiel hydrogène des eaux salines naturelles du Gassi Touil, sur la croissance et le développement du concombre (variété super Marketer) et du haricot (variété Djadida) cultivées en hors-sol. Vis-à-vis d'une irrigation par cinq traitements dont une est solution saline naturelle, à pH alcalin de 7.5 à 7.8. Et quatre eaux salines à pH corrigé de l'ordre 5.5 à 5.7, par l'acidification de cette eau par deux types d'acides nitrique et phosphorique.

L'essai expérimental effectué a démontré des modifications tant sur le plan de la croissance que sur le plan du développement des plantes. L'irrigation par le traitement salin naturel conduit à l'augmentation de la salinité dans le milieu racinaire. Le déséquilibre ionique accentue l'effet de la salinité au niveau de ce traitement T1, ce qui limite la croissance des plantes des espèces étudiées, et réduit en conséquence, les consommations hydriques et minérales qui sont en relation avec l'évapotranspiration et les stades physiologiques des plantes. Par contre, la concentration élevée de sels en milieux salés corrigés et équilibrés favorise le développement végétatif des plantes de l'espèce étudiée.

Il a été observé que le déséquilibre ionique au niveau du traitement salin naturel T1, affecte négativement la croissance des plantes, plus particulièrement en réduisant la hauteur des plantes, la fructification ainsi que les paramètres de qualité des fruits, à cause des troubles physiologiques et en réponse à la toxicité des sels. L'abaissement de la matière sèche observée au niveau du traitement salin naturel T1, est dû essentiellement à la réduction de l'indice foliaire en raison de la chute précoce des feuilles.

A l'inverse, les traitements salins à pH corrigé T2, T3, T4 et T5 manifestent une augmentation significative des paramètres de croissance précités, suivie par une production de matière sèche plus importante au niveau de la partie aérienne, en raison d'une adsorption hydrominérale parfaite et convenable. Aussi, il a été noté également qu'au niveau du traitement salin naturel un faible développement racinaire, ce qui a entraîné une chute du rendement en fruits. Des observations similaires ont été faites par [166]. L'analyse des principales composantes du rendement a montré que le déséquilibre ionique des traitements salins naturels



réduit significativement le nombre et le poids moyen des fruits. Il est à noter également que l'ajout des oligo-éléments marque une augmentation des paramètres précités.

L'effet de la salinité sur la croissance des plantes a été mis en évidence par plusieurs travaux qui expliquent que le blocage de la croissance est dû à l'inhibition de la photosynthèse au niveau des chloroplastes, en particulier par l'accumulation du sodium et des chlorures au niveau des jeunes feuilles qui limitent le mouvement des stomates et de la photosynthèse et ce sur différentes cultures (poivron, tomate, concombre, haricot) [139].

Beaucoup de travaux et résultats similaires ont été trouvés par divers auteurs tels que [208], où l'action dépressive du sel se manifeste par une réduction de la production de matière sèche des différents organes de la plante. Elle se manifeste également par la réduction de la hauteur des plantes [210].

La correction du potentiel hydrogène de ces eaux salines naturelles a conduit à une augmentation significative de la croissance des plantes et ce au niveau de tous les paramètres étudiés. Cette augmentation est aussi remarquable sur le plan de développement à travers le nombre et le poids des fruits produits. Cette amélioration s'explique par l'équilibre ionique parfait des milieux nutritifs et par l'apport d'oligo-éléments indispensables à la croissance et au développement des plantes dans le traitement T3.

L'inhibition du transport du magnésium (Mg), à partir de la racine vers les feuilles stoppe la formation de la chlorophylle, et donc de la photosynthèse. Il y a apparition des tâches vertes claires sur les feuilles basales suivi d'un changement de l'aspect des feuilles. L'accumulation des sels dans le milieu salin naturel T1 entraîne une toxicité partielle vis à vis des plantes en début de culture. Au fur et à mesure de développement végétatif, on remarque plus ou moins une adaptation des plantes à ce milieu de culture, néanmoins, elles finissent par se dessécher.

La répartition de la proline dans les différentes parties de la plante est utilisée pour expliquer la tolérance des végétaux aux sels. Le concombre et le haricot pouvant survivre à certains seuils de salinité à une aptitude supérieure à accumuler une certaine quantité de proline dans les tiges et leurs tissus foliaires [210].

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

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 [211].

Également, nous avons remarqué chez les plantes des deux espèces étudiées alimentées par la solution saline partiellement corrigée par l'acide phosphorique (T5), un jaunissement des feuilles et l'apparition des nécroses foliaires induisant une diminution de la biomasse fraîche aérienne (feuilles+ tiges). La diminution de la biomasse fraîche aérienne s'explique par l'absence de l'azote dans le milieu alimentaire T5 et par conséquent sur la diminution du processus de la photosynthèse, et qui induit un jaunissement des feuilles.

Les carences en éléments fertilisants au niveau du traitement T1 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 par une faible activité photosynthétique induisant un nombre réduit des feuilles.

Les plantes de concombre et de haricot alimentés par les traitement T2, T3, T4 et 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 osmo-régulateur entre autre la proline et ce par rapport à l'eau saline naturelle T1. 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.

La correction du potentiel hydrogène d'une eau saline naturelle a une influence importante sur la production des deux espèces, avec une production de gousses et de fruits de concombre les meilleurs par rapport au traitement témoin (T5). 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.

La 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 assimilations par les plantes, et d'autres part il y a un apport des éléments fertilisant utiles tels que les nitrates et de  $PO_4$ .

La correction partielle de l'eau saline naturelle (T4) 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 (T5) à la même influence mais uniquement la production d'osmo-régulateurs et de qualité à savoir la vitamine (C). L'addition des deux acides dans la correction de l'eau saline (T2 et T3) conduit à une augmentation plus importante de la croissance des plantes.

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. Les résultats font apparaitre une différence pour la tolérance à la salinité entre les deux glycophytes étudiées.

La salinité est une contrainte majeure qui affecte la croissance et le développement des plantes [212]. Les effets de la salinité se manifestent au niveau de la plante entière à des degrés variables se traduisant par des changements morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui affectent négativement la croissance de la plante et sa productivité [8].

Les travaux de [213] ont montré à cet égard que les signes de stress les plus évidents au niveau de la végétation arrosée par des eaux chargées en sel sont ceux d'une sécheresse physiologique se manifestant par un aspect général rabougri de la plante, par une diminution de la surface foliaire et de la masse racinaire et par un dessèchement partiel de la végétation.

Les paramètres biométriques sont souvent comparatifs pour la sélection des écotypes résistants à la salinité. Les effets de 4 niveaux de NaCl (témoin, 50, 75 et 100 mM) sur le comportement morphologique de 5 variétés de tournesol *Helianthus*

*annuus L* (4 hybrides et une population marocaine) ont été étudiés en pots en milieu contrôlé sous serre. Les paramètres mesurés sont la longueur des tiges, des racines, la biomasse sèche aérienne et racinaire. En présence de NaCl, toutes les variétés ont eu un comportement similaire. Toutefois, les réductions ont augmenté significativement avec l'enrichissement du milieu en sel [67].

Aussi, l'identification de l'effet du stress salin sur le taux de régénération des explants, et sur les caractères morpho-physiologiques de deux variétés de bananier (*Musa acuminata*) grande et petite naine afin de sélectionner des vitro plants tolérants à la salinité. Des rejets de deux variétés de bananier sont exposés à quatre concentrations de NaCl (0, 2, 4 et 6 g/l). Les résultats obtenus montrent que les deux variétés ont une régénération des pousses malgré le traitement salin. Cependant, le sel affecte, la longueur des feuilles des explants et le taux de régénération [214].

Selon les travaux de [215] qui a comparé le comportement de trois variétés de piment (*Capsicum annum L*) soumis à quatre traitements salins de (0, 25, 50, 100 mmol de NaCl). Les résultats obtenus ont montré que la salinité a un effet dépressif sur les trois variétés par une réduction de la matière sèche de la plante, de la conductance stomatique et de la teneur en chlorophylle a, b et c.

Une autre étude a été réalisée pour comparer l'effet de différentes concentrations de NaCl sur le développement et la croissance de *Spinacia oleracea* et *Phaseolus vulgaris*. Les résultats ont montré que l'épinard est plus tolérant à la salinité que le haricot avec des pertes de la biomasse sèche de 25% et 45% respectivement [216].

Les travaux de [217] ont montré que la salinité réduit la croissance des plantes de *Phaseolus vulgaris* de 25 %. Le haricot est extrêmement sensible à la salinité, et on enregistre des pertes de rendement dans des sols de moins de 2dSm<sup>-1</sup> de salinité. Chez *Phaseolus vulgaris*, la concentration de 50 mM de NaCl cause un arrêt de croissance due à la réduction en photosynthétats causée par le sel [218].

L'intérêt porté aux caractères physiologiques d'adaptation aux contraintes environnementales a attiré l'attention de nombreux chercheurs. L'un des principaux caractères physiologiques de tolérance aux contraintes du milieu est l'ajustement osmotique. Celui-ci est réalisé grâce à une accumulation de composés osmo

régulateurs conduisant à une réduction du potentiel osmotique permettant ainsi le maintien du potentiel de turgescence [67].

