

UNIVERSITE SAAD DAHLAB BLIDA

Faculté des Sciences Agrovétérinaires et Biologiques

Département d'Agronomie

MEMOIRE DE MAGISTER

En agronomie

Spécialité : Agro ressources

**IMPACT DES EAUX SALINES NON CONVENTIONNELLES
SUR LA PRODUCTION DE LA CHLOROPHYLLE ET DE LA
PROLINE CHEZ UNE GLYCOPHYTE CULTIVÉE (LE
CONCOMBRE: Cucumis sativus L.)**

Présenté par :

BENZAHERA Soraya

Devant le jury composé de :

BENMOUSSA M.	Professeur, U.S.D. Blida	Président
SNOUSSI S.A.	Professeur, U.S.D. Blida	Promoteur
BENFEKIH ALLAL L.	Professeur, U.S.D. Blida	Examinatrice
CHAOUIA CH.	M.C.B. U.S.D. Blida	Examinatrice

Blida

31 JANVIER 2013

REMERCIEMENT

Tous mes remerciements vont d'abords à Mr le Professeur SNOUSSI S.A. mon promoteur, qui m'a encadré, encouragé et aidé avec beaucoup d'intérêts. et de sa présence au quotidien, par ses valeureux conseils techniques et ses orientations dans l'élaboration de ce mémoire.

Je remercie tout aussi chaleureusement :

Mr BENMOUSSA M. pour avoir acceptée de présider le jury

M^{me} BENFEKIH ALLAL L. et M^{me} CHAOUIA CH. pour l'intérêt et le temps qu'elles ont consacré à ce manuscrit.

Je remercie tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la concrétisation de ce projet.

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 défavorable à l'irrigation.

L'objectif de ce travail est d'étudier l'impact des eaux salines sur le comportement des plantes du concombre (*Cucumis sativus*), variété supermarket, et sur la production de la proline et de la chlorophylle par la même espèce.

Cet essai consiste à mettre à la disposition des plantes sept solutions nutritives, dont trois sont des eaux salines naturelles où le sodium et le magnésium sont liés au sulfate et au chlorure, et ces même trois eaux salines naturelles corrigées et une solution standard (le témoin), afin de déterminer les combinaisons des sels les plus nocifs sur la production des plantes du concombre en hors-sol.

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.

Mots clés : Salinité, concombre, Solution nutritive, chlorophylle, Proline.

SUMMARY

The majority of the plant species are glycophytes, these kind of plants are characterized by a slow growth rate due to the salinity of the soil which is considered as a major limiting factor for agricultural production. In arid and semi-arid regions water can be unavailable for crops which lead to the apparition of strong and unfavourable mineralization of irrigation water.

The aim of this work, is to study the impact of water saltworks on the behavior of the plants belonging to cucumber species (*Cucumis sativus*), variety super-marketer, and on the production of proline and chlorophyl.

This study consists in testing the effect of placing seven nutritive solutions at the disposal of plants, among these seven nutritive solution, three of them were water natural saltworks where sodium and magnesium was supplied by sulfate and chloride, and three water corrected natural saltworks and standard solution (the witness), the use of those solutions was conducted in order to determine the effect of the combinations of the most harmful salts on the production of cucumber grown out-ground.

The principal results of this study showed that in water irrigation cycle, reatement with a corrected water saltworks was suitable for improving the parameters reated to growth and production of fruits by a significant rate, when compared to the results obtained with treatements by solutions containing a hight level of salt "natural saline solution"s.

Key words: Salinity, cucumber, nutritive Solution, chlorophyl, Proline.

المخلص

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 و ذلك لاحتوائه على كمية كبيرة من الأملاح.

الهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير المياه الصالحة على نصرف نبات الخيار نوع (cucumis sativus L.) صنف super-marketer وعلى صناعة مادتي proline و اليخضور. و هذه التجربة تهدف إلى وضع في تصرف نبات الخيار ستة محاليل غذائية، ثلاث منها مياه طبيعية مالحة و ثلاثة مياه مالحة مصححة حيث الصوديوم و المغنسيوم مرتبط بالكلور و السولفات، و محلول غذائي يستعمل كشاهد.

أغلبية النتائج تظهر أن حلقة السقي بالمياه المالحة المصححة تحسن معايير النمو و الإنتاج بطريقة ذات دلالة بالنسبة المتحصل عليها من السقي بالمحلول المالح الطبيعي الصافي. الكلمات الدالة: الملوحة، الخيار، محاليل غذائية، اليخضور، proline .

TABLE DES MATIERES

Remerciement	
Dédicaces	
Résumé	4
Table des matières	7
Liste des figures	10
Liste des tableaux	11
Introduction	12
Chapitre 01 : la salinité	
1.1. Quelques généralités sur la salinité	14
1.2. Situation de la salinité en Algérie	15
1.3. Salinisation des sols	17
1.4. Salinité des eaux	18
1.5. L'impact du stress salin sur les végétaux	19
1.5.1. L'effet de la salinité sur la croissance des plantes	21
1.5.2. L'effet de la salinité sur l'eau dans la plante	22
1.5.3. L'effet de la salinité sur l'anatomie de la feuille	22
1.6. Réactions des plantes aux stress osmotiques	22
1.6.1. La proline	23
1.6.1.1. La synthèse de la proline	23
1.6.1.2. La proline et le stress	23
1.6.1.3. Rôle de la proline	24
1.6.2. La chlorophylle	24
1.6.2.1. La chlorophylle et le stress	24
1.6.2.2. Rôle de la chlorophylle	25
1.6.3. Les sucres solubles	25
1.6.3.1. Les sucres et le stress	25
1.6.3.3. Rôle des sucres	26
Chapitre 02 : Le concombre	
2.1. Le concombre	27
2.2. Systématique du concombre	28
2.3. Description de la plante	28
2.4. Valeur nutritionnelle	30
2.5. Intérêt agro-économique du concombre	31
2.5.1. Dans le monde	31
2.5.2. En Algérie	32
2.6. Exigence du concombre	32
2.6.1. Exigences climatiques	32
2.6.2. Exigences édaphiques	33
2.6.3. Irrigation	34
2.7. Maladies du concombre	34

Chapitre 03 : Culture hors-sol

3.1. Généralités	35
3.2. Les différents systèmes de la culture hors sol	35
3.2.1. Mode d'apport de la solution nutritive	36
3.2.2. Présence ou absence du substrat	36
3.3. Les composantes du système hors-sol	37
3.3.1. Le substrat	37
3.3.2. La solution nutritive	37
3.3.3. Les Conteneurs	38
3.4. La pratique de la culture hors-sol	38

Chapitre 04 : Nutrition hydrominérale des plantes

4.1. Généralités	40
4.2. La nutrition des plantes	40
4.2.1. L'eau	40
4.2.2. Les éléments minéraux	41
4.3. L'absorption minérale	42
4.3.1. Définition	42
4.3.2. Modalités d'absorption	42
4.3.3. Étapes de l'absorption	43

Chapitre 05 : Matériel et méthodes

5.1. L'objectif de l'expérimentation	44
5.2. Matériel végétal utilisé	44
5.3 Conditions de l'expérimentation	44
5.3.1 Lieu de l'expérience	44
5.3.2 Le substrat	46
5.3.3 Les containers	46
5.4 Le dispositif expérimental	46
5.5 Pré-germination	49
5.6. Description des différents traitements	51
5.6.1. Caractéristiques de l'eau de Blida	51
5.6.2. Correction de l'eau de Blida	51
5.7. Composition des solutions nutritives et technique de préparation des différents traitements	52
5.7.1 Transformation de l'eau de Blida en solution nutritive standard	52
5.7.2. Composition de l'eau naturelle de l'oued Chélif	56
5.7.3. Composition des traitements	57
5.7.3.1 Eau saline naturelle et eau saline corrigée (T1, T1C) de l'oued Cheliff	57
5.7.3.2 Eau saline naturelle et eau saline corrigée (T2, T2C) de l'oued Cheliff	58
5.7.3.3 Eau saline naturelle et eau saline corrigée (T3, T3C) de l'oued Cheliff	59
5.8. Entretien de la culture	62
5.8.1 Doses et fréquences d'arrosages	63

5.8.2. Traitements phytosanitaires	63
5.8.3. Le palissage	64
5.8.4. Le lessivage	64
5.9. Paramètres étudiés	64
5.9.1. Paramètres biométriques	64
5.9.2. Paramètres de production	65
5.10. Estimation du bilan d'absorption hydrominérale	65
5.11. Paramètres biochimiques	66
5.11.1. Dosage de la chlorophylle a et b	66
5.11.2. Dosage de la proline	66
5.11.3. Dosage des sucres solubles	66
5.12. Analyse statistique	66
Chapitre 06 : Résultats et interprétation	
6.1. Aspect général des plantes du concombre et paramètres biométriques mesurés	67
6.1.1. Vitesse de croissance des plantes	69
6.1.2. Hauteur finale des plantes	70
6.1.3. Nombre de feuilles	72
6.1.4. Diamètre des tiges	73
6.1.5. Surface foliaire	75
6.1.6. Matière fraîche produite	76
6.1.7. Matière sèche produite	77
6.1.8. Taux de matière sèche	79
6.2. Paramètre de production	80
6.2.1. Estimation du nombre de fleur	80
6.2.2. Taux d'avortement des fleurs	81
6.2.3. Estimation du nombre de fruits produits par plante	82
6.2.4. Poids frais des fruits	85
6.3. Estimation du bilan d'absorption hydrominérale	86
6.4. Paramètres biochimiques	87
6.4.1. Teneur de la chlorophylle A et B	87
6.4.2. Teneur de la proline	88
6.4.2.1. Teneur de la proline dans les tiges et les racines	88
6.4.2.2. Teneur de la proline dans les feuilles	89
6.4.3. Teneur des sucres solubles	90
6.5. Discussion générale	91
Conclusion	94
Références bibliographiques	
Annexes	

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1: Destruction de la structure du sol due à l'excès de sodium	15
Figure 1.2 : Déstabilisation des enzymes par le stress salin	20
Figure 2.1 : Aspect général de la plante du concombre	27
Figure 2.2 : Fleur femelle du concombre	29
Figure 2.3 : Coupe longitudinale de la fleur mâle (a) et femelle (b) de <i>Cucumis sativus</i>	29
Figure 5.1 : schéma du dispositif expérimental	47
Figure 5.2 : Vue générale du dispositif expérimental	48
Figure 5.3 : Essai de germination des graines de concombre dans l'étuve à 25°C	49
Figure 5.4 : Levée des germes	50
Figure 5.5 : Vue générale des plantules avant l'application des traitements	50
Figure 5.6 : Vue générale des plantes après palissage	64
Figure 6.1 : Aspect général des plantes du concombre alimentées par les eaux salines naturelles (T1, T3) et l'eau saline corrigée (T1C)	67
Figure 6.2 : Vue général des plantes du concombre alimentées par la solution témoin et la solution saline T2	68
Figure 6.3 : Aspect général des plantes irriguées par les eaux salines naturelles (T1-T3) et les eaux salines corrigées	68
Figure 6.4 : Vitesse de croissance des plantes du concombre en cm/jr	69
Figure 6.5 : Hauteur finale des plantes du concombre en cm	71
Figure 6.6 : Evolution de nombre des feuilles	72
Figure 6.7 : Diamètre des tiges en cm	74
Figure 6.8 : Surface foliaire en cm ²	75
Figure 6.9 : Poids frais des plantes du concombre en g	76
Figure 6.10 : Poids sec des plantes du concombre en g	78
Figure 6.11 : Taux de matière sèche total	79
Figure 6.12 : Estimation du nombre de fleur par plantes	80
Figure 6.13 : Taux d'avortement des fleurs du concombre	82
Figure 6.14 : Nombre de fruits par plante	83
Figure 6.15 : Aspect général des fruits du concombre récoltés	84
Figure 6.16 : Poids frais des fruits en gramme	85
Figure 6.17 : Le taux d'absorption hydrominérale	86
Figure 6.18 : Teneur en chlorophylle a et b en µg/g MF	87
Figure 6.19 : Teneur en proline dans les tiges et les racines en µg/g MF	88
Figure 6.20 : Teneur en proline dans les feuilles en µg/g MF	90
Figure 6.21 : Teneur en sucres solubles en µg/g MF	91

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Superficies affectées par la salinité dans quelques périmètres de l'Ouest de l'Algérie	16
Tableau 1.2 : classification des sols selon leur salinité	19
Tableau 2.1 : valeur nutritive du concombre	30
Tableau 5.1 : Moyennes des températures par décade en °C	45
Tableau 5.2: teneurs des différents éléments minéraux contenus dans l'eau de Blida	51
Tableau 5.3: Composition de l'eau de Blida	55
Tableau 5.4: Eau de Blida corrigée T (Solution nutritive standard)	55
Tableau 5.5 : Composition de l'eau de l'Oued Cheliff naturelle	56
Tableau 5.6 : Eau de l'Oued Cheliff reconstituée avec l'eau de Blida	56
Tableau 5.7 : eau saline naturelle T1	57
Tableau 5.8 : eau saline corrigée T1C	57
Tableau 5.9 : eau saline naturelle T2	58
Tableau 5.10 : eau saline corrigée T2C	58
Tableau 5.11 : eau saline naturelle T3	60
Tableau 5.12 : eau saline corrigée T3C	60
Tableau 5.13: Composition des solutions complémentaires d'oligo-éléments A et B	61
Tableau 5.14 : Récapitulatif des sels entrant dans la fabrication des différentes solutions nutritives (mg/l)	62
Tableau 5.15 : Doses et fréquences des arrosages	63
Tableau 5.16: Programme des traitements phytosanitaires réalisés	63

INTRODUCTION

Dans beaucoup de cas, les stress abiotiques ne se produisent pas indépendamment, et donc les stress environnementaux peuvent impliquer ainsi un complexe d'interaction de facteurs de stress [1]. L'effet négatif de la forte salinité peut être observé au niveau de toute la plante comme la mort de la plante et / ou la diminution de la productivité [2].

La salinité constitue un facteur limitant pour la production des cultures irriguées. Elle intéresse environ un milliard d'hectares dans le monde dont 3,2 millions d'hectare en Algérie [3].

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

Cependant, les caractères physiologiques et génétiques des plantes liés à cet aspect sont diversifiés. A l'échelle de la plante entière, les ions chlorure et sodium entrent par les racines, sont véhiculés par la sève xylémique jusqu'aux tiges et feuilles. Là, ils sont soit stockés (plantes inclusives), soit au contraire très peu retenus et mobilisés par la sève phloémique jusqu'aux racines (plantes exclusives). Parallèlement, il est connu que le sel affecte la photosynthèse et réduit, par ce biais, la croissance et la production végétale [4].

L'une des technologies modernes utilisées aujourd'hui pour valoriser les problèmes de salinité la technique hors-sol. C'est dans ce contexte notre travail s'inscrit.

L'objectif de ce travail consiste à mener des observations sur les plantes du concombre cultivées en hors-sol. Les plantes sont alimentées par un ensemble de sept traitements dont trois salins naturel de l'Oued Chélif reconstitués avec l'eau de Blida et qui diffèrent entre eux par le sel dominant.

Et ces trois solutions corrigées par l'ajout des acides et des oligo-éléments qui les rendent équilibrées en sels ce qui facilite leurs absorption par les plantes.

Et pour la comparaison entre les plantes cultivées en état normales et celles stressées une solution nutritive standard bien équilibrée et utilisée comme septième traitement.

Afin de bien suivre l'effet des traitements, on a pratiqué un système d'un seul bloc où chaque traitement est représenté par 14 répétitions,

Pour mettre en évidence la réponse des plantes nous avons procédé à un dosage des paramètres morphologiques et biochimiques.

CHAPITRE 01 LA SALINITE

Les stress abiotiques sont responsables d'une perte de rendement estimée à 50% pour les cultures les plus répandus [5]. 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 [6]

Dans les régions arides et semi-arides, 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 entraînent 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. [7]

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 entraînera une pollution des eaux souterraines [8]

1.1. Quelques généralités sur la salinité

La salinité est définie comme étant la concentration de la solution nutritive s'exprimant en gramme de sels par litre d'eau [9]. C'est un facteur environnemental très important qui limite la croissance et la productivité [10]

La salinité du sol ou de l'eau est causée par la présence d'une quantité excessive de sels. Généralement un taux élevé de Na^+ et Cl^- cause le stress salin.

Le stress salin a un triple effet:

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

Cet état hydrique altéré conduit à une croissance réduite et limitation de la productivité végétale. [11]

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 NaCl [11].

La haute salinité compromet des fonctions biologiques dans l'écosystème et cause la dégradation des ressources de sol et de l'eau [12].

1.2. 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, [13]

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[14]



Figure 1.1: Destruction de la structure du sol due à l'excès de sodium [15]

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 [14]. Néanmoins il existe quelques données fragmentaires qui donnent une idée générale sur le phénomène de salinité et de la dégradation des terres. D'après [14] 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 Sbckhas (Chott Ech Chergui, Chott Gharbi, Chott Hodna, Chott Melghir, Sebkhha d'Oran, de Benziane, Zemmoul, Zazhrez Gharbi et Chergui, etc..) et dans le grand Sud (dans les Oasis, le long des oueds, etc...)[14]

Tableau 1.1 : Superficies affectées par la salinité dans quelques périmètres de l'Ouest de l'Algérie [14]

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

1.3. Salinisation des sols

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 [15].

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 [16].

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 [17].

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

- Cl^- n'est pas un ion réactionnel, il n'est pas retenu dans le sol et est lessive vers les nappes phréatiques;
- Na^+ est retenu dans le sol et va réagir avec les particules chargées du sol [18].

L'accumulation de sels libres dans le sol ou salinisation [19], 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 [20].

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 Na^+ et les ions 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 [21].

1.4. La 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 [22].

Les eaux salées ou saumâtres proviennent, soit de la mer, soit de la terre (sources, rivières, nappes phréatiques et artésiennes) [23].

L'utilisation des eaux salines pour l'irrigation cumule les difficultés de l'irrigation en général et celles de l'utilisation des terres salines [24], en y ajoutant les inconvénients du maintien de la salure dans ces terres cause des apports salins de l'eau [25].

En effet, l'irrigation à l'eau saline peut provoquer une importante accumulation de sels [25] dans le sol si la percolation est insuffisante. [26].

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 [27].

Tableau 1.2 : classification des sols selon leur salinité [28]

Conductivité électrique ds/cm	Concentration g/l	Nature du sol
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. L'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 [29].

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, que sont :

L'effet osmotique, la toxicité ionique des ions Na^+ et Cl^- et les effets secondaires du stress salin [30].

A. L'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 ψ_w décroissants). C'est le phénomène d'osmose. Ainsi l'augmentation de la concentration en ions Na^+ et 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 K^+ , Ca^{++} , NO_3^- , SO_4^- . Le développement de la plante va donc être fortement compromis [31].

B. La toxicité ionique

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 Na^+ et 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 Na^+ et Cl^- vont, à fortes concentrations, déstabiliser la structure tertiaire des enzymes qui est essentielle pour les rendre fonctionnelles [31].

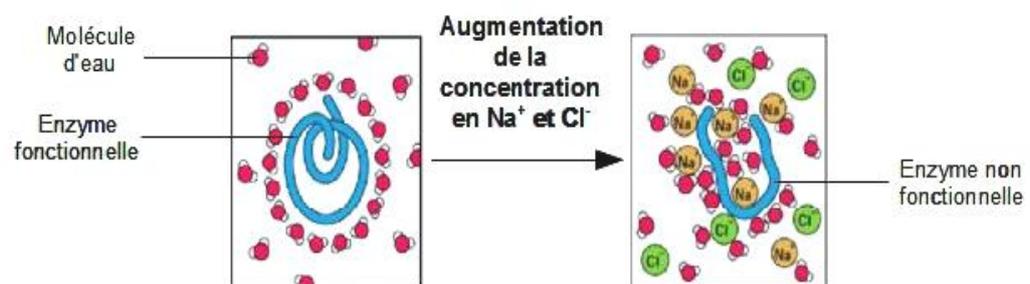


Figure 1.2 Déstabilisation des enzymes par le stress salin [31]

Ainsi les ions Na^+ et Cl^- , présents en trop grande quantité dans les cellules vont déstabiliser les interactions, impliquant l'inactivation de l'enzyme.

