

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA

**FACULTE AGRO-VETERINAIRE ET BIOLOGIQUE
DEPARTEMENT D'AGRONOMIE**

THESE

En Vue de l'Obtention de Diplôme de
Magister en Sciences Agronomiques

**Option : Amélioration des Productions
Végétales**

Thème

**EFFET DU RAPPORT $\text{NO}_3^- / \text{NH}_4^+$ ET DU STADE D'APPLICATION
DES IRRIGATIONS SUR LA PRODUCTION DU CONCOMBRE
(*Cucumis sativus* L.) ET DE LA COURGETTE (*Cucurbita pepo* L.) EN
MILIEU SALIN.**

Présenté par : Mr SARIDI ABD-ELKADER

Jury :

Président : Mr BENMOUSSA MABROUK: Maître de conférence, Université Saad Dahlab de Blida

Promoteur : Mr SNOUSSI SID-AHMED: Maître de conférence, Université Saad Dahlab de Blida

Examineurs : Mr ACHOUCH ABDERRAHMANE: Maître de conférence, Université Saad Dahlab de Blida

Mme ABDUL-HUSSAIN MARIA.S: Chargé de Cours, Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou.

Année Universitaire 2001/2002

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA

FACULTE AGRO-VETERINAIRE ET BIOLOGIQUE
DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

THESE

En Vue de l'Obtention de Diplôme de
Magister en Sciences Agronomiques



Option : Amélioration des Productions
Végétales

Thème

**EFFET DU RAPPORT $\text{NO}_3^- / \text{NH}_4^+$ ET DU STADE D'APPLICATION
DES IRRIGATIONS SUR LA PRODUCTION DU CONCOMBRE
(*Cucumis sativus* L.) ET DE LA COURGETTE (*Cucurbita pepo* L.) EN
MILIEU SALIN.**

Présenté par : Mr SARIDI ABD-ELKADER

Jury :

Président : Mr BENMOUSSA MABROUK: Maître de conférence, Université Saad Dahlab de Blida

Promoteur : Mr SNOUSSI SID-AHMED: Maître de conférence, Université Saad Dahlab de Blida

Examineurs : Mr ACHOUCH ABDERRAHMANE: Maître de conférence, Université Saad Dahlab de Blida

Mme ABDUL-HUSSAIN MARIA.S: Chargé de Cours, Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou.

Année Universitaire 2001/2002

الأعمال

من باب الشكر الجزيل والكرم الأصيل والشرف النبيل
أهدي ثمرة هذا العمل الجليل إلى الوالدين الكريمين المبجلين
بمحكم التنزيل، ثم إلى ذوي القربى والأمرحام ممن سار منهم
إلى الحمام إلى أو من ينز ال يسعى بين الأنام، ومن باب الفضل والوفاء
لكل صغير وكبير من جمعية الضياء، كما أهدي شعلة هذا
العمل والمداد تحية من أرض الجهاد إلى أرض الرباط والاستشهاد،
تحية العز والصمود من أحفاد الأمير عبد القادر بن محيي الدين إلى
الأبطال البواسل أحفاد صلاح الدين.

Remerciement

Je tiens à présenter mes remerciement et mes sentiments les meilleurs à:

- Mon promoteur, Docteur SNOUSSI S-A pour le soutien moral ainsi que les précieuses diverties qui m'ont été données.
- Monsieur BENMOUSSA M pour l'honneur qu'il me fait de présider le jury.
- Madame ABDUL-HUSSAIN MARIA.S et Monsieur ACHOUCH D pour avoir accepté de juger mon travail.
- Le technicien de laboratoire de cultures maraîchères Monsieur AIT SAADI Nasser pour son aide précieuse et efficace .
- Mes amis ingénieurs, OULED KHIAR Rida et LARBI Aze-Eddine pour leur contribution importante à la réalisation de mon travail.
- Monsieur BOUAAMAMA AEK et Monsieur LAZHARI Mouloud de l'institut de chimie industrielle pour leur aide précieuse.
- Tous et Toutes les amis(es) à savoir, Hocine, Hamid, Omar, Zahir, Rafik, Khair-eddine, Yahia, Nadjet, Hamida, Karima, Akila, Assia, Razika, Khadîdja.
- Tout le personnel de l'institut d'Agronomie de l'Université SAAD DAHLEB de Blida.
- Tous les membres de l'association culturelle ELDHIA.
- Et enfin à tous ceux qui mon soutenu de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
PREMIERE PARTIE: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	
Chapitre I: NOTIONS GENERALES DE BASES SUR LES CULTURES HORS SOL	
I -1- Généralités	3
I -2- Les composantes utilisées en hydroponie	3
I -2-1- Le substrat	3
I -2-2- Les conteneurs	4
I -2-3- La solution nutritive	4
I -2-3-1- Le pH	4
I -2-3-2- La conductivité électrique (C.E.)	5
Chapitre II : LA NUTRITION HYDROMINERALE DES PLANTES	
II -1- La nutrition hydrique	6
II -2- La nutrition minérale	7
Chapitre III : LES ELEMENTS MINERAUX : ROLES, EXCES, CARENCES	
III -1- L'azote (N)	9
III -2- Le soufre (S)	10
III -3- Le phosphore (P)	11
III -4- Le potassium (K)	11
III -5- Le calcium (Ca)	12
III -6- Le magnésium (Mg)	12
III -7- Le sodium (Na)	13
III -8- Les oligo-éléments	13
Chapitre IV : LA SALINITE DES EAUX, ET DES SOLS	
IV -1- Définition	14
IV -2- Origines et cause de la salinité	14
IV -3- La spécificité des ions affectant la toxicité et la déficience des plantes	14
IV -4- Les eaux salines	14
IV -4-1- Sources des eaux salines	15
IV -4-2- Classification des eaux salines	16
IV -4-3- Utilisation des eaux salines	16
IV -4-3-1- Etats Unis	16
IV -4-3-2- Tunisie	17
IV -4-3-3- Egypte	17
IV -5- Les sols salins	18
IV -5-1- La salinisation des sols	18
IV -2-2-1- La salinisation primaire	19
IV -2-2-2- La salinisation secondaire	19
IV -5-2- La classification des sols salins	20
IV -5-3- La salinité dans le monde	20
IV -5-4- La salinité en Algérie	21
IV -6- Effets des sels	22

IV -6-1- Effets des sels sur le sol	22
IV -6-1-1- Modification des propriétés physiques	22
IV -6-1-2- Modification des propriétés chimiques	22
IV -6-2- Effets des sels sur la plante	22
IV -6-2-1- Action sur la nutrition minérale	23
IV -6-2-2- Action sur les phénomènes physiologiques	23
IV -7- Tolérances des plantes a la salinité	24

DEUXIEME PARTIE: MATERIEL ET METHODES

1- Objectif de l'expérience	26
2- Matériel végétal	26
3- Conditions expérimentales	27
3-1- Lieu de l'expérience	27
3-2- Le substrat : provenance et désinfection	27
3-3- Les containers	27
4- Description des différents traitements	28
5- Dispositif expérimental	29
5-1- Dispositif expérimental : essai plantules (pépinière)	29
5-2- Dispositif expérimental : essai plantes entières (adultes)	31
6- Formulation des traitements	32
6-1- Caractéristiques de l'eau de Blida	32
6-2- Correction de l'eau de Blida	32
6-3- Préparation des différents traitements	33
7- La conduite des cultures	37
7-1 Semis, germination, levée	37
7-2- Doses et fréquences des arrosages	37
7-3- Traitements phytosanitaires utilisés	37
7-4- Etéage	38
7-5- Périodes de coupes	38
7-6- La récolte	39
8- Les paramètres de croissance mesurés	39
8-1-Hauteur des plants	39
8-2-Diamètre des tiges	39
8-3-Nombre de feuilles	39
8-4-Biomasse fraîche produite	39
8-5-Biomasse sèche produite	40
9- Les paramètres de production mesurés	40
9-1- Nombre de fruits	40
9-2- Longueur des fruits:	40
9-3- Diamètre des fruits	40
9-4-Poids frais et sec des fruits produits	40
10- Taux de sucres réducteurs des fruits produits	40
11-Percolat	41
12-Séchage et broyage de matière végétale	41
13- Minéralisation	41
14- Dosage des éléments minéraux	42
15- Analyse statistique	42

TROISIEME PARTIE: RESULTATS ET DISCUSSIONS

1- RESULTATS	
1-1- Germination et levée	43
1-1-1- Germination	43
1-1-2- Levée	43
1-2- Les paramètres de croissance	44
1-2-1- Vitesse de croissance des plantes en hauteur	44
1-2-2- Hauteur des plants	45
1-2-3- Diamètre des tiges	47
1-2-4- Nombre de feuilles	48
1-2-5- Le poids frais des feuilles	49
1-2-6- Le poids frais des tiges	50
1-2-7- Le poids frais total	51
1-2-8- Le poids frais des racines	51
1-2-9- Le poids sec des feuilles	52
1-2-10- Le poids sec des tiges	53
1-2-11- Le poids sec total	55
1-2-12- Le poids sec des racines	56
1-3- Les paramètres de production	57
1-3-1- Nombre total de fruits par plante	57
1-3-2- Longueur des fruits	57
1-3-3- Diamètre des fruits	58
1-3-4- Poids frais et sec des fruits	58
1-4- Taux de sucres réducteurs des fruits produits	59
1-5- L'Absorption hydrominérale	59
1-6- Dynamique d'absorption des éléments minéraux dans les plantes	61
1-6-1- Le sodium (Na)	61
1-6-2- Le potassium (K)	63
1-6-3- Le calcium (Ca)	64
1-6-4- Le magnésium (Mg)	67
1-6-5- La somme des cations (Na, K, Ca, Mg)	69
2-DISCUSSION GENERALE	70
CONCLUSION GENERALE	75
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
ANNEXES	

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau 1: classification des eaux salines (RHOADES et al.,1992)	16
- Tableau 2: superficies affectées par la salinité dans le monde (LASRAM,1995).	21
- Tableau 3 : la tolérance au salinité chez les différents espèces (KOTUBY-AMACHER et al.,1997)	25
- Tableau 4 : " teneurs de différents éléments minéraux dans l'eau de Blida "	32
- Tableau 5 : composition de solutions mères complémentaires d'oligo-élément « A » et « B » (COIC et LESAIN,1975).	34
- Tableau 6 : Eau de Gassi Touil naturelle (meq/l).	34
- Tableau 7 : Eau de Gassi Touil naturelle reconstituée avec l'eau de BLIDA (meq/l).	34
- Tableau 8 : Eau de Gassi Touil corrigée, reconstituée avec l'eau de Blida (meq/l).	35
- Tableau 9 : Eau de Gassi Touil corrigée puis modifiée, reconstituée avec l'eau de Blida (meq/l).	35
- Tableau 10 : solution nutritive témoin, reconstituée avec l'eau Blida (meq/l).	35
- Tableau 11 : Concentration de différents traitements.	36
- Tableau 12 : périodes de germination des graines (jours après le semis).	43
- Tableau 13 : périodes d'apparition de la première feuille (jours après semis).	44
- Tableau 14 : Vitesse de croissance des plantes en hauteur (cm/j).	45
- Tableau 15 : Hauteurs des plantes (cm).	46
- Tableau 16 : Diamètres des tiges (cm).	47
- Tableau 17 : Nombres des feuilles.	48
- Tableau 18 : Poids frais des feuilles (g).	49
- Tableau 19 : Poids frais des tiges (g).	50
- Tableau 20 : Poids frais total (feuille + tige) (g).	51
- Tableau 21 : Poids frais des racines (g).	52
- Tableau 22 : Poids sec des feuilles (g).	53
- Tableau 23 : Poids sec des tiges (g).	54
- Tableau 24 : Poids sec total (feuille + tige) (g).	55
- Tableau 25 : Poids sec des racines (g).	56
- Tableau 26 :Nombre total des fruits par plantes.	57
- Tableau 27 :Longueur des fruits (cm).	57
- Tableau 28 :Diamètre des fruits (cm).	58
- Tableau 29: poids frais et sec des fruits (g / plante)	58
- Tableau 30 :Taux de sucres totaux (sucres simples et sucres réducteur) des fruits produits (%).	59
- Tableau 31 : l'absorption hydrominérale (%).	60