Dans le présent travail, nous avons analysé trois paramètres physiologiques en fonction du stress salin chez deux espèces, le concombre et le haricot et qui sont la teneur en chlorophylles, la teneur en sucres solubles et la teneur en proline et qui sont le plus souvent mesurés pour étudier la réponse des végétaux au stress salin.

L'ajustement osmotique apparaît aujourd'hui comme un mécanisme majeur d'adaptation aux stress ionique et osmotique. Ce phénomène s'exprime par la capacité d'un végétal à accumuler, au niveau symplasmique et de manière active des ions tels que les  $K^+$  et  $Na^+$  et  $Cl^-$  [9] ou de composés organiques tels les sucres solubles et certains amino-acides comme la proline [219]. Ainsi, l'ajustement osmotique permet le maintien de nombreuses fonctions physiologiques (photosynthèse, transpiration, croissance...) et peut intervenir à tous les stades du développement du végétal [220]. L'osmo-régulation permet aussi une protection des membranes et des systèmes enzymatiques surtout dans les organes jeunes et la proline semble jouer un rôle dans le maintien des pressions cytosol-vacuole et de régulation du pH [221].

L'accumulation de ces composés organiques a été mise en évidence chez plusieurs espèces végétales soumises à la contrainte saline. Cette accumulation varie dans de larges proportions suivant l'espèce, le stade de développement et le niveau de la salinité. Les différences d'accumulation des solutés (Acides aminés libres, la proline et les sucres solubles totaux) entre les plantes témoins et les plantes soumises au stress salin sont très importantes [67].

Également, une étude sur des plantules de tournesol (*Helianthus annuus L.*), à partir du stade de deux feuilles, ont été arrosées, avec des concentrations progressives de (25, 50, 75 et 100 mM de NaCl) respectivement les 1er, 2ème, 3ème et 4ème jours après l'application du stress. Les teneurs en proline totales ont augmenté successivement de l'ordre de 70, 135 et 271% dans les cas 50, 75 et 100 mM NaCl [67].

En ce qui concerne les teneurs en sucres solubles il a été rapporté que, des corrélations significatives et négatives sont établies, en conditions salines, entre la production de la biomasse sèche aérienne et les teneurs des feuilles en sucres

solubles totaux de certaines espèces comme le haricot et le riz. A l'inverse, chez d'autres espèces comme le blé, l'orge et le triticale, ainsi que le cotonnier et le soja, c'est plutôt le phénomène contraire qui a été observé : les variétés présumées plus tolérantes de ces espèces sembleraient accumuler des quantités plus élevées de sucres solubles [67].

Les travaux de [222] ont fait ressortir sur deux variétés de tomate (Campbell 33 et Mongal) soumises à des concentrations croissantes de NaCl. (0, 17, 50, 85 et 130 mM), que les deux variétés sont confrontées au stress salin appliqué par une accumulation plus importante de sucres solubles que de proline dans leurs feuilles.

Dans le même contexte, [223] montrent que les baisses des teneurs chlorophylliennes pourraient être des variantes de la physiologie de ce stress chimique. La toxicité saline provoquerait dans ce cas, des dégradations de chlorophylle proportionnellement aux concentrations salines. De tels phénomènes ont également déjà été rapportés par [224] sur le maïs (*Zea mays*, L), [225] sur *Nicotiana plumbaginifolia*, [226] sur le blé (*Triticum aestivum*, L.), en réponse aux toxicités salines.

Plusieurs autres travaux se sont intéressés à l'effet de la salinité sur la teneur en chlorophylles (a), (b) et totale des plantes. [227] ont examiné la pertinence d'utiliser les cinétiques de la fluorescence de la chlorophylle (a) comme marqueur fiable pour le tamisage in vivo de variétés tolérantes au sel (sulfate de sodium) et ce, en comparant deux variétés de blé (*Triticum aestivum* L.) montrant des réactions différentes à la salinité : une variété sensible et une autre tolérante aux sels. Des plantules âgées de 3 semaines ont été soumises à différentes concentrations de sel (0 à 2%) pendant une période de 2 semaines. Le taux de la chlorophylle (a), mesuré sur des sections de feuilles, diminuent significativement chez la variété sensible, comparativement à la variété résistante, à mesure que la concentration en sel augmente. Le contenu total en chlorophylle de la variété tolérante augmente significativement suite au stress salin, avec une augmentation de la chlorophylle (a) aussi bien que de la chlorophylle (b), alors que chez la variété sensible, il n'y a pas de variations significatives.

[67] ont étudié Les effets de 4 niveaux de NaCl (témoin, 50, 75 & 100 mM) sur le tournesol cultivé (*Helianthus annuus* L.) Les résultats concernant les teneurs en

chlorophylles ont montré que chez tous les témoins, les teneurs en chlorophylles sont restées plus importantes, comparativement aux teneurs en chlorophylles dosées chez les plantes de tournesol stressées. Les réductions de teneurs les plus importantes ont été notées en présence de 100 mM NaCl avec cependant des diminutions moyennes de l'ordre de 41, 48 et 44% respectivement pour les Chlorophylle a, b et totale.

Également, les résultats obtenus par [215] sur le comportement de trois variétés de piment (*Capsicum annum L*) soumis à des conditions de stress salin (0, 25, 50, 100 mmol de NaCl) ont montré une réduction de la conductance stomatique et de la teneur en chlorophylle a, b et totale.

Aussi, des études ont été faites sur des plantules de tomate (*Solanum lycopersicum*), traitées par différentes concentrations de NaCl (0-100 mM) en milieu riche ou pauvre en azote pendant 10 jours. Les résultats obtenus ont suggéré que les plantes cultivées en milieu riche en azote sont plus affectées par le stress salin et que celui-ci agit sur les centres réactionnels du photosystème II [248].

La réduction de la photosynthèse dépend de deux aspects de la salinisation à savoir, la concentration et la composition ionique de la solution saline. En effet, une forte concentration en sel réduit l'eau disponible à la plante, et crée un stress osmotique qui rend le transport électrochimique photosynthétique inactif [229].

Aussi selon [230] une perte de turgescence en milieu salé serait responsable d'une diminution de la capacité photosynthétique et par conséquent, de la croissance.

du complexe pigmentaire protéique perturbé par l'excès des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ .

En effet, le manque d'eau et la salinité sont des facteurs limitants de la conductance stomatique et par suite de la capacité photosynthétique [231]. La diminution de la photosynthèse suite à un déficit hydrique ou salin est due principalement à une limitation stomatique [232].

A l'instar des paramètres de qualité, les principaux résultats relatifs à la teneur en sucres totaux, et en vitamine "C" mettent en évidence l'effet de la correction des eaux salines naturelles, qui peut faire varier significativement la composition

chimique des fruits. Nous avons vérifié que les fruits cultivés dans les eaux salines corrigées présentent une teneur en sucres totaux et en vitamine "C" plus élevées que ceux produits en solution saline naturelle.

L'augmentation de la concentration en  $\text{Na}^+$  s'accompagne d'une réduction de la concentration en  $\text{Mg}^{++}$ , K, N, P et  $\text{Ca}^{++}$  dans la plante. Ce déséquilibre nutritionnel est une cause possible des réductions de croissance en présence de sel lorsque des ions essentiels comme  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  ou  $\text{NO}_3^-$  deviennent limitant [233]. D'un autre côté, la salinité peut gêner ou altérer l'assimilation des ions  $\text{K}^+$  et  $\text{Ca}^{2+}$  [234]. En fait, Le potassium  $\text{K}^+$  étant un activateur de beaucoup d'enzymes essentielles pour la photosynthèse et la respiration, les insuffisances en  $\text{k}^+$  auraient comme conséquence l'inhibition de la photosynthèse d'où une réduction de la croissance [235].



## CONCLUSION

L'eau est une ressource indispensable pour les végétaux et reste un indicateur physiologique intéressant pour l'estimation de l'état hydrique des plantes en fonction de sa disponibilité dans la rhizosphère. Notamment dans les régions arides et semi-arides qui souffrent des problèmes de la salinisation des sols et des eaux d'irrigation, où la salinité des eaux constitue une contrainte majeure qui affecte la croissance et le développement des végétaux.

La résistance au sel apparaît comme un caractère polygénique contrôlé à différents niveaux d'organisation de la cellule à la plante entière. L'adaptation des plantes aux stress abiotiques a souvent été associée à des changements biochimiques. La production des osmo-régulateurs 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 du concombre et du haricot, cultivées en hors-sol, en milieu salin, est traduite par des modifications biochimiques et structurales. A travers notre travail expérimental, nous avons démontré l'intérêt de la correction du potentiel hydrogène des eaux salines dans les accroissements des paramètres de croissance, du développement, de production, et au niveau des paramètres physiologiques qui peuvent être modifiés significativement par rapport aux eaux salines naturelles.

Les résultats obtenus ont montré que la correction des eaux salines naturelles favorise l'absorption hydrominérale, se traduisant aussi par un bon développement des espèces étudiées.

La Correction du potentiel hydrogène et l'ajout des oligo-éléments de la solution saline naturelle (T3) a amélioré d'avantage tous les paramètres mesurés quel que soit l'espèce étudiée. Les traitements salins partiellement corrigés « pH corrigé » : (T4) par l'acide nitrique, (T5) par l'acide phosphorique et (T2) par les deux acides, 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 (T1).