Au sein des membranes cellulaires, il existe des transporteurs d'ions 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 Na^+ va provoquer des phénomènes de compétition entre Na^+ et 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 [29])

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 [32].

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 [32].

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 [34]

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. [2]

1.5.1. L'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 [35]. Le stress salin résulte aussi dans la diminution de la biomasse sèche et fraîche des feuilles, tiges et racines [36]. Il a été montré par les travaux de [37] 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 [38].

1.5.2. L'effet de la salinité sur l'eau dans la plante

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 [2]. 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 [39].

1.5.3. L'effet de la salinité sur l'anatomie de la feuille

La salinité cause une augmentation de l'épaisseur de l'épiderme, l'épaisseur du mésophylle, la longueur des cellules palissadiques le diamètre des cellules palissadiques dans les feuilles de l'haricot, du coton et de l'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 [2]

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 [2]

1.6. 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 [40].

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 amines principalement la proline. [41]

1.6.1. La proline

C'est un acide aminé dont les propriétés biochimiques sont assez voisines de celle des autres aminés [42], 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% [43].

1.6.1.1. 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'H₂O et forme D-pyroline carboxylique qui se recyclera à son tour avec une molécule NADPH et qui donnera la proline [44]. La réductase forme la proline en utilisant le NADH, H⁺ ou le NADPH, H⁺ [45]. La dégradation de la proline induit du glutamate avec la formation intermédiaire du glutamate – 5- semi- aldéhyde [46].

1.6.1.2. La 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 [47].
- Le taux de proline s'accroît dans les feuilles lorsque la température s'élève [48].

- La proline est un acide aminé dont la présence est souvent associée à des situations de stress [49].
- 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 [50].

1.6.1.3. Rôle de la proline

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

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 [51], chez l'Eucalyptus [52], chez les blés tendres [53].

Elle joue un rôle consistant dans l'osmoprotection et la régulation du pH cytoplasmique [46]

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 [46].

1.6.2. La 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 » [54]

1.6.2.1. La 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 [55]

La biosynthèse des chlorophylles est beaucoup plus inhibée par le froid que par la chaleur [56].

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 [57].

1.6.2.2. Le 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 polycondensation. 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 [58].

1.6.3. Les sucres solubles

Les hydrates de carbone sont les composants majeurs des arbres, Ils représentent trois quart de leur poids sec [59].

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 [60].

1.6.3.1. Les 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 [61]. L'accumulation des sucres solubles est un moyen adopté par les plantes en cas de stress, afin de résister aux contraintes du milieu [62].

1.6.3.3. Le 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 [63]. Les sucres solubles associés à d'autres solutés organiques (protéines, glucides, acides organiques (malate), acide aminés) interviennent dans le processus d'osmorégulation [64].

➤ 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 [53].

CHAPITRE 02 LE CONCOMBRE

2. 1. Le 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 male et femelle séparées et portées par un même pied [65]. Des hybrides gynoiques produisant en majorité des fleurs femelles sont aussi développées [66]. Il existe aussi des variétés parthénocarpiques qui produisent des fruits sans graines [65].

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 [67]. Elle est largement cultivée à travers le monde [68].

Le concombre est très répondeu en Europe dès le 17^{ème} 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^{ème} 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 [69].



Figure 2.1. Aspect général de la plante du concombre [70].

2.2. Systématique du concombre

- Règne : Plantae .
 Division : Magnoliophyta.
 Classe : Magnoliopsida.
 Ordre : Violales.
 Famille : Cucurbitacées.
 Genre : Cucumis.
 Espèce : Cucumis sativus L. [70].

2.3. Description de la plante

Le concombre est une plante herbacée annuelle, à tige rampante ou grimpante, à section anguleuse et munies de vrilles. [70].

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. [68].

➤ Les feuilles

Les feuilles à nervation palmée comptant de trois à cinq lobes. Les bords du limbe est denté, rarement trilobées, 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 [70].

➤ La fleur

[69] indiquent que les fleurs apparaissent très tôt, dès le 3^{eme} ou le 4^{eme} 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) [67]. Elles sont formées de 5 pétales ridés et partiellement soudés [71].



Figure 2.2 : Fleur femelle du concombre [70]

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.2.3.a).

Les fleurs femelles ou pistillées sont habituellement solitaires et sont portés 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.2.3.b) [71].

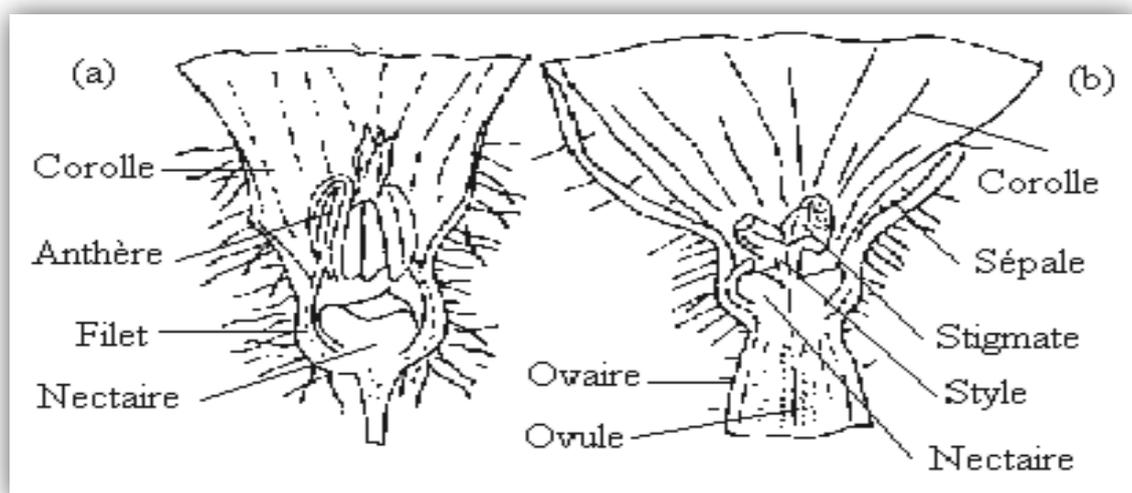


Figure 2.3. Coupe longitudinale de la fleur mâle (a) et femelle (b) de *Cucumis sativus* [72]

➤ 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 [71].

Les fruits allongés et charnus, au toucher rugueux, peuvent atteindre 30 cm de long et 5 cm de diamètre [67]. Le fruit peut être aussi grand que 60 centimètres de long et 10 centimètres de diamètre [71]. 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. [67]

Le fruit est récolté vert et se consomme cru, généralement en salade, ou cuit. C'est la même espèce qui produit les cornichons [68].

➤ Les graines

Des graines sont nombreuses longuement ovales aplaties, blanchâtres semblables à celles du melon, Elles sont trouvent noyées dans la pulpe qui remplit les trois loges centrales des fruits [73].

2.4. 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 [71].

Tableau 2.1 : valeur nutritive du concombre [74].

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 monoinsaturés (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

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 [74].

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 [74].

2.5. Intérêt agro-économique du concombre

2.5.1. Dans le monde

Le concombre étant un produit fragile et périssable, Les échanges commerciaux sont forcément limité en volume et en distance, Ils s'élèvent à 1.3million de tonnes par an, soit moins de 5%de la production mondiale. Leur importance est néanmoins variable selon les régions du globe [75].

Le concombre occupe la 6^{ème} place parmi les légumes avec une production de 13 millions de tonnes. Les types cultivés et les formes de consommation sont très variables [8].

Le continent asiatique est celui qui donne la plus grande place à ce légume [8]. L'Asie représente 75% du volume mondial, dont une grosse partie venant de Chine. Il y a également un pôle important de production au moyen Orient [67].

L'Europe est la 2^{ème} zone de culture, L'Europe centrale ou Orientale fournit les plus gros volumes, notamment la Russie, l'Ukraine et la Pologne. En Europe occidentale, les Pays- Bas et l'Espagne dominant le marché [69].

L'Amérique du nord correspond à la dernière grande zone de production principalement grâce aux Etats-Unis et dans une moindre mesure au Mexique [8]. Sur le continent américain, les Etats-Unis sont de loin les plus gros producteurs avec environ 800000 tonnes [67].

2.5.2. En Algérie

En Algérie, les conditions climatiques et du sol sont très favorables pour une production rentable et de qualité supérieure tant sous abris plastiques qu'en pleine terre.

La production nationale totale en 2010 du concombre a atteint 593 920 qx pour une superficie totale de 3230 ha. Les principales wilayas productrices sont Tipaza, M'silla, Mostaganem et Chleff. Sous serres, la culture couvre une superficie totale d'environ 268 ha pour une production de 183 420 qx et avec la wilaya de Tipaza comme principal producteur [71].

2.6. Exigence du concombre

2.6.1. Les 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 [67].

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 [68].

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 [76].

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% [8].

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 [8].

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) [67].

C-La lumière

Le concombre réagit positivement jusqu'à des niveaux d'intensité lumineuse très élevée. Les plantes cultivées sous de faibles niveaux d'éclairement en durée et intensité sont grêles, à entre-nœuds longs, feuilles plus petites et des ramifications très réduites [8].

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 [8].

2.6.2. Exigences édaphique

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 [67].

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 [67].

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 [76].

2.6.3. Irrigation

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 [68].

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 goutte à goutte [76].

2.7. Maladies du concombre

Des maladies variées et nombreuses attaquent le concombre. La majorité se manifeste sous la forme de taches sur la partie supérieure ou inférieure des feuilles ou sur le fruit. Une ample rotation des cultures aide à prévenir les maladies. [77].

- Fonte des semis due à des champignons du genre *Pythium*.
- Fusariose vasculaire du concombre, maladie fongique causée par *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum*.
- Pourriture du collet, causée par plusieurs espèces de *Phytophthora*.
- Verticilliose.
- Flétrissement bactérien dû à *Erwinia tracheiphila*.
- Mosaïque du concombre (maladie virale).
- Marbrure du concombre (maladie virale).
- Chrysomèle rayée du concombre, *Acalymma vittatum* (Fabricius) (coléoptère)
- Nématodes cécidogènes. [77].

CHAPITRE 03 LA 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 [78].

3.1. 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 [79].

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 [78].

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 [80]. [81], 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 [80].

Le terme « hydroponie » vient du grec hydros = eau et ponos = travail, effort, le « travail dans l'eau ». Selon [82], 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 [79].

3.2. Les 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 [78].

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 » [78].

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 [80].

3.2.1. 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 [80].

➤ **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 [80].

3.2.2. 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 [78].

Cette technologie de production végétale caractérisée par une alimentation minérale des racines, la solution nutritive, ne nécessite pas de support solide [78].

➤ 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 (BLANC, 1987. 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 [78]

3.3. Les composantes du système hors-sol

3.3.1. Le 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 [83].

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 [84].

3.3.2. La 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 [85].

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 [86].

[87], indique que la solution nutritive est caractérisée par trois paramètres principaux :

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

D'après [88], 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.

3.3.3. Les 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 [89].

En général les containers sont en matière plastique, chimiquement inertes, étanches, durables et dont la mise en place doit être facile. Selon [90].

3.4. 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 [91].

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 [86].

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 [92].

De même, les besoins quotidiens en eau, comptabilisés par m² de feuillage, ont été estimés empiriquement et corrélés aux conditions climatiques [93].

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'ultraconionie. Elle permet d'accélérer le processus de maturation des fruits grâce à un rythme nycthéral plus rapide et permet plusieurs récoltes par an [91].

CHAPITRE 04

NUTRITION HYDROMINERALE DES PLANTES

4.1. Généralités

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 CO₂) et l'oxygène de l'air [94].

4.2. Nutrition des plantes

Les végétaux sont autotrophes c'est à dire qu'ils sont capable 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 [95].

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 [96].

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 [97].

4.2.1. L'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 être 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 [98].

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 [99].

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 [100].

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% [101].

Les besoins en eau dépendent des facteurs liés au climat, au sol et à la culture, [102].

[103] 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.

4.2.2. Les éléments 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 [99].

➤ **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 [99].

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 [98].

4.3. L'absorption minérale

4.3.1. 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 [96].

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 [103].

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 [99].

4.3.2. Modalités d'absorption

L'absorption des substances minérales s'effectue chez les végétaux supérieurs par les poils absorbants ou les régions non subérifiées de la racine [101].

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 [102].

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) [102].

Les cations (NH_4^+ , K^+ , Mg^{++} , Ca^{++} , Na^+) présentent une vitesse de franchissement des membranes plus grande que celle des anions (NO_3^- , Cl^- , SO_4^- , H_2PO_4^-) [102].

4.3.3. 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 [94].
- L'absorption (au sens strict) qui suit la première étape et peut être active ou passive, selon les ions [94]:
 - Passage avec l'eau, diffusion, échange et adsorption
 - Soit par transport actif par des processus métaboliques, espace libre [104].

Chapitre 05

Matériel et méthodes

5.1 L'objectif de l'expérimentation

L'objectif de ce travail consiste à étudier :

D'une part : Le comportement d'une glycophyte cultivée (le concombre) en système hydroponique, vis-à-vis d'une irrigation par des solutions salines naturelles, puis corrigées, ou transformées en solution nutritive, dont :

- Le sodium est totalement lié au sulfate et le magnésium lié au chlorure.
- Le sodium est totalement lié au chlorure et le magnésium lié au sulfate.
- Le sodium est lié au sulfate et au chlorure en fraction de 50%.

D'autre part, l'impact des ces eaux salines sur la production de proline, de chlorophylle et I sucres totaux.

5.2 Matériel végétal utilisé

L'espèce utilisée durant l'expérimentation est le concombre (*Cucumis sativus*), variété super-marketer dont les semences proviennent de l'ITCMI (STAOULI) récoltées en 2008 et ayant une pureté de 85%. Les caractéristiques de cette variété sont :

- Variété fixée demi précoce et productive;
- Les fruits sont demi-longs de forme cylindrique,
- Variété sensible à la salinité:
- Bonne aptitude à la fructification.

5.3 Conditions de l'expérimentation

5.3.1 Lieu de l'expérience

Notre expérimentation s'est déroulée au niveau de la station expérimentale de département des sciences agronomique de l'université de Blida située dans la

plaine de la Mitidja, dans une serre en polycarbonate dont l'orientation est nord-sud.

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

Le tableau N°5.1 indique les moyennes des températures par décade enregistrées au niveau de la serre, durant trois moments de la journée, 8h30, 12h, et 16h.

Tableau 5.1 : Moyennes des températures par décade en °C

Période	températures		
	8 ^h 30	12 ^h	16 ^h
06/12/2011 au 15/12/2011	16,00	25,20	25,20
16/12/2011 au 25/12/2011	15,76	25,03	23,58
26/12/2011 au 04/01/2012	15,46	24,30	22,93
05/01/2012 au 14/01/2012	13,90	25,80	24,70
15/01/2012 au 24/01/2012	14,92	24,99	23,69
25/01/2012 au 03/02/2012	14,64	24,61	23,17
04/02/2012 au 13/02/2012	14,00	23,36	22,05
14/02/2012 au 23/02/2012	13,65	23,34	21,96
24/02/2012 au 04/03/2012	13,37	23,75	22,39
05/03/2012 au 14/03/2012	13,36	23,74	22,42

Suite aux données établies dans le tableau (5.1), nous constatons que les températures moyennes matinales, étaient défavorables à la croissance du concombre et ce par rapport aux données préconisées par [76] qui se situent entre 20 et 22°C. A partir de 12h, les températures moyennes deviennent plus favorables à la croissance de l'espèce étudiée.

5.3.2 Le substrat

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

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

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.

5.3.3 Les containers

Les containers utilisés sont des pots en polyéthylène de couleur marron, ayant une capacité de 5 L et présentant un orifice de drainage à leur base permettant l'évacuation de la solution nutritive excédentaire.

5.4 Le 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 7 niveaux et facteur variété à 1 niveaux), L'ensemble est composé de sept (7) traitements. Chaque traitement comporte 14 répétitions, soit 98 plants au total.

	T1C	T3	T1	T2C	T3C	T2	T
P1							
P2							
P3							
P4							
P5							
P6							
P7							
P8							
P9							
P10							
P11							
P12							
P13							
P14							

Figure 5.1 : schéma du dispositif expérimental

 : Les observations de 01 à 14

T1, T2, T3, T1C, T2C, T3C, T : les traitements étudiés.



Figure 5.2 : Vue générale du dispositif expérimental

- **T1** : solution saline naturelle d'oued Chélif reconstituée avec l'eau de Blida où le sodium (Na^+) est totalement lié au sulfate (SO_4^-) et le magnésium (Mg^{++}) au chlorure (Cl^-);
- **T1C** : solution saline corrigée ;
- **T2** : solution saline naturelle d'oued Chélif reconstituée avec l'eau de Blida où le sodium (Na^+) est totalement lié au chlorure (Cl^-) et le magnésium (Mg^{++}) au sulfate (SO_4^-) ;
- **T2C** : solution saline corrigée ;
- **T3** : solution saline naturelle d'oued Chélif reconstituée avec l'eau de Blida où le sodium (Na^+) et le magnésium (Mg^{++}) sont liés en fraction avec les chlorures (Cl^-) et les sulfates (SO_4^-) ;
- **T3C** : solution saline corrigée.
- **Témoin T** : solution nutritive standard composée de macro, et de micro éléments (solution Témoin).

5.5 Pré-germination

La pré-germination a été réalisée le : **01/12/2011** dans une étuve à une température de 25°C, et ce dans des boîtes de pétri. La faculté germinative était de 85%, après cinq jours de germination.



Figure 5.3 : Essai de germination des graines de concombre dans l'étuve à 25°C

Le repiquage des jeunes germes dans des pots a été effectué le: **06/12/2011** à raison de deux germes par pot.

Les jeunes germes en pots ont été arrosés avec de l'eau de robinet pendant **10** jours afin de favoriser la reprise des jeunes plantules et ce jusqu'au **15/12/2011**.



Figure 5.4 : la levée des germes

L'arrosage avec une solution nutritive standard a débuté le **16/12/2011** soit dix (10) jours après semis, et ce juste après l'apparition de la première feuille dans le but d'avoir un matériel végétal vigoureux et homogène de départ.

Le **01/01/2012** soit 26 jours après semis, nous avons procédé à l'application des différents traitements, et où les plantes semblaient être homogènes.



Figure 5.5 : vue générale des plantules avant l'application des traitements

5.6 Description des différents traitements

Les traitements utilisés sont des eaux salines non conventionnelles provenant de la région de Cheliff. 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.

5.6.1 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°5.2) 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 5.2: teneur s des différents éléments minéraux contenus dans l'eau de Blida: pH=7.30 [3].

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

5.6.2 Correction 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), nocif pour les 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_3) et l'acide phosphorique (H_3PO_4) Ces deux acides permettent d'une part l'abaissement du pH et l'apport des éléments utiles tel que les nitrates et le phosphore de l'autre part.

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

$$Q \text{ (méq)} = (\text{quantité d'HCO}_3 \text{ dans l'eau en méq}) \times 0.833 \quad [3]$$

Donc :

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

Cette quantité d'acide sera partagée entre:

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

5.7. Composition des solutions nutritives et technique de préparation des différents traitements :

5.7.1 Transformation de l'eau de Blida en solution nutritive standard (T4)

L'eau de Blida renferme des teneurs insuffisantes en certains éléments utiles tels que (NO_3^- , K^+)

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

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

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

➔ Sur les deux tableaux suivants (5.3, 5.4), on reporte chaque anion et cation selon les quantités contenues dans l'eau exprimées en méq / l.