LISTE DES FIGURES

- Figure 1 : shema du Dispositif expérimental : essai plantules (pépinière)	30
- Figure 2 : shema du Dispositif expérimental : essai plantes entière (adulte)	31
- Figure 3 : Teneur de Na ⁺ dans les organes de concombre (% de M.S).	61
- Figure 4 : Teneur de Na ⁺ dans les organes de courgette (% de M.S).	62
- Figure 5 : Teneur de Na ⁺ chez le concombre à chaque niveau d'application (% M.S).	62
- Figure 6 : Teneur de Na ⁺ chez la courgette à chaque niveau d'application (% M.S).	62
- Figure 7 : Teneur de K ⁺ dans les organes de concombre (% de M.S).	63
- Figure 8 : Teneur de K ⁺ dans les organes de courgette (% de M.S).	63
- Figure 9 : Teneur de K ⁺ chez le concombre à chaque niveau d'application (% M.S).	64
- Figure 10 : Teneur de K ⁺ chez la courgette à chaque niveau d'application (% M.S).	64
- Figure 11 : Teneur de Ca ⁺⁺ dans les organes de concombre (% de M.S).	65
- Figure 12 : Teneur de Ca ⁺⁺ dans les organes de courgette (% de M.S).	66
- Figure 13 : Teneur de Ca ⁺⁺ chez le concombre à chaque niveau d'application (% M.S).	66
- Figure 14 : Teneur de Ca ⁺⁺ chez la courgette à chaque niveau d'application (% M.S).	66
- Figure 15 : Teneur de Mg ⁺⁺ dans les organes de concombre (% de M.S).	67
- Figure 16 : Teneur de Mg ⁺⁺ dans les organes de courgette (% de M.S).	67
- Figure 17 : Teneur de Mg ⁺⁺ chez le concombre à chaque niveau d'application (% M.S).	68
- Figure 18 : Teneur de Mg ⁺⁺ chez la courgette à chaque niveau d'application (% M.S).	68
- Figure 19 : Teneur globale en éléments minéraux dans les organes de concombre (% M.S).	69
- Figure 20 : Teneur globale en éléments minéraux dans les organes de courgette (% M.S).	69
- Figure 21 : Teneur globale en éléments minéraux dans les organes de concombre à chaque niveau d'application (% M.S).	70
- Figure 22 : Teneur globale en éléments minéraux dans les organes de courgette à chaque niveau d'application (% M.S).	70

LISTE DES ABREVIATIONS

- T1** : eau saline naturelle de Gassi Touil ayant une CE = 2,12 mmhos/cm.
- T2** : eau saline de Gassi Touil corrigée (85% de NO_3^- et 15% de NH_4^+).
- T3** : eau saline de Gassi Touil corrigée puis modifiée (75% de NO_3^- et 25% de NH_4^+).
- T4** : solution nutritive témoin (non saline).
- C1** : 1^{ère} coupe.
- C2** : 2^{ème} coupe.
- C3** : 3^{ème} coupe.
- C F** : coupe de fin de culture.
- S** : irrigation par les traitements dès le semis des graines.
- G** : irrigation par les traitements dès la germination des graines.
- L** : irrigation par les traitements dès la levée des plantules.
- F1** : facteur principal (le stade végétatif : S, G et L).
- F2** : facteur secondaire (la solution nutritive).
- FC1** : feuille de 1^{ère} coupe.
- FC2** : feuille de 2^{ème} coupe.
- FC3** : feuille de 3^{ème} coupe.
- TC1** : tige de 1^{ère} coupe.
- TC2** : tige de 2^{ème} coupe.
- TC3** : tige de 3^{ème} coupe.
- RC1** : racine de 1^{ère} coupe.
- RC2** : racine de 2^{ème} coupe.
- RC3** : racine de 3^{ème} coupe.
- FR** : fruit.

Résumé : Effet du rapport $\text{NO}_3^- / \text{NH}_4^+$ et du stade d'application des irrigations sur la production du concombre (*Cucumis sativus* L.) et de la courgette (*Cucurbita pepo* L.) en milieu salin. Cette étude repose sur l'identification éventuelle des interactions antagonistes entre les cations afin de tenter d'éliminer ou de réduire l'effet néfaste du Na^+ par l'utilisation de NH_4^+ dans la correction chimique des eaux salines d'une part et le choix du stade d'application des irrigations avec des eaux salines corrigées d'autre part. Deux rapports $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ont été testés à savoir (85% de NO_3^- et 15% de NH_4^+) et (75% de NO_3^- et 25% de NH_4^+). Les périodes des irrigations ont été appliquées selon trois stades végétatifs (le semis, la germination et la levée). Les espèces étudiées ont porté sur deux de cucurbitacées à savoir le concombre et la courgette cultivées par le procédé hors-sol. Les résultats obtenus montrent que le stade de germination des graines convient mieux aux apports des irrigations avec des eaux salines et ce pour les plantes de concombre. Par contre, aucun effet stade d'apport des irrigations n'est observé chez des plantes de la courgette. Les résultats indiquent que c'est le traitement T3 où l'azote total est représenté par (75% de NO_3^- et 25% de NH_4^+) qui produit le plus de biomasse chez les plantes de concombre. En revanche, les plantes de courgette se comportent convenablement lorsque l'azote total présente la proportion de 85% de NO_3^- et 15% de NH_4^+ . Lorsque les deux espèces sont alimentées par le traitement T2 ($\text{NH}_4^+ = 15\%$) le poids frais et sec des fruits diminue sous l'effet de la migration du Na^+ vers les fruits, et par conséquent, les fruits deviennent plus chargés en cendres et plus riche en sucres réducteurs. Néanmoins l'augmentation de NH_4^+ (de 15% à 25%) dans les eaux salines et notamment chez le concombre empêche la migration d'élément sodium, reconnu néfaste pour les plantes.

Abstract: Effect of $\text{NO}_3^- / \text{NH}_4^+$ ratio and the application stage of irrigation on the production of cucumber (*Cucumis sativus* L.) and marrow (*Cucurbita pepo* L.) in saline medium . This study is dealing possible with identification of antagonistic interactions between cations in order to tempt to eliminate or to reduce the bad effect of the Na^+ with the use of NH_4^+ in the chemical corrected saline water and the choice of the application stage of irrigations with saline corrected water, two $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratios have been tested as follows (85% of NO_3^- and 15% of NH_4^+) and (75% of NO_3^- and 25% of NH_4^+). The periods of irrigations have been applied according to three vegetative stages (the seedling, germination and the emergence). The studied species used two cucurbitaceae, cucumber and marrow cultivated by soilless process culture. The results show that the stage of seed cucumber plants germination perform better when irrigated with saline water. However, no stage effect of irrigations supply was observed for marrow plants. The results indicated that it is the T3 treatment where the total nitrogen is represented by (75% of NO_3^- and 25% of NH_4^+) produces more biomass for cucumber plants. In addition, marrow plants behave normally when the total nitrogen gave the following proportion: 85% of NO_3^- and 15% of NH_4^+ . When these two species are nourished with the T2 treatment ($\text{NH}_4^+ = 15\%$), the cool and dry weight of fruits decrease under the effect of the migration of the Na^+ toward fruits and therefore, fruits become more loaded in ash and richer in reducer sugar. Nevertheless the increase of NH_4^+ (of 15 to 25%) in water saline and notably for cucumber prevents the migration of sodium element, which is recognized to be harmful for plants.

تأثير نسبة $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$ و مراحل تطبيق السقي الناجح على إنتاج الخيار (*Cucumis sativus* L.) و الكوسة (*Cucurbita pepo* L.) في الوسط المالح : تركزت هذه الدراسة على التعيين الافتراضي لتفاعلات التضاد بين الكاتيونات بغية الإزالة أو الحد من الأثر السيئ لشوارد Na^+ باستعمال NH_4^+ في التصحيح الكيميائي للمياه المالحة من جهة ، واختيار مرحلة تطبيق السقي بالمياه المالحة المعدلة من جهة أخرى . لهذا الغرض تم اختبار نسبتان من $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$ وهما على التوالي : (85 % من NO_3^- مع 15 % من NH_4^+) و (75 % من NO_3^- مع 25 % من NH_4^+) . و تم تطبيق السقي على ثلاث مراحل خضرية (البذر، الإنتاش و البزوغ) . تمت الدراسة على نوعين من القرعيات هما الخيار و الكوسة عن طريق الزراعة بدون تربة . أظهر النتائج المحصل عليها ملائمة مرحلة إنتاش البذور لتطبيق السقي بالمياه المالحة بالنسبة لنبات الخيار . في حين لا أثر لمراحل تطبيق السقي على نباتات الكوسة . وبيئت النتائج أن المحلول T3، حيث يتركب الأزوت الكلي من (75 % من NO_3^- مع 25 % من NH_4^+) أكثر إنتاج خضري لدى نبات الخيار . في المقابل تظهر نباتات الكوسة أفضل تجاوبا مع الأزوت الكلي المركب بنسبة 85 % من NO_3^- مع 15 % من NH_4^+ . عند تغذية كلا النوعين بمحلول T2 ($\text{NH}_4^+ = 15\%$) ينخفض الوزن الأخضر و اليابس للثمار نتيجة هجرة Na^+ إليها، و بالتالي ارتفاع نسب محتوياتها من الأملاح المعدنية و السكريات المرجعة . غير أن رفع نسبة NH_4^+ (من 15 % إلى 25 %) في المياه المالحة، خاصة لدى الخيار يعطل انتقال عنصر الصوديوم، المعروف بضرره على النباتات .



introduction

L'un des objectifs primordiaux de l'agriculture est de subvenir aux besoins alimentaires de la population mondiale, selon l'estimation des Nations Unies faite en 1991 cette population sera huit milliards et cinq cents millions d'habitants en 2025.

L'augmentation de la production des cultures peut être due à l'augmentation des terres arables, dont environ deux tiers (2/3) est due probablement à l'expansion de l'irrigation (RHOADES *et al*, 1992). Il est clair que l'irrigation peut et doit jouer un rôle important dans l'augmentation et la stabilisation de la sécurité alimentaire. Selon le même auteur, environ 60% de leur production céréalière est un dérivé de l'irrigation.

Cependant, les ressources en eau douce sont limitées. En même temps, le drainage des terres irriguées est l'une des causes majeure de la pollution de l'eau (sels, nitrates ...etc.). D'après les estimations de l'Institut des Ressources Mondiales, plus de la moitié des terres irriguées du monde sont salées, sodiques ou sujettes à l'engorgement à cause de l'adoption de méthodes d'irrigation inadéquates, de mauvais systèmes de drainage et de l'utilisation des eaux salées (LASRAM, 1995).

Tous ces problèmes se posent avec une acuité particulière sur le continent africain, dont certaines régions constituent déjà une grave crise démographique et environnementale. La population de l'Afrique subsaharienne est sur le point d'atteindre les 600 millions d'habitants (HILLEL, 1997).

Ce problème connaît plusieurs projets de résolution tels que, le dessalage des eaux salines, la technique de la correction chimique qui est utilisée en culture hors-sol, et l'utilisation de la méthode biologique qui consiste à introduire certaines espèces bactériennes afin de stimuler la croissance des plantes en milieu salin.

Dans notre expérimentation, le procédé de culture hors-sol été utilisé. Celui-ci connaît un développement important dans le monde et qui nous permet selon MORAL et GOMEZ (1996), d'avoir une approche de la dynamique des éléments absorbés par la plante, ainsi que leur accumulation dans les divers parties végétatives de la plante.

Selon ZORNOZA et CARPENA (1996), une des questions intéressantes de la nutrition des plantes aujourd'hui, est la recherche dans les interactions ioniques qui se produisent lorsque les plantes sont alimentées par deux formes d'azote NO_3^- et NH_4^+ . Les plantes qui croissent avec NH_4^+ sont souvent moins chargées en Ca, Mg et K que celles qui croissent avec l'azote nitrique (NO_3^-). Ceci peut s'expliquer par l'interaction compétitive entre l'ion NH_4^+ et les cations nutritifs dans le processus d'absorption.

L'expérience menée dans notre travail comme but de connaître l'influence de la proportion de NH_4^+ par rapport à celle des nitrates (NO_3^-) du milieu alimentaire sur la nutrition du concombre et de la courgette en milieu salin.