L'effet de la correction du potentiel hydrogène de 7.5 à 5,5 des traitements ; a permis d'augmenter d'une manière significative l'absorption hydrominérale des

plantes se traduisant ainsi par une amélioration des paramètres étudiées des deux espèces testées, par rapport aux plantes alimentées par la solution saline naturelle.

Ces résultats seront d'un apport important pour participer à une meilleure conduite des cultures maraichères dans les zones semi-arides et arides où la qualité des eaux fournies pour l'irrigation est défavorable à l'irrigation. Et l'utilisation des eaux souterraines en irrigation est limitée en raison de leur forte composition en sels. La modification de leurs propriétés physicochimiques et en particulier leur acidification pourrait constituer une alternative à leur valorisation en agriculture notamment dans ces régions.

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.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Cheverry C. « Extension et diversité des phénomènes mettant en jeu les sels solubles ». C. R. Acad. Agric.F2., 81. N°2. (1995). Pp 42-46.
2. Besri M. « Effet de la salinité sur le développement des maladies des plantes », Institut Technique et Vétérinaire Hassan II, Maroc, 1990 pp 9-11.
3. Snoussi S.A. « Valorisation des eaux salines pour la nutrition des plantes cultivées ». Thèse Doctorat. D'Etat en Sciences Agronomiques I.N.A El- Harrach .Alger. Algérie. 2001 pp 152.
4. Snoussi, S.A. « Impact du potentiel hydrogène (pH) d'un environnement salin dans la nutrition de deux glycophytes cultivées ». *Revue Agrobiologia*, (6), 2014 Pp 13-20.
5. Snoussi, S. A., Halitim, A., & Valles, V. « Absorption hydrique en milieu salin chez la tomate et le haricot ». *Cahiers Agricultures*, 13(3), 2004 pp 283-287.
6. Snoussi, S. A « Dynamique d'absorption des éléments minéraux ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$  et  $\text{Na}^+$ ) chez la tomate et le haricot en milieu salin ». *Agrobiologia*, 5 (2), 2015 pp 5.
7. Bray E.A., Bailey-serres J., Weretilnyk E. "responses to abiotic stresses. American society of plants physiologists" Rockvill MD 2000 pp 1158-1248
8. Wang, W.X., Vinocur, B., Shoseyov, O. and Altman, A. "Biotechnology of plant osmotic stress tolerance : physiological and molecular considerations". *Acta Hort* 560 : 2001 pp 285-292.
9. Munns, R., Richard, A.J. et Lauchli, A. « Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals ». *Journal of Experimental Botany*, Vol. 57, n°5, 2006 pp. 1025-1043.
10. FAO, STAT Source internet, [www.faostat.fao.org](http://www.faostat.fao.org). 2013
11. Achour S., Nezli I.E. & Djabri L. « 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 ,2007 pp 121-134.
12. Besri M. « EFFET DE LA SALINITE SUR LE DEVELOPPEMENT DES MALADIES DES PLANTES »
13. Chaux, C et Foury, C. « Production légumière : Légumineuses potagères, Légumes fruits », Tome 3, Ed Tec et Doc, Lavoisier, 1994, pp 563.
14. Brun. R, Montaron.C, « Influence de la concentration de la solution nutritive sur la réaction de la plante ». Edition INRA, paris 1987 pp165.

15. Senal J., Fraselle J., Impens R., Kummert J., Lepoivre Ph., Meulmans M., Seilleur P., Vandeviken J., et Viseur J. « *Traité de pathologie végétale* ». Gembloux.1993.
16. Tanji K.K « Agricultural salinity assessment and management ». *Am. Soc. Of Civil Eng. New York*.1996.
17. Douaoui A.<sup>1</sup>, Hartani T.<sup>2</sup> « Impact de l'irrigation par les eaux souterraines sur la dégradation des sols de la plaine du Bas-Chélif » Université Hassiba Ben Bouali, BP .151. Chlef 02000, Algérie 2 INA, Institut national agronomique 16200 - Hacène Badi - El Harrach, Alger, Algérie.1996.
18. Marlet, S. & JOB J.O. « Processus et gestion de la salinité des sols », seconde édition, Tec & Doc Lavoisier,2006 pp 28.
19. Legros J.P. « La salinisation des terres dans le monde », Bulletin N° 40, 2009 pp 257-269.
20. Legros J.P. « La salinisation des terres dans le monde », Bulletin N° 40, 2009 pp 257-269 pp.
21. LES SOLS SALINS EN ALGERIE : INSTITUT NATIONAL DES SOLS, DE L'IRRIGATION ET DU DRAINAGE juillet 2008
22. « L'agriculture durable et la conservation des sols » Communautés européennes. Reproduction autorisée, moyennant mention de la source Mai 2009
23. Wolfram K. et Bourahan A « Discrimination de l'origine de la salinité des masses d'eau souterraine : contexte hydrogéologique et méthodes d'étude » - Université d'Avignon et des Pays du Vaucluse, Université de La Réunion - Stage réalisé au BRGM, Centre technique et scientifique d'Orléans 2010.
24. Maillard J. « Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone aride » : Risques et Recommandations. Handicap International. Novembre 2001 pp 35.
25. Laura de Franchis. « Les menaces sur les sols dans les pays Méditerranéens » (Plan Bleu) Mai 2003 pp 44.
26. Sirguy C, Leglize « Etude de l'impact des sels de déneigement sur la végétation urbaine du Grand Nancy » Référents, Maitre de Conférences, Laboratoire Sols et Environnement Contacts : Romain DURCIK, Christophe GROSS, Service Espaces Verts de la CUGN Juin 2011
27. Anon. « Les voies de penetration du sel dans le milieu environnant ». Guide de gestion des sels de voirie, Decembre. id\_article=5056. 1999.

- 28.** Pisinaras, V, Tsihrintzis, V.A, Petalas, C, et Ouzounis, K. « Soil salinization in the agricultural lands of Rhodope District, northeastern Greece. *Environmental Monitoring and Assessment*”, Juillet, Springer Science + Business Media B.V. 2010.
- 29.** Essington, Michael E. “Soil and water chemistry: an integrative approach”. CRC press. 2000.
- 30.** Cheverry, C et Robert, M., « La dégradation des sols irrigués et la ressource en eau : une menace pour l’avenir de l’agriculture et pour l’environnement des pays au sud de la méditerranéen », *Etude et gestion des sols* 5, 1998, pp 217-226.
- 31.** Messai N., Hannachi C. & Zid E. « Régénération *in vitro* de plantes de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) adaptées au NaCl », article N° 24 (4), Tunisie, (2006) : 221-228 pp.
- 32.** Foury F, Roganti T, Lecrenier N, Purnelle B. “The complete sequence of the mitochondrial genome of *Saccharomyces cerevisiae*”. *FEBS Lett* 440: 1998 pp 325 - 331
- 33.** Louis, « Cultures légumières ». Ed. G.B. BAILLIERE et fils, 1979 pp167-171
- 34.** Bayuelo-Jiménes et al, in Gama, “Physiological response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings to salinity stress”. *African Journal of Biotechnology* Vol. 6 (2). 2007
- 35.** Bezpaly., « Les plantes cultivées en Afrique occidentale ». Ed. MIR. Moscou. 1984, pp 104.
- 36.** Gama, “Physiological response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings to salinity stress”. *African Journal of Biotechnology* Vol. 6 (2), 2007 pp 79-88
- 37.** Miller, S.A., Rowe R.C et Riedel. R.M. « Blossom-end rot of tomato, pepper and egg plant ». Extension factsheet. The Ohio State University Extension. 1996
- 38.** Couture I. « Analyse d’eau pour fin d’irrigation », MAPAQ Montérégie-Est, 2004 pp 1- 7.
- 39.** Morsli, B. « Étude de l’intrusion marine et de ses répercussions sur la dégradation des sols : cas des zones côtières d’Alger Est ». Actes des JSIRAUF 2007
- 40.** Lincoln T et Eduardo Z, « Plant physiology » fourth edition, Sinauer Associates, inc, publishers 2006
- 41.** Philippe Lepoivre, « Phytopathologie : bases moléculaires et biologiques » 1ère édition, De boeck, 2003