➔ L'apport d'azote est fixé à 12 méq / l, dont :

➤ 10.2 méq / l NO_3^- représentant 85%

➤ 1.8 méq/l NH_4^+ représentant 15%

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

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

La quantité d'acide nécessaire pour ajuster le pH de l'eau à 5,8 est de 3,30 méq/l ceci permet de satisfaire la totalité du besoin en phosphore en apportant 1,1 méq/l de H_3PO_4 , et un apport partiel de 2.2 méq/l de NO_3^- .

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

Les Nitrates:

⇒ besoins: 10,2 méq / l ;

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

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

Les sulfates :

⇒ Besoins : 1.5 méq / l

⇒ déjà disponibles: 0,8 méq / l ;

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

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

➤ Les anions disponibles pour apporter un complément de K, Ca et Mg sont désormais les suivants:

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

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

Selon les normes définies par [101], les proportions relatives de ces 3 éléments doivent être proches des valeurs suivantes:

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

Ce qui donne dans le cas présent : 4,41 méq / l (K^+) + 5,31 méq / l (Ca^{2+}) et 1,43 méq / l (Mg^{2+}) = 11,15 méq / l.

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

K^+ (4,41 méq / l), Ca^{++} (2,51 méq / l), Mg^{++} (0 méq / l).

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

Les 11,15 méq / l – 1,8 méq / l (Mg^{2+}) = 9,35 méq / l d'anions sont donc à partager entre K^+ et Ca^{++} uniquement et en respectant les proportions $\text{K}^+ + \text{Ca}^{++} = 87,2\%$ soit :

$\text{K}^+ = 9,35 \times \frac{39,6}{39,6 + 47,6} = 4,25 \text{ méq / l}$	$\text{Ca}^{++} = 9,35 \times \frac{47,6}{39,6 + 47,6} = 5,10 \text{ méq / l}$
--	--

Tous les résultats sont reportés dans les tableaux suivants:

Tableau 5.3: Composition de l'eau de Blida pH = 7,8

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

Tableau 5.4: Eau de Blida corrigée T (Solution nutritive standard) pH = 5,8

Eau de Blida	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	Total
K ⁺ 0	3,55		0,70		4,25
Na ⁺ 1.3					1,30
Ca ⁺⁺ 2.8	2,30				5,10
Mg ²⁺⁺ 1.8					1.80
NH ₄ ⁺ 0	1,80				1,80
H ⁺	2,20	1,10			3,30
Total	10,20	3,30	1,50	0.60	

Quantités et ordre de dissolution des sels de la solution nutritive (T) élaborée avec l'eau de Blida:

- HNO₃ = 2.20 × 63 = 138,6 mg/l;
- H₃PO₄ = 1.10 × 98 = 107.8 mg/l ;
- Ca (NO₃)₂ = 2.30 × 118 = 271.4 mg/l;
- KNO₃ = 3.55 × 101.10 = 358.90 mg/l;
- ◆ NH₄NO₃ = 1.80 × 80 = 144 mg/l;
- ◆ K₂SO₄ = 0.7 × 87 = 60.9 mg/l ;
- ◆ Les éléments présents dans l'eau de Blida = 188.9 mg/l ;
- ◆ Les oligo-éléments A et B = 14.8 mg/l ;

Total = 1285.3 mg/l soit 1.28 g/l.

5.7.2. Compositions de l'eau naturelle de l'oued Chélif

Les tableaux ci-dessous représentent la composition de l'eau d'oued Chélif naturelles tableau (5.5), et cette eau reconstituée avec l'eau de Blida tableau(5.6).

Tableau 5.5 : Composition de l'eau de l'Oued Cheliff naturelle

	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻⁻⁻	SO ₄ ⁻⁻	Cl ⁻	Total
	0.10	00	8.45	13.50	
K ⁺ 0.35					0.35
Na ⁺ 9.90					9.90
Ca ⁺⁺ 9.25					9.25
Mg ⁺⁺ 9.20					9.20
NH ₄ ⁺ 00					00
HCO ₃ ⁻ 6.51					6.51
Total	0.10	00	8.45	13,50	

Tableau 5.6 : Eau de l'Oued Cheliff reconstituée avec l'eau de Blida (pH=7.3)

	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻⁻⁻	SO ₄ ⁻⁻	Cl ⁻	Total
	0.35	00	0.80	0.60	
K ⁺ 00				0.35	0.35
Na ⁺ 1.30			1.14	7.46	9.90
Ca ⁺⁺ 2.80				6,45	9.25
Mg ⁺⁺ 1.80			7,40		9.20
NH ₄ ⁺ 00					00
H ⁺ 00					00
Total	0.35	00	9.34	14.86	

Quantités et ordre de dissolution des sels:

- $MgSO_4 = 7.40 \times 123 = 910.20 \text{ mg /l}$;
- $NaCl = 7.46 \times 58.45 = 436.03 \text{ mg/l}$.
- $KCl = 0.35 \times 74.5 = 26.07 \text{ mg/l}$
- $Na_2SO_4 = 1.41 \times 71.02 = 80.94 \text{ mg/l}$;
- $CaCl_2 = 6.45 \times 73.51 = 474.13 \text{ mg /l}$;
- Eléments présents dans l'eau de Blida = 188.9 mg/l;
- Total = 2116.27 mg/l soit 2.11 g/l.

5.7.3. Composition des traitements (T1, T1C), (T2, T2C) et (T3, T3C)

5.7.3.1 Eaux salines naturelle et corrigée (T1, T1C) de l'oued Cheliff dont le sodium est totalement lié au sulfate (Na_2SO_4) et le magnésium au chlorure (MgCl_2) reconstituées avec l'eau de Blida :

Tableau 5.7 : eau saline naturelle **T1**

pH = 7.30

	NO_3^-	PO_4^{---}	SO_4^-	Cl^-	Total
	0.35	00	0.80	0.60	
K^+				0.35	0.35
00					
Na^+			8,60		9.90
1.30					
Ca^{++}				6,45	9.25
2.80					
Mg^{++}				7,40	9.20
1.80					
NH_4^+					00
00					
H^+					00
00					
Total	0.35	00	9,40	14.80	

Tableau 5.8 : eau saline corrigée **T1C**

pH = 5.30

	NO_3^-	PO_4^{---}	SO_4^-	Cl^-	Total
	0.35	00	0.80	0.60	
K^+				4.35	4.35
00					
Na^+			8,60		9.90
1.30					
Ca^{++}	5.85			0,6	9.25
2.80					
Mg^{++}				7,40	9.20
1.80					
NH_4^+	1.8				1.8
00					
H^+	2.2	1.1			3.3
00					
Total	10.2	3.3	9,40	12.95	

Quantités et ordre de dissolution des sels:

a/ Eau saline naturelle (T1)

- $\text{KCl} = 0.35 \times 74.5 = 26.07 \text{ mg/l}$
- $\text{Na}_2\text{SO}_4 = 8.60 \times 71.02 = 610.85 \text{ mg/l};$
- $\text{CaCl}_2 = 6.45 \times 73.51 = 474.13 \text{ mg / l};$
- $\text{MgCl}_2 = 7.4 \times 101.65 = 752.21 \text{ mg/l}$
- Eléments présents dans l'eau de Blida = 188.9 mg/l;
- Total = 2052.15 mg/l soit 2,05 g/l

b/Eau saline corrigée (T1C)

- $\text{HNO}_3 = 2.20 \times 63 = 138,6 \text{ mg/l}$;
- $\text{H}_3\text{PO}_4 = 1.10 \times 98 = 107.8 \text{ mg/l}$;
- $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 = 5.85 \times 118 = 690.30 \text{ mg/l}$;
- ◆ $\text{NH}_4\text{NO}_3 = 1.80 \times 80 = 144 \text{ mg/l}$;
- ◆ $\text{KCl} = 4.35 \times 74.5 = 324.07 \text{ mg/l}$
- ◆ $\text{Na}_2\text{SO}_4 = 8.60 \times 71.02 = 610.85 \text{ mg/l}$;
- ◆ $\text{CaCl}_2 = 0.60 \times 73.51 = 44.10 \text{ mg/l}$;
- ◆ $\text{MgCl}_2 = 7.4 \times 101.65 = 752.21 \text{ mg/l}$
- Eléments présents dans l'eau de Blida = 188.9 mg/l;
- Oligo-élément A et B = 14.8 mg/l ;
- Total = 3015.58 mg/l. soit 3,01 g/l

5.7.3.2 Eaux salines naturelle et corrigée (T2,T2C) de l'oued Cheliff dont le sodium est totalement lié au chlorure (NaCl) et le magnésium au sulfate (MgSO_4) reconstituées avec l'eau de Blida:

Tableau 5.9 : eau saline naturelle T2

pH =7.30

	NO_3^- 0.35	PO_4^{---} 00	SO_4^- 0.80	Cl^- 0.60	Total
K^+ 00			0.35		0.35
Na^+ 1.30				8,60	9.90
Ca^{++} 2.80				6,45	9.25
Mg^{++} 1.80			7,40		9.20
NH_4^+					00
H^+					00
Total	0.35	00	8.55	15.65	

Tableau 5.10 : eau saline corrigée T2C

pH = 5.30

	NO_3^- 0.35	PO_4^{---} 00	SO_4^- 0.80	Cl^- 0.60	Total
K^+ 00			0.35	4.00	4.35
Na^+ 1.30				8,60	9.90
Ca^{++} 2.80	5.85			0,6	9.25
Mg^{++} 1.80			7,40		9.20
NH_4^+ 00	1.8				1.8
H^+ 00	2.2	1.1			3.3
Total	10.2	3.3	8.55	13.80	

Quantités et ordre de dissolution des sels:

a/ Eau saline naturelle (T2)

- $\text{MgSO}_4 = 7.40 \times 123 = 910.20 \text{ mg /l}$;
- $\text{NaCl} = 8.60 \times 58.45 = 502.67 \text{ mg/l}$.
- $\text{K}_2\text{SO}_4 = 0.35 \times 87 = 30.45 \text{ mg/l}$;
- $\text{CaCl}_2 = 6.45 \times 73.51 = 474.13 \text{ mg /l}$
- Eléments présents dans l'eau de Blida = 188.9 mg/l;
- Total = 2106.35 mg/l soit 2,10g/l

b/ Eau saline corrigée (T2C)

- $\text{HNO}_3 = 2.20 \times 63 = 138,6 \text{ mg/l}$;
- $\text{H}_3\text{PO}_4 = 1.10 \times 98 = 107.8 \text{ mg/l}$;
- $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 = 5.85 \times 118 = 690.30 \text{ mg/l}$;
- ◆ $\text{NH}_4\text{NO}_3 = 1.80 \times 80 = 144 \text{ mg/l}$;
- ◆ $\text{KCl} = 4.00 \times 74.5 = 298 \text{ mg/l}$
- ◆ $\text{NaCl} = 8.60 \times 58.45 = 502.67 \text{ mg/l}$;
- ◆ $\text{CaCl}_2 = 0.60 \times 73.51 = 44.10 \text{ mg /l}$;
- ◆ $\text{K}_2\text{SO}_4 = 0.35 \times 87 = 30.45 \text{ mg/l}$;
- ◆ $\text{MgSO}_4 = 7.4 \times 123 = 910.2 \text{ mg/l}$
- Eléments présents dans l'eau de Blida = 188.9 mg/l;
- Oligo-élément A et B = 14.8 mg/l ;
- Total = 3069.82 mg/l. soit 3,06g/l

5.7.3.3 Eaux salines naturelle et corrigée (T3,T3C) de l'oued Cheliff dont le sodium et le magnésium sont liés au chlorure et au sulfate

Les tableaux ci-dessous (5.11, 5.12) représentent la composition de l'eau saline naturelle (T3) et cette eau saline corrigée (T3C) ; dont le sodium et le magnésium sont liés en fraction avec les chlorures et les sulfates

Tableau 5.11 : eau saline naturelle **T3**

pH =7.30

	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻⁻⁻	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	Total
	0.35	00	0.80	0.60	
K ⁺				0.35	0.35
Na ⁺			4.30	4.30	9.90
Ca ⁺⁺				6,45	9.25
Mg ⁺⁺			4.30	3,10	9.20
NH ₄ ⁺					00
H ⁺					00
Total	0.35	00	9,40	14.80	

Tableau 5.12 : eau saline corrigée **T3C**

pH = 5.30

	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻⁻⁻	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	Total
	0.35	00	0.80	0.60	
K ⁺			4.35		4.35
Na ⁺			4.30	4.30	9.90
Ca ⁺⁺	5.85			0,60	9.25
Mg ⁺⁺				7,40	9.20
NH ₄ ⁺					1.8
H ⁺	2.2	1.1			3.3
Total	10.2	3.3	9,45	12.90	

Quantités et ordre de dissolution des sels:

a/ Eau saline naturelle (T3)

- $MgSO_4 = 4.30 \times 123 = 528.90 \text{ mg/l};$
- $NaCl = 4.30 \times 58.45 = 251.33 \text{ mg/l}.$
- $KCl = 0.35 \times 74.5 = 26.07 \text{ mg/l}.$
- $Na_2SO_4 = 4.30 \times 71.02 = 305.63 \text{ mg/l};$
- $MgCl_2 = 3.1 \times 101.65 = 315.11 \text{ mg/l};$
- $CaCl_2 = 6.45 \times 73.51 = 474.13 \text{ mg/l};$
- Eléments présents dans l'eau de Blida = 188.9 mg/l
- Total = 2090.07 mg/l. soit 2.09g/l

b/Eau saline corrigée (T3C)

- $HNO_3 = 2.20 \times 63 = 138,6 \text{ mg/l};$
- $H_3PO_4 = 1.10 \times 98 = 107.8 \text{ mg/l};$
- $Ca(NO_3)_2 = 5.85 \times 118 = 690.30 \text{ mg/l};$
- ◆ $NH_4NO_3 = 1.80 \times 80 = 144 \text{ mg/l};$
- ◆ $NaCl = 4.30 \times 58.45 = 251.33 \text{ mg/l}.$
- ◆ $CaCl_2 = 0.60 \times 73.51 = 44.10 \text{ mg/l};$

- ◆ $\text{MgCl}_2 = 7.40 \times 101.65 = 752.21 \text{ mg/l}$;
- ◆ $\text{Na}_2\text{SO}_4 = 4.30 \times 71.02 = 305.63 \text{ mg/l}$;
- ◆ $\text{K}_2\text{SO}_4 = 4.35 \times 87 = 378.45 \text{ mg/l}$;
- Eléments présents dans l'eau de Blida = 188.9 mg/l;
- Oligo-élément A et B = 14.8 mg/l ;
- Total = 3016.12 mg/l. soit 3.01g/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.

Toutes les eaux corrigées ainsi que la solution standard renferment aussi les solutions complémentaires (A et B) d'oligo-éléments représentés dans le tableau suivant :

Tableau 5.13: Composition des solutions complémentaires d'oligo-éléments A et B

Solution A			Solution B		
Eléments	Dose g/l	Prélèvement ml/l	Eléments	Dose g/l	Prélèvement ml/l
Molybdates D'ammonium (NH_4) ₆ (MO_7O_{24}) $4\text{H}_2\text{O}$	0.50	0.10	Séquestrène de Fer	2.00	5.00
Acide borique (H_3BO_3)	15				
Sulfate de manganèse ($\text{MnSo}_4\text{5H}_2\text{O}$)	20				
Sulfate de cuivre ($\text{CuSo}_4\text{5H}_2\text{O}$)	2.50				
Sulfate de zinc ($\text{ZnSo}_4\text{7H}_2\text{O}$)	10				

Le contrôle de pH et de la conductivité électrique (C.E) est obligatoire avant chaque utilisation afin d'éviter les éventuelles erreurs de dosage.

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

Produit	S .M.C [g/l]	Besoins en mg/l T1	Besoins en mg/l T1C	Besoins en mg/l T2	Besoins en mg/l T2C	Besoins en mg/l T3	Besoins en mg/l T3C	Besoins en mg/l T4
HNO ₃	-	-	136.60	-	136.60	-	136.60	136.60
H ₃ PO ₄	-	-	107.80	-	107.80	-	107.80	107.80
KCl	32.40 [100]	26.07	324.07 10ml/l	26.07	298	26.07	-	-
KNO ₃	71.71 [200]	-	-	-	-	-	-	358.55 5ml/l
NH ₄ NO ₃	28.81 [200]	-	144 5ml/l	-	144 5ml/l	-	144 5ml/l	144 5ml/l
Ca(NO ₃) ₂	138.06 [200]	-	690.30	-	690.30	-	690.30	271.40
CaCl ₂	47.41 [100]	474.13 10ml/l	44.10	474.13 10ml/l	44.10	474.07 10ml/l	44.10	-
Mg Cl ₂	75.22 [100]	752.21 10ml/l	752.21 10ml/l	-	-	315.11	752.21	-
MgSO ₄	91.03 [100]	-	-	910.20 10ml/l	910.20 10ml/l	528.90	-	-
NaCl	50.26 [100]	-	-	502.67 10ml/l	502.67 10ml/l	251.33	251.29	-
Na ₂ SO ₄	61.07 [100]	610.77 10ml/l	610.77 10ml/l	-	-	305.63	305.63	-
K ₂ SO ₄	37.84 [100]	-	-	30.45	30.45	-	378.45 10ml/l	60.90
Oligo- Elément	48.00	-	0.1ml	-	0.1ml	-	0.1ml	0.1ml
Fer	2.00	-	5ml	-	5ml	-	5ml	5ml

5.8. Entretien de la culture

5.8.1 Doses et fréquences d'arrosages

Il est important dans la culture hors sol de connaître les besoins journaliers en eau des cultures, pour pouvoir rationaliser les besoins selon les stades de développement du végétal et ce pour éviter les déficits et les éventuels excès de solution nutritive.

La dose et les fréquences des arrosages varient selon le cycle de développement de la plante et les conditions microclimatiques telle que la température.

Tableau 5.15 : Doses et fréquences des arrosages

Dates	Stade végétatif	La dose d'irrigation	La fréquence	Les besoins
16/12/2011 au 31/12/2011	Germination au stade trois feuilles	20ml	3fois / jours	60 ml / jour
01/01/2012 au 18/01/2012	Stade trois feuilles au début floraison	40ml	3fois / jours	120ml / jours
19/01/2012 Au 30/01/2012	Début floraison à la formation des fruits (cornichons)	60ml	3fois / jours	180ml / jours
31/01/2012 au 15/03/2012	Formation des fruits à la récolte	80ml	4fois / jours	320ml / jours

5.8.2. Traitements phytosanitaires

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

Tableau 5.16: Programme des traitements phytosanitaires réalisés:

Dates	Produit	Matière active	Désignation	Dose	Fréquence du traitement
03/01/2012	Duresban	Chorpyriphos-éthyle (50g/kg)	Traitement préventif contre les insectes	3 g / l	1 fois/ semaine
09/01/2012	Medomyl	Mancozeb 64% Metaloxyl 8%	Traitement préventif contre les maladies cryptogamiques	3 g / l	1 fois/ semaine

5.8.3. Le palissage

Vue que le concombre est une espèce liane, donc, à un moment donné on remarqué que les plantes avaient tendance à se recourber ce qui nous a permis de confectionner des tuteurs à la ficelle, permettant de maintenir les plantes dressées



Figure 5.6 : vue générale des plantes après palissage

5.8.4. Le lessivage

L'opération consiste à éliminer les sels non absorbés par les plantes par un arrosage tout les week-ends avec l'eau de robinet afin d'éviter leur accumulation dans les Conteneurs.

5.9. Paramètres étudiés

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

5.9.1. Paramètres biométriques

- ❖ Aspect général des plantes
- ❖ La vitesse de croissance
- ❖ La hauteur finale des plantes

- ❖ Le nombre des feuilles
- ❖ Le diamètre des tiges
- ❖ La surface foliaire
- ❖ La matière fraîche et sèche produites:
 - Poids frais et sec de la partie aérienne (tige + feuilles) en g.
 - Poids frais et sec des racines en g.
- ❖ Le taux de matière sèche en %

Le taux de matière sèche est exprimé en pourcentage (% MS) et qui est calculé comme suit:

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

5.9.2. Paramètres de production

- ❖ La récolte

Nous avons effectué la récolte au stade final (maturité des fruits) soit 77 jours après le semis. Nous avons pris en considération le poids, la taille et le diamètre du fruit.