Nous avons donc entrepris d'étudier le comportement de ces deux plantes face à l'antagonisme entre cations afin de tenter d'éliminer ou de réduire l'effet de cation Na^+ qui induit de problèmes physiologiques de type toxicité quant il est présent en trop grande quantité dans les milieux et ce en substituant l'ion NH_4^+ à l'ion NO_3^- .

Egalement, une expérimentation préliminaire a été réalisée au stade pépinière, afin d'identifier la meilleure production de plants de concombre et de courgette quant ces derniers sont irrigués par les eaux salines dès le semis, dès la germination ou dès le stade levée.

La technologie adoptée est d'une part l'élaboration à partir des eaux jugées impropres à irrigation, une solution nutritive convenable aux plantes, et d'autre part la connaissance de l'influence de ion ammonium NH_4^+ dans l'azote minéral total du milieu alimentaire sur la nutrition et la physiologie du concombre et de la courgette, dans le but d'analyser le comportement de ces deux espèces face à l'antagonisme ente cations afin de tenter d'éliminer ou de réduire l'effet néfaste du Na^+ par l'utilisation de NH_4^+ .

PREMIERE PARTIE:

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I.

NOTIONS GENERALES

DE BASES SUR LES CULTURES HORS SOL

I-1- GENERALITES :

L'hydroponie ou la culture hors-sol regroupe sous ce terme selon JEANNEOUIN (1987) plusieurs systèmes de production qui permettent aux plantes de croître et de se développer en absence de sol.

Selon MORARD (1995), les racines des végétaux en culture hors-sol sont alimentées par un milieu liquide minéral : la solution nutritive. Cette dernière ne nécessite pas de support solide ou substrat, car celui-ci ne joue aucun rôle dans la nutrition de la plante.

La culture hors-sol nécessite des connaissances approfondies en ce qui concerne les phénomènes physiologiques et nutritionnels des plantes, et de l'environnement. Sa mise en place nécessite certaines techniques spécifiques qui seront détaillées ultérieurement.

I-2- LES COMPOSANTES UTILISEES EN HYDROPONIE :

I-2-1- LE SUBSTRAT :

Le terme de substrat en agriculture s'applique à tout matériau, naturel ou artificiel qui, placé en conteneur pur ou en mélange, permet l'ancrage du système racinaire et joue ainsi vis à vis de la plante le rôle de support (BLANC, 1987).

D'après LETARD *et al* (1995), le substrat idéal devient cumuler de nombreuses propriétés intéressantes dont les principales sont :

- Avoir un comportement vis à vis de l'air et de l'eau permettant la meilleure alimentation possible de la plante ;
- Ne pas interférer avec la composition de la solution nutritive ;
- être stable sur la durée d'utilisation prévue,
- Pouvoir tamponner des variations dans la fourniture de solution nutritive, et dans la conduite climatique des abris ;
- Être facile à mettre en œuvre et à recycler ;
- Avoir un coût faible.

I-2-2- LES CONTENEURS :

Selon LEMAIRE *et al.*, (1989), les conteneurs sont généralement en matière plastique, chimiquement inertes, étanches, durables et faciles à mettre en place. Leur choix doit se faire en fonction de l'espèce cultivée et de son système racinaire.

I-2-3- LA SOLUTION NUTRITIVE :

Une solution nutritive est composée de sels minéraux à l'état dissous, dont la plante a besoin. Tous ces éléments sont sous forme d'ions, anions et cations, pour les micro-éléments comme pour les macro-éléments (COIC, 1984).

Selon le même auteur, il doit exister un équilibre entre l'eau et les ions tel qu'il correspond aux besoins relatifs de la culture.

MORARD (1995) indique que la solution nutritive doit satisfaire les besoins des systèmes racinaires en eau et en éléments minéraux. L'eau est souvent apportée en dose supérieure aux besoins (10 à 30% du percolat).

Selon COIC (1984), l'équilibre équivalentaire entre anions et cations, y compris H^+ , est obligatoire dans la solution, et sa composition doit être différente pour les plantes neutrophiles et les plantes acidophiles.

Deux paramètres importants sont nécessaires pour avoir une solution nutritive convenable à la croissance et au développement des plantes à savoir :

I-2-3-1- LE pH :

Selon MORARD (1995), il est nécessaire d'abaisser le pH de la solution nutritive à une valeur proche de 5,8 pour favoriser l'activité du système racinaire ainsi que la solubilisation des minéraux, et éviter ainsi les risques de précipitation des phosphates et des sulfates avec le calcium et certains oligo-éléments.

BLANC (1987) conseille de rechercher les pH situés dans une fourchette de 5.5 à 6.5 ; car ce pH représente l'optimum physiologique pour la majorité des espèces cultivées.

I-2-3-2: LA CONDUCTIVITE ELECTRIQUE:

toujours selon BLANC (1987), il est noter que la concentration saline de la solution joue un rôle prépondérant dans l'alimentation hydrique de la plante. Elle détermine la pression osmotique de la solution nutritive. Celle-ci doit être inférieure à la pression osmotique du suc cellulaire pour que l'eau puisse diffuser du milieu (la solution) vers la plante.

Selon CHAUX et FOURY (1994), si cette concentration est trop forte les racines se nécrosent et la plante flétrit. Par contre si elle est trop faible la végétation risque de s'emballer.

En hydroponie, il n'y a pas de pouvoir tampon comme dans les sols classiques. La conséquence la plus immédiate d'une concentration saline excessive est une lésion des racines suivies du flétrissement de la plante (BLANC, 1987).

Cette concentration doit être régulièrement contrôlée par la mesure de la conductivité électrique et du pH notamment dans le cas du système d'irrigation à solution nutritive recyclée.



Chapitre II:

**LA NUTRITION
HYDROMINERALE
DES PLANTES**

La plante absorbe continuellement l'eau à partir du sol. Cette eau absorbée par l'appareil racinaire migre vers la partie aérienne. Ce courant d'eau est une condition essentielle de l'activité du végétal au cours de la période végétative. Il facilite en particulier la pénétration, puis le transport des sels minéraux dans les vaisseaux (BINET et BRUNEL, 1967).

Selon HELLER (1969), l'absorption minérale est un phénomène qui se déroule par deux processus, l'un traduisant un transport passif basé sur les mécanismes physiques : passage passif avec l'eau, diffusion, échange, et adsorption ; et l'autre traduisant un transport actif, s'expliquant par des théories métaboliques : transporteurs, espace libre.

Le même auteur indique que les plantes possèdent la propriété de sélectivité, dont, les cellules peuvent choisir parmi les éléments extérieurs, ceux qu'elles absorbent et même accumulent, et ceux au contraire qu'elles laissent dans le milieu ou absorbent très peu.

En plus, les plantes sont occupées selon HELLER (1974), par un mécanisme appelé « La pompe Na-K » fonctionnant grâce à l'énergie issue de l'ATP. La pompe est spécifique, ne pouvant assurer l'exorption d'aucun autre ion que Na^+ , au contraire pour la partie du mécanisme qui assure la libération des ions K^+ à l'intérieur.

II-1- LA NUTRITION HYDRIQUE :

Selon MORAD (1995), l'eau est le constituant le plus abondant des végétaux, il représente jusqu'à 85-90% de matière fraîche.

Le même auteur ajoute que l'eau est le premier facteur limitant le fonctionnement des plantes, elle permet :

- le maintien des structures chimiques et biochimiques ;
- le maintien de la rigidité de la plante ;
- le transport des éléments minéraux et des substances élaborées ;
- la régulation thermique grâce à l'évapotranspiration potentielle (ETP).

Les besoins en eau selon CORNILLON (1985) dépendent des facteurs liés au climat, au substrat et à la culture. Ces besoins peuvent s'estimer grâce à l'évapotranspiration potentielle (ETP).

Le même auteur ajoute qu'un déficit ou un stress hydrique a lieu quand la perte d'eau par transpiration dépasse la quantité absorbée.

REY et COSTES (1965) notent que le déficit hydrique aux phases critiques (floraison et fructification) gêne la croissance et diminue le rendement même si les signes de dessèchement ne sont pas apparents.

II-2- LA NUTRITION MINÉRALE :

Le végétal a un besoin absolu des éléments minéraux participant à ses structures et contribuant à ses activités.

Selon DUTHIL (1973), la composition minérale varie en fonction des tissus, de l'âge et des conditions du milieu. Les plantules sont très riches en éléments minéraux, du fait des réserves venues de la graine et d'une absorption intense dans les stades jeunes. Au fur et à mesure que la plante se développe, la masse totale absorbée en tel et tel élément augmente ; mais, il n'y a pas de corrélation entre la masse absorbée et la masse de tissus, car dans les premiers stades la croissance des tissus peut être encore plus importante que l'absorption, ce qui fait que le taux peut diminuer provisoirement, bien que la masse totale absorbée augmente (HELLER *et al.*, 1998).

Aussi, selon cet auteur, la variation de l'absorption est sous l'influence des facteurs internes dépendant de la plante elle-même, et des facteurs du milieu (DUTHIL, 1973). Parmi ces facteurs VILAIN (1993) note que les plus importants sont :

- la nature de la plante : il existe une sélectivité liée à l'espèce et même aux variétés végétales.

- le stade de développement : par exemple, la teneur en azote est plus élevée au stade juvénile qu'ultérieurement.

Les facteurs externes du milieu, sont divisés en deux catégories, qui peuvent être climatiques, ou édaphiques (solution nutritive dans le cas de culture hors-sol). Le même auteur indique que les températures élevées aboutissent à une transpiration très active, ce qui nécessite une absorption importante de l'eau et des éléments minéraux. En plus, l'augmentation de l'éclairement provoque également un accroissement des réserves carbonées. Une exaltation

de la respiration et l'augmentation de la transpiration entraînent un appel d'eau et des minéraux vers les régions de métabolisme intense ce qui se traduit par une absorption accrue (HELLER, 1977).

D'après les travaux de SYLVIE *et al* (1992) des variations journalières de la concentration minérale sont observées. Elles atteignent les valeurs maximales durant le jour pour NO_3^- et K^+ , et atteignent le maximum durant la nuit pour Ca^{++} , Mg^{++} , $\text{H}_2\text{PO}_4^{3-}$ et SO_4^- .

Selon VILAIN (1993), la composition du sol a une forte influence sur l'absorption hydrominérale. Aussi, HELLER (1997) indique qu'il existe entre les éléments minéraux des interactions qui se traduisent par les phénomènes d'antagonismes et de synergisme qui font que l'action d'un élément est modifiée par la présence d'un autre élément.

Le même auteur note que le pH influe sur la solubilité des sels. Il conditionne l'hydrolyse des sels d'acides ou de bases faibles, et change la forme de certains ions. Il ajoute que la plupart des sels minéraux sont plus solubles en milieu acide qu'en milieu alcalin.

Selon MAZLIAK (1974) et VILAIN (1993), l'intensité respiratoire des racines qui est sous l'influence de l'aération du milieu, de la température du substrat, ainsi que les sécrétions radiculaire, fait varier l'absorption des éléments minéraux.

Chapitre III:

LES ELEMENTS MINERAUX :

ROLES, EXCES, CARENCES

III-1- L'AZOTE:

L'azote est le facteur déterminant du rendement. Il agit en augmentant le volume des organes végétatifs, la quantité de chlorophylle et donc la photosynthèse (DIEHL, 1975). Les composés azotés organiques et notamment les protéines sont des constituants essentiels de la matière vivante. Le métabolisme de l'azote et la synthèse protéique représentent donc une phase essentielle de la nutrition des plantes (COIC, 1984).

Les plantes supérieures selon le même auteur, réalisent la synthèse protéique à partir de composés minéraux comme les nitrates (NO_3^-), les sels ammoniacaux (NH_4^+) et même pour certaines à partir de l'azote de l'air.

Le même auteur ajoute que dans le sol, les nitrates représentent la principale source d'alimentation azote des plantes. Ces nitrates sont réduits soit par l'énergie photochimique, ou grâce à l'énergie d'origine respiratoire en ions ammonium (NH_4^+) qui se fixe sur un radical carboné (acide α cétonique) pour former un acide α aminé. Ce métabolisme des nitrates se déroule dans les feuilles, ainsi que dans les racines mais en activités variables selon les espèces végétales.