- 42.** Jabnourne M, « Adaptation des plantes à l'environnement : le stress salin » avec la collaboration de François I (Plan Bleu) pour la cartographie. Directeur de la publication : Guillaume Benoit (Directeur du Plan Bleu) 2008.
- 43.** Flowers, T.J., Troke, P.F., and Yeo, A.R. "The mechanisms of salt tolerance in halophytes". *Annu. Rev. Plant Physiol.* 28(1): 89-121. doi:10.1146/annurev.pp.28.060177.000513.1977
- 44.** Ludovic L, « Le sel : chlorure de sodium NaCl », 9 mars 2010, p=50
- 45.** Greenway, H et Muns, R., "Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes", *Ann. Rev. Plant Physiol.* 31, ,1980 pp. 149-190
- 46.** Parida A.K., Das A.B. "Salt tolerance and salinity effect on plants: review. *Ecotoxicology and Environmental Safety* ». Vol.60, 2005 pp 324-349.
- 47.** Wang et Nil, " Expressed sequence tags from *Thellungiella halophila*, a new model to study plant salt-tolerance". *Plant Science.* Vol. 166, N°3, 2000 pp 61-71.
- 48.** Chartzoulakis et Klapaki, "Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages". *Sci. Hortic.* 86, 2000 247–260.
- 49.** Mohammad et al, "Tomato root and shoot responses to salt stress under different levels of phosphorus nutrition". *J. Plant Nutr.* 21, 1998 1667–1680.
- 50.** Meloni D.A., Oliva M.A., Ruiz H.A., Martinez C.A. "Contribution of proline and inorganic solutes to osmotic adjustment in cotton under salt stress". *J. Plant Nutr.* 24, 2001, 599–612.
- 51.** Calu G. « Arabidopsis thaliana et Thellungiella halophila, plantes modèles dans l'étude du stress salin ». *Spectro Sciences.*2006
- 52.** Mohcine H, Hamrouni L., Cagnac O. & Blumwald E. « Mécanismes et stratégies cellulaires de tolérance à la salinité (NaCl) chez les plantes », Vol 19, 2011 pp121 - 141.
- 53.** Aboumeriem I., Ismaili M., Nassiri L., Ben messaoud B., Lahrach Z. & Ibijbijen J. « Effet du stress salin sur la croissance, la nodulation et la nutrition minérale de la légumineuse arbustive « *Medicago arborea* », Ed. Mersenne, Vol. N°5, 2013 pp 12 .
- 54.** Parida A., Das P. "NaCl stress causes changes in photosynthetic pigments, proteins and other metabolic components in the leaves of a true mangrove, *Bruguiera arvilla*, in hydroponic cultures". *Jurnal Plant and Biology*, 2002 pp 28–36.

- 55.** Ben Naceur, M., Ben Salem, M., Rouissi, M., El Berji, Z., et Rahmoune, C. « Influence du manque d'eau sur le comportement écophysologique de quatre variétés de blé dur ». Annales de l'INRGEF. Vol. 5, 2002 pp 133-152.
- 56.** Rahmoune, C., Seridi, R., Paul, R. et Drez, P." Influence on Zn concentration in solution Applied to leaves and Roots on the absorption and translocation of Cd by leave. Agricultural Sciences. Vol. 27, n°1, 2000 pp 72-77.
- 57.** Lamzeri, H. « Réponses écophysologiques de trois espèces forestières du genre Acacia, Eucalyptus et Schinus (A. cyanophylla, E. gomphocephala et S. mölle) soumises à un stress salin ». Thèse de doctorat en Ecologie et Environnement.Option : Ecologie végétale. Université Mentouri Constantine. 2007 pp 141.
- 58.** Slama F. « La salinité et la production végétale », Ed. Centre de publication universitaire, Tunisie, 2004 pp 163.
- 59.** Munn et Termatt, 1986 Parida A., and Das A.B. "Salt tolerance and salinity effect on plants: review. Ecotoxicology and Environmental Safety. Vol.60, 2005 pp 324-349.
- 60.** Kaoetal.,2001 in Parida A., and Das A.B. "Salt tolerance and salinity effect on plants": review. Ecotoxicology and Environmental Safety. Vol.60, 2005 pp 324-349.
- 61.** Kurban et al.,1999 in Parida A., and Das A.B. "Salt tolerance and salinity effect on plants": review. Ecotoxicology and Environmental Safety. Vol.60, 2005 pp. 324-349.
- 62.** Iyengar et Reddy, 1996 in Parida A., and Das A.B."Salt tolerance and salinity effect on plants": review. Ecotoxicology and Environmental Safety. Vol.60, 2005 pp 324-349.
- 63.** Hopkins W., « Physiologie végétale », 2<sup>eme</sup> édition, Ed de boeck et Larcier s.a, Bruxelles, 2003 pp 514.
- 64.** Katterman F. » Environmental injury to plants ». Ed. Academic Press Inc. 1990 Pp 264
- 65.** Hochmuth G., Maynard D., Vavrina C., Hanlon E., Simonne E. « Plant Tissue Analysis and Interpretation for Vegetable Crop in Florida ». University of Florida. IFAS Extension 1991.

- 66.** Agastian P., Kingsley S.J., Vivekanandan M. "Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes". *Photosynthetica* 38, 2000 pp 287–290.
- 67.** El Midaoui M., Benbella M., Aït Houssa A., Ibriz M., Talouizte A. « Contribution à l'étude de quelques mécanismes d'adaptation à la salinité chez le tournesol cultivé (*Helianthus annuus* L.) ». *Revue HTE* N° 136, 2007 pp.29-34.
- 68.** Agriculture et agroalimentaire Canada. « Les légumes : situation et tendances au Canada 1999-2000 ». [afficher.do?id=1184692853496&lang=e](http://afficher.do?id=1184692853496&lang=e) 2006
- 69.** Bayelo-Jiménez S.J., Debouk D.G., Lynch J.P. « Growth, gas exchange, water relations and ion composition of *Phaseolus* species grown under saline conditions. *Field crop research* ». Vol.80, Issue.3, 2003 pp.207-222.
- 70.** Noyer M. & Heidri R. "Drought-induced Accumulation of Soluble Sugars and Proline in Two Maize Varieties", *World Applied Sciences Journal* 3 (3), Ed. IDOSI, Iran, 2008 pp 448-453.
- 71.** Batanouny KH., « Eco physiology of halophytes and their traditional use in the Arab world. Advanced Course on halophyte utilisation in Agriculture », 12 Sept. Agadir Marocco 1993.
- 72.** Grignon C., Chalabi N. & Demarly Y. « L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides », Ed. John Libbey and Company LTD, Paris, 1991 pp183 .
- 73.** Ben Nacer M., Cheikh-M'hamed H., Maalem S., Rahmoune C. « Les indicateurs précoces de la tolérance à la salinité » 1<sup>er</sup> Colloque Euroméditerranéen de Biologie Végétale et Environnement, Annaba 28-30 Novembre 2005.
- 74.** Rontein D, BassG and. HansonAD., « Metabolic engineering of osmoprotectant s accumulation in plants ». *Metab.Engineer*,4, 2002 pp.357-384
- 75.** Gül, A., Kidoğlu, F., Anaç, D., "Effect of nutrient sources on cucumber production in different substrates", *Scientia Horticulturae* 113, February, 2007 pp 216 – 220.
- 76.** Goldhirs AG, B. Hankamer & SH.Lirs., « Hydroxy-proline and proline content and cell wall of Sunflower, Peanut and Cotton under salt stress ». *Plant Sci.*,69,1990 pp.27-32.
- 77.** Bellinger Y., A. Bensaoud & F. Larher., P « physiology breeding of winter cereals for stress environments » Colloque, N°3, Montpellier, France. 1989



- 78.** Chen S., Li J., Wang S., Huttermann A., Altman A. « Salt, nutrient uptake and transport, and ABA of *Populus euphratica*; a hybrid in response to increasing soil NaCl ». *Trees-Struct. Funct.* 15,2001 pp186–194.
- 79.** Khan M.A., Shirazi M.U., Ali Khan M., Mujtaba S.M., Islam E., Mumtaz S.Shereen A., Yasin Ashraf M. « Role of proline, K/Na ratio and chlorophyll content in salt tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.) ». *Pak. J. Bot.*, 41(2): 2009 pp 633-638.
- 80.** Kaur N., Gupta A. K. « Signal transduction pathways under abiotic stress in plants ». *Current Science*, Vol.88, N°11,2005 pp.1771-1779
- 81.** Zhu, J.K. (2003) :Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Curr. Opin. Plant Biol.* 6 (5): 2003 pp 441 –445.
- 82.** Harrouni C. « Response of some halophytes to saline irrigation. Sustainable halophyte utilization in the Mediterranean and subtropical dry regions. » Activity reports EU Concerted Action IC18CT 96-0055, 1998 pp 63.
- 83.** Ben Khaled A., Morte Gomez A., Honrubia M., Oihabi A.« Effet du stress salin en milieu hydroponique sur le trèfle inoculé par le *Rhizobium* ». *Agronomie*. Vol.23, N°7, 2003 pp. 553-560.
- 84.** Bajji M. « Étude des mécanismes de résistance au stress hydrique chez le blé dur : caractérisation de cultivars différant par leurs niveaux de résistance à la sécheresse et de variants somaclonaux sélectionnés In vitro ». Thèse de doctorat. Univ-Louvain. 1999
- 85.** Loretti E., De Bellis L., Alpi A. & Perata P. « Why and how do plant cells sense sugars” *Ann Bot* 88 : 2001 pp 803 - 812 .
- 86.** Kinet, J.-M., Benrebiha, F., Bouzid, S., Laihacar, S. et Dutuit, P. “Le réseau Atriplex: Allier biotechnologies et écologie pour une sécurité alimentaire accrue en régions arides et semi- arides”. *Cahier d’agriculture*. Vol. 7, 1998 pp. 505-509
- 87.** Free J.B. “*Insect pollination of crops*. 2nd ed. Academic Press”. London,1993 pp 152.
- 88.** Herbst, ST « *Le Compagnon du Food Lover Nouvel : Définitions globale de près de 6000 Nourriture, boisson et Conditions culinaires* ». *Guide de cuisson Barron* Hauppauge, NY: Educational Series Barron ISBN 2001
- 89.** L’hydroponie ou culture hydroponique » maladies des plantes, agriculture et écologie