- ❖ Taux d'avortement des fleurs

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

5.10. Estimation du bilan d'absorption hydrominérale

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

- On met sous chaque pot en culture un gobelet non perforé afin de recueillir l'éventuel excès de la solution drainée;
- Nous avons irrigué les plantes avec des doses d'irrigation connues (le pH_i et la conductivité électrique (CE_i) sont mesurés à l'avance) ;
- Après 24 heures, on récupère le volume percolé au niveau de chaque pot ;

- On mesure le volume des différents percolât, puis on calcule la moyenne des percolât au niveau d'un même traitement ;
- On calcule le pourcentage d'absorption obtenu par la relation suivante :

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

5.11. Paramètres biochimiques

5.11.1. Dosage de la chlorophylle

L'extraction de la chlorophylle (a) et (b) a été réalisé selon la méthode de [105]. Voir annexe N°01.

5.11.2. Dosage de la proline

La proline est dosée selon la technique utilisée par [106] simplifiée et mise au point par [107]. Voir annexe N°02.

5.11.3. Dosage des sucres solubles

Nous avons procédé au dosage des sucres solubles dans les feuilles des plantes selon la méthode de [108]. Voir annexe N°03.

5.12. Analyse statistique

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

Chapitre 06

Résultats et interprétation

6.1. Aspect général des plantes de concombre et paramètres biométriques mesurés

Pour mettre en évidence la réponse des plantes de concombre soumises au stress salin, nous avons mesuré les paramètres biométriques suivants :

Durant l'expérimentation l'effet traitement était bien remarquable sur les plantes de concombre de la variété super marketer

Une observation globale sur l'ensemble des plantes a permis de distinguer les aspects suivants :

a) Les plantes irriguées par les solutions salines naturelles (T1, T2 et T3) durant leur cycle de développement, sont chétives, de couleur jaunâtre avec un nombre réduit de feuilles, de fleurs, et de petits fruits immatures (fig.6.1)



Figure 6.1 : Aspect général des plantes de concombre alimentées par les eaux salines naturelles (T1, T3) et l'eau saline corrigée (T1C)

b) Les plants irrigués durant leur cycle végétatif par les solutions salines naturelles corrigées (T1C, T2C et T3C) ainsi que la solution standard (témoin),

sont plus vigoureux, bien développés et présentent un feuillage très important avec une couleur verte foncée, un nombre élevé de fleur et de gros fruits mûrs (fig. 6.2 et 6.3).



Figure 6.2 : vue générale des plantes de concombre alimentées par la solution nutritive standard (témoin) et la solution saline naturelle T2



Figure 6.3 : aspect général des plantes irriguées par les eaux salines naturelles (T1 - T3) et les eaux salines corrigées (T1C - T2C - T3C)

6.1.1. Vitesse de croissance des plantes

La croissance des plantes a été suivie, des mesures ont été effectuées tous les dix jours durant l'expérimentation. Les résultats obtenus sont exprimés en cm/jr, et sont représentés dans la figure 6.4.

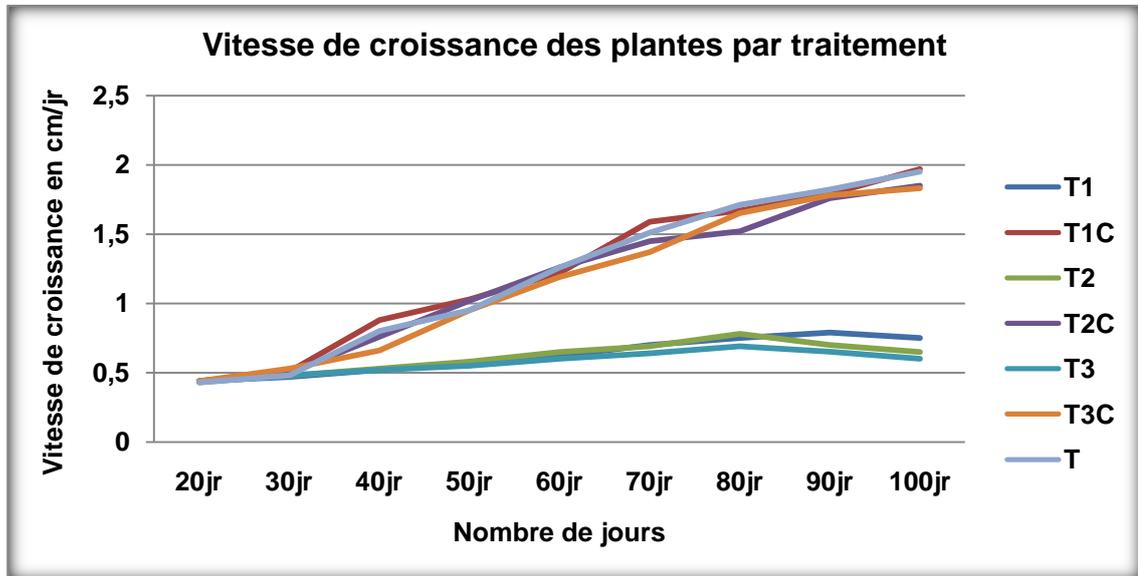


Figure 6.4 : Vitesse de croissance des plantes de concombre en cm/jr

La figure ci-dessus montre un grand écart entre les plantules stressées (T, T2 et T3) et celles alimentées par les solutions salines corrigées (T1C, T2C et T3C) ainsi que la solution standard (T)

On constate qu'il existe deux ensembles de courbes, le premier est celui des solutions naturelles salines non corrigées (T1, T2 et T3) et celui des solutions salines corrigées (T1C, T2C et T3C) et le témoin (T)

Car on remarque des valeurs homogènes allant de 0.4 à 0.5 cm/jr durant le premier mois pour tous les plants du dispositif expérimental et cela due à une irrigation avec une solution nutritive standard. La période entre le 26^{ème} jour début de l'application des différents traitements et le 32^{ème} jour après repiquage on ne remarque aucune différence remarquable de l'effet des traitements sur la vitesse de croissance des plantes. Cette phase stationnaire est expliquée par la période d'adaptation des jeunes plantules de l'espèce étudiée dans leurs milieux nutritifs.

Concernant les plantes alimentées par les solutions salines naturelles (T1 T2 et T3), on remarque une vitesse de croissance très lente allant de 0.4 à 0.8 cm/jr. Ce résultat est en relation avec les teneurs en sels minéraux existant dans les traitements salins naturels notamment le NaCl et le Na₂SO₄. Ainsi que le déséquilibre ionique qui caractérise ces traitements, et les carences en éléments fertilisants, tels que l'azote, le phosphore et le potassium dont leur absence, selon [109], ralentit la croissance des plantes.

Par contre la vitesse de croissance des plantes alimentées par les solutions salines corrigées (T1C, T2C et T3C) et la solution standard (T), augmente progressivement de 0.4 cm/jr jusqu'au 2 cm/jr. Ce qui signifie que l'action des eaux salines corrigées influe de façon significative sur la vitesse de la croissance des plants et ce par rapport aux plants alimentés par les traitements salins naturels (T1, T2, T3).

Cette constatation peut également être due par la présence des éléments nutritifs favorables à la croissance des plantes notamment le N, P, K et les oligo-éléments et notamment le pH favorable de 5,8 de ces solutions nutritives qui est considéré comme étant le facteur déterminant dans l'absorption hydrominérale des plantes dans un environnement salin. Ainsi selon les travaux de [110], l'azote est un élément indispensable à la multiplication cellulaire puis qu'il intervient dans la composition des noyaux. Il favorise l'augmentation de la croissance des végétaux. Ainsi les nitrates NO₃⁻ facilitent la pénétration des cations K⁺ et Ca²⁺ par synergisme, ce qui intervient dans la photosynthèse [111].

6.1.2. Hauteur finale des plantes

La hauteur finale des tiges a été mesurée à partir de collet jusqu'à l'apex au niveau de chaque plant. Les résultats relatifs au paramètre mesuré, sont présentés dans la figure ci-dessous.

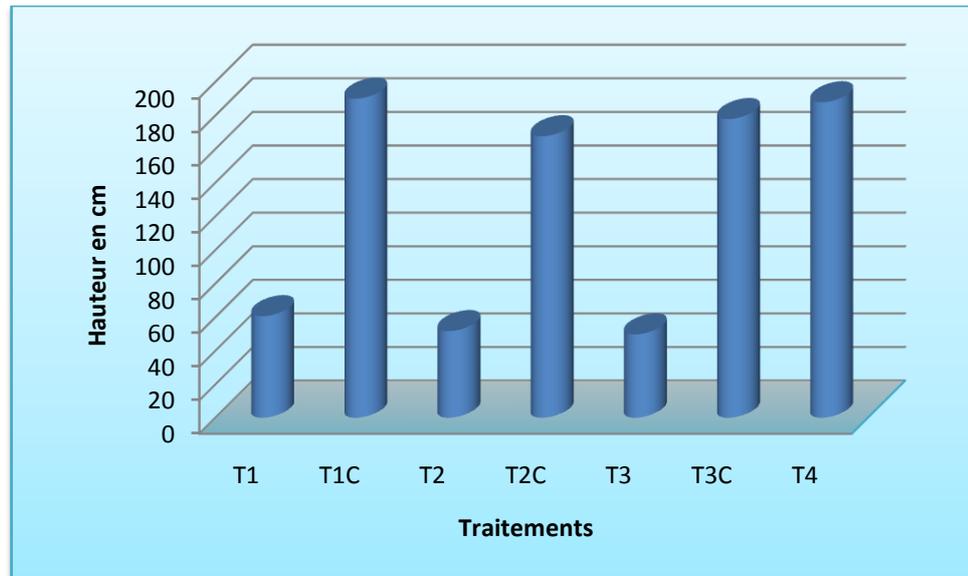


Figure 6.5 : Hauteur finale des plantes de concombre (en cm)

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative ($P < 0,001$) du facteur traitement sur la hauteur finale des plantes. Le test de NEWMAN et KEULS au seuil de 5% montre l'existence de 4 groupes homogènes (annexe 05).

Les résultats obtenus montrent que la meilleure performance a été enregistrée chez les plantes alimentées par les solutions salines corrigées (T1C, T2C, T3C) et la solution standard (T) avec une hauteur finale supérieure à 160 cm par rapport aux traitements salins naturels qui n'est que de 50 cm. Cette constatation peut être expliquée par l'équilibre ionique parfait des solutions salines corrigées, ainsi que leurs richesses en éléments fertilisants, notamment l'azote, le phosphore, le potassium et les oligo-éléments.

A l'inverse, les traitements salins naturels (T1, T2, T3) donnent des résultats moins importants résultant du déséquilibre ionique et aux déficiences en éléments fertilisants (macro et micro éléments), ainsi qu'à la présence d'une grande quantité de sel dans les milieux provoquant la diminution de la moyenne de la division et l'allongement cellulaire, et par conséquent une réduction de la croissance de la plante [112]

Ces résultats ont été confirmés par les travaux de [113] où ils ont montré que les deux principales conséquences de la salinité sont la réduction de la taille

des plantes, et l'apparition des nécroses foliaires dues aux concentrations plus élevées, signes d'une toxicité par excès d'accumulation du sel dans les feuilles.

6.1.3. Nombre de feuilles

Durant l'expérimentation, les feuilles sont dénombrées pour chaque traitement afin de calculer la moyenne. Les résultats sont représentés dans la figure 6.6

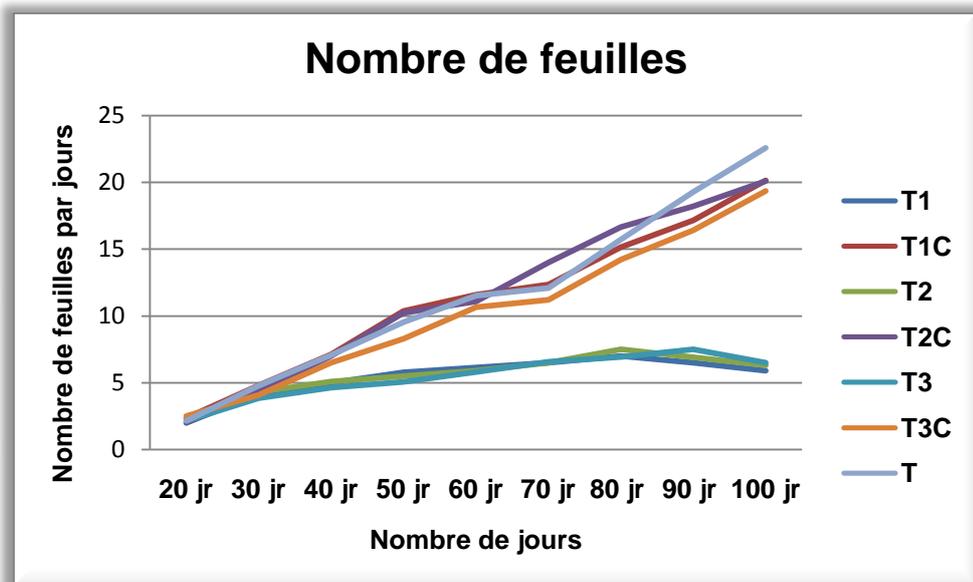


Figure 6.6 : Evolution du nombre de feuilles par traitement

Le test de NEWMAN et KEULS au seuil de 5% classe les sept traitements dans deux groupes A et B (annexe 06) :

Le nombre de feuilles le plus élevé est obtenu chez les plantes issues des traitements salins corrigés (T1C, T2C, T3C) et le traitement standard (T) avec un nombre varie de 18 à 23 feuilles par plante. Alors que les plantes stressées des traitements (T1 T2 et T3) on dénombre que 5 et 10 feuilles par plante.

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

une diminution de la croissance végétative, soit une réduction du nombre de feuilles.

La 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 [114].

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 CO₂ sous la contrainte saline.

Des résultats similaires ont été trouvés par [95], où ils ont montré que le sel provoque un effet défavorable à la formation des feuilles. Il diminue leur masse individuelle, et finit par entraîner leur dessèchement.

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

Aussi selon [110], ce résultat peut être dû 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.

6.1.4. Diamètre des tiges

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 sont présentés dans la figure 6.7

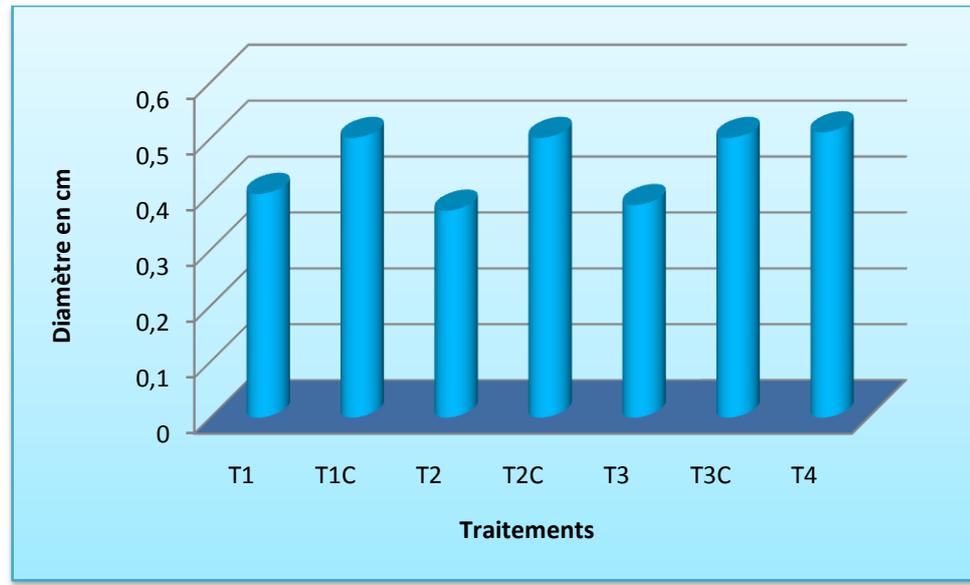


Figure 6.7 : Diamètre des tiges (en cm)

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative ($P < 0,001$), Le test de Newman-Keuls ($\alpha = 5\%$) classe les traitements testés en deux groupes homogènes (annexe 07).

Les mesures effectuées ont montré que les solutions salines corrigées (T1C, T2C et T3C) et le témoin (T) ont enregistré les plus gros diamètres avec des valeurs de 0.45 cm à 0.5 cm, et ce par rapport aux solutions salines naturelles qui ont présenté les résultats les plus faibles compris entre 0.3 cm et 0.38 cm.

Les carences en éléments essentiels dans les traitements salins naturels provoquent d'abord l'arrêt de la croissance des jeunes tissus, puis rapidement cet état de déficience s'uniformise dans les différents organes. Il en résulte des troubles des fonctions de la plante, entraînant inévitablement un ralentissement et un retard de croissance et entre autre des tiges de faible diamètre [3], entraînant l'apparition de phénomène de plasmolyse aboutissant ainsi à la formation de tiges moins rigides et donc peu développées.

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 [114].

6.1.5. Surface foliaire

La mesure de la surface foliaire consiste à peser le poids d'une feuille entière puis d'un morceau carré de la même feuille de 1 cm² de surface, et on fait les calculs avec la règle de trois pour obtenir la surface de la feuille. Les résultats sont présentés dans la figure 6.8

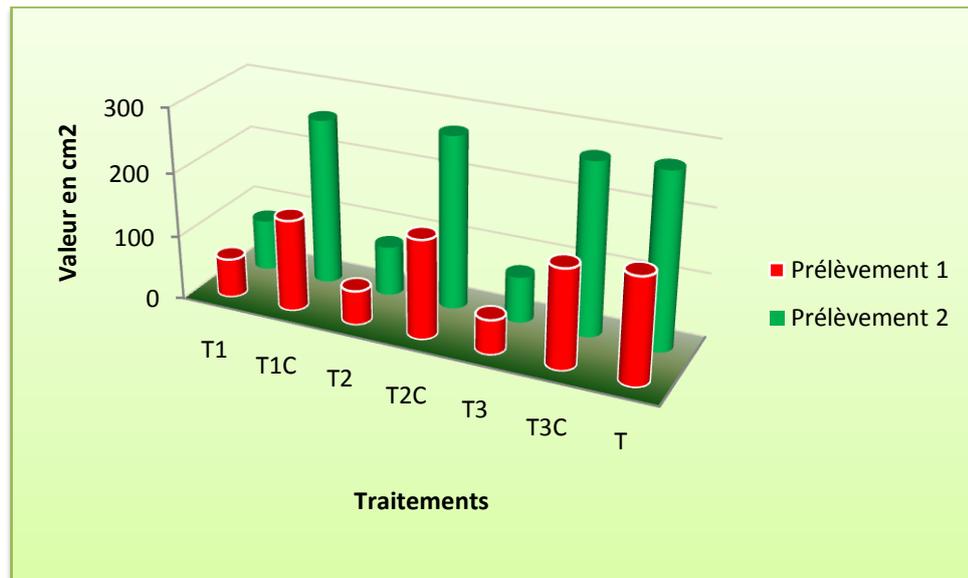


Figure 6.8 : Surface foliaire (en cm²)

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

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative ($P < 0,001$) du facteur traitement sur ce paramètre. Le test de Newman-Keuls ($\alpha = 5\%$) classe les traitements testés en trois groupes homogènes (annexe 08).

Les résultats obtenus durant les deux prélèvements effectués, montrent que la meilleure performance a été enregistré chez les plantes alimentées par les solutions salines corrigées (T1C, T2C, T3C) et la solution standard (T) avec des valeurs supérieure à 200 cm² par rapport aux traitements salins naturels qui donnent des valeurs inférieure à 80 cm².

Des résultats similaires ont été trouvés par [105], où ils ont montré que le sel provoque un effet défavorable à la formation des feuilles. Il diminue leur masse individuelle, et finit par entraîner leur dessèchement.