Pour plusieurs espèces cultivées, l'ion NH_4^+ est inférieur aux nitrates comme source d'azote. Cette assimilation de NH_4^+ peut assurer aux plantes l'énergie nécessaire pour la réduction de NO_3^- . Cette énergie peut correspond théoriquement à plus de 17% de réserve total de la plante en carbohydrate (GUTSHISK, 1981 in FINDENEGG, 1987). D'après les travaux de MUSARD en 1990, Cette part d'azote ammoniacal doit être de 5% à 15% de l'azote total.

Cependant, la difficulté majeure de la nutrition en NH_4^+ est l'effet de la concentration externe qu'il faut maintenir constamment en faible niveau. Un niveau suboptimal en NH_4^+ peut être un facteur limitant pour les plantes. L'accumulation de NH_4^+ dans les plantes est due à l'assimilation immédiate de NH_4^+ après son absorption par les racines. Cette augmentation de NH_4^+ libre dans les racines et les parties aériennes de plusieurs espèces, correspond à l'idée de «la capacité d'assimilation racinienne», c'est à dire, lorsque l'ammoniac absorbé dépasse le taux d'assimilation, le NH_4^+ libre s'accumule dans les tissus, ce qui a un fort impact sur la croissance des plantes (GIVAN, 1979 ; et REISENAUER, 1978 in FINDENEGG, 1987).

D'après SMITH et MIDDLETON en 1980, l'activité réductase a tendance d'augmenter dans les tissus de plante où le sodium est fortement accumulé. Tandis que, AL-RAWAHY *et al.*, (1992) indiquent que le stress salin comme le stress hydrique diminuent significativement l'absorption de le haricot au NH_4^+ et NO_3^- .

Selon CHOUARD (1952), un excès notable mais non toxique stimule exagérément la croissance végétative surtout celle des feuilles.

Si les valeurs toxiques sont atteintes, la chlorose du bord des feuilles s'étend entre les nervures suivies de la nécrose et du brunissement du bord des feuilles qui sèche et s'enroule, aboutissant à la chute des feuilles ou parfois à la chlorose de l'extrémité apicale des rameaux.

Une carence en azote selon SMIRNOV (1977) se traduit par un retard de croissance des organes végétatifs, et l'apparition d'une coloration verte pâle ou même verte jaune. Les organes de fructification entraînent une baisse de la récolte, et une diminution des protéines dans les produits agricoles.

III-2- LE SOUFRE:

Le soufre selon COIC (1984), entre dans la composition de deux acides aminés soufrés, la cystéine et la méthionine, ainsi que dans la constitution des enzymes fondamentales du métabolisme. Il entre aussi dans la constitution de composés soufrés spéciaux de certaines familles végétales (crucifères, liliacée,...).

L'excès en soufre se traduit par une couleur verte bleuâtre, plus petite. Les tiges sont dures, puis les feuilles se courbent en dedans et les bords brunissent (CHOUARD, 1952).

Selon le même auteur, en cas de carence la plante entière devient verte pâle ou jaunâtre, surtout les jeunes feuilles. Les tiges sont courtes et ligneuses, les feuilles deviennent épaisses et dures.

III-3- LE PHOSPHORE:

Le phosphore joue un rôle fondamental dans le métabolisme de toutes les catégories de substances biochimiques en tant qu'élément essentiel dans le transport d'énergie (COIC, 1984).

D'après CORNILLON et AUGÉ (1980), le prélèvement du phosphore deviennent très importants dès l'apparition des bouquets floraux, et surtout au moment du grossissement des fruits.

Selon DIEHL (1975), les seuls accidents qui peuvent être signalés en cas d'un excès de phosphore sont soit d'un déséquilibre N/P, soit d'une insolubilisation du fer dans le sol à la suite d'un apport excessif de phosphates solubles.

Toujours selon le même auteur, une carence en phosphore se traduit par :

- une réduction de taille
- un feuillage généralement foncé
- une défoliation précoce en commençant par la base de la plante
- une fructification défectueuse

III-4- LE POTASSIUM:

Cet élément nécessite en quantité énorme qui est irremplaçable, se trouve toujours aux sites où les synthèses sont très actives (COIC, 1984).

Selon HELLER (1981), le potassium intervient comme macrodynamique, s'ajoute des fonctions catalytiques ou un rôle oligo-dynamique dans la synthèse des protéines à partir des aminoacides, ainsi que dans la synthèse des polysides à partir des oses. Il favorise la photosynthèse et réduit les risques de flétrissement en cas de sécheresse. Il est indispensable aux divisions cellulaires, intervient dans la formation et/ou l'utilisation des phosphates riches en énergie, et maintient l'équilibre acido-basique dans les plantes.

D'après les travaux réalisés par SATTI *et al* en 1994, l'utilisation de potassium diminue l'effet de la salinité (NaCl) et donc augmente le poids des fruits par conséquent le rendement.

DIEHL (1975) indique qu'à cause de la consommation en lux de cet élément par les plantes, les symptômes d'un excès de (K_2O) sont rarement signalés. Tandis que HELLER (1969) indique qu'un excès en potassium perturbe l'assimilation des nitrates.

La carence en potassium se manifeste tout d'abord sur les organes les plus âgés (feuilles de base). Elle se traduit par des anomalies de pigmentation du feuillage d'abord vert bleuté, comme le cas d'un excès d'azote. Elle présente à bout d'un certain temps, des tâches qui se nécrosent rapidement amenant une dessiccation prématurée (DIEHL, 1975).

III-5- LE CALCIUM:

Le calcium est lié au maintien de la structure cellulaire en particulier des parois cellulaires. Il intervient dans l'hydratation et la perméabilité cellulaire (COIC, 1984). FENG et BARKER, (1992) confirment que le calcium améliore l'effet toxique de salinité, et spécialement, celui qui due au Na, mais l'effet bénéfique de Ca dépend de l'anion qu'il conjoint (le Cl est plus néfaste que SO_4).

Un excès de calcium se traduit notamment par des carences en fer et diminue la perméabilité cellulaire et freine la pénétration de l'eau et de la plupart des ions, d'où des antagonismes plus ou moins marqués. Notamment entre K et Mg. (HELLER, 1981 ; et HELLER *et al.*, 1998)

La carence en calcium se manifeste selon CHOUARD (1952) par une croissance faible, des parois cellulaires fragiles, avec un brunissement ou un noircissement des bourgeons terminaux.

III-6- LE MAGNESIUM:

Le magnésium fait partie de la molécule de chlorophylle, mais cela n'intéresse guère que 10% du magnésium de la plante, on entrevoit son rôle lié à l'utilisation du phosphore (COIC, 1984).

CHOUARD (1952) note : dans le cas d'un excès :

- une croissance exagérée des tiges et des racines
- diminution de floraison et de fructification

- les jeunes feuilles sont roulées.

Selon le même auteur précité, en cas de carence la chlorophylle ne peut se former. Il n'y a que peu ou pas de nécrose. Une chlorose débute entre les nervures des vieilles feuilles.

III-7- LE SODIUM:

Le sodium est présent dans tous les végétaux en quantité très variable 0,001 à 3,5% de la matière sèche, mais toujours inférieur au potassium. Il permet d'accroître par son action spécifique le rendement de quelques espèces végétales tel que la betterave (DIEHL, 1975).

D'après HELLER *et al.*,(1998), il est nécessaire au métabolisme des halophytes par sa neutralisation des acides et sa maintenance d'une pression osmotique hypertonique (pression interne supérieur au pression externe). Chez les halophytes l'osmorégulation (ajustement osmotique) est également facilitée par la conduction accélérée du Na et du Cl vers les feuilles. Les glucophytes au contraire, retiennent Na, et à moindre degré Cl dans leurs racines.

III-8- LES OLIGO-ELEMENTS :

Selon ANDRE (1986), les oligo-éléments absorbés par les plantes interviennent au métabolisme de la plante. Ils sont nécessaires aux enzymes soit comme activateurs, soit comme constituants spécifiques de systèmes enzymatiques, surtout les éléments qui présentent des valences multiples par leur rôle oxydoréduction, tel que, le fer (Fe), le manganèse (Mn), le cobalt (Co).

GERHARD (1993) indique que le fer est indispensable à la synthèse de la chlorophylle, sa carence entraîne rapidement une chlorose. On le trouve dans la solution du sol sous les formes suivantes : Fe^{+3} , $Fe(OH)_2^+$, $FeOH^{+2}$ et Fe^{+2} .

Du point de vue des besoins en éléments minéraux des enzymes, COIC et COPPENET (1989) distinguent deux classes d'enzymes :

- 1- Les enzymes pour les quelles il a été montré qu'un élément minéral spécifique en est un intégral (Fe, Cu, Zn, Mo).
- 2- Celles pour les quelles un ou plusieurs éléments agissent comme activateur (Mn, par exemple).



Chapitre IV :

LA SALINITE
DES EAUX ET DES SOLS

IV-1- DEFINITION :

La salinité du sol est définie par KOTUBY-AMACHER *et al.*, (1997) comme étant la quantité globale des sels solubles contenus dans la solution du sol. Elle se détermine par la mesure de la conductivité électrique d'extrait de patte saturée du sol (C.E_e). Elle s'exprime soit par unité de decisiemens par mètre (dS/m), soit en millimhos par centimètre (mmhos/cm).

IV-2- ORIGINES ET CAUSES DE LA SALINITE :

Les sels sont un composant commun et essentiel du sol, et plusieurs sels sont nécessaires en nutrition des plantes. L'origine des sels provient de la transformation des roches sous l'effet des facteurs climatiques, la fertilisation inorganique, les amendements du sol, et les eaux d'irrigation.

IV-3- LA SPECIFICITE DES IONS AFFECTANT LA TOXICITE ET LA DEFICIENCE DES PLANTES :

La salinité du sol peut avoir des ions spécifiques affectant la croissance des plantes. KOTUBY-AMACHER *et al.*, (1997) indiquent que la concentration élevée et moyenne de certains ions peut limiter ou bloquer l'assimilation des éléments et certains processus physiologiques. Ces ions sont : les cations Ca^{++} , Mg^{++} , et Na^{+} ; les chlorures Cl^{-} ; les sulfates SO_4^{-} ; en plus, les bicarbonates HCO_3 et HCO_3^{-} ; et carbonate de calcium CaCO_3 .

Sous des rares circonstances, le bore (B) peut provoquer des toxicités. La toxicité en bore est un problème potentiel lorsque la concentration de l'extrait saturé dépasse le 1 mg/l.

IV-4- LES EAUX SALINES :

La qualité de l'eau pose un problème de salinité quand la teneur en sel de l'eau d'irrigation est importante. L'accumulation de ces sels dans la zone racinaire risque de compromettre les rendements. Si des sels solubles s'accumulent en quantité excessive dans cette zone, l'eau du sol devient plus difficile à absorber par la culture (AYERS et WESTCOT, 1984).

En général, les eaux de la région méditerranéenne selon VAN HOORN (1995), ne montrent pas un excès de bicarbonate par rapport au calcium. Elles ne présentent donc pas un risque de sodicité, à l'exception des eaux souterraines proches de la mer à cause de leur teneur élevée en chlorure de sodium. Ces eaux ne peuvent souvent pas s'utiliser à long terme à cause de l'intrusion de l'eau de mer par surpompage.

IV-4-1- SOURCES DES EAUX SALINES :

Les causes et/ou les origines de la salinisation des eaux sont variables ; mais, généralement, nous pouvons rencontrer la possibilité de quatre cas d'après RHOADES et *al.*, (1992).

Dans certaines régions, les eaux salines et douces se trouvent en proximité proche, quand l'eau douce des nappes aquifères est exploitée, et qui est en communication hydraulique avec l'eau marine. Le changement du gradient de salinité peut se produire par infiltration des eaux salines depuis la mer vers le puits.

Dans une autre situation où le puits se trouve à un endroit où l'eau saline sous-jacente se trouve à la proximité sous l'eau douce, et lorsqu'il y a une surexploitation, l'eau saline envahit le puits de manière ascendante.

Dans les couches sédimentaires, l'eau devient de plus en plus salée avec l'augmentation de la profondeur. En général, l'eau bicarbonatée est saline à un niveau intermédiaire, la concentration du sel est plus élevée à des profondeurs plus grandes.

En général, la séquence remarquée est la suivante:

- eau riche en sulfates près de la surface;
- eau bicarbonatée salée à une profondeur intermédiaire;
- eau à une concentration élevée en chlorure à grande profondeur.