- 90.** La culture hors sol : une alternative de production Département de la Recherche Agronomique Appliquée ~ Service du Développement Rural B.P 100 Papeete – Tahiti
- 91.** Scettrini S et Jelmini G. « Test de différents substrats pour la culture hors sol de la tomate Agroscope RAC Changins », Centre de Cadenazzo, CH-6594 Contone pg 289
- 92.** Michaud, N. et Boudreau, M.E., “La culture hydroponique”, Agriculture Canada Publication, Ottawa, 2001 pp 52.
- 93.** Resh, H.M. “ *Hydroponics foodproduction. Woodbridge Press publishing company*”. Santa Barbara, California 93160, U.S.A. 1989 pp 462
- 94.** Ziegler, « L’hydroponie ou culture hydroponique » maladies des plantes, agriculture et écologie. 2008 pp16.
- 95.** Papadopoulos, A.P. « *La culture des tomates en serre sur sol et sans sol* ». Agriculture Canada. Publication 1865/F. 1991
- 96.** Urban L, « Introduction à la production sous serre », Tome II. Ed Maison Rustique. Paris. 1997 pp180.
- 97.** Lesaint C.« Analyse critique des systèmes de culture hors sol avec et sans recyclage des solutions. Dans "Les cultures hors sol"; édité paDr. Blanc; INRA ; 145 rue de l'université-7 5007 Paris.1987 pp 409~415
- 98.** Blanc D., « Les cultures hors sol », Ed. I.N.R.A, Paris, 1987 pp 404.
- 99.** Coic Y et Lesaint C., « La nutrition minérale et en eau des plantes en horticulture avancée ». Doc. Tech. S.C.P.A, N°23, Versailles, 1975 pp 21.
- 100.** Zuang H. et al., 1986 in Lemaire F, Dartigues A, Riviere L.M et Charpentier S., « Les cultures en pots et en conteneurs », Ed. I.N.R.A., Paris, 1989 pp 184.
- 101.** Fevreau, « cultures en containers ». Revue horticole. 33. 1987 pp17-19
- 102.** Taksir G : « Culture Hydroponique » Les échos du Chanvre - Automne N°4 – 1996 Pp 11
- 103.** Brun.R , Chmlle. L; “Water and nitrate (N03) absorption kinetics in the nycthemeral cycle of *Rosa hybrida* grown in greenhouse in recirculation solution”. Plant NutritioVno I 19; 1995 pp 1.
- 104.** De Villele O.; « Besoins en eau des cultures sous serre; essai de conduite des arrosages en fonction de l'ensoleillement ». ActaH orticulturaeN" 35:1974 pp 123-129.

- 105.** Dinon E. & Gerstmans A. « 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, 2008 p4.
- 106.** Chauvin P. « Mieux vivre grâce aux plantes », Éd. Manuscrit, 2003 pp70 .
- 107.** Nabors M. « Biologie végétale », Éd. Nouveaux Horizons , ARS, Paris, 2009 pp 614 .
- 108.** Laurent L. « Éléments minéraux, technique d'analyse et de contrôle agroalimentaire », Vol. 4, Ed. Lavoisier, Paris, 1991 pp 69-75.
- 109.** Baize D. « Guide des analyses en pédologie », Ed. N° 2 revue I.N.R.A, (Paris), 2000 pp 240.
- 110.** Gagnon S. « Des méthodes faciles pour mesurer le pH et la conductivité électrique », plant-prod, Québec, 2003 pp19.
- 111.** Brajeul E., Quillek S., Sedilot C., Christian R. & Grassely D. « Gestion des effluents des cultures légumières sur substrat », Ed. Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, 2002 pp197.
- 112.** Lorent V. & Wouter P. « Le pH<sub>eau</sub> du sol, estimer le niveau trophique du sol », Fiche technique N° 4, Belgique,2002 pp 1 -8.
- 113.** Brigitte N. « Tomate », Ed. TEC & DOC Lavoisier, 2011pp 269.
- 114.** Le point sur la fertilité des sols, Centre Technique interprofessionnelle des fruits et légumes N° 33, 2012 pp 10.
- 115.** Hanna (2009) : « Cultures hydroponiques et horticoles », Fiche technique, Ed. N° 3 Hanna instrument, France, 2009 pp 1-44.
- 116.** Bonte L.H. « Réaliser et entretenir son mur végétal », Ed. N° 2 EYROLLES (Paris), 2010 pp95
- 117.** Trousse d'analyse du pH du sol, Hanna instruments, Canada,2004 Pp 4.
- 118.** 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, 2003 pp 8.
- 119.** Vilain M. « La production végétale, les composantes de la production », Éd. TEC & DOC Lavoisier, 1993 pp 438.
- 120.** Chaillou S. « Développement racinaire, fonctionnement de la rhizosphère et nutrition minérale », 2008 pp 6.

- 121.** Meyer S. Claud M. et Ripert G.. 2004. –« Botanique ; biologie et physiologie végétale », ed MALOINE. 2004 pp 16, 30, 68, 69, 70, 137, 140, 323.
- 122.** Vallee C. & Bilodeau G. « Les techniques de la culture en multi cellules », Ed. Les presses de l'université Laval (Québec), 1999 pp 204.
- 123.** Mazliak P. « Physiologie végétale, nutrition et métabolisme », Ed. HERMANN, Paris, 1982 pp 340.
- 124.** Maitrise de l'irrigation fertilisante, centre technique interprofessionnelle des fruits et légumes, Ed.TEC &DOC Lavoisier, 1995 pp 220.
- 125.** FAO : Notions de nutrition des plantes et de fertilisation des sols, Manuel de formation, GCP/NER/041/BEL Promotion de l'Utilisation des Intrants agricoles par les Organisations de Producteurs BP 11.246 Niamey, NIGER 2005
- 126.** Zaid E. « Physiologie végétale, complément de cours », 2006 pp 11 .
- 127.** Rakotondradona R. « Liste compilée des lectures obligatoires Lecture 1: La nutrition minérale des plantes ». Université d'Antananarivo Madagascar 2005 pp 180.
- 128.** Nouaim R. « Rôle des mycorhizes dans l'alimentation hydrique et minérale des plantes, notamment des ligneux de zones arides » : FACULTE DES SCIENCES UNIVERSITE IBNOU ZOHR BP 28/S AGADIR MAROC R. CHAUSSOD BV 1540, 21034 DIJON France INRA - MICROBIOLOGIE DES SOLS.
- 129.** Gaudry J. F. « Nutrition minérale des plantes, aspect moléculaire », INRA, France, 2013 pp 21.
- 130.** Lajili M. « Nutrition minéral des plantes », Doc. P.P.F., 2009 pp 1-7
- 131.** Morard P ; « Les cultures végétales hors sol »; Publications Agricoles.1995.
- 132.** Baeyens J. ; « Nutrition des plantes de culture » ; editions Nauwelaerts 1967.
- 133.** Binet P. et Brunel J.P., « biologie végétale. Tome I : physiologie végétale ». Ed. Doin. Paris. 1967 pp 379.
- 134.** Coic Y et Lesaint C., « Cultures hydroponiques ». Ed. Maison rustique. Paris. 1983 pp 113.
- 135.** Brun. S et Settembrine. A, « Ross hors-sol sous serre, gestion de la nutrition minérale et hydrique » ; P.H.M. R vue horticole N°345. 1994 pp 25-29.
- 136.** Lafon J.P, Tharaud-prayer C et Levy G., 1974 : « Biologie des plantes cultivées » Tome 1, 2. Ed Technique et Documentation, 1996, pp 233.
- 137.** Vilain M. «la production végétale. La maîtrise technique de la production », Volume2, 2<sup>eme</sup> éditions. Ed technique et documentation, Paris, 1997 pp 449.

- 138.** Connor L.J., Martin E.C. 1970. In Delaplane K.S., Mayer D.F. "*Crop pollination by bees*". CABI Publishing, Wallingford, UK and New York, 2000 pp 352
- 139.** Fruits et légumes biologiques des régions tropicales Information de Marché, Certification et Production pour Producteurs et Sociétés de Commerce Internationales Nations Unies New-York et Genève 2003 pp 210.211.212
- 140.** Elmhirst J. « Profil de la culture des concombres de serre au Canada : Programme de réduction des risques liés aux pesticides » ; Centre pour la lutte antiparasitaire Agriculture et Agroalimentaire, Centre pour la lutte antiparasitaire 960, avenue Carling, Édifice 57 Ottawa (Ontario), CANADA K1A 0C6 2006 pp (5-9)
- 141.** Brajeul E. Javoy M. Pelletier B. Letard M. « Le concombre ». Ctil éditions, 2001 pp 349.
- 142.** Emberger L, « *Traité de Botanique Systématique* », vol. 2, Masson & Cie, 1960, pp. 12-80-97
- 143.** Dsasi « Direction des Statistiques Agricoles et des Systèmes d'Information », Ministère de l'Agriculture, Série B 2001 pp 43.
- 144.** Mc Gregor S.E. "*Insect pollination of cultivated crops plants*. US Department of Agriculture », Agriculture Handbook No 496, Washington, 1976 pp 411.
- 145.** Kolev, N., " Les cultures maraîchères en Algérie ", Tome I, "légumes fruits", I.T.C.M.I., Staouili, 1976 pp 6-33.
- 146.** Skiredj, A., Elattir, H., Elfadi, A., "La culture du concombre", Inst. Agr. Vét., HassanII, , 2005 pp1-2.
- 147.** Peron J.Y. « Production légumières », 2<sup>e</sup> Ed., Lavoisier, France, synthèse agricole,2006 pp 613.
- 148.** Grubbrn G. J. H. & Denton O. A. « Légumes, Ressources végétales de l'Afrique tropicale 2 », Ed. PROTA, 2004 pp 737.
- 149.** Tirilly Y. & Bourgeoi C.M. « Technologie des légumes », Ed. Tec et Doc Lavoisier (Paris), 1999 pp 588.
- 150.** Gallais. A., et Bannerot, H. « Amélioration des espèces végétales cultivées ». Ed. INRA. France. 1992 Pp: 369 – 391.
- 151.** Guignard, J.L. « Biochimie végétale ». Éditions Masson, Paris, 1998 pp 255.
- 152.** Kolev, N. « Les cultures maraichères en Algérie », Tome I, légumes et fruits. Ed. Ministère de l'agriculture et de la réforme agraire.1976 pp145-161.
- 153.** Chaux C. « Production légumières », Ed. J.B Bailliére, Paris, 1972 pp 414.
- 154.** Hubert P. « Le haricot », Fiches techniques, Madagascar, 1978 pp 1- 6.