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

6.1.6. Matière fraîche produite

Le poids frais de la partie aérienne et racinaire de chaque plante, est pesé au moment de la coupe afin de calculer la moyenne. Les résultats sont présentés par la figure 6.9.

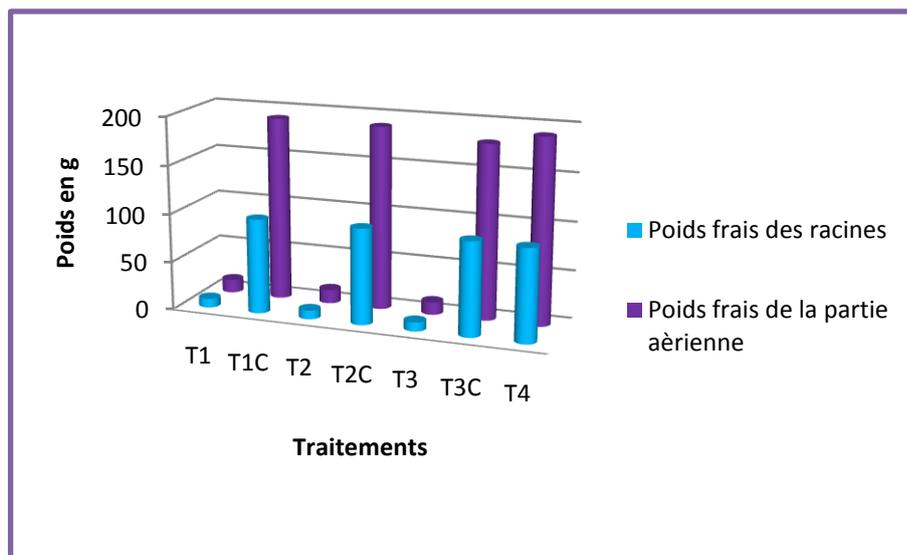


Figure 6.9 : Poids frais des plantes de concombre (en g)

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. En effet, le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir deux groupes homogènes A et B.

Les meilleures valeurs mesurées ont été enregistrées au niveau des traitements corrigés (T1C, T2C, T3C) et le témoin (T) dont la biomasse la plus élevée est celle du traitement (T).

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

Les plantes irriguées par les solutions salines naturelles (T1, T2 et T3), présentent une biomasse fraîche faible quelque soit le type de combinaison des sels dans ces trois traitements, soit à une régression de 90% par rapport à la biomasse produite par les plantes témoin (T).

Aussi, la biomasse fraîche des racines est influencée par le stress salin. En effet, les plantes issues des solutions salines naturelles, donnent un chevelu racinaire chétif. Ceci peut être expliqué par l'accumulation des sels nocifs au niveau des racines de la plante tels que le Na_2SO_4 , MgCl_2 et le NaCl .

L'effet de la correction des solutions salines naturelles améliore le développement du chevelu racinaire par rapport au témoin (T).

A cet effet [110], note également que la concentration élevée du sel dans le sol peut augmenté la pression osmotique qui devient égale ou dépasse celle de suc cellulaire des racines. Dans ce cas, le végétal subit un flétrissement temporaire qui peut devenir permanent en cas de déficit hydrique durable.

Pour ce qui est de la biomasse fraîche des tiges, on remarque que la salinité provoque une réduction du poids frais des tiges. Ce résultat est confirmé par [111] ; qui ont montré que la réponse à la salinité se manifeste généralement chez la plupart des plantes cultivées par une réduction de la croissance et du développement des plantes.

6.1.7. Matière sèche produite

Le poids sec des plantes est exprimé en gramme (g). La pesée des plantes a été effectuée après un séchage dans l'étuve à 75°C jusqu'à stabilisation des poids secs.

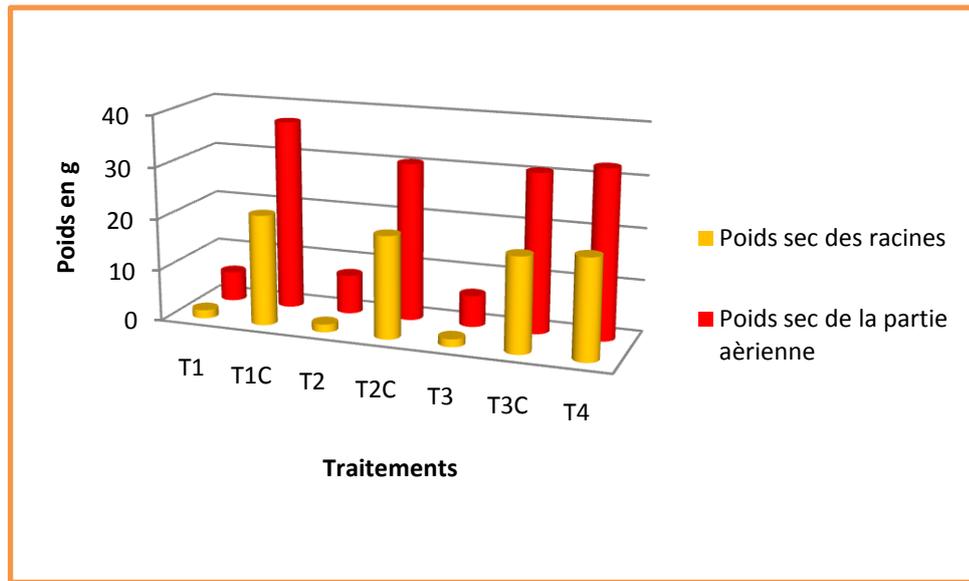


Figure 6.10 : Le poids sec des plantes du concombre en g

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative du facteur traitement sur la biomasse sèche des plantes. En effet, le test de Newman et keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir trois groupes homogènes A, B, C (annexe 11 et 12).

En se référant à la figure ci-dessus, nous pouvons conclure que la salinité manifeste un effet néfaste sur la matière sèche produite.

Les plantes issues des solutions salines corrigées révèlent un poids sec élevé par rapport à celui des plantes stressées, notamment au niveau du T1C (36.95 g).

La biomasse sèche produite par les plantes alimentées par les traitements salins corrigés est due essentiellement à la richesse de ces solutions en macros et en micro-éléments, et ayant un potentiel 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 [112], qui ont montré que la correction des eaux salines provoque l'augmentation de la biomasse sèche.

Les solutions salines naturelles (T1, T2, T3) révèlent des biomasses sèches les plus faibles, du à la présence des sels de différentes formes (NaCl , Na_2SO_4 , MgCl_2 et MgSO_4) dans les solutions d'irrigation testées ce qui engendrent une conductivité électrique et une pression osmotique élevées, et provoquent un

déséquilibre ionique et une mauvaise alimentation hydrominérale des plantes dans ces milieux,

La présence de NaCl dans le milieu, même à faible dose (50 mM), entraîne, après 21 jours de la culture, une baisse de la matière sèche des plantes (racines et parties aériennes) [195].

6.1.8. Taux de matière sèche en %

Le taux de la matière sèche est exprimé en % du poids frais. On peut le calculer par la relation suivante :

$$\text{Taux de matière sèche totale} = (\text{Poids sec total} / \text{Poids frais total}) * 100.$$

Les résultats sont présentés dans la figure 6.11.

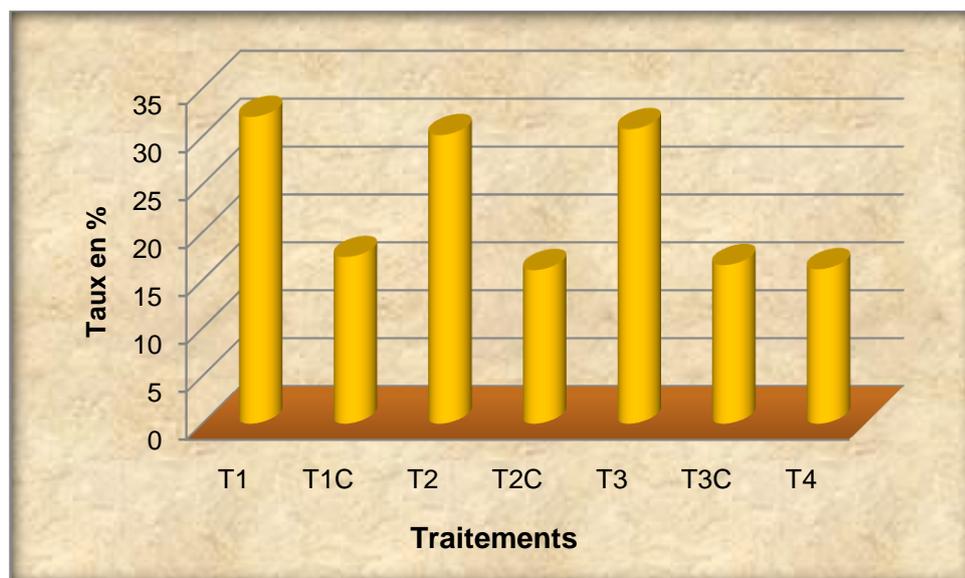


Figure 6.11 : Taux de matière sèche total

Le test de Newman et keuls au seuil $\alpha = 5\%$, fait ressortir deux groupes homogènes qui nous indiquent que les traitements testés sont approximativement similaires entre eux (annexe 13).

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

Le taux de la matière sèche le plus faible est enregistré par les plantes non stressées (T1C, T2C et T3C) et la solution témoin, qui sont classés dans le troisième groupe homogène (B). Ceci montre bien que la correction des solutions salines naturelles améliore l'état hydrique de la plante. En effet, l'alimentation hydrominérale équilibrée provoque une baisse du taux de la matière sèche de l'organe analysé.

Le premier groupe (A) représente les valeurs les plus élevées et sont issues par les traitements salins naturels et qui, indique que les concentrations salines élevées provoquent une sécheresse physiologique précoce ce qui rend de plus en plus difficile l'absorption d'eau et de nutriments par les plantes stressées.

Dans ce contexte, [113] confirment que les deux principales manifestations de la salinité sont la réduction de la taille des plantes et l'apparition des nécroses foliaires aux concentrations plus élevées, signes d'une toxicité par excès d'accumulation du sel dans les feuilles et les tiges ce qui rapproche le taux de la matière sèche à celui de la matière fraîche des organes végétaux.

6.2. Paramètre de production

6.2.1. Estimation du nombre de fleurs par plante

L'estimation de la floraison à été faite tous les trois jours. Les valeurs moyennes du nombre de fleurs par plante sont présentées dans la figure 6.12.

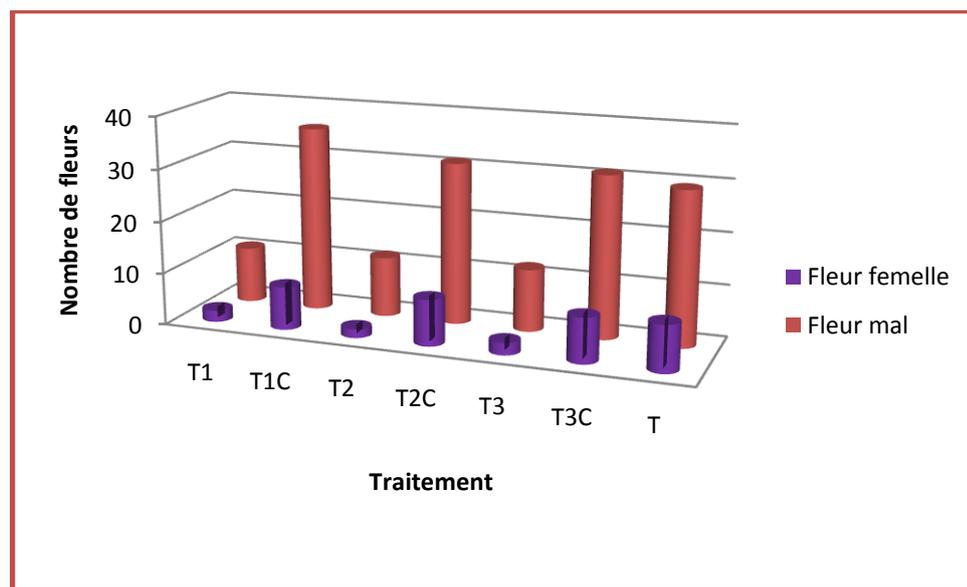


Figure 6.12 : Estimation du nombre de fleurs par plante

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative ($P=0$) (annexe 14 et 15) entre les différentes moyennes mesurées du nombre de fleurs produits mâles et femelles, en effet, le test de Newman et keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir deux groupes homogènes A et B.

La floraison des plantes a débuté le 18 janvier 2012 soit 75 jours après semis et a duré 30 jours. La floraison des plantes stressées a été plus réduite et constitue le deuxième groupe (B), par rapport aux plantes non stressées et qui sont classées dans le premier groupe (A).

Les fleurs mâles sont toujours plus nombreuses, et apparaissent environ une semaine avant les fleurs femelles. Le nombre de fleurs augmente progressivement au fur et à mesure du développement des plantes, pour atteindre son maximum le 5 février, à savoir 62 jour après semis.

On note que les premières fleurs qui sont apparues étaient observées au niveau des plantes alimentées par le traitement T1. Cette précocité de mise à fleurs est l'une des conséquences de la salinité. Les plantes issues des traitements (T1, T2, T3) faisant face au stress salin raccourcissent leur cycle de développements en produisant des fleurs qui se transforment vite en petits fruits et ce par rapport aux plantes alimentées par les eaux salins corrigées et le témoin.

Des résultats similaires ont été trouvés par [78], qui ont montré que le nombre de fleurs diminue avec l'augmentation de la salinité du milieu quelque soit le type de sel testé.

6.2.2. Taux d'avortement des fleurs

Les résultats relatifs au taux de fleurs avortées par plante sont présentés dans la figure 6.13 :

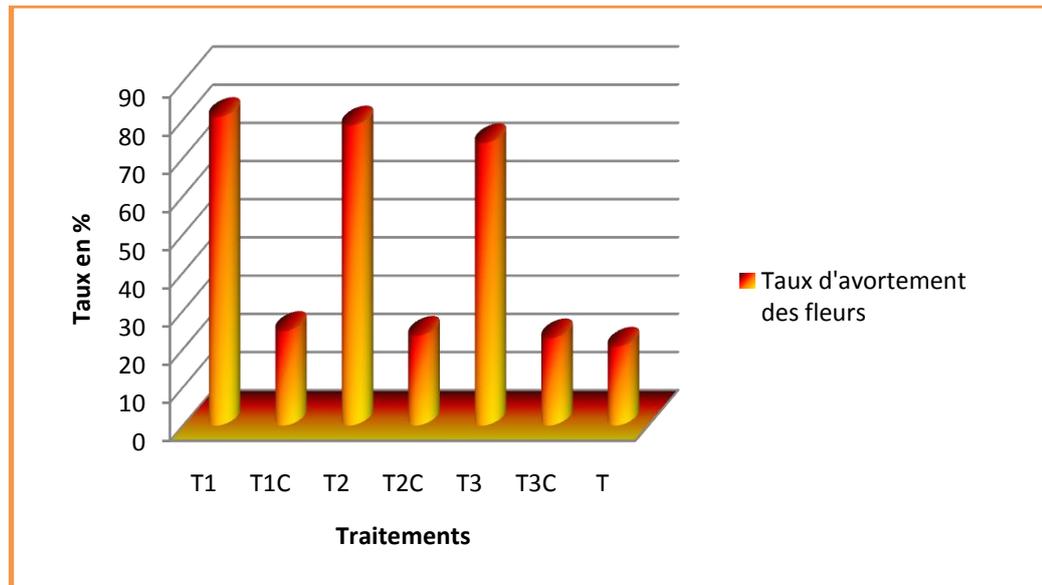


Figure 6.13 : Taux d'avortement des fleurs du concombre

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence significative entre les différentes moyennes mesurées du nombre de fleurs avortées. En effet, le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir deux groupes homogènes A et B (annexe 16).

Le premier groupe (A) constitué de valeurs les plus élevées (plus de 70%) représente les traitements salins naturels T1, T2 et T3. Ceci est l'une des conséquences de la salinité. En effet, les plantes stressées accélèrent leur cycle biologique ce qui se traduit par un faible taux de floraison et de nouaison accompagnée par un taux d'avortement élevé.

Le deuxième groupe (B) représente les traitements corrigés et le témoin avec des valeurs qui se situent entre 20 et 24%. Ceci peut être expliqué par un équilibre parfait entre les éléments nutritifs indispensables et surtout l'inhibition des sels nocifs par l'effet d'antagonisme d'autres ions bien identifiés.

6.2.3. Estimation du nombre de fruits par plante

Le comptage de ce paramètre est réalisé au niveau de chaque plante et par traitement.

Les résultats relatifs au nombre de fruits produits par plante sont présentés dans la figure 6.14 :

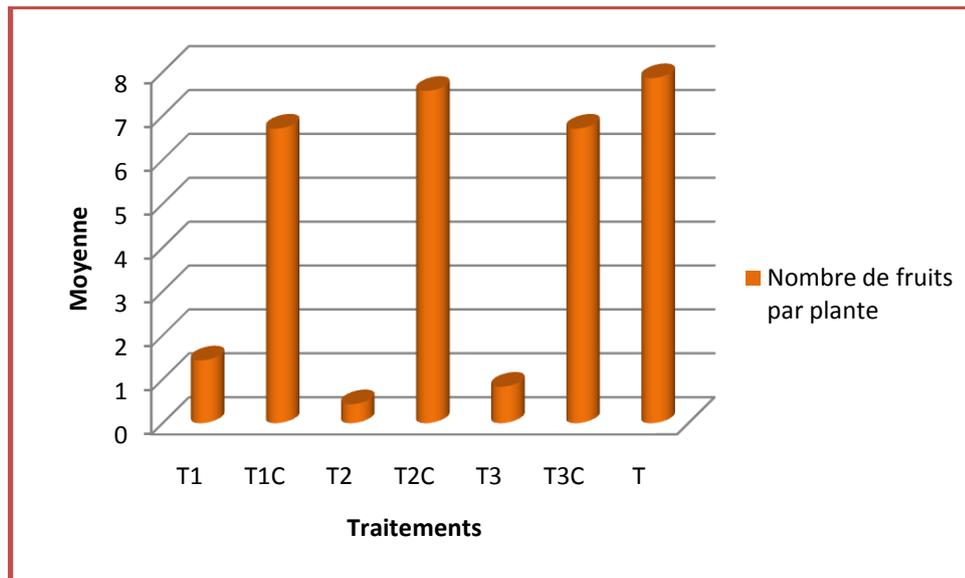


Figure 6.14 : Nombre de fruits par plante

L'analyse de la variance a révélé une différence hautement significative. En effet, le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir deux groupes homogènes A et B (annexe 16).

Les plantes issues des solutions salines naturelles (T1, T2 et T3) sont classées dans le groupe B. Elles manifestent les valeurs les plus faibles. Les fleurs nouées ne donnent que des petits fruits. Les stades grossissement et maturation ne sont pas atteints. De ce fait 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 [115], où ils montrèrent que le nombre de fruit dépend de l'alimentation hydrominérale et notamment de l'équilibre parfait de K^+ et de Ca^{++} .



Figure 6.15 : Aspect général des fruits du concombre récoltés

6.2.4. Poids frais des fruits par plante en g

Le poids frais des fruits par plante est obtenu par pesée de chaque fruit au moment de la récolte. Les résultats sont présentés en gramme dans la figure 6.16.