Dans les régions côtières, les sources des eaux de surface peuvent devenir salées à cause des influences des marées de la mer. Quand les hautes marées se déplacent vers les zones côtières, l'eau de mer pénètre aux niveaux des fleuves et canaux de drainages et atteint les zones d'intérieur.

IV-4-2- CLASSIFICATION DES EAUX SALINES :

Le tableau au-dessus indique l'établissement de différentes classes d'eau en fonction de leurs conductivités électriques (CE) et leurs concentrations en sels.

Tableau 01 :classification des eaux salines (RHOADES *et al.*,1992)

Classe d'eau	Conductivité électrique CE (dS/m)	Concentration en sels (mg/l)	Type d'eau
Non-salée	< 0.7	< 500	Eau potable et d'irrigation
Moindre salée	0.7 – 2	500 – 1500	Eau d'irrigation
Moyennement salée	2 – 10	1500 – 7000	Eau de drainage primaire, et eau souterraine
Hautement salée	10 – 25	7000 – 15000	Eau de drainage secondaire, et eau souterraine
Très hautement salée	25 – 45	15000 – 35000	Eau souterraine très saline
brine	> 45	>45000	Eau de mer

IV-4-3- UTILISATION DES EAUX SALINES :

L'utilisation judicieuse et propre des eaux salines et le recyclage des eaux de drainage, constitue actuellement la stratégie la plus importante d'aménagement des eaux salines pour l'irrigation. Cette stratégie est établie dans plusieurs endroits du monde, dont, nous situons trois cas étudiés par RHOADES et al en 1992.

IV- 4-3-1- Etats Unis :

En USA et depuis 75 à 100 ans, l'eau saline est utilisée avec succès pour l'irrigation dans plusieurs surfaces du sud-ouest. En Pecos Valley (ouest de Texas) l'eau de 2500 mg/l jusqu'au moins 6000 mg/l est utilisée avec succès pour l'irrigation de 81000 ha en trois décennies. Les produits de récoltes sont généralement, le coton, petit pois, grain de sorgho, et alfa.

Traditionnellement, la majorité des champs cultivés dans le Far West Texas sont irriguées par des méthodes de sillons. Cette méthode provoque l'accumulation des sels dans la crête de lit, qui cause souvent la mortalité des plantules ou la réduction de la germination. Pour minimiser de telles accumulations, une irrigation alternative par sillons est fréquemment utilisée dans la zone de Trans-Pecos. Sous ce système, les sels sont poussés vers les sillons non hydratés.

Les eaux du sol salin sont utilisées avec succès pour l'irrigation dans les régions chaudes et secs de l'Arizona et cela pendant des décennies. Les terres sont typiquement cultivées en coton, en utilisant l'eau des puits à salinité inférieure avec des sillons d'irrigation alternatives. L'irrigation par l'eau des puits est adoptée après la germination.

IV- 4-3-2- Tunisie :

Les eaux salines de la rivière Medjerba de Tunisie sont utilisées pour l'irrigation des palmiers, sorgho, orge, alfa, ray-gras, et artichaut.

En 1962, le gouvernement tunisien a créé un centre de recherche pour l'utilisation des eaux salines dans l'irrigation avec l'assistance des Nations Unies et UNESCO. Des stations expérimentées sont choisies pour être représentative des différentes combinaisons des sols, climats, et des eaux d'irrigation à composition prédominante en Tunisie.

Les contenus chimiques et les compositions des sols irrigués deviennent stables après environ quatre ans d'irrigation. Les pluies hivernales peuvent être exploitées pour un lessivage intense des sols. Les meilleurs terrains des productions appropriées peuvent être obtenus avec l'utilisation des eaux de pluies typiques pour l'irrigation en prenant certaines précautions.

La salinité dans les eaux d'irrigation n'est pas considérée comme une barrière insurmontable.

IV- 4-3-3- Egypte :

L'Egypte est un pays à prédominance aride et les pluies dissipées en nord peuvent durement supporter différents produits agricoles. L'agriculture dépend principalement de l'irrigation par le Nil. Le besoin croissant en productions alimentaires pour faire face à

l'accélération démographique pousse le pays à utiliser toutes les sources d'eau pour l'expansion de l'irrigation agricole. L'utilisation directe des eaux de drainage pour l'irrigation avec des salinités qui varient entre 2 à 3 dS/m pendant 25 ans pour irriguer plus de 10.000 ha.

La politique du gouvernement égyptienne est d'utiliser les eaux de drainage directement pour l'irrigation si la salinité est inférieure à 700 mg/l.

Différents mélanges peuvent être utilisés, tels que 1/1 avec l'eau du Nil si sa concentration est de 700 à 1500 mg/l ; 1/2 ou 1/3 avec l'eau de Nil si sa concentration est de 1500 à 3000 mg/l, enfin, éviter la réutilisation si la salinité des eaux de drainage est plus de 3000 mg/l.

Pour réduire le volume des eaux de drainage et minimiser les eaux de pollution, de nouvelles stratégies ont été développées et expérimentées par les autorités gouvernementales dans l'oasis de Siwa. Ceci englobe :

- L'utilisation des flux naturels du printemps pour irriguer les productions hivernales telles que les céréales et fourrages.
- L'utilisation des eaux salines à plus de 5 dS/m pour irriguer les cultures tolérantes telles que l'orge et le sorgho.
- L'utilisation des eaux de drainages biologiquement actives pour la production des arbres fruitiers et du brise-vent naturel.
- L'utilisation des eaux de drainage pour la stabilisation des dunes de sables.
- L'utilisation des eaux de drainage ou l'alternance des eaux de drainage avec la bonne eau.

IV- 5- LES SOLS SALES :

IV- 5-1- LA SALINISATION DES SOLS :

Selon HUDSON (1987), les conditions des régions arides, telles que les faibles précipitations, la forte évaporation, et le faible lessivage du sol, sont les causes d'une accumulation de quantité excessive des sels solubles, ce qui à pour effet un retard ou une limitation de la croissance des plantes. Ces sols sont appelés "sols salés".



D'après la même source, des nombreux auteurs préfèrent maintenant le terme de sols salsodiques, car il rend compte des deux manifestations principales de la salinité à savoir : la présence de sels solubles en quantité importante dans la solution du sol, mais également de l'importance du sodium sur le complexe absorbant.

Les sols qui contiennent des sels solubles en excès sont désignés par le nom de sols salins et ceux qui contiennent en excès de sodium échangeable sont désignés par le nom de sols alcalins ou sodiques.

La salinisation des sols se manifeste par deux voies, qui sont :

IV- 5-1-1- LA SALINISATION PRIMAIRE :

Elle est due principalement aux sels qui se forment in situ au cours du processus d'altération des roches. La migration et le dépôt de ces sels solubles dépendent de l'intensité et de la répartition des précipitations (climat), du degré de porosité du sol et d'autres caractéristiques du milieu naturel (HUDSON,1987).

Selon le même auteur, les régions arides et semi-arides sont sous l'influence du climat qui se caractérise par une évapotranspiration intense, favorisant l'augmentation de la concentration des sels dans le sol. De même, l'existence d'un mauvais drainage, à cause soit d'une topographie défavorable, soit d'une texture ou structure défavorable (une faible perméabilité) ou de la présence d'une couche imperméable conduit à une accumulation des sels.

IV- 5-1-2- LA SALINISATION SECONDAIRE :

Toujours selon le même auteur, la salinisation secondaire est principalement provoquée : par l'irrigation avec une eau de mauvaise qualité, un lessivage insuffisant, un drainage déficient, un niveau élevé de la nappe phréatique et une évapotranspiration importante.

D'après KATERJI (1995), dans beaucoup de région du bassin méditerranéen. Les sols présentent des niveaux de salinité de plus élevés. Très souvent, cette situation résulte de la pratique d'une irrigation intensive, associée à une surestimation des besoins en eau des plantes cultivées et à l'absence d'un réseau de drainage.

IV-5-2- LA CLASSIFICATION DES SOLS SALIN :

Les sols sont classés en fonction de leur degré de salinité, en prenant en compte de leur sodicité. Selon KOTUBY-AMACHER *et al.*, (1997), ils définissent la sodicité par le taux d'adsorption du sodium (SAR : Sodium Adsorption Ratio). Elle est calculée à partir des mesures effectuées sur l'eau d'extrait du sol. Elle est basée sur la concentration du sodium (Na), calcium (Ca), et magnésium (Mg) dans l'échantillon. Le calcul de SAR accomode la différence en tension d'adsorption.

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{[Ca^{++}] + [Mg^{++}]}{2}}}$$

Il y a trois catégories des sols salins et sodiques, déterminés par un système de classification établi par le laboratoire américain de la salinité « Staff ».

- sols salins : ils sont définis par un CE supérieure à 4 dS/m et un SAR inférieur à 13.
- sols sal-sodiques : ils possèdent un CE supérieure à 4 dS/m et un SAR supérieur à 13.
- sols sodiques : ils ont un CE inférieure à 4 dS/m et un SAR supérieur à 13.

IV-5-3- LA SALINITE DANS LE MONDE :

La salinité du sol selon LASRAM (1995) est le problème le plus répandu. Il constitue un facteur limitant pour la production des cultures irriguées. La salinité intéresse principalement les régions arides et semi-arides, et touche environ un milliard d'hectares dans le monde. Les terres irriguées affectées par la salinité correspondent à 27% de la surface irriguée dans le monde soit un tiers des terres agricoles.

Tableau 2: superficies affectées par la salinité dans le monde (LASRAM, 1995).

Région	Millions d'hectare	Région	millions d'hectares
Afrique	80,5	Australie	357.3
Amérique du Nord	15.7	Mexique et Amérique centrale	2.0
Amérique du sud	129.2	Asie centrale et du Nord	211.7
Asie du sud	87.6	Asie du Sud Est	20
Europe	50.8		
Total	954.8		

IV- 5-4- LA SALINITE EN ALGERIE :

Selon DROUHIN (1961), la salure des sols algériens est la plus souvent sédimentaire. De plus on trouve toute la gamme des climats secs et chauds, depuis le semi-aride de certaines plaines sub-littorales, en passant par l'aride déjà bien accusé, des hautes plaines steppiques, jusqu'à l'extrême aride du Sahara.

Selon HALITIM (1988), la source des sels en zone aride algérienne est essentiellement constituée par les roches mères sous-jacentes ou situées en amont de plaines quaternaires. Les premières phases de salinisation et de sodisation vont donc impliquer l'altération des roches mères sous-jacentes, la circulation des solutions salines en surface et dans le sol, et enfin l'action d'une nappe active et peu profonde. Ces processus, qui font que la quasi-totalité des sols de la zone aride présente une évolution saline très importante, sont donc commandés par la dynamique de l'eau à tous les niveaux de paysage.

Aussi selon DROUHIN (1961), deux types de salure peuvent être reconnus en Algérie :

- La salure de la région tellienne (plaines sub-littorales) et des hautes plaines steppiques où l'élément toxique est constitué essentiellement par le chlorure de sodium (NaCl) ou chlorure de magnésium (MgCl₂) ou l'association de ces deux composés. Ils constituent (saland blanc)

- La salure des vallées et des dépressions sahariennes ou le climat est chaud, favorise l'apparition du carbonate de soude (salant noir) dont la toxicité est redoutable.

DAOUD et HALITIM (1994) ajoutent qu'en Algérie, la salinisation secondaire à la suite de l'irrigation avec des eaux diversement minéralisées a entraîné une extension de la salure dans de nombreux périmètres irrigués.

IV- 6- EFFETS DES SELS :

IV- 6-1- EFFETS DES SELS SUR LE SOL :

Les sols salés sont caractérisés par des propriétés physiques, chimiques et biologiques défavorables à la croissance des végétaux en raison de la présence de sels solubles, et/ou de sodium échangeable en quantité élevée.

IV- 6-1-1- MODIFICATION DES PROPRIETES PHYSIQUES :

RHOADES *et al.*, (1992) indiquent que l'accumulation du sodium peut avoir une action néfaste sur la structure du sol, car il peut provoquer le gonflement des terres, ce qui aboutit à la séparation des particules d'argiles et des matières organiques (le complexe argilo-humique), et par conséquent, un tassage serré des particules du sol causant une forte réduction de perméabilité et de porosité du sol.