- 155.** Perret C. & Beliard E. « Cultiver des haricots verts », Fiche technique N° 9016, 2013 pp 1 -6.
- 156.** Hallouin « Tout savoir sur la culture du Haricot sous abris et en plein champ », fiche culturale haricot, 2012 pp 3 - 16.
- 157.** Labuschagne « Haricot (*Phaseolus vulgaris*) », Ed. P.I.P. 2011 pp 98.
- 158.** Allen D. J. « Les systèmes de production du haricot en Afrique », Cahier d'étude série 4 F.B-1.01 (décembre), Ed. Joëlle Coquerie de Gomez, Colombia, 1987 pp 21.
- 159.** Geune N.F. « Utilisation des inoculums de rhizobium pour la culture du haricot (*Phaseolus vulgaris*) au Sénégal », Thèse de doctorat en 3<sup>ème</sup> cycle, université Cheikh Anta Diop Dakar, 2000 pp 112.
- 160.** Munns R. "Comparative physiology of salt and water stress, *Plant Cell Environ*", N° 25, 2002 pp 239-250.
- 161.** Zouaoui a. « valorisation des eaux non conventionnelles en aridoculture », thèse de doctorat, Université blida 1, 2016 pp 106.
- 162.** Bayuelo-Jiménez, J., Debouck, D.G., and Lynch, J.P. "Salinity tolerance in *Phaseolus* species during early vegetative growth". *Crop Science*. 2002 Pp.2184.
- 163.** Francis "Cooper enzymes in isolated chloroplasts". *Plant Physiol*, 24, 1970 pp.1-15.
- 164.** Troll W., Lindesly Y J., "A photometric method for the determination of praline". *J. Biol. Chem.*,215, 1955 pp 655-660
- 165.** Dreier W., Goring N., "Der einfluss hoher salz konzentrationen auf verschinder physiologische parametre vonMaizururzeln" 1974.
- 166.** Dubois M., Gillet K.A. "Dosage des sucres totaux à l'ortho-toluidine", *J. Agr. Food Chem*. 1965 pp 13-137
- 167.** Lepengue A.N., Mouaragadja I., Ibrahim B., Ake S. & M'batchi B. « 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, 2012 pp 1866-1872.
- 168.** El-mokhtar S. M. « 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, 2010 pp 142.
- 169.** Duthil et Lafon, J.P., Tharaud-prayer, C et Levy, G., « Biologie des plantes cultivées » Tome 1, 2. Ed Technique et Documentation, 1997, pp 233.

- 170.** Zid E. & Grignon C. « Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress cas des stress salin et hydrique », laboratoire de physiologie végétale, Tunisie, 1991 pp 91-108.
- 171.** Ashton J. & Verma S., "Proline biosynthesis and osmoregulation in plants", mini review Vol.4 N° 2, 1993 pp 215- 223.
- 172.** Johkan M., Nagatsuka A., Yoshitomi A., Nakagawa T., Maruo T., Tsukagotshil S., Hohjo M.-a., Lu N., Nakminami A., Tsuchiya K., Shinohara Y. "Effect of moderate salinity stress on the sugar concentration and fruit yield in single-truss, high-density tomato production system". Journal of the Japanese Society for Horticultural Science .38, 3, 2014 pp 229-234
- 173.** Boulbaba L., Bouaziz S., Mainassara Z., Mokhtar H. & Mokhtar L. « 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, 2009 pp 1-14.
- 174.** Bounaqba S. « Analyse des déterminants de tolérance à NaCl chez le blé tendre, le triticale et l'orge, utilisation de la florescence chlorophyllienne dans le diagnostic de l'état fonctionnel du photosystème II », Thèse de doctorat, 998 pp 230.
- 175.** Dali N., Benghanem H. & Mougou A. « 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.1996
- 176.** Diehil R., « Agriculture générale », Ed J.B Baillière, 1975 pp 396.
- 177.** Lemaire « La maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes », les colloques N° 38, Ed. INRA, France, 1996 pp 328.
- 178.** Boyer J. « Le calcium et le magnésium dans les sols des régions tropicales humides et subhumides », Ed. ORSTOM, Paris, 1978 pp 176.
- 179.** Mongi H. « Adaptations physiologiques à la salinité des plantes cultivées », Faculté des sciences, Tunisie, 1982 pp 169.
- 180.** 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,1996 pp 381-390.
- 181.** Mustard. J. & Renault. S. "Effects of NaCl on water relations and cell wall elasticity and composition of red-osier dogwood (*Cornus stolonifera*) seedlings Physiol". Plant, (121), 2006 pp 265 - 271.

- 182.** Lauchi A. & Epstein E., "How plants adapt to salinity", University of California, Davis, 1984 pp 18-20.
- 183** Heller R. « Physiologie végétale », nutrition, 2<sup>e</sup> édition, Ed. Masson. Paris. 1981 pp 244.
- 184.** Abdelly C., Lachaal M., Grignon C., Soltani A. & Hajji M. « Association épisodique d'halophytes stricts et de glycophytes dans un écosystème hydromorphe salé en zone semi-aride »,1995 pp 557-568.
- 185.** Houchi R. & Coudret A., « Essai d'utilisation de l'ajustement osmotique comme critère physiologique pour la sélection variétale des triticales tolérants au chlorure de sodium », Revue vol 6, 1994 pp 99 - 109.
- 186.** Michaud, N. et Boudreau, M.E., "La culture hydroponique", Agriculture Canada Publication, Ottawa, 2001 pp 52.
- 187.** Radhouane L. « La photosynthèse du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.) en présence de contrainte hydrique et saline », Journal of Agriculture and Environment, 103 (3), 2009 pp 185- 200.
- 188.** Satti S., et al « salinity induced changes in vegetative and reproductive growth in tomato ». Commun. Soil Sci. Pant anal., 25(5 et 6), 1994 pp 501-510
- 189.** Bennani K. « Analyse de la diversité agro-physiologique d'écotypes locaux de certains légumineuses fourragères annuelles et recherche de potentialités liées au stress salin », thèse de doctorat, université Mohamed Agdal, Rabat,2013 pp 161.
- 190.** Silini A. « 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, 2013 pp 138.
- 191.** Zhor A. « Notions sur les propriétés chimiques du sol et la nutrition des plantes », Institut national de la recherche agronomique, CRRA-Settat, 2013 pp 35.
- 192.** Gill PK, Sharma AD, Singh P, Bhullari SS "Effect of various abiotic stresses on the growth soluble sugars and water relations of sorghum seedlings grown in light and darkness". Bulg J Plant Physiol. 2001 pp 27,72-84.
- 193.** Larosiere B.C. « Étude de la croissance de *Chlorella vulgaris* en photobioréacteur batch et continu, en présence de concentrations élevées de CO<sub>2</sub>, » Thèse de doctorat, Paris, 2012 pp 232.