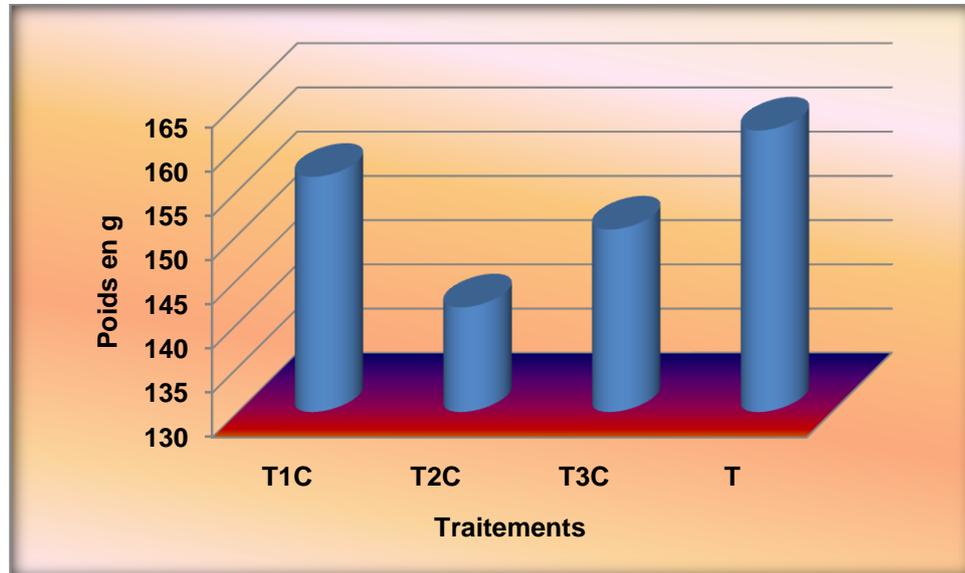


Figure 6.16 : Poids frais des fruits en gramme

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative ($p < 0.001$) entre les différentes moyennes mesurées. Le test de Newman et keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir quatre groupes homogènes (annexe 18).

Le groupe (A) représente les plantes témoins (T), qui donnent le poids frais de fruit le plus élevé avec 161.82 g. Les traitements corrigés T1C, T3C et T2C sont classés dans les groupes B, C et D respectivement, avec des valeurs moins importantes par rapport au témoin.

Les plantes alimentées par le traitement corrigé T2C où le sodium est lié totalement au chlorure, donnent le poids de fruits par plante le plus faible (141.83g).

Les plantes issues des solutions salines corrigées donnent les meilleures productions, ce qui peut être expliqué par la présence de l'élément potassium en qualité appréciable dans ces milieux alimentaires. Il est à noter que l'élément potassium favorise un bon développement végétatif et par conséquent accroît les organes de réserves ce qui permet une bonne production de fruit [110].

6.3. Estimation du bilan d'absorption hydrominérale

Les résultats relatifs au taux d'absorption hydrominérale sont présentés dans la figure 6.17 :

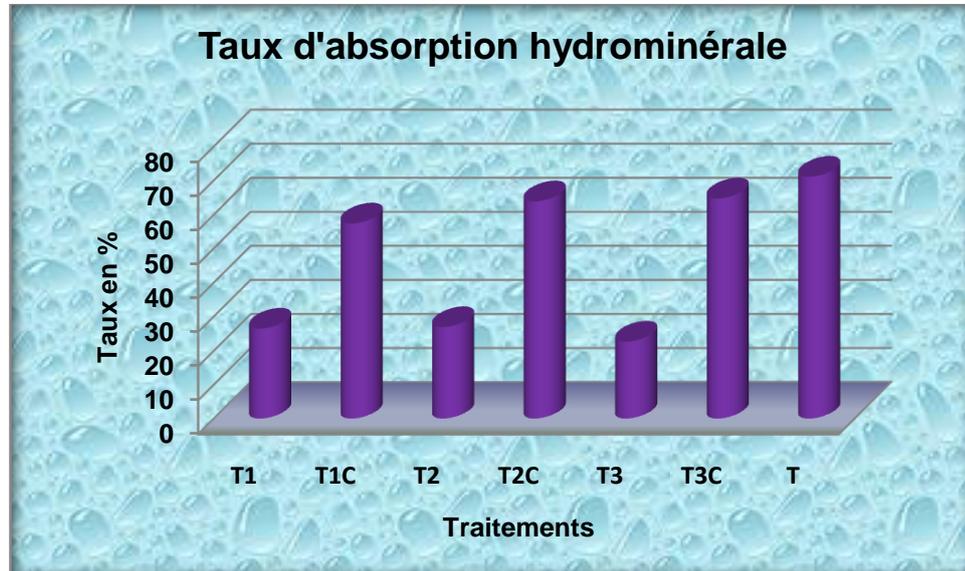


Figure 6.17 : Taux d'absorption hydrominérale

L'analyse de la variance a révélé une différence hautement significative entre les traitements sur le paramètre étudié. En effet, le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir trois groupes homogènes dont le témoin (T) prédomine avec une valeur de (71.02%), suivi par les traitements salins corrigés (T3C, T2C et T1C) qui sont classés dans le groupe (B), et enfin les traitements salins naturels constituent le groupe (C) avec les taux les plus faibles. Ceci en raison de déséquilibre nutritionnel des milieux salins naturels et du pH basique du milieu, provoquant la non assimilation de certains éléments nécessaires à la croissance des plantes.

Le concombre est une espèce sensible à la salinité, de ce fait la faible résistance des tissus à la déshydratation initiale entraîne une diminution de la capacité de l'absorption de l'eau. Le gradient du potentiel hydrique est négatif, la turgescence s'annule et les feuilles se fanent.

L'irrigation des plantes par des eaux salines réduisent la faculté des racines des plantes à puiser de l'eau du sol. Avec l'évaporation de l'eau, les sels de la solution du sol peuvent se concentrer à hauteur de 2 à 3 fois leur valeur initiale.

Ceci cause une augmentation de la pression osmotique de la solution du sol et rend encore plus difficile pour les racines l'extraction de l'eau du sol. C'est ce qu'on appelle une sécheresse physiologique [116]. L'alimentation en eau du végétal devient impossible et les diverses fonctions physiologiques étant alors bloquées, le végétal s'arrête de croître et flétrit [117].

On note que les pH et les CE des solutions de drainage sont plus élevés par rapport aux solutions mères. Ceci peut être expliqué par l'accumulation des sels non absorbés.

6.4. Paramètres biochimiques

6.4.1. Teneur de la chlorophylle A et B

Des dosages de la chlorophylle A et B ont été effectués, afin d'identifier leurs teneurs dans les plantes stressées et non stressées. Les résultats sont présentés par la figure 6.18.

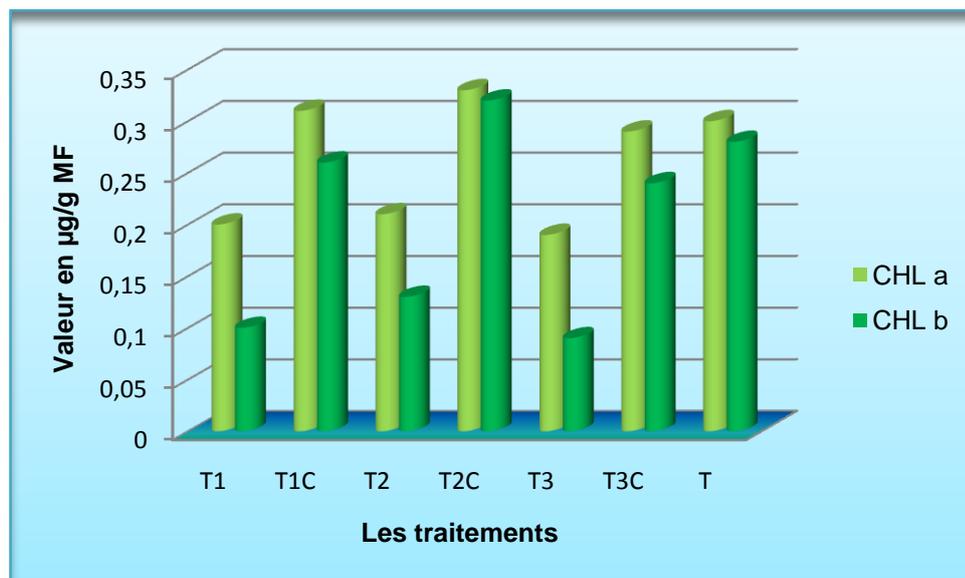


Figure 6.18 : Teneur en chlorophylle a et b en µg/g MF

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 a et b en présence du stress salin. Le test de Newman et keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir deux groupes homogènes. Le groupe(A) représente le témoin et les traitements salins corrigés où les teneurs sont les plus élevées (0,33 µg/g MF et 0,32 µg/g MF) respectivement pour la Chl a et la Chl b. Tous les

traitements salins naturels constituent le groupe (B) où les teneurs de chlorophylle a et b sont inférieures à celle du témoin.

Ces résultats montrent l'effet dépressif du sel sur les plantes du concombre, ce qui confirme l'étude menée par [118] qui ont rapporté la diminution du taux de chlorophylle sous des conditions de salinité, et que la diminution est significative chez les génotypes sensibles par rapport aux génotypes tolérants [119].

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 [57]. Les travaux de [120], ont montré que dans un milieu salin, la fluorescence chlorophyllienne (B) est affectée par des perturbations au niveau des chloroplastes.

6.4.2 . Teneur en proline

6.4.2.1 . Dans les tiges et les racines

Les résultats relatifs du dosage de la proline dans les racines et les tiges sont présentés dans les figures 6.19 :

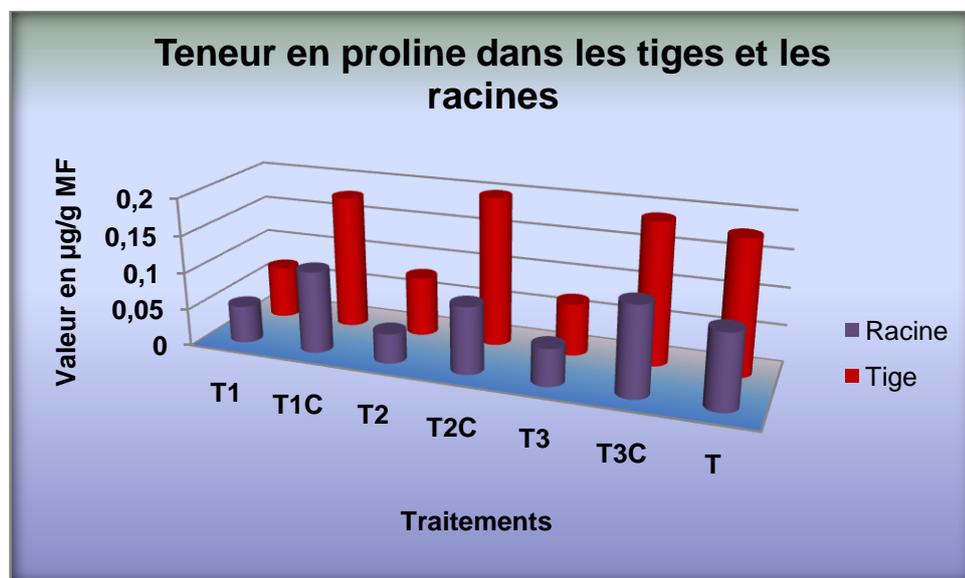


Figure 6.19 : Teneur en proline dans les tiges et les racines en µg/g MF

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative (annexe 23) entre les différentes moyennes mesurées de la teneur de

la proline dans les racines et les tiges de l'espèce étudiée. Le test de Newman et keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir deux groupes homogènes.

Le premier groupe (A) renferme le témoin et les traitements salins corrigés pour les deux organes analysés. Les teneurs les plus faibles du taux de proline sont enregistrées au niveau des plantes qui ont été irriguées par les traitements salins naturels et sont classées dans le groupe (B).

Ce résultat nous indique que la partie aérienne et la partie souterraine de la plante accumulent la proline de la même manière sous l'effet des différents traitements.

La correction 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 [121].

6.4.2.2. Dans les feuilles

La teneur en proline dans les feuilles a été déterminée à trois niveaux (apical, médiane et basal). Les résultats sont présentés dans les figures 6.20.

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative (annexe 21) entre les différentes moyennes mesurées de la teneur de la proline dans les feuilles. Le test de Newman et keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir trois groupes homogènes.

La teneur en proline accumulée dans les feuilles atteint les valeurs les plus importantes pour les traitements salins corrigés et ceci quelque soit le niveau de prélèvement de la feuille.

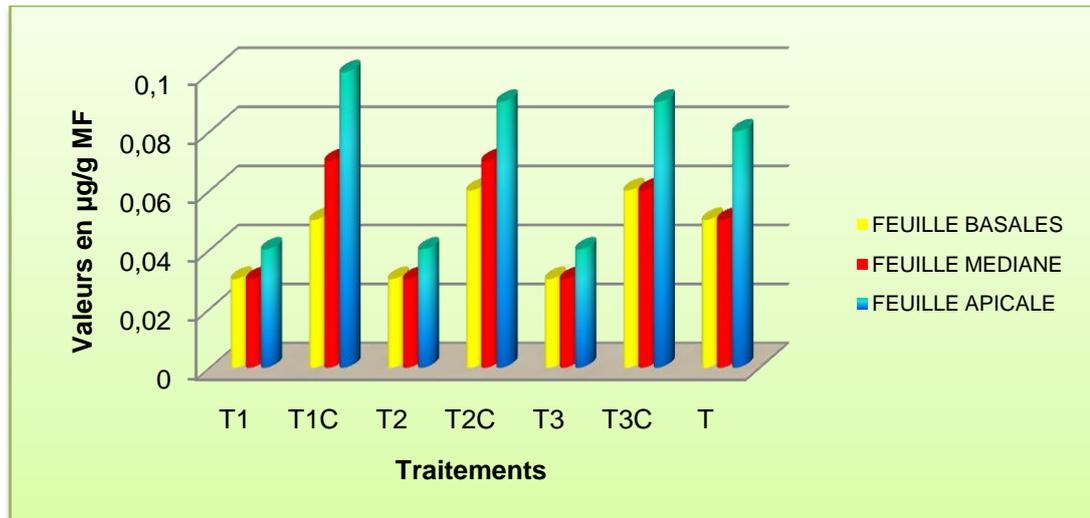


Figure 6.20 : Teneur en proline dans les feuilles en µg/g MF

Il est à rappeler que les plantes irriguées par les traitements salins corrigés produisent plus de proline que celles irriguées par les eaux salines naturelles, les milieux salins corrigés renferment des concentrations en sels plus fortes que celles des traitements salins naturels. Par conséquent, l'osmolarité externe est donc plus forte que le milieu interne de la plante, ce qui nécessite un réajustement interne par une production accrue de proline afin de permettre la survie de la plante par une absorption hydrominérale correcte.

Par contre, 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 [122], 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.

6.4.3. Teneur des sucres solubles dans les feuilles

Les résultats correspondant au dosage des sucres solubles sont présentés par la figure 6.21.

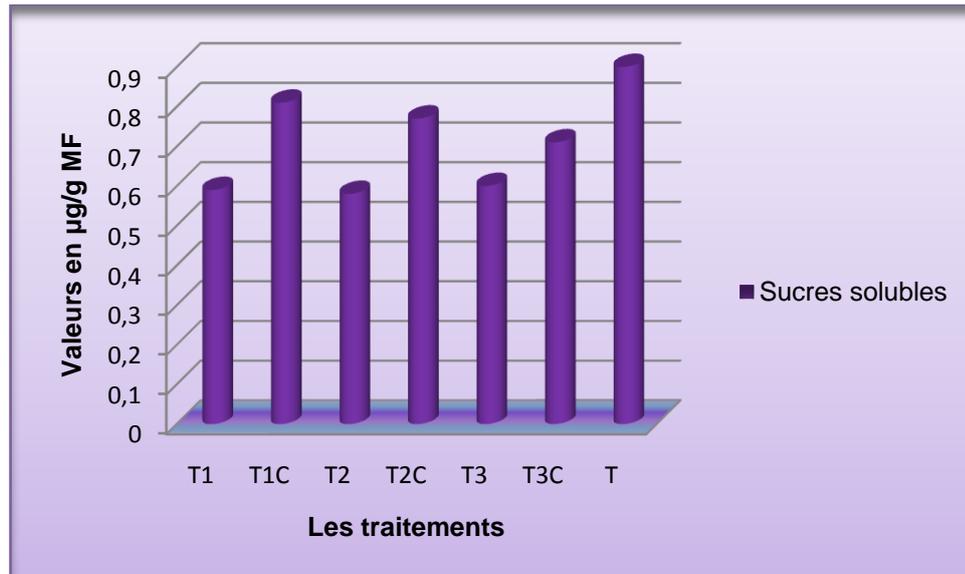


Figure 6.21 : Teneur en sucres solubles en µg/g MF

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative $P=0$ (annexe 22) 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 deux groupes homogènes.

Le premier groupe (A) renferme le témoin et les traitements salins corrigés dont les valeurs sont les plus forts (0.90 µg/g MF), tandis que le 2^{ème} groupe (B) renferme les traitements salins naturels dont les valeurs sont les moins importantes.

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 [61] qui ont montré que le contenu foliaire en sucres solubles est diminué lorsque la salinité des eaux d'irrigation devient très importante.

6.5. Discussion générale

Au cours de notre travail nous avons essayé de définir l'effet de la salinité sur le développement et la croissance des plantes de concombre cultivées en hors-sol, vis-à-vis d'une irrigation par sept traitements dont trois sont des solutions salines naturelles de Oued Chélif, et ces trois eaux salines corrigées, et une solution standard (le témoin).

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 avec les traitements salins naturels conduit à l'augmentation de la salinité dans le milieu racinaire. Le déséquilibre ionique accentue l'effet de la salinité au niveau des traitements salins naturels T1, T2 et T3 ce qui limite la croissance des plantes de concombre, 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 des traitements salins naturels T1, T2 et T3 affecte négativement la croissance des plantes, plus particulièrement en réduisant la hauteur des plantes, le taux de floraison ainsi que le taux d'absorption hydrominérale à cause des troubles physiologiques et en réponse à la toxicité des sels. L'abaissement de la matière sèche observée au niveau des traitements salins naturels T1, T2, T3 est dû essentiellement à la réduction de l'indice foliaire en raison de la chute précoce des feuilles.

A l'inverse, les traitements salins corrigés T1C, T2C, T3C manifestent une augmentation significative des paramètres de croissance précités, suivie par une production de matière sèche plus importante au niveau de la partie aérienne, en raison d'une adsorption hydrominérale parfaite et convenable. Aussi, il a été noté également qu'au niveau des traitements salins naturels un faible développement racinaire, ce qui a entraîné une chute du rendement en fruits. Des observations similaires ont été faites par [108]

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.

L'effet de la salinité sur la croissance des plantes a été mis en évidence par plusieurs travaux qui expliquent que le blocage de la croissance est due à l'inhibition de la photosynthèse au niveau des chloroplastes en particulier par l'accumulation du sodium et des chlorures au niveau des jeunes feuilles qui limitent le mouvement des stomates et de la photosynthèse et ce sur différentes cultures (poivron, tomate, concombre, haricot) [67].

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

L'inhibition du transport du magnésium (Mg), à partir de la racine vers les feuilles stoppe la formation de la chlorophylle (A et B) et donc de la photosynthèse. Il ya apparition de tâches vertes claires sur les feuilles basales suivi d'un changement de l'aspect des feuilles. L'accumulation des sels dans les milieux salins naturels T1, T2 et T3 entraîne une toxicité partielle vis à vis des plantes en début de culture. Au fur et à mesure de développement végétatif, on remarque plus ou moins une adaptation des plantes à ces milieux de culture, néanmoins, elles finissent par se dessécher.

La répartition de la proline dans les différentes parties de la plante est utilisée pour expliquer la tolérance des végétaux aux sels. Le concombre pouvant survivre à certains seuils de salinité a une aptitude supérieure à accumuler une certaine quantité de proline dans les tiges et leurs tissus foliaires [113].

La teneur en proline est beaucoup plus importante au niveau des traitements salins corrigés dans les différents organes analysés. Aussi ; nous remarquons que la teneur en proline et en sucres solubles, est importante uniquement au niveau des feuilles et des tiges sous l'effet de la salinité, ce qui confirme sa forte mobilité à l'intérieur de la plante.