IV- 6-1-2- MODIFICATION DES PROPRIETES CHIMIQUES :

En présence des sels salins ou sodiques le pH devient égal ou supérieur à 8, ce qui peut induire la mort de certaines espèces végétales. Une forte concentration en ions Ca^{++} et Na^+ entraîne une diminution de la disponibilité du phosphore et du carbonate de calcium, un blocage du manganèse (Mn), du fer (Fe), du cuivre (Cu) et du magnésium (Mg) (RHOADES *et al.*, 1992).

IV- 6-2- EFFETS DES SELS SUR LA PLANTE :

Les plantes croissant en milieu salin, selon HORST (1986) et FENIAND et BARKER (1992), sont en face de deux problèmes : l'effet d'intoxication causé par des ions spécifiques,

et une concentration élevée des sels dans la solution du sol (et donc une pression osmotique élevée) accélérant le déficit hydrique des plantes.

Les symptômes de salinité sont généralement synonymes à ceux de stress hydrique. Initialement, les plantes prennent une couleur bleue verdâtre foncée à cause de l'accumulation excessive de cire qui sert à réduire la perte d'eau à travers les stomates. Eventuellement, les feuilles deviennent brunes si le stress continu (SEEIG,2000).

IV- 6-2-1- ACTION SUR LA NUTRITION MINERALE :

Comme pour l'absorption de l'eau, l'alimentation en éléments nutritifs du végétal repose sur la pression osmotique du suc cellulaire qui devra être supérieur à celle de la solution du sol. Si, par défaut, on rencontre le processus inverse suite à la concentration en sels dans la solution du sol, ceci entraîne une absorption accrue de certains éléments aux dépens des autres ce que l'on appelle les phénomènes de synergisme et d'antagonisme aboutissant à des déséquilibres chimiques (ioniques) (HELLER,1981).

D'après les travaux de AL-RAWAHY *et al* en 1992, l'irrigation avec des eaux qui contiennent des grandes quantités de NaCl, provoquent des effets d'antagonisme sur les éléments nutritifs sous l'effet des ions Cl^- ou Na^+ , soit les deux ions à la fois. Ils supposent que la réduction de rendement provoqué par une salinité croissante n'est pas due uniquement à la toxicité de Cl^- , mais elle peut être due partiellement à une déficience en NO_3^- causée par la concentration externe de Cl^- .

IV- 6-2-2- ACTION SUR LES PHENOMENES PHYSIOLOGIQUES :

Selon HORST (1986), l'effet salinité sur la croissance des espèces végétales, suite à une accumulation limitée des sels (exclusif) diffère de celui de la croissance des espèces où le taux d'accumulation et la translocation des ions de sels sont relativement élevé (inclusif) pour les plantules (notamment Cl^- et/ou Na^+).

Cet auteur ajoute que si le déficit hydrique où la toxicité des ions est le principal obstacle à la croissance des plantes. Elle est aussi dépendante du type de salinité (prédominance de Cl^- ou SO_4^{2-} et du rapport $\text{Ca}^{++}/\text{Na}^+$), de la durée d'exposition à la salinité et du taux de salinité.

La sécheresse physiologique et/ou la salinité physiologique au niveau des tissus qui est la résultante des effets osmotiques ou ioniques de la salinité, peut inhiber la photosynthèse à différents niveaux des voies métaboliques (HELLER, 1981).

Selon BINET (1982), Le NaCl chez certaines espèces est capable d'orienter les mécanismes de la photosynthèse vers des types permettant un anabolisme efficace en milieu difficile et par la suite une résistance au sel voir une halophilie. Aussi, HORST (1986) ajoute que la salinité peut aussi augmenter l'activité respiratoire des racines.

IV- 7- TOLERANCES DES PLANTES A LA SALINITE :

La réaction des plantes à la salinité varie selon les espèces, les cultivars, l'âge et les conditions climatiques (MORARD, 1995). Le même auteur propose une classification qui repose sur trois groupes suivant la tolérance à la salinité.

Groupe 1 : il concerne les plantes pour lesquelles le développement correspond à des concentrations de 0.2 à 2 g/l, exemple : haricot, concombre, laitue.

Groupe 2 : il comprend les plantes tolérantes à une certaine salinité puisque la concentration optimum semble se situer entre 2 et 4 g/l (tomate, chou).

Groupe 3 : il est représenté par les plantes résistantes à des concentrations élevées en sels 5 et 8 g/l (betterave, épinard).

La tolérance à la salinité est en fonction de l'espèce et les facteurs de milieu. Selon KOTUBY-AMACHER *et al* (1997), les fruits, les légumes et les plantes ornementales sont plus sensibles aux sels que les plantes fourragères et/ou de grandes cultures (tableau n°3). BOTIA *et al.*, (1998) indique que la tolérance relative pendant la germination des semences, l'émergence des plantules et les stades ultérieurs peut être différente. Le climat et l'irrigation ont aussi une influence sur la tolérance au salinité. Les problèmes des sels sont plus sévère sous les conditions de chaleur et de sécheresse que sous les conditions de froid et d'humidité (KOTUBY-AMACHER *et al.*, 1997).

Les mécanismes d'adaptation ou de tolérance à la salinité prennent plusieurs formes selon HORST (1986). On constate une haute concentration des sels au niveau de certains tissus, soit l'utilisation des sels dans le phénomène de turgescence (régulation osmotique)

ou par le remplacement de K^+ par Na^+ dans diverses fonctions métaboliques. Ainsi, il peut y avoir une capacité d'exclusion de l'excès des sels (Cl^- et Na^+) qui varie selon les espèces végétales et même selon les variétés.

Tableau 3 : la tolérance au salinité chez les différents espèces (KOTUBY-AMACHER *et al.*, 1997)

Culture		Seuil CE _e (dS/m)	Perte de rendement		
			10% CE _e (dS/m)	25% CE _e (dS/m)	50% CE _e (dS/m)
légumes	Haricot	1.0	1.5	2.3	3.6
	Betterave	5.3	8.0	10.0	12.0
	Cantaloup	2.2	3.6	5.7	9.1
	Concombre	2.5	3.3	4.4	6.3
	Pastèque	2.0	2.5	3.5	4.5
	Poivron	1.3	2.2	3.3	5.1
	Tomate	2.5	3.5	5.0	7.6
Arbres fruitiers	Pommier	1.7	2.3	3.3	4.8
	Poirier	1.7	2.3	3.3	4.8
	Pêcher	1.7	2.2	2.9	4.1
	Abricotier	1.5	2.0	2.6	3.7
	Vigne	1.5	2.5	4.1	6.7
Grandes cultures	Orge	8.0	9.6	13.0	17.0
	Blé	4.7	7.0	9.5	13.0
	Sorgho	4.0	5.1	7.1	10.0
	Mais	2.7	3.7	6.0	7.0

DEUXIEME PARTIE :

MATERIEL ET METHODES

1- OBJECTIF DE L'EXPERIENCE :

Notre expérimentation vise à évaluer d'une part, le comportement de deux cucurbitacées : le concombre (*Cucumis sativus L.*) et la courgette (*Cucurbita pepo L.*), cultivées en hors-sol dans une eau saline naturelle en comparaison avec la même eau corrigée ou transformée en solution nutritive ; et d'autre part, il a été convenu de comparer le comportement de ces deux plantes face à l'antagonisme en cations, afin d'éliminer ou de réduire l'effet du cation Na^+ qui induit des problèmes physiologiques de type toxicité quand il est présent en trop grande quantité dans les milieux tout en substituant partiellement l'ion NH_4^+ à l'ion NO_3^- . La proportion de NH_4^+ passe de 15% (T2) à 25% (T3), alors que l'ion NO_3^- est de 85% (T2) et devient 75% (T3).

Ce travail expérimental a été préalablement suivi par un essai en pépinière afin de détecter le stade physiologique approprié à un tel comportement d'une espèce en milieu salé.

Pour cela, trois situations ont été envisagées pour un essai préliminaire :

- Irrigation des pots avec les différents traitements dès le semis des graines (S).
- Irrigation des pots avec les différents traitements dès la germination des graines (G).
- Irrigation des plantules avec les différents traitements dès le stade de levée (apparition de la première feuille) (L).

2- MATERIEL VEGETAL :

Le matériel végétal utilisé dans notre expérimentation comporte deux espèces qui sont :

- le concombre (*Cucumis sativus L.*), Variété : Super Marketer,
- la courgette (*Cucurbita pepo L.*), Variété : Quarantaine.

3- CONDITIONS EXPERIMENTALES :

3-1- LIEU DE L'EXPERIENCE :

Notre expérimentation a été réalisée à la station expérimentale de l'Institut d'Agronomie de Blida, sous serre en polyméthacrylate de méthyle dont :

- L'orientation est Nord-Sud,
- L'aération est assurée par des fenêtres placées latéralement de part et d'autre de la serre,
- Le chauffage est assuré par des radiateurs à l'eau chaude.
- Des relevés quotidiens de la température ambiante ont été effectués à trois moments de la journée (9h, 12h, 16h).

3-2- LE SUBSTRAT :

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

Une désinfection s'est avérée nécessaire avant son utilisation et ce, pour éviter tout risque de contamination par des maladies parasitaires. Cette procédure comporte les étapes suivantes :

- L'élimination des particules terreuses et des débris végétaux par un lavage abondant et répété à l'eau courante;
- La désinfection du gravier avec une solution javellisée à 4° durant 24 heures ;
- Le rinçage abondant à l'eau permettant l'élimination de toutes traces de Javel fortement nocive pour les jeunes plantules ;
- Le remplissage des pots (containers) avec le gravier lavé et désinfecté.

3-3- LES CONTAINERS :

Les containers utilisés sont de deux types :

- Pour le stade plantule, ce sont des pots en polyéthylène, de couleur blanchâtre, ayant une capacité de 220 ml.
- Pour le stade plantes entière (adulte), ce sont des pots de 3000 ml.

Ces deux types de pots présentent un orifice de drainage à leur base permettant l'évacuation des eaux en excès.

4- DESCRIPTION DES DIFFERENTS TRAITEMENTS :

Les traitements utilisés sont au nombre de quatre et qui correspondent :

T₁ : eau saline naturelle de Gassi Touil ayant une CE = 2,12 mmhos/cm.

T₂ : eau saline de Gassi Touil corrigée représentant une proportion de NH_4^+ = 1.8 meq et celle de NO_3^- = 10.2 meq /l, , soit 15% et 85% de l'azote total respectivement. Sa CE est de 3,22 mmhos/cm.

T₃ : eau saline de Gassi Touil corrigée puis modifiée représentant une proportion de NH_4^+ =1.8 meq/l et celle de NO_3^- = 7.2 meq/l, soit 25% et 75% par rapport à l'azote total respectivement. Sa CE est de 2,82 mmhos/cm.

T₄ : solution nutritive témoin (non saline), synthétisée selon les normes LESAINTE et COIC (1983) sur les bases suivantes :

- La quantité d'azote = 12 meq/l dont 10,2 meq/l (85%) sous forme de NO_3^- , et 1,8 meq/l (15%) sous forme de NH_4^+ .
- Ajustement de pH de la solution à une valeur de 5.5 à 5.8.
- Prise en compte des éléments minéraux utiles déjà présents dans l'eau.

Le traitement T4 a une CE = 1,60 mmhos/cm.

5- DISPOSITIF EXPERIMENTAL :

Deux dispositifs expérimentaux ont été adoptés au cours de notre expérimentation.

5-1- dispositif experimental : essai plantules (pépinière)

Le premier dispositif est mis en place pour l'essai plantules (pépinière). Il correspond à un split-plot à deux facteurs, dont le facteur principal est le stade végétatif, à savoir:

- **S** : irrigation par les traitements dès le semis des graines.
- **G** : irrigation par les traitements dès la germination des graines.
- **L** : irrigation par les traitements dès la levée des plantules.

La solution nutritive représente le facteur secondaire. Celui-ci est réalisé en trois blocs.

Au niveau de chaque traitement, nous avons 12 observations, soit 144 plants par bloc, et 432 plants au total.

Nous avons disposé les observations au niveau de chaque traitement et pour chacun des blocs de telle sorte à effectuer trois prélèvements ou coupes successives (C1, C2, C3) à raison de 4 plants/ traitement/Bloc/stade.