- 194.** Chaouia C., Benrebiha F.Z., Snoussi S.D., Bouchnak F., & Moussi H. « Étude de quelques paramètres phénologiques et physiologiques d'*Artemisia campestris* », Revue N°3, Agrobiologia, 2012 pp 55-63.
- 195.** Ashraf, M., Foolad M.R. "Pre-sowing seed treatment-a shotgun approach to improve germination, plant growth, and crop yield under saline and non-saline conditions". *Advances in Agronomy*, 88: 2005 pp 223-271.
- 196.** Cheikh M'hamed H, Abdellaoui R, Kadri K, Ben naceur M, Bel hadj S. "évaluation de la tolérance au stress salin de quelques accessions d'orge (*hordeum vulgare* L.) cultivées en Tunisie »: approche physiologique, Sciences & Technologie CN°28 Décembre 2008, pp.30 -37.
- 197.** Mihobi A. « Dynamique du phosphore dans le système sol-plante en conditions pédoclimatiques sahariennes », mémoire de magister, Université Kasdi Merbah, Ouargla, 2012 pp 101.
- 198.** Rather G. "Sucrose and starch content of plant parts as possible indicators for salt tolerance", 1984 pp 491- 495.
- 199.** Zraïbi L., Nabloussi A., Merimi J., El-amrani A., Kajeïoui M., Khalid A. & Serghini Caid H. « Effet du stress salin sur des paramètres physiologiques et agronomiques de différentes variétés de carthame (*Carthamus tinctorius* L.) », Maroc, 2012 pp 16 - 40.
- 200.** Ziani. F, « Estimation du bilan d'absorption des sels totaux chez la tomate cultivé En hydroponie ». Thèse. Ing. INA. Alger. 1984 pp68
- 201.** Ibrahim Khalil M.A., « les relations hydriques et l'irrigation (les sols salins, les cultures protégées et les productions légumières) », Ed Menchaat El Maarif, Egypt, 1998 pp 442.
- 202.** Belkhoudja. M., Djerroudi. Z.O. & Hhdjadj. S. « Effet du Stress Salin sur l'accumulation de Proline Chez Deux Espèces d'*Atriplex Halimus* L. et *Atriplex Canescens* (Pursh) Nutt ». EuroJournals Publishing, Algérie, 2010 pp 12.
- 203.** Bettaieb. T., Denden. M., Salhi. A. & Mathlouthi. M. « Effet de la salinité sur la fluorescence chlorophyllienne, la teneur en proline et la production florale de trois espèces ornementales », *Tropicultura* N°24, 2005 pp 220-225.
- 204.** El-mekaoui M., Agbani M. & Monneveau P. « 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, 1994 pp 17- 36.

**205.** Tahti E., Belabed A. & Sadki K. « 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, 1998 pp 81-87.

**206.** Chorfi A. « 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, 2009 pp 41-44.

**207.** El-iklil Y., Karrou M., Mrabet M. & Benichou M. « Effet du stress salin sur la variation de certains métabolites chez *Lycopersicon esculentum* et *Lycopersicon sheesmanii* », Can. J. Plant Sci. N° 82, Maroc, 2002 pp 177- 183.

**208.** Ben Ahmed, H., Manaa, A., et Zid, E. « Tolérance à la salinité d'une poaceae à cycle court : la séttaire (*Setaria verticillata* L.) » Comptes rendus de biologie. Vol. 331, n°2, 2008 pp. 164-170.

**209.** Singh, A., and Prasad, R. "Salt stress growth and cell bound enzymes in *Archis hypogea* L". seedling. I.J.I.B., 7(2): 2009 pp 107-123.

**210.** B.A .Hela, A. Manaa, E. Zid, « Tolérance à la salinité d'une poaceae à cycle court : la séttaire (*Setaria verticillata* L.) » ; Compte rendus Biologies 331 2008 pp 164– 170

**211.** Denden M., Bettaeibe T., Salhi A. & Mathlouthi M. « 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, 2005 pp 220-225.

**212.** Bouaouina, S., Zid, E., et Hajji, M. « Tolérance à la salinité, transports ioniques et fluorescence chlorophyllienne chez le blé dur (*Triticum turgidum* L.) » .CIHEAM - Options Méditerranéennes. 2000 pp. 239-2.

**213.** Warne, P., Guy, R.D., Rollins L. and Reid D.M. "The effect of sodium sulphate and sodium chloride on growth, morphology, photosynthesis and water use efficiency of *Chenopodium rubmm*". Can. J. Bot. 68,1990 pp 999-1006.

**214.** Belfakih, M., Ibriz, M., et Zouahri A. « Effet de la salinité sur les paramètres morpho-physiologiques de deux variétés de bananier (*Musa acuminata* L.) » Journal of Applied Biosciences 70: 2013 pp 5652– 5662.

- 215.** R'him, T., Tlili, I., Hnan, I., Ilahy, R., Benali, A., et Jebari, H. « Effet du stress salin sur le comportement physiologique et métabolique de trois variétés de piment (*Capsicum annuum L.*) » Journal of Applied Biosciences 66: 2013 pp 5060 – 5069.
- 216.** Aydın, A., Metin, T., and Yıldırım, S. “Effect of sodium salts on growth and nutrient uptake of spinach (*Spinacia oleracea*) and beans (*Phaseolus vulgaris*) . Plant and Soil ». Vol.16, 2001 pp. 47-54.
- 217.** Khadri, M., Pliego, L., Soussi, M., Lluch C., and Ocana, A. “ Ammonium assimilation and ureide metabolism in common bean (*Phaseolus vulgaris L*) nodules under salt stress”.Agronomy. 21, 2001 pp 635-643.
- 218.** Gama, P.B.S., Inanaga, S., Tanaka K. and Nakazawa, R. “Physiological response of common bean (*Phaseolus vulgaris L.*) seedlings to salinity stress”. African Journal of Biotechnology Vol. 6 (2), 2007 pp. 79-88.
- 219.** Hassani, A., Dellal, A., Belkhdja, M. et Kaid- Harche, M. « Effet de la salinite sur l'eau et certains osmolytes chez l'orge (*Hordeum Vulgare L*) » European Journal of Scientific Research. Vol.23, n°1, 2008 pp.61-69.
- 220.** Martinez, J.P., Silva, H., Ledent, J.F., and Pinto, M. “Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus vulgaris L.*)” European journal of agronomy. Vol. 26, n°1, 2007 pp. 30-38
- 221.** Ottow, E., Brinker, M., Fritz, E., Teichmann, T., Kaiser W., Brosche M, Kangasjarvi, J., Jiang, X., and Polle, A. “Populus euphratica Displays Apoplastic Sodium Accumulation, Osmotic Adjustment by Decreases in Calcium and Soluble Carbohydrates, and Develops Leaf Succulence under Salt Stress”. Plant Physiology, Vol. 139, 2005 pp. 1762–1772.
- 222.** Ould Mohamdi, M., Bouya, D., et Ould Mohamed Salem, A « Etude de l'effet du stress salin (NaCl) chez deux variétés de tomate (Campbell 33 et Mongal) Int ». J. Biol. Chem. Sci. 5(3): 2011 pp 860-900.
- 223.** Lepengué, A-N., Mouaragadja, I., Ake, S., et M'batchi, B. « Quelques aspects biochimiques de la réaction de la roselle (*Hibiscus sabdariffa L. var. sabdariffa*) au stress salin »; Journal of Applied Biosciences 49. 2012 Pp 3452– 3458.
- 224.** Lepengué, A-N., Mouaragadja, I., M'batchi B., et Aké, S. « Effet du Chlorure de sodium (NaCl) sur la germination et la croissance du maïs (*Zea mays L. Poaceae*) au Gabon ». Int. J. Biol. Chem. Sci. 4 (5) : 2010 pp 1602-1609.

- 225.** Symaraytis, S., Neigrotiu, I., and Jacobs, M. "Salt and water resistant mutant isolated from potato plants of *Nicotiana plumbaginifolia* (Viviani)". Med. Fac. Landouw Univ. Gent 57/4a, 1992 Pp1507-1516.
- 226. Piri, K.** « Contribution à la sélection in vitro des plantes androgéniques de blé pour leur tolérance à NaCl ». Doctorat, Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique, 1991 pp 168.
- 227.** Raj, S. K., Mawson, B. T., Yeung, E. C. et Thorpe, T. A. "Utilization of induction and quenching kinetics of chlorophyll a fluorescence for in vivo salinity screening studies in wheat (*Triticum aestivum* vars. Kharchia-65 and Fielder)". Can. J. Bot. Vol. 71, n°1, 1993 pp. 87- 92.
- 228.** Debouba, M., Ghorbel, M. H. et Gouia, H. « Effets du NaCl et de la déficience en azote sur la fluorescence chloro-phyllienne du photosystème II chez la tomate » (*Solanum lycopersicon*, Chibli F1). Acta. Bot. Vol. 154, n°4, 2006 pp. 635-642.
- 229.** Allakhverdiev, Y. M., Mamedov, M. D., and Gasanov, R. A. (2001): The Effect of Glycinebetaine on the Heat Stability of Photosynthetic Reactions in Thylakoid Membranes. Turk. J. Bot. Vol 25, 2001 pp. 11-17
- 230.** Walker, R., Torokfalvy, E., Scott N.S., and Kriedemann, P.E "An analysis of photosynthetic response to salt treatment in *Vitis vinifera* ". Aust. J. Plant Physiol., 8, 1981 pp 359-374.
- 231.** Lawlor, D.W. "The effects of water deficit on photosynthesis. In: Smirnoff N, ed. Environment and plant metabolism". Flexibility and acclimation. Oxford: BIOS Scientific Publishers.1995.
- 232.** Ennahli, S. and Earl, H.J. "Physiological limitations to photosynthetic carbon assimilation in cotton under water stress". Crop Sci. (45) p. 2005 pp 2374-2382.
- 233.** Haouala, F., Ferjani, H. et Ben El Hadj, S. « Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> et Ca<sup>2+</sup>) et du chlore (Cl<sup>-</sup>) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent ». Biotechnol. Agron. Soc. Environ. Vol. 11, n°3, 2007 pp. 235-244.
- 234.** Huang, J. and Redman RE. "Response of growth, morphology and anatomy to salinity and calcium supply in cultivated and wild barley". Canadian Journal of Botany 73: 1995. Pp 1859-1866.