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.

CONCLUSION

Notre travail a porté sur l'évaluation de l'effet des eaux salines non conventionnelles sur le comportement des plantes du concombre *Cucumis sativus* L. variété super-marketer et de mettre au point l'action du sel sur la production de la chlorophylle et de la proline chez ces plantes qui s'avère être influencée.

Ce travail nous a permis de déterminer l'influence de six traitements salins dont trois naturels et trois corrigés qui sont comparés par un témoin qui est une solution nutritive standard sur les plantes du concombre cultivées en hors-sol.

L'étude des différents paramètres de croissance et de développement mesurés au stade final de culture à savoir (100 jours après semis) nous a permis de constater que l'utilisation des solutions salines naturelles dans l'irrigation des plantes de concombre limite considérablement la croissance et le développement de ces dernières. Ceci est dû essentiellement au taux de salinité élevé et au désordre ionique dans les milieux alimentaires naturels, ainsi qu'à l'absence des éléments nutritifs utiles pour leur croissance notamment l'azote, le phosphore et le potassium, ce qui a conduit à des taux d'avortement allant jusqu'à 100%.

La correction de la solution saline naturelle a amélioré considérablement les paramètres étudiés durant tous les stades de culture. Ceci est dû principalement à l'équilibre ionique parfait réalisé au niveau de ces solutions et à la présence des macros et micros éléments utiles au développement des plantes de concombre. En effet, nous avons obtenu des plantes vigoureuses avec un nombre de feuilles élevé, et un chevelu racinaire développé, une production importante, et une absorption hydrominérale optimale. Ceci, nous a permis de conclure que la correction des eaux salines joue un rôle prépondérant sur la conduite des plantes du haricot, tout en limitant les dommages provoqués par les sels nocifs en cours de culture.

Les teneurs en matière sèche, et en sucres solubles, sont significativement augmentés au niveau des plantes issues des traitements salins corrigés par rapport aux traitements salins naturels, qui représentent une accumulation accrue des ions au niveau des tissus et une diminution de la biomasse fraîche.

La réponse du végétal face à un stress salin se manifeste par le déclenchement du métabolisme secondaire et par la synthèse des osmo-régulateurs tel que la proline qui agit directement sur l'équilibre osmotique qui assure la vie du végétal. La teneur en proline, même assez faible, suffit d'assurer le réajustement de l'équilibre ionique. La teneur en proline est beaucoup plus importante au niveau des traitements salins corrigés dans les différents organes analysés.

Les teneurs en chlorophylles (A et B) sont des paramètres qualitatifs du fait qu'elles peuvent nous renseigner sur le degré de tolérance de la culture du concombre à la salinité.

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

Enfin, ces résultats seront d'un apport important pour participer à une meilleure conduite des cultures maraichères dans les zones arides où la qualité des eaux fournies pour l'irrigation est impropre ou non conventionnelle à l'irrigation. Cependant, des études à long terme doivent être entreprises afin de justifier le motif environnemental pour l'utilisation de ces eaux salines sans le risque d'accentuer le phénomène de salinisation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Amane M. I. V., Vieira C., Novais R. F., Araujo G. A. A. (1999): Nitrogen and molybdenum fertilization of the common bean crop in the zona da mata region, Minas Gerais state, Brazil. *Revista brasileira de ciência do solo*. Vol. 23, no3, pp. 643-650
2. Parida A.K., Das A.B. (2005): Salt tolerance and salinity effect on plants: review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol.60, pp. 324-349.
3. SNOUSSI, S.A., 2001« Valorisation des eaux salines pour la nutrition des plantes cultivées », Thèse de doctorat. INA, Alger, 152p.
4. Denden M., Bettaieb T., Sahli A., Mathlouthi M. (2005): Effet de la salinité sur la fluorescence chlorophyllienne, la teneur en proline et la production florale de trois espèces ornementales. *Tropicultura*. Vol. 23 N°4, pp220-226
5. Bray E.A., Bailey-serres J., Weretilnyk E. 2000: responses to abiotic stresses. *American society of plants physiologists* Rockvill MD pp 1158-1248
6. Wang, W.X., Vinocur, B., Shoseyov, O. and Altman, A. (2001): Biotechnology of plant osmotic stress tolerance: physiological and molecular considerations. *Acta Hort* 560: 285-292
7. BESRI M. EFFET DE LA SALINITE SUR LE DEVELOPPEMENT DES MALADIES DES PLANTES
8. CHAUX, C et FOURY, C. « Production légumière: Légumineuses potagères, Légumes fruits », Tome 3 , Ed Tec et Doc, Lavoisier, 1994, 563p.
9. BRUN. R, MONTARON.C, 1987 : Influence de la concentration de la solution nutritive sur la réaction de la plante. Edition INRA, paris p165.
10. Senal J., Fraselle J., Impens R., Kummert J., Lepoivre Ph., Meulmans M., Seilleur P.,Vandevéken J., et Viseur J. (1993). *Traité de pathologie végétale*. Gembloux.

11. Tanji K.K.(1996). Agricultural salinity assessment and management. *Am. Soc. Of Civil Eng .New York.*
12. DOUAOUI A.1, T. HARTANI T.² Impact de l'irrigation par les eaux souterraines sur la dégradation des sols de la plaine du Bas-Chélif 1 Université Hassiba Ben Bouali, BP .151. Chlef 02000, Algérie 2 INA, Institut national agronomique 16200 - Hacène Badi - El Harrach, Alger, Algérie
13. LES SOLS SALINS EN ALGERIE : INSTITUT NATIONAL DES SOLS, DE L'IRRIGATION ET DU DRAINAGE juillet 2008
14. L'agriculture durable et la conservation des sols 2009 Communautés européennes. Reproduction autorisée, moyennant mention de la source Mai 2009
15. Wolfram K. et BOURHANE A. 2010 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
16. De Franchis L., 2003 : Les menaces sur les sols dans les pays Méditerranéens page44 Ce rapport a été préparé par Laura de Franchis (Plan Bleu
17. SIRGUEY C., LEGLIZE P. 2011 : 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
18. Anon. 1999. Les voies de penetration du sel dans le milieu environnant. Guide de gestion des sels de voirie, Decembre. id_article=5056.
19. Pinaras, V, Tsihrintzis, V.A, Petalas, C, et Ouzounis, K. 2010. Soil salinization in the agricultural lands of Rhodope District, northeastern Greece. *Environmental Monitoring and Assessment*, Juillet, Springer Science + Business Media B.V. 2009 edition.
20. Essington, Michael E. 2000. Soil and water chemistry : an integrative approach. CRC press.
21. 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.
22. Foury F, Roganti T, Lecrenier N, Purnelle B (1998) The complete sequence of the mitochondrial genome of *Saccharomyces cerevisiae*. FEBS Lett 440:325–331
 23. LOUIS, (1979)., Cultures légumières. Ed. G.B.BAILLIERE et fils, pp167-171
 24. Bayuelo-Jiménes et al, 2002 in GAMA et al, 2007., Physiological response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings to salinity stress. African Journal of Biotechnology Vol. 6 (2).
 25. BEZPALY., Les plantes cultivées en Afrique occidentale .Ed. MIR. Moscou. 1984, 104P.
 26. GAMA et al, 2007. Physiological response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings to salinity stress. African Journal of Biotechnology Vol. 6 (2), pp. 079-088
 27. Miller, S.A., R.C. Rowe et R.M. Riedel. 1996. Blossom-end rot of tomato, pepper and eggplant. Extension factsheet. The Ohio State University Extension. <http://ohioline.ag.ohio-state.edu/lines/facts.html>
 28. MOUSTEFAOUI R., 2003 : Effet d'un engrais liquide fertiactyl sur le stress saline en milieu hydroponique sur une culture de tomate. Thèse Ing. Agro. INES. Blida.95p.
 29. Tail L. et Zeiger E., 2006 Plant physiology fourth edition, Sinauer Associates,inc,publishers
 30. Lepoivre P., 2003 : Phytopathologie: bases moléculaires et biologiques 1ère édition, De boeck,
 31. Jabnourne M., Adaptation des plantes a l'environnement: le stress salin 2007 2008 avec la collaboration de François Ibanez (Plan Bleu) pour la cartographie. Directeur de la publication : Guillaume Benoit (Directeur du Plan Bleu)
 32. Ludovic L., 2010 : Le sel: chlorure de sodium NaCl, , <http://plantesdeborddemer.com/?p=50>
 33. Hayashi et Murata, 1998 in Parida et Das, 2005., NaCl stress causes changes in photosynthetic pigments, proteins and other metabolic components in the leaves of a true mangrove, *Bruguiera arvilla*, in hydroponic cultures. J. Plant Biol. 45, 28–36

34. GREENWAY, H et MUNS, R., 1980 "Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes", Ann. Rev. Plant Physiol. 31, , pp. 149-190
35. Wang et Nil, 2000., Expressed sequence tags from *Thellungiella halophila*, a new model to study plant salt-tolerance. Plant Science. Vol. 166, N°3, pp. 61-71.
36. Chartzoulakis et Klapaki, 2000., Response of two green house pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. Sci. Hortic. 86, 247–260.
37. Mohammad et al, 1998., Tomato root and shoot responses to salt stress under different levels of phosphorus nutrition. J. Plant Nutr. 21, 1667–1680.
38. Meloni D.A., Oliva M.A., Ruiz H.A., Martinez C.A. (2001): Contribution of proline and inorganic solutes to osmotic adjustment in cotton under salt stress. J. Plant Nutr. 24, 599–612.
39. Parida A., Das P. 2002: NaCl stress causes changes in photosynthetic pigments, proteins and other metabolic components in the leaves of a true mangrove, *Bruguiera arvilla*, in hydroponic cultures. Jurnal Plant and Biology, pp: 28–36.
40. Agriculture et agroalimentaire Canada. 2006. Les légumes : situation et tendances au Canada 1999-2000. Site Web : <http://www4.agr.gc.ca/AAFC-AAC/display-afficher.do?id=1184692853496&lang=e>
41. Bayelo-Jiménez S.J., Debouk D.G., Lynch J.P. (2003): Growth, gas exchange, water relations and ion composition of *Phaseolus* species grown under saline conditions. Field crop research. Vol.80, Issue.3, pp.207-222.
42. Batanouny KH., 1993.-Eco physiology of halophytes and their traditional use in the Arabworld. Advanced Course on halophyte utilisation in Agriculture, 1 2 Sept., Agadir, Marocco
43. Anonyme: <http://fr.wikipedia.org/wiki>
44. Ben Nacer M., Cheikh-M'hamed H., Maalem S., Rahmoune C. (2005): Les indicateurs précoces de la tolérance à la salinité 1^{er} Colloque Euroméditerranéen de Biologie Végétale et Environnement, Annaba 28-30 Novembre 2005.
45. Rontein D, G. Bass and A.D. Hanson., 2002.- Metabolic engineering of osmoprotectants accumulation in plants. Metab. Engineer, 4, p.357-384.

46. Gül, A., Kidoğlu, F., Anaç, D., "Effect of nutrient sources on cucumber production in different substrates", *Scientia Horticulturae* 113, (February, 2007), 216 – 220.
47. Goldhirs AG, B. Hankamer & SH.Lirs.,1990.- Hydroxy-proline and proline content and cellwall of Sunflower,Peanut and Cotton under salt stress.*Plant Sci.*,69,p.27-32.
48. Calu G. (2006): *Arabidopsis thaliana* et *Thellungiella halophila*, plantes modèles dans l'étude du stress salin. Spectro Sciences.
49. Bellinger Y.,A.Bensaoud & F.Larher.,1989.-Physiology breeding of winter cereals for stress environments Colloque,N°3, Montpellier,France.
50. Greenway H. & R. Munns.,1988.- Mechanims of salt tolerance in non halophytes . *Annual Review of Plant Phyiology*,25,149-190
51. Chen S., Li J., Wang S., Huttermann A., Altman A. (2001): Salt, nutrient uptake and transport, and ABA of *Populus euphratica*; a hybrid in response to increasing soilNaCl. *Trees-Struct. Funct.* 15,186–194.
52. Khan M.A., Shirazi M.U., Ali Khan M., Mujtaba S.M., Islam E., Mumtaz S.Shereen A., Yasin Ashraf M. (2009): Role of proline, K/Na ratio and chlorophyl content in salt tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Pak. J. Bot.*, 41(2): 633-638.
53. Kaur N., Gupta A. K. (2005): Signal transduction pathways ander abiotic stress in plants. *Current Science*, Vol.88, N°11, pp.1771-1779
54. HOPKINS W., 2003 : « Physiologie végétale », 2^{eme} édition, Ed de boeck et Larcier s.a, Bruxelles, 514p.
55. Katterman F. (1990): *Environmental injury to plants*. Ed. Academic Press Inc. P.264
56. Hochmuth G., Maynard D., Vavrina C., Hanlon E., Simonne E (1991): *Plant Tissue Analysis and Interpretation for Vegetable Crop in Florida*. University of Florida. IFAS Extension
57. Agastian P., Kingsley S.J., Vivekanandan M. (2000): Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes. *Photosynthetica* 38, 287–290.
58. El Midaoui M., Benbella M., Aït Houssa A., Ibriz M., Talouizte A. (2007): Contribution à l'étude de quelques mécanismes d'adaptation à la salinité

chez le tournesol cultivé (*Helianthus annuus* L.). Revue HTE N° 136, pp.29-34.

59. Kreamer et Kozlowski, 1979 in Aloui-sousse et al, 1994
60. Harrouni C., 1998.- 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, 63 p.
61. Ben Khaled A., Morte Gomez A., Honrubia M., Oihabi A. (2003): Effet du stress salin en milieu hydroponique sur le trèfle inoculé par le Rhizobium. Agronomie. Vol.23, N°7, pp. 553-560.
62. Bajji M. 1999. 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.
63. Loretto E., De Bellis L., Alpi A. & Perata P. 2001. Why and how do plant cells sense sugars? Ann Bot 88 : 803 - 812 p.
64. Kinet, J.-M., Benrebaha, F., Bouzid, S., Lahacac, S. et Dutuit, P. (1998) Le réseau Atriplex: Allier biotechnologies et écologie pour une sécurité alimentaire accrue en régions arides et semi- arides. Cahier d'agriculture. Vol. 7, pp. 505-509
65. Free J.B. 1993. *Insect pollination of crops*. 2nd ed. Academic Press. London, 152 p.
66. Connor L.J., Martin E.C. 1970. In Delaplane K.S., Mayer D.F. 2000. *Crop pollination by bees*. CABI Publishing, Wallingford, UK and New York, 352p.
67. 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 pg 210.211.212
68. Elmhirst J. 2006 : 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 Canada August 2006 Centre pour la lutte antiparasitaire 960, avenue Carling, Édifice 57 Ottawa (Ontario), CANADA K1A 0C6 pg (5-9)
69. E. Brajeul, M. Javoy, B. Pelletier, M. Letard, 2001 : Le concombre. Ctil éditions, 349PP.

70. L. Emberger, *Traité de Botanique Systématique*, vol. 2, Masson & Cie, 1960, p. 1280-97
71. DSASI 2001. Direction des Statistiques Agricoles et des Systèmes d'Information, Ministère de l'Agriculture, Série B (2001), 43 P
72. Mc Gregor S.E. 1976. *Insect pollination of cultivated crops plants*. US Department of Agriculture, Agriculture Handbook No 496, Washington, 411 p
73. Kolev, N., " Les cultures maraîchères en Algérie ", Tome I, "légumes fruits", I.T.C.M.I. , Staouili, (1976), 6-33.
74. Herbst, ST 2001 *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
75. FAO, 2002 : Le sel de la terre: un danger pour la production vivrière. Pp 1.3
76. Skiredj, A., Elattir, H., Elfadi, A., (2005) "La culture du concombre", Inst. Agr. Vét., HassanII, , 1-2.
77. Messiaen, C.M., Blancard, D., Rouxel, F., Lafon, R., 1991 : Les maladies des plantes maraîchères, INRA, Paris, FR.
78. L'hydroponie ou culture hydroponique » maladies des plantes, agriculture et écologie
79. La culture hors sol : une alternative de production Département de la Recherche Agronomique Appliquée ~ Service du Développement Rural B.P 100 Papeete – Tahiti
80. S. SCETTRINI et G. JELMINI : Test de différents substrats pour la culture hors sol de la tomate Agroscope RAC Changins, Centre de Cadenazzo, CH-6594 Contone pg 289
81. Michaud, N. et Boudreau, M.E., "La culture hydroponique", Agriculture Canada Publication, Ottawa, (2001), 52p.
82. Resh, H.M. 1989. *Hydroponics foodproduction. Woodbridge Press publishing company*. Santa Barbara, California 93160, U.S.A. 462 pages.
83. ZIEGLER, 2008. L'hydroponie ou culture hydroponique » maladies des plantes, agriculture et écologie. P16.
84. Papadopoulos, A.P. 1991. *La culture des tomates en serre sur sol et sans sol*. Agriculture Canada. Publication 1865/F.

85. URBAN L, 1997 : Introduction à la production sous serre, Tome II. Ed. Maison Rustique. Paris. p180.
86. Lesaint C.(1987). Analyse critique des systèmes de culture hors sol avec et sans recyclage des solutions. Dans "Les cultures hors sol"; édité par Dr. Blanc; INRA ; 145 rue de l'université-7 5007 Paris.409~415
87. BLANC D., 1987 : Les cultures hors sol, Ed. I.N.R.A, Paris, 404p.
88. COIC Y et LESAINC C., 1975 : La nutrition minérale et en eau des plantes en horticulture avancée. Doc. Tech. S.C.P.A, N°23, Versailles, 21p.
89. ZUANG H. et al., 1986 in LEMAIRE F, DARTIGUES A, RIVIERE L.M et CHARPENTIER S., 1989 : Les cultures en pots et en conteneurs, Ed. I.N.R.A., Paris, 184p.
90. FEVREAU, 1987 : cultures en containers. Revue horticole. 33. pp17-19
91. G. TAKSIR : Culture Hydroponique Les échos du Chanvre - Automne 96 / N°4 - P 11
92. Brun.R , Chmlle. L; (1995).Water and nitrate (N03) absorption kinetics in the nycthemeral cycle of *Rosa hybrida* grown in greenhouse in recirculation solution. Plant NutritioVno I 19; p 1.
93. De Villele O.; (1974) Besoins en eau des cultures sous serre; essai de conduite des arrosages en fonction de l'ensoleillement. ActaH orticulturaeN" 35: pp 123-129.
94. FAO, 2005 : 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 email : pintrant@intnet.ne www.fao.org/ag/agl/fldproj.stm
95. Rakotondradona R. Liste compilée des lectures obligatoires Lecture 1: La nutrition minérale des plantes. Université d'Antananarivo (Madagascar
96. R. NOUAIM : 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
97. Soltner D. 2001 : Les bases de la production végétale – Tome III – La plante et son amélioration; Collection Sciences et techniques agricoles.
98. Morard P. ; 1995 ; Les cultures végétales hors sol; Publications Agricoles.