* Le concombre :

- 1^{ère} coupe (**C1**) : 32 jours après le semis ;
- 2^{ème} coupe (**C2**) : 42 jours après le semis ;
- 3^{ème} coupe (**C3**) : 53 jours après le semis.

*La courgette :

- 1^{ère} coupe (**C1**): 24 jours après le semis ;
- 2^{ème} coupe (**C2**): 34 jours après le semis ;
- 3^{ème} coupe (**C3**): 44 jours après le semis.

Figure 1 : schéma du Dispositif expérimental : essai plantules (pépinière)

Bloc 2

	T3			T4			T2			T1		
	G	L	S	L	S	G	L	G	S	S	G	L
C1	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4
C2	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4
C3	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4

Bloc 1

	T4			T1			T2			T3		
	S	G	L	G	S	L	S	L	G	L	S	G
C1	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4
C2	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4
C3	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4

Bloc 3

	T2			T3			T4			T1		
	G	S	L	S	G	L	G	L	S	S	L	G
C1	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4
C2	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4
C3	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4	P1 P2 P3 P4

- T1, T2, T3, T4 : traitements testés.
- S : irrigation par les traitements dès le semis des graines.
- G : irrigation par les traitements dès la germination des graines.
- L : irrigation par les traitements dès la levée des plantules.
- P1, P2, P3, P4 : observations ou plants.

5-2- Dispositif expérimental : essai plantes entière (adulte) :

Le deuxième dispositif concerne l'essai plantes entière (adulte) et qui repose sur un essai en bloc aléatoire complet à deux répétitions. ayant pour objectif l'effet des différents milieux sur la croissance, le développement et la qualité des fruits des espèces testées.

Chaque bloc est constitué de quatre traitements disposés de manière aléatoire selon la table de permutation des nombres aléatoires de 1 à 10.

Pour ce deuxième dispositif (plante entière) nous avons 9 observations, soit 36 plantes par bloc et par espèce, et 72 plantes au total.

Figure 2 : schéma du Dispositif expérimental : essai plantes entière (adulte)

P9	P9	P9	P9
P8	P8	P8	P8
P7	P7	P7	P7
P6	P6	P6	P6
P5	P5	P5	P5
P4	P4	P4	P4
P3	P3	P3	P3
P2	P2	P2	P2
P1	P1	P1	P1
T3	T4	T2	T1
Bloc 2			

P9	P9	P9	P9
P8	P8	P8	P8
P7	P7	P7	P7
P6	P6	P6	P6
P5	P5	P5	P5
P4	P4	P4	P4
P3	P3	P3	P3
P2	P2	P2	P2
P1	P1	P1	P1
T4	T1	T2	T3
Bloc 1			

- T1, T2, T3, T4 : traitements testés.

-P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9 : observations ou plants

6- FORMULATION DES TRAITEMENTS :

Vu l'importance des besoins hydriques de la totalité des plantules et plantes, et vu la difficulté d'approvisionnement de ces eaux salines, une reconstitution de ces dernières avec l'eau de Blida s'est avérée nécessaire.

6-1- CARACTERISTIQUES DE L'EAU DE BLIDA :

La concentration globale des sels contenus dans l'eau de Blida est de 0,43 g/l, teneur supérieure à 0,2 g/l (norme indiquée par PENNINGSFELD et KURZMANN (1969), où l'analyse de l'eau peut ne pas être indispensable), pour cela l'analyse de l'eau de Blida a été jugée nécessaire afin d'en tenir compte lors de la préparation des différents traitements.

Tableau 4 : " teneurs de différents éléments minéraux dans l'eau de Blida "

Eléments		K ⁺	Ca ⁺⁺	Na ⁺	Mg ⁺⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	CO ₃ ⁼	HCO ₃	total
Teneur	mg/l	0	56	29.6	21.6	21.7	28.4	21.3	0	245	433.9
	meq/l	0	2.8	1.3	1.8	0.35	0.8	0.60	0	4.08	11.73
pH		7.8									

6-2- CORRECTION DE L'EAU DE BLIDA :

Compte tenu des teneurs ci-dessus (tableau n°04), il apparaît que l'eau de Blida contient une quantité non négligeable de bicarbonates (4,08 meq/l), ce qui est néfaste pour les jeunes plantules. De plus, elle présente un pH 7,8.

La correction consiste à utiliser un acide pour détruire partiellement les bicarbonates et d'abaisser le pH de 7,8 à 5,8 (pH favorable à la croissance et au développement des végétaux).

La gamme d'acides à utiliser est très variable, mais il est utile d'utiliser des acides constitués d'éléments utiles pour la plante, tels que l'acide nitrique (HNO₃) et l'acide phosphorique (H₃PO₄) qui permettent d'apporter respectivement à la plante les nitrates et le phosphore.

La quantité d'acide nécessaire à la correction de pH est obtenue par la relation suivante :

$$Q = \text{quantité de HCO}_3 \text{ (meq/l)} \times 0.833$$

$$Q = 4.08 \times 0.833 = 3.3 \text{ meq/l d'acides}$$

Ces 3.3 meq/l d'acides sont répartis entre :

- H_3PO_4 : 1.1 meq/l (1 meq d'acide utilisable équivaut à 3.3 meq de PO_4^{-3})
- HNO_3 : $3.3 - 1.1 = 2.2$ meq/l.

6-3- PREPARATION DES DIFFERENTS TRAITEMENTS :

A partir de l'eau de Blida, les différents traitements T1, T2, T3 et T4 ont été reconstitués selon les critères suivants :

- Prise en compte des éléments minéraux déjà présents dans l'eau de Blida (anions, cations).
- Apports des éléments manquants afin d'avoir un total anions et cations le plus proche possible de la composition des eaux T1, T2, T3 et T4
- Ajustement du pH des solutions T2, T3 et T4 à une valeur optimale pour le végétal en culture (pH = 5.5 à pH = 5.8).
- Tous les traitements à l'exception du T1, reçoivent du fer et des oligo-éléments. Le fer est apporté à raison de 5 ml/l du solution prête à l'utilisation de concentration 2 g/l sous forme de séquestrene de fer 138Fe. Les oligo-éléments ont été ajoutés à raison de 0.1 ml/l (tableau n°05).

Pour la préparation de ces traitements, on élabore préalablement des solutions mères concentrées ; puis, on dilue au moment de l'emploi, en commençant par l'apport des produits à fonction acide et les plus solubles, pour éviter toute précipitation des sels.

Tableau 5 : composition de solutions mères complémentaires d'oligo-élément « A » et « B » (COIC et LESAIN, 1975).

solution "A"			Solution "B"		
Elément	dose g/l	prélèvement ml	élément	Dose g/l	prélèvement ml
Molybdate d'ammonium (NH ₄) ₆ MO ₇ ·14H ₂ O	0.5	0.1	Séquestréne de fer	2	5
acide borique H ₃ BO ₃	15				
Sulfate de manganèse MnSO ₄ ·4H ₂ O	20				
Sulfate de cuivre CuSO ₄ ·5H ₂ O	2.5				
Sulfate de zinc ZnSO ₄ ·7H ₂ O	10				

Un contrôle régulier se réalise après chaque préparation à savoir la mesure de la conductivité électrique (C.E) et le pH.

La composition minérale des différents traitements est indiquée dans les tableaux suivants :

Tableau 6 : Eau de Gassi Touil naturelle (meq/l). pH = 7,6 .

Anions \ Cations	NO ₃ ⁻ 0.55	PO ₄ ⁻³ 0	SO ₄ ⁻ 17.7	Cl ⁻ 14.1	Total
K ⁺ 0.5					0.5
Na ⁺ 16.5					16.5
Ca ⁺⁺ 9.1					9.1
Mg ⁺⁺ 8.4					8.4
NH ₄ ⁺ 0					0
HCO ₃ ⁻ 2.21					2.21
Total	0.55	0	17.7	14.1	

Tableau 7 : Eau de Gassi Touil naturelle reconstituée avec l'eau de BLIDA (meq/l). pH = 7,6 : **T1**

Anions \ Cations	NO ₃ ⁻ 0.35	PO ₄ ⁻³ 0	SO ₄ ⁻ 0.8	Cl ⁻ 0.6	Total
K ⁺ 0	0.2			1.35	1.55
Na ⁺ 1.3			9.35	5.85	16.5
Ca ⁺⁺ 2.8				6.3	9.1
Mg ⁺⁺ 1.8			6.6		8.4
NH ₄ ⁺ 0					0
H ⁺					0
Total	0.55	0	16.75	14.10	

Tableau 8 : Eau de Gassi Touil corrigée, reconstituée avec l'eau de Blida (meq/l). pH = 5,8 : **T2**

Anions Cations	NO ₃ ⁻ 0.35	PO ₄ ⁻³	SO ₄ ⁼ 0.8	Cl ⁻ 0.6	Total
K ⁺ 0			7.6		7.6
Na ⁺ 1.3			2.45	12.75	16.5
Ca ⁺⁺ 2.8	5.85			0.45	9.1
Mg ⁺⁺ 1.8			6.6		8.4
NH ₄ ⁺ 0	1.8				1.8
H ⁺	2.2	1.1			3.3
Total	10.2	3.3	17.45	13.8	

N total = 12 meq/l $\left\{ \begin{array}{l} 10,2 \text{ meq/l NO}_3^- (85\%) \\ 1,8 \text{ meq/l NH}_4^+ (15\%) \end{array} \right.$

Tableau 9 : Eau de Gassi Touil corrigée puis modifiée, reconstituée avec l'eau de Blida (meq/l). pH = 5,8 : **T3**

Anions Cations	NO ₃ ⁻ 0.35	PO ₄ ⁻³	SO ₄ ⁼ 0.8	Cl ⁻ 0.6	Total
K ⁺ 0	1.05		1.75		2.8
Na ⁺ 1.2			8.3	6.9	16.5
Ca ⁺⁺ 2.8				6.3	9.1
Mg ⁺⁺ 1.8			6.6		8.4
NH ₄ ⁺ 0	1.8				1.8
H ⁺	2.2	1.1			3.3
Total	5.4	3.3	17.45	13.8	

N total = 7,2 meq/l $\left\{ \begin{array}{l} 5,4 \text{ meq/l NO}_3^- (75\%) \\ 1,8 \text{ meq/l NH}_4^+ (25\%) \end{array} \right.$

Tableau 10 : solution nutritive témoin, reconstituée avec l'eau Blida (meq/l).

pH = 5,8 : **T4**

Anions Cations	NO ₃ ⁻ 0.35	PO ₄ ⁻³	SO ₄ ⁼ 0.8	Cl ⁻ 0.6	Total
K ⁺ 0	3.55		0.7		4.25
Na ⁺ 1.3					1.3
Ca ⁺⁺ 2.8	2.3				5.1
Mg ⁺⁺ 1.8					1.8
NH ₄ ⁺ 0	1.8				1.8
H ⁺	2.2	1.1			3.3
Total	10.2	3.3	1.5	0.6	

Les différents traitements sont composés de :

- a) Pour corriger le pH et assurer les besoins en azote et en phosphore des différents traitements modifiés, on a apporté les quantités d'acides suivantes.

- HNO_3 : $2,2 \text{ (meq/l)} \times 63 \text{ (g/mol)} = 138,6 \text{ mg/l}$ (T2, T3, T4).

- H_3PO_4 : $1,1 \text{ (meq/l)} \times 98 \text{ (g/mol)} = 107,8 \text{ mg/l}$ (T2, T3, T4).

b) Teneur en oligo-éléments : solution « A » + solution « B » = 14,8 mg/l.

c) Teneur en éléments contenus dans l'eau de Blida = 188.9 mg/l.

d) Les quantités des autres éléments utilisés pour la préparation des différents traitements sont indiquées dans le tableau suivant.

Tableau 11 : Concentration de différents traitements.