**235.** Salisbury, F.B., and Ross, C.W., "Mineral nutrient. In: Plant Physiology". Wadsworth Inc., California, 1992 pp. 116–135. In: Response of three Glycine species to salt stress. 2003

## ANNEXES

### Annexe 01 :

a) Hauteur finale des plantes :

<b>Analyse de la variance : CONCOMBRE</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	121342,8000	24268,5600	1481,6923	< 0,0001	20.99
Erreur	19	311,2000	16,3789			
Total corrigé	24	121654,0000	//			
<b>Analyse de la variance : HARICOT</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	20559,2500	4111,8500	2920,5664	< 0,0001	01.51
Erreur	19	26,7500	1,4079			
Total corrigé	24	20586,0000	//			

b) Diamètre des tiges :

<b>Analyse de la variance : CONCOMBRE</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	3,7563	0,7513	610,1286	< 0,0001	0.12
Erreur	19	0,0234	0,0012			
Total corrigé	24	3,7797	//			
<b>Analyse de la variance : HARICOT</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	4,2388	0,8478	1631,1428	< 0,0001	00.08
Erreur	19	0,0099	0,0005			
Total corrigé	24	4,2487	//			

**Annexe 02 :**

a) Nombre de feuilles :

<b>Analyse de la variance : CONCOMBRE</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	3016,6500	603,3300	798,8341	< 0,0001	02.54
Erreur	19	14,3500	0,7553			
Total corrigé	24	3031,0000	//			
<b>Analyse de la variance : HARICOT</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	1856,4000	371,2800	400,8136	< 0,0001	02.14
Erreur	19	17,6000	0,9263			
Total corrigé	24	1874,0000	//			

b) Surfaces foliaire :

<b>Analyse de la variance : CONCOMBRE</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	641149,9608	128229,9922	3973,4742	< 0,0001	50.10
Erreur	19	613,1586	32,2715			
Total corrigé	24	641763,1194				
<b>Analyse de la variance : HARICOT</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	660509,9519	132101,9904	12540,1664	< 0,0001	16.75
Erreur	19	200,1519	10,5343			
Total corrigé	24	660710,1038				

**Annexe 03 : Biomasse fraiche produite :**

<b>Analyse de la variance : CONCOMBRE</b>						
<b>Poids frais des tiges</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	2434,4209	486,8842	345,8093	< 0,0001	08.77
Erreur	19	26,7512	1,4080			
Total corrigé	24	2461,1721				
<b>Poids frais des feuilles</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	8533,7190	1706,7438	525,9956	< 0,0001	04.79
Erreur	19	61,6510	3,2448			
Total corrigé	24	8595,3700				
<b>Poids frais des racines</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	1539,3512	307,8702	306,7649	< 0,0001	03.35
Erreur	19	19,0685	1,0036			
Total corrigé	24	1558,4197	24			
<b>Analyse de la variance : HARICOT</b>						
<b>Poids frais des tiges</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	817,1566	163,4313	479,3847	< 0,0001	00.90
Erreur	19	6,4775	0,3409			
Total corrigé	24	823,6341				
<b>Poids frais des feuilles</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	9635,2661	1927,0532	781,4291	< 0,0001	07.34
Erreur	19	46,8552	2,4661			
Total corrigé	24	9682,1213				
<b>Poids frais des racines</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	22172,0476	4434,4095	829,0833	< 0,0001	04.87
Erreur	19	101,6228	5,3486			
Total corrigé	24	22273,6704				



**Annexe 04 : Biomasse sèche produite :**

<b>Analyse de la variance : CONCOMBRE</b>						
<b>Poids sec des tiges</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	425,6465	85,1293	472,3652	< 0,0001	01.73
Erreur	19	3,4242	0,1802			
Total corrigé	24	429,0707				
<b>Poids sec des feuilles</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	122,6339	24,5268	326,8445	< 0,0001	00.93
Erreur	19	1,4258	0,0750			
Total corrigé	24	124,0596				
<b>Poids sec des racines</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	15,7943	3,1589	326,3104	< 0,0001	00.30
Erreur	19	0,1839	0,0097			
Total corrigé	24	15,9782				
<b>Analyse de la variance : HARICOT</b>						
<b>Poids sec des tiges</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	128,5928	25,7186	543,0534	< 0,0001	00.33
Erreur	19	0,8998	0,0474			
Total corrigé	24	129,4926				
<b>Poids sec des feuilles</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	345,4659	69,0932	483,7245	< 0,0001	01.14
Erreur	19	2,7139	0,1428			
Total corrigé	24	348,1798				
<b>Poids sec des racines</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	508,1594	101,6319	748,3698	< 0,0001	01.75
Erreur	19	2,5803	0,1358			
Total corrigé	24	510,7397				

**Annexe 05 : Paramètres de production :**a) Le concombre :

<b>Analyse de la variance : CONCOMBRE</b>						
<b>Nombre de fleurs</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	1758,4000	351,6800	233,6336	< 0,0001	02.12
Erreur	19	28,6000	1,5053			
Total corrigé	24	1787,0000				
<b>Nombre de fruits</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	892,6500	178,5300	184,8540	< 0,0001	01.89
Erreur	19	18,3500	0,9658			
Total corrigé	24	911,0000				
<b>Longueur du fruit</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	3414,2721	682,8544	2810,5905	< 0,0001	02.05
Erreur	19	4,6162	0,2430			
Total corrigé	24	3418,8883				
<b>Poids frais du fruit</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	455739,7497	91147,9499	9059,9681	< 0,0001	28.12
Erreur	19	191,1498	10,0605			
Total corrigé	24	455930,8995				

b) Le haricot :

<b>Analyse de la variance : HARICOT</b>						
<b>Nombre de fleurs</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	5988,6000	1197,7200	1835,2161	< 0,0001	02.97
Erreur	19	12,4000	0,6526			
Total corrigé	24	6001,0000				
<b>Nombre de fruits</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	3577,8500	715,5700	1033,9034	< 0,0001	03.32
Erreur	19	13,1500	0,6921			
Total corrigé	24	3591,0000				
<b>Longueur du fruit</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	2968,7869	593,7574	1133,9015	< 0,0001	01.74
Erreur	19	9,9492	0,5236			
Total corrigé	24	2978,7361				
<b>Poids frais du fruit</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	21404,0185	4280,8037	5659,4837	< 0,0001	05.75
Erreur	19	14,3715	0,7564			
Total corrigé	24	21418,3900				

Annexe 06 : Paramètre de qualité :

a) Sucres totaux :

<b>Analyse de la variance : CONCOMBRE</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	674,9901	134,9980	1965,9404	< 0,0001	00.75
Erreur	19	1,3047	0,0687			
Total corrigé	24	676,2948				
<b>Analyse de la variance : HARICOT</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	549,1212	109,8242	2778,2321	< 0,0001	00.73
Erreur	19	0,7511	0,0395			
Total corrigé	24	549,8723				

b) Vitamine C :

<b>Analyse de la variance : CONCOMBRE</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	5487,3765	1097,4753	3973,4742	< 0,0001	00.89
Erreur	19	2,1735	0,1144			
Total corrigé	24	5489,5500				
<b>Analyse de la variance : HARICOT</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	338,8229	67,7646	9593,9336	< 0,0001	01.17
Erreur	19	0,7033	0,0370			
Total corrigé	24	339,5262				

**Annexe 07 : Teneur en chlorophylle :**

<b>Analyse de la variance : CONCOMBRE</b>						
<b>Chlorophylle a</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	1,4785	0,2957	1927,3561	< 0,0001	00.04
Erreur	19	0,0029	0,0002			
Total corrigé	24	1,4814				
<b>Chlorophylle b</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	0,7123	0,1425	326,8445	< 0,0001	00.06
Erreur	19	0,0464	0,0024			
Total corrigé	24	0,7587				
<b>Chlorophylle c</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	993,3927	198,6785	23982,7971	< 0,0001	01.26
Erreur	19	0,1574	0,0083			
Total corrigé	24	993,5501				

<b>Analyse de la variance : HARICOT</b>						
<b>Chlorophylle a</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	25,9699	5,1940	2188,1512	< 0,0001	00.24
Erreur	19	0,0451	0,0024			
Total corrigé	24	26,0150				
<b>Chlorophylle b</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	63,5566	12,7113	1524,7647	< 0,0001	00.65
Erreur	19	0,1584	0,0083			
Total corrigé	24	63,7150				
<b>Chlorophylle c</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	1671,7797	334,3559	119,1417	< 0,0001	02.05
Erreur	19	53,3211	2,8064			
Total corrigé	24	1725,1008				

**Annexe 08 : Teneur en sucre soluble :**

<b>Analyse de la variance : CONCOMBRE</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	13,3321	2,6664	4154,3255	< 0,0001	00.12
Erreur	19	0,0122	0,0006			
Total corrigé	24	13,3443				
<b>Analyse de la variance : HARICOT</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	5,3358	1,0672	1221,4482	< 0,0001	00.09
Erreur	19	0,0166	0,0009			
Total corrigé	24	5,3524				

**Annexe 09 : Teneur en proline :**

<b>Analyse de la variance : CONCOMBRE</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	0,1140	0,0228	6339,2256	< 0,0001	00.01
Erreur	19	0,0001	0,0000			
Total corrigé	24	0,1141				
<b>Analyse de la variance : HARICOT</b>						
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Test F	Pr > F	E.T
Modèle	5	0,1254	0,0251	133,3903	< 0,0001	00.02
Erreur	19	0,0036	0,0002			
Total corrigé	24	0,1290				