99. Baeyens J. ; 1967 Nutrition des plantes de culture ; editions Nauwelaerts
100. BINET P. et BRUNEL J.P., 1967 : biologie végétale. Tome I : physiologie végétale. Ed. Doin. Paris. pp379
101. COIC Y et LESAIN C., 1983 : Cultures hydroponiques. Ed. Maison rustique. Paris. 113p.
102. Brun. S et Settembrine. A, 1994 : Ross hors-sol sous serre, gestion de la nutrition minérale et hydrique ; P.H.M. R vue horticole N°345. 25-29.
103. LAFON J.P, THARAUD-PRAYER C et LEVY G., 1974 : « Biologie des plantes cultivées » Tome 1, 2. Ed Technique et Documentation, 1996, 233p. Solutions nutritives équilibrés », Ed INRA, Versailles, 118p.
104. VILAIN M., 1997 : «la production végétale. La maîtrise technique de la production », Volume2, 2^{ème} éditions. Ed technique et documentation, Paris, 449 p.
105. Francis et al (1970) : Cooper enzymes in isolated chloroplastes. Plant Physiol., 24 (1949), pp.1-15.
106. TROLL W., LINDESLY J., 1955 : A photometric method for the determination of praline. J. Biol. Chem.,215, 655-660
107. DREIER W., GORING N., 1974 : Der einfluss hoher salz konzentrationen auf verschinder physiologische parametr vonMaizururzeln Wiss., Z., Der hu. Berlin. Nath. Naturwiss .R. 23. 641-644
108. Dubois M., Gillet K.A. (1965): Dosage des sucres totaux à l'ortho-toluidine, J. Agr. Food Chem. 13 : 137
109. REY (P.), et COSTES .C., 1965 : la physiologie de la tomate, I.N.R.A.Paris 111p.
110. DIEHIL R., 1975 : « Agriculture générale », Ed J.B Baillière, 396p
111. MUNNS et al., « Water relation and leaf expansion: importance of time scale”, J. Exp. Bot. 51 350, 2002, pp 1495-1504.
112. SNOUSSI et al, 2004. Absorption hydrique en milieu salin chez la tomate et le haricot. Cahiers Agricultures. Vol.13, N° 3, 283-287
113. B.A .Hela, A. Manaa, E. Zid, 2008 : Tolérance à la salinité d'une poaceae à cycle court : la sétairie (*Setaria verticillata* L.) ; Compte rendus Biologies 331 pp 164– 170.

114. DUTHIL et LAFON, J.P., THARAUD-PRAYER, C et LEVY, G., (1997) « Biologie des plantes cultivées » Tome 1, 2. Ed Technique et Documentation, 1996, 233p.
115. SATTI S., et al 1994 : salinity induced changes in vegetative and reproductive growth in tomato. Commun. Soil Sci. Pant anal., 25(5 et 6), pp 501-510
116. Maillard J. (2001): Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone aride : Risques et Recommandations. Handicap International. Novembre 2001. 35p
117. DUTHIL D., 1973 : « Eléments d'écologie et d'agronomie, tome III. Exploitation et amélioration du milieu, emploi des facteurs de la production végétal », Ed J.B Baillière, Paris, 392p.
118. Ashraf, M., Foolad M.R.(2005): 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: 223-271.
119. Khan M.A., Shirazi M.U., Ali Khan M., Mujtaba S.M., Islam E., Mumtaz S. Shereen A., Yasin Ashraf M. (2009): Role of proline, K/Na ratio and chlorophyll content in salt tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.). Pak. J. Bot., 41(2): 633 638
120. H. Cheikh M'hamed, R. Abdellaoui, K. Kadri, M. Ben naceur, S. Bel hadj : evaluation de la tolerance au stress salin de quelques accessions d'orge (*hordium vulgare* L.) cultivées en Tunisie: approche physiologique, Sciences& Technologie CN°28 Décembre (2008), pp.30 -37.
121. ZIANI. F, 1984 : Estimation du bilan d'absorption des sels totaux chez la tomate cultivé En hydroponie. Thèse. Ing. INA. Alger. P68
122. IBRAHIM KHALIL M.A., 1998 : « les relations hydriques et l'irrigation (les sols salins, les cultures protégées et les productions légumières) », Ed Menchaàt El Maàrif, Egypt, 442p.

Annexes

Annexe 01 : Dosage de la chlorophylle

L'extraction de la chlorophylle (a) et (b) a été réalisé selon la méthode de Francis et al (1970). La méthode d'extraction consiste en une macération des feuilles (0.1g) dans 10 ml du mélange de l'acétone et de l'éthanol (75 % et 25%) de volume et de (80% et 40%) de concentration. Les feuilles sont coupées en petits morceaux et mises dans les boites noires (pour éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière), 48h plus tard, on procède à la lecture des densités optiques des solutions avec un spectrophotomètre (UV), à deux longueurs d'ondes : (645 et 663 nm).

La détermination des teneurs réalisée selon les formules

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

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

Annexe 02 : Dosage de la proline

La proline est dosée selon la technique utilisée par Troll et Lindesly (1955) simplifiée et mise au point par Dreier et Goring (1974) et modifiée par Monneveux et Nemmar (1986).

Le principe est la quantification de la réaction proline-ninhydrine par mesure spectrophotométrique. La proline se couple avec la ninhydrine en formant un complexe coloré.

L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de proline dans l'échantillon.

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

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

25 mg de ninhydrine.

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

On porte les tubes à essai à ébullition au bain Marie durant 30 min. Après refroidissement des solutions, on ajoute 5 ml de toluène dans chaque tube. Après agitation au vortex deux phases apparaissent. On prélève la phase supérieure à laquelle on ajoute 5 mg du sulfate de sodium, puis on les laisse au repos pendant 48h.

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

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

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

Annexe 03 : Dosage des sucres solubles

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

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

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

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

Annexe 04 : Vitesse de croissance

	SOURCE DE VAR.	SCE	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	ET	CV
	VAR. TOTALE	20.84	69	0.30				
COUPE FINALE	VAR. FACTEUR 1	9.19	6	1.53	22.12	0.0000		
	VAR. FACTEUR2	7.91	9	0.88	12.69	0.0000		
	VAR. RESIDUELLE 1	3.74	54	0.07			0.26	27.8 %

	T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T
MOYENNE	0.56	1.32	0.53	1.21	0.50	1.20	1.30
± ECART-TYPE	± 0.28	± 0.23	± 0.24	± 0.15	± 0.31	± 0.22	± 0.24
	B	A	B	A	B	A	A

Annexe 05 : Hauteur final des plantes

	SOURCE DE VARIATION	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T	C.V
COUPE FINALE	VRA. TOTALE	403777.12	97	4162.65				
	VAR. FACTEUR 1	401521.25	6	66920.21	2699.50	0.0000		
	VAR. RESIDUELLES1	2255.88	91	24.79			4.98	4.26 %

	T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T
MOYENNE	60.43	195.00	51.57	167.61	49.62	177.86	187.85
± ECART-TYPE	± 0.15	± 0.74	± 0.37	± 0.71	± 0.31	± 0.26	± 1.06
	C	A	D	B	D	B	B

Annexe 06: Nombre de feuilles

	SOURCE DE VAR.	SCE	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	ET	CV
COUPE FINALE	VAR. TOTALE	2805.27	69	40.66	14.11	0.0000		34.80 %
	VAR. FACTEUR 1	939.37	6	156.59				
	VAR. FACTEUR2	1266.55	9	140.73	12.68	0.0000		
	VAR. RESIDUELLE 1	599.16	54	11.10				

	T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T
MOYENNE	5.64	12.84	5.34	12.39	5.10	12.36	13.34
± ECART-TYPE	± 0.65	± 0.52	± 0.47	± 0.54	± 0.53	± 0.60	± 0.37
	B	A	B	A	B	A	A

Annexe 07 : Diamètre des tiges

	SOURCE DE VARIATION	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T	C.V
COUPE FINALE	VRA. TOTALE	0.40	97	0.00	80.24	0.0000	0.03	5.70 %
	VAR. FACTEUR 1	0.33	6	0.06				
	VAR. RESIDUELLES1	0.06	91	0.00				

	T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T
MOYENNE	0.44	0.50	0.37	0.50	0.38	0.50	0.51
± ECART-TYPE	± 0.03	± 0.01	± 0.03	± 0.01	± 0.05	± 0.01	± 0.01
	B	A	B	A	B	A	A

Annexe 08: Surface foliaire

	SOURCE DE VAR.	SCE	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	ET	CV
COUPE FINALE	VRA. TOTALE	357068.84	41	8709.00	504.72	0.0000		
	VAR. FACTEUR 1	355887.44	6	55981.24				
	VAR. FACTEUR 2	2204.91	1	2204.91				
	VAR. ENTRE F1,2	15870.88	6	2645.15				
	VAR. RESIDUELLES1	3105.63	28	110.92				
					23.85	0.0000	10.85	6.2 %

	T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T
MOYENNE	68.40	201.27	68.03	258.58	67.24	253.16	264.73
± ECART-TYPE	± 0.84	± 1.01	± 0.69	± 1.59	± 1.23	± 1.09	± 1.05
	C	B	C	A	C	A	A

Annexe 09 : Poids frais de la partie aérienne

	SOURCE DE VARIATION	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T	C.V
COUPE FINALE	VRA. TOTALE	729597.38	97	7521.62	7129.95	0.0000		
	VAR. FACTEUR 1	728048.69	6	121341.45				
	VAR. RESIDUELLES1	1548.69	91	17.02				

	T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T
MOYENNE	13.63	190.32	14.31	189.24	12.92	179.99	190.83
± ECART-TYPE	± 0.70	± 0.64	± 0.78	± 0.38	± 0.73	± 1.13	± 0.63
	B	A	B	A	B	A	A

Annexe 10: Poids frais des racines

	SOURCE DE VARIATION	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T	C.V
COUPE FINALE	VRA. TOTALE	250471.11	97	2582.18	755.83	0.0000	7.36	10.8 %
	VAR. FACTEUR 1	245543.98	6	40924.00				
	VAR. RESIDUELLES1	4927.13	91	54.14				

	T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T
MOYENNE	11.23	107.89	11.08	117.87	9.94	112.65	108.44
± ECART-TYPE	± 0.55	± 0.53	± 0.82	± 0.49	± 0.64	± 0.93	± 0.63
	B	A	B	A	B	A	A

Annexe 11 : Poids sec de la partie aérienne

	SOURCE DE VARIATION	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T	C.V
COUPE FINALE	VRA. TOTALE	17484.39	97	180.05	500.65	0.0000	2.38	11.00 %
	VAR. FACTEUR 1	16950.88	6	2828.15				
	VAR. RESIDUELLES1	513.51	91	5.64				

	T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T
MOYENNE	5.80	36.95	7.58	30.61	6.11	30.84	32.65
± ECART-TYPE	± 0.44	± 1.02	± 0.55	± 0.92	± 0.61	± 0.53	± 0.91
	C	A	C	B	C	B	B

Annexe 12 : Poids sec des racines

	SOURCE DE VARIATION	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T	C.V
COUPE FINALE	VRA. TOTALE	17738.38	97	182.87	453.65	0.0000	2.15	15.10 %
	VAR. FACTEUR 1	17164.53	6	2860.75				
	VAR. RESIDUELLES1	573.85	91	6.31				

	T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T
MOYENNE	1.63	31.44	1.52	24.81	1.52	26.39	29.41
± ECART- TYPE	± 0.33	± 1.05	± 0.28	± 0.52	± 0.26	± 0.48	± 0.33
	C	A	C	B	C	B	A

Annexe 13: Taux de matière sèche totale

	SOURCE DE VARIATION	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T	C.V
COUPE FINALE	VRA. TOTALE	8537.78	97	98.33	13603.30	0.0000	0.34	1.40 %
	VAR. FACTEUR 1	3527.16	6	1587.86				
	VAR. RESIDUELLES1	10.62	91	0.12				

	T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T
MOYENNE	32.01	17.38	30.11	16.02	30.72	16.54	16.11
± ECART- TYPE	± 0.62	± 0.08	± 0.01	± 0.04	± 0.05	± 0.06	± 0.05
	A	B	A	B	A	B	B

Annexe 14: Nombre de fleur mal par plante

	SOURCE DE VARIATION	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T	C.V
COUPE FINALE	VRA. TOTALE	12188.00	97	125.65	61.81	0.0000	5.14	22.60 %
	VAR. FACTEUR 1	9786.57	6	1631.09				
	VAR. RESIDUELLES1	2401.43	91	26.39				

	T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T
MOYENNE	10.79	35.70	11.57	31.07	12.00	31.07	29.50
± ECART- TYPE	± 1.05	± 0.30	± 0.35	± 1.72	± 0.31	± 1.07	± 0.67
	C	A	C	B	C	B	B

Annexe 15: Nombre de fleur femelle par plante

	SOURCE DE VARIATION	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T	C.V
COUPE FINALE	VRA. TOTALE	1463.31	97	15.09	43.64	0.0000	2.04	34.40 %
	VAR. FACTEUR 1	1085.91	6	180.98				
	VAR. RESIDUELLES1	377.10	91	4.15				

	T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T
MOYENNE	2.21	8.29	1.71	8.86	2.38	8.64	8.96
± ECART-TYPE	± 0.37	± 0.99	± 1.05	± 1.06	± 1.01	± 1.07	± 0.67
	B	A	B	A	B	A	A

Annexe 16 : Taux d'avortement des fleurs

	SOURCE DE VARIATION	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T	C.V
COUPE FINALE	VRA. TOTALE	23983.52	97	247.25	1.39	0.0052	15.54	78.50 %
	VAR. FACTEUR 1	2017.38	6	336.23				
	VAR. RESIDUELLES1	21966.13	91	241.39				

	T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T
MOYENNE	80,73	24,7	78,51	23,43	73,87	22,78	20,6
± ECART-TYPE	± 0.81	± 1.02	± 0.85	± 0.51	± 0.76	± 0.47	± 1.03
	A	B	A	B	A	B	B

Annexe 17: Nombre de fruits par plante

	SOURCE DE VARIATION	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T	C.V
COUPE FINALE	VRA. TOTALE	1300.33	55	13.41	44.49	0.0000	1.91	42.20 %
	VAR. FACTEUR 1	969.72	3	161.62				
	VAR. RESIDUELLES1	330.61	52	3.63				

	T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T
MOYENNE	1.43	6.71	0.43	7.57	0.83	6.71	7.86
± ECART-TYPE	± 1.02	± 0.81	± 0.51	± 0.85	± 0.47	± 0.76	± 1.03
	B	A	B	A	B	A	A

Annexe 18 : Poids frais des fruits

	SOURCE DE VARIATION	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T	C.V
COUPE FINALE	VRA. TOTALE	41129.65	55	747.81	1.41	0.0001	27.05	17.70 %
	VAR. FACTEUR 1	3090.54	3	1030.18				
	VAR. RESIDUELLES1	38039.10	52	731.52				

	T1C	T2C	T3C	T
MOYENNE	156.58	141.83	150.63	161.82
± ECART-TYPE	± 1.26	± 1.07	± 0.95	± 0.87
	B	D	C	A

Annexe 19 : Absorption hydrominérale

	SOURCE DE VARIATION	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T	C.V
COUPE FINALE	VRA. TOTALE	20016.89	48	417.02	116.94	0.0000	5.19	10.90 %
	VAR. FACTEUR 1	18885.36	6	3147.73				
	VAR. RESIDUELLES1	1130.53	42	26.92				

	T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T
MOYENNE	26.41	57.29	26.86	63.78	22.60	64.63	71.02
± ECART- TYPE	± 1.60	± 1.11	± 1.87	± 1.39	± 1.45	± 1.49	± 1.38
	C	B	C	B	C	B	A

Annexe 20: Dosage de chlorophylles

	SOURCE DE VARIATION	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T	C.V
CHL A	VAR. TOTALE	4.07	83	0.87	18.07	0.0000	0,12	36,70 %
	VAR. FACTEUR 1	2,66	6	0.02				
	VAR. FACTEUR 2	1.32	3	0.07				
	VAR. ENTRE F1, 2	0,71	18	0.04				
	VAR. RESIDUELLE	0.66	56	0.06				
CHL B	VAR. TOTALE	4.36	83	0.33	17.56	0.0000	0.21	29.32 %
	VAR. FACTEUR 1	0.91	6	0.08				
	VAR. FACTEUR 2	0.46	3	0.12				
	VAR. ENTRE F1, 2	1.19	18	0.05				
	VAR. RESIDUELLE	1.19	56	0.01				

		T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T
CHL A	MOYENNE	0.20	0.31	0.21	0.33	0.19	0.29	0.30
	± ECART- TYPE	± 0.05	± 0.02	± 0.02	± 0.04	± 0.02	± 0.03	± 0.01
		B	A	B	A	B	A	A
CHL B	MOYENNE	0.10	0.26	0.13	0.32	0.09	0.24	0.28
	± ECART- TYPE	± 0.02	± 0.02	± 0.05	± 0.05	± 0.04	± 0.01	± 0.01
		B	A	B	A	B	A	A

Annexe 21 : Dosage de la proline

	SOURCE DE VAR.	SCE	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	ET	CV
RACINE	VAR. TOTALE	0,00	20	0,00	9,15	0.0000	0,01	23.99 %
	VAR. FACTEUR 1	0,00	6	0,02				
	VAR. RESIDUELLE	0,00	12	0,05				
TIGE	VAR. TOTALE	0,15	20	0,01	39.82	0,0001	0,03	11.02 %
	VAR. FACTEUR 1	0,15	6	0,03				
	VAR. RESIDUELLE	0,00	14	0,00				
FEUILLE BASALE	VAR. TOTALE	0.04	83	0.00	37.63	0.0000	0.01	13.60 %
	VAR. FACTEUR 1	0.01	6	0.00				
	VAR. FACTEUR 2	0.03	3	0.01	280.43	0.0000		
	VAR. ENTRE F1, 2	0.00	18	0.00	6.11	0.0000		
	VAR. RESIDUELLE	0.00	56	0.00				
FEUILLE MEDIANE	VAR. TOTALE	2.36	83	0.03	14.56	0.0000	0.08	91.60 %
	VAR. FACTEUR 1	0.61	6	0.10				
	VAR. FACTEUR 2	0.36	3	0.12	17.00	0.0000		
	VAR. ENTRE F1, 2	0.99	18	0.05	7.89	0.0000		
	VAR. RESIDUELLE	0.99	56	0.01				
FEUILLE APICALE	VAR. TOTALE	2.12	83	0.03	20.45	0.0000	0.09	83.80 %
	VAR. FACTEUR 1	0.95	6	0.16				
	VAR. FACTEUR 2	0.07	3	0.02	2.95	0.0000		
	VAR. ENTRE F1, 2	0.66	18	0.04	4.71	0.0000		
	VAR. RESIDUELLE	0.44	56	0.01				

		T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T
RACINE	MOYENNE	0.05	0.11	0.04	0.09	0.5	0.12	0.10
	± ECART-TYPE	± 0.00	± 0.00	± 0.00	± 0.01	± 0.01	± 0.00	± 0.01
		B	A	B	A	B	A	A
TIGE	MOYENNE	0.07	0.18	0.08	0.20	0.07	0.19	0.18
	± ECART-TYPE	± 0.00	± 0.00	± 0.01	± 0.01	± 0.01	± 0.00	± 0.01
		B	A	B	A	B	A	A
FEUILLE BASALE	MOYENNE	0.03	0.05	0.03	0.05	0.03	0.06	0.05
	± ECART-TYPE	± 0.00	± 0.00	± 0.00	± 0.00	± 0.00	± 0.00	± 0.01
		B	A	B	A	B	A	A
FEUILLES MEDIANE	MOYENNE	0.03	0.07	0.03	0.07	0.03	0.06	0.05
	± ECART-TYPE	± 0.00	± 0.00	± 0.01	± 0.00	± 0.00	± 0.00	± 0.00
		C	B	C	B	B	B	A
FEUILLE APICALE	MOYENNE	0.04	0.10	0.04	0.09	0.03	0.09	0.08
	± ECART-TYPE	± 0.00	± 0.01	± 0.01	± 0.01	± 0.00	± 0.00	± 0.01
		C	C	C	B	C	B	A

Annexe 22 : Dosage des sucres solubles

	SOURCE DE VAR.	SCE	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	ET	CV
COUPE FINALE	VRA. TOTALE	16.86	104	0.16	20.22	0.0000		
	VAR. FACEUR 1	1.21	6	0.20				
	VAR. FACEUR 2	11.05	4	2.76				
	VAR. ENTRE F1,2	3.90	24	0.16	16.24	0.0000		
	VAR. RESIDUELLES1	0.70	70	0.01				

	T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T
MOYENNE	0.59	0.81	0.58	0.77	0.60	0.71	0.90
±	±	±	±	±	±	±	±
ECART- TYPE	0.04	0.01	0.02	0.02	0.02	0.22	0.03
	C	B	C	B	C	B	A