Traitements		T1	T2	T3	T4
Sels minéraux					
KNO₃		20.20	-	106.05	358.55
KCl		22.30	-	-	-
Na₂SO₄		663.85	173.95	589.3	-
NaCl		341.93	745.23	403.30	-
CaCl₂, 2H₂O		461.16	33.07	463.05	-
MgSO₄, 7H₂O		811.8	811.8	811.8	-
K₂SO₄		-	661.2	152.25	60.9
(NO₃)₂Ca, 4H₂O		-	690.3	-	271.4
NO₃NH₄		-	144	144	144
Apport HNO₃		-	138.6	138.6	138.6
Apport H₃PO₄		-	107.8	107.8	107.8
Apport eau de Blida		188.9	188.9	188.9	188.9
Apport oligo-élément		-	14.8	14.8	14.8
Total	mg/l	2510.14	3602.93	3119.85	1284.95
	g/l	2.51	3.60	2.87	1.28

7- LA CONDUITE DES CULTURES :

7-1 SEMIS, GERMINATION, LEVEE :

Le semis des graines s'est réalisé directement dans le gravier préalablement lavé et désinfecté contenu dans les containers le 12-11-2000 pour le concombre, et le 18-11-2000 pour la courgette.

La germination de la totalité des graines des deux espèces a lieu 10 jours après le semis.

L'apparition de la première feuille a été observée le 13eme jour après le semis chez la courgette et le 22eme jour chez le concombre.

7-2 DOSES ET FREQUENCES DES ARROSAGES :

Les besoins hydriques des plantes sont identifiés tout d'abord grâce un bloc ETM (évapotranspiration moyenne) qui nous permet de mesurer le volume réellement évapotranspiré. Ensuite, on ajoute un surplus de 30 % représentant le drainage afin d'évacuer les excès des sels accumulés. Le volume quotidien mesuré est apporté sous forme fractionnée aux plantes.

En ce qui concerne l'essai (pépinière), Il est très important de noter que l'arrosage des plantules appartenant au traitement « L » et « G » ont subit un arrosage avec l'eau du robinet au début de culture et ce jusqu'au stade retenu dans l'expérimentation à savoir stades de germination (G) et levée (L).

7-3 TRAITEMENTS PHYTOSANITAIRES UTILISES :

Pour éviter toute contamination de maladies cryptogamiques ou maladies virales, on a pratiqué un traitement préventif contre les champignons en utilisant le BENOMYL en raison de 1 g/l appliqué tous les trois jours en intercalaire avec un insecticide le PIRIMOR à 0,7 g/l. Ces traitements phytosanitaires ont débuté le 6-12-2000. soit 24 jours après semis pour le concombre et 18 jours après semis pour la courgette.

7-4 ETETAGE :

Cette opération a concerné uniquement le concombre vu que sa croissance est en hauteur. Cette opération a été réalisée en cours de la croissance des plantes c'est-à-dire, en fonction de l'élongation des plantes. Elle a été pratiquée lorsque les plantes atteignent 150 cm de hauteur.

7-5 PERIODES DE COUPES :

Pour bien étudier le comportement de ces deux espèces cultivées, trois coupes ou prélèvements (C1, C2, et C3) de plantules ont été réalisés, à raison de 10 jours d'intervalle. Les dates de ces coupes sont les suivantes :

* Le concombre :

- _ 1^{er} coupe : 32 jours après le semis ;
- _ 2^{eme} coupe : 42 jours après le semis ;
- _ 3^{eme} coupe : 53 jours après le semis ;
- _ Fin de culture : Le 16-02-2001, soit 96 jours après le semis.

*La courgette :

- _ 1^{ere} coupe : 24 jours après le semis ;
- _ 2^{eme} coupe : 34 jours après le semis ;
- _ 3^{eme} coupe : 44 jours après le semis ;
- _ Fin de culture : le 17-02-2001, soit 91 jours après le semis.

Il est à noter que le premier prélèvement a été effectué 10 jours après la levée des deux espèces.

7-6 LA RECOLTE :

Les récoltes sont effectuées chaque semaine hebdomadairement durant les dates suivantes :

* Le concombre :

- Première récolte : le 24-01-2001, soit 43 jours après semis ;
- Récolte finale : le 16-02-2001, soit 96 jours après semis ;

* La courgette :

- Première récolte : le 30-01-2001, soit 43 jours après semis ;
- Récolte finale : le 17-02-2001, soit 91 jours après semis.

8- LES PARAMETRES DE CROISSANCE MESURES :

8-1-HAUTEUR DES PLANTS:

Les hauteurs de plants sont mesurées en centimètre (cm), du collet jusqu'à l'apex. Le paramètre est mesuré au moment de chaque coupe.

8-2-DIAMETRE DES TIGES :

Les diamètres des tiges sont mesurés au moment de chaque coupe à 1 cm au-dessus du collet des plants au moyen d'un pied à coulisse, et ce en centimètre (cm).

8-3-NOMBRE DE FEUILLES :

Ce comptage est réalisé au niveau de chaque plante au moment de la coupe.

8-4-BIOMASSE FRAICHE PRODUITE :

A chaque coupe, nous avons pesé les différents organes en g/plante. Au moyen d'une balance de laboratoire. Les pesées sont :

- poids frais des feuilles
 - poids frais des tiges
 - Poids frais des racines
- } poids frais total (poids frais des feuilles + poids frais des tiges)

8-5-BIOMASSE SECHE PRODUITE :

Après le séchage de la matière fraîche dans l'étuve à 75°C jusqu'à stabilité du poids sec, on aura en g/plante.

- poids sec des feuilles
 - poids sec des tiges
 - Poids sec des racines
- } poids sec total (poids sec des feuilles + poids sec des tiges)

9- LES PARAMETRES DE PRODUCTION MESURES :

9-1- NOMBRE DE FRUITS :

Le nombre de fruits a été déterminé pour chaque plante au moment de la récolte.

9-2- LONGUEUR DES FRUITS:

La longueur a été mesurée en centimètre (cm) pour chaque fruit récolté.

9-3- DIAMETRE DES FRUITS:

Le diamètre des fruits est mesuré en centimètre (cm), grâce à un pied à coulisse au niveau de chaque fruit récolté.

9-4-POIDS FRAIS ET SEC DES FRUITS PRODUITS :

A chaque récolte, on pèse le poids frais de chaque fruit en g/fruit ; par la suite, on pèse le poids sec après le séchage d'un échantillon de fruits frais dans l'étuve à 75°C jusqu'à stabilité du poids sec.

10- TAUX DE SUCRES REDUCTEURS DES FRUITS PRODUITS:

La détermination de taux de sucres réducteurs chez les fruits produits a été réalisée par l'utilisation d'un réfractomètre, dont le principe consiste à mettre une goutte de jus de fruit sur le miroir de l'appareil et de faire la lecture par transparence à la lumière.

11- PERCOLAT:

Avant chaque coupe, un dispositif de percolation mis en place afin d'estimer les besoins en eau et éléments minéraux des plants.

Le dispositif consiste à installer des flacons de drainage sous les pots expérimentés de façon à recueillir l'éventuel excès de solution testée et ce durant 24 heures. A partir de cette solution percolée, une mesure de pourcentage d'absorption hydrominérale a été déterminée. Ce paramètre (le pourcentage d'absorption) est calculé selon la formule de JAENNQUIN (1987).

$$\text{Sels totaux g/l} = (\text{CE solution} - \text{CE eau})_{(\text{mmhos/cm})} \times 0.85$$

$$\text{CE eau} = 0.412$$

12- SECHAGE ET BROYAGE DE LA MATIERE VEGETALE :

Après la réalisation de chaque coupe et la pesée de poids frais de chaque organe (feuille, tige, racine) au niveau de chaque plante, un prélèvement moyen d'échantillon se réalise à partir d'un mélange de tous les organes par traitement et par bloc. Ensuite un séchage se réalise dans l'étuve à 75°C jusqu'à l'obtention d'un poids sec constant. Cette opération nous permet de calculer le pourcentage de matière sèche pour chacun des organes.

Par la suite, un broyage de la matière sèche a été réalisé afin d'obtenir la poudre végétale, en vue de sa minéralisation.

13- MINERALISATION :

La décomposition de la matière organique a été effectuée grâce à la méthode de minéralisation par voie humide, qui consiste Selon HELLER (1969) à détruire la matière végétale en utilisant un mélange de trois oxydants acides. Elle se déroule selon l'ordre suivant dans le rapport 10-1-4.

Le mode opératoire consiste à :

- peser 0,2 g de matière sèche,
- ajouter 5ml d'acide nitrique HNO₃ à 65% (d=1,38),
- après 10 min on ajoute en deuxième fois 5 ml HNO₃,
- 1 ml d'acide sulfurique H₂SO₄ à 98% (d= 1,84),
- 4 ml d'acide perchlorique HClO₄ à 60 % (d= 1,54),
- faire chauffer pendant 15 à 20 min à une température supérieure à 100°C.
- laisser refroidir, ensuite ajuster à 100 ml avec de l'eau distillée.

TROISIEME PARTIE:

RESULTATS ET DISCUSSIONS

1- RESULTATS:

1-1- GERMINATION ET LEVEE :

1-1-1- GERMINATION:

Selon le tableau ci-dessous, La germination des graines du concombre et de courgette ne présentent pas de différence significative observées. Cependant, nous constatons que les dates de germination correspondent au délai de germination de ces deux espèces en pleine terre selon BOUARD *et al* (1992).

Tableau 12 : périodes de germination des graines (jours après le semis).

Traitements	Concombre			courgette		
	S	G	L	S	G	L
T1	9 ±0.00 a	9 ±0.14 a	9.33 ±0.25 a	9.33 ±0.50 a	9.33 ±0.38 a	9.33 ±0.66 a
T2	9 ±0.00 a	9.67 ±0.52 a	9.67 ±0.38 a	9.67 ±0.29 a	9 ±0.25 a	9 ±0.14 a
T3	9 ±0.00 a	9.33 ±0.43 a	9 ±0.38 a	9 ±0.29 a	9.33 ±0.38 a	9.33 ±0.43 a
T4	9 ±0.00 a	9.33 ±0.66 a	9.33 ±0.25 a	9 ±0.50 a	9.33 ±0.63 a	9.67 ±0.52 a

Aussi, les deux espèces testées semblent présenter une période de germination similaire, et ce quelque soit le stade d'application des différents traitements.

1-1-2- LEVEE:

Selon les résultats du tableau ci-dessous, nous constatons l'absence d'un effet significatif des deux facteurs testés sur la levée des plantules de courgette.

Par contre, pour ce qui est du concombre, la période d'apparition de la première feuille est sous l'influence des deux facteurs (traitements et stades d'applications). Le facteur «stade d'application» montre que l'apparition de la première feuille est en relation directe avec le stade : irrigation des graines des le semis par les différents traitements. Le deuxième facteur

(traitement) indique très bien que la levée est précoce et homogène chez les plantules alimentées par les traitements corrigés (T2, T3) ainsi que celle du témoin (T4).

Tableau 13 : périodes d'apparition de la première feuille (jours après semis).

Traitements	Concombre			courgette		
	S	G	L	S	G	L
T1	20.67 ±0.63 abc	21 ±1.01 abc	21 ±1.09 abc	13	13	13
T2	19 ±0.25 cd	19 ±0.14 cd	22 ±0.66 a	13	13	13
T3	19 ±0.25 cd	19 ±0.14 cd	21.67 ±0.14 a	13	13	13
T4	18.33 ±0.38 d	19.67 ±0.66 bcd	21.67 ±0.14 a	13	13	13

1-2- LES PARAMETRES DE CROISSANCE :

1-2-1- VITESSE DE CROISSANCE DES PLANTES EN HAUTEUR :

D'après le tableau 14 nous constatons que la vitesse de croissance des plantes de concombre et de courgette varie significativement sous l'effet de milieu de culture. Nous remarquons également une faible vitesse de croissance au niveau de traitement T1 au cours de culture quelque soit le stade de coupe notamment chez le concombre.

Il apparaît une homogénéité du paramètre mesuré entre les traitements au moment de la 1ere et de la 3eme coupe ; néanmoins, la vitesse de croissance des plantes témoins (T4) reste élevée par rapport aux autres traitements, en raison de l'équilibre ionique parfait dans le milieu témoin (T4), favorisant une croissance régulière et accélérée. Enfin, la vitesse de croissance des plantes de concombre en fin de cycle ne montre pas de différence significative en raison de l'étêtage réalisé sur les plantes permettant de limiter la croissance en hauteur.

Tableau 14 : Vitesse de croissance des plantes en hauteur (cm/j).

Facteur	traitement	Concombre				Courgette			
		C1	C2	C3	CF	C1	C2	C3	CF
F1	S	0.34 ±0.02 a	0.46 ±0.02 a	0.62 ±0.05 a		0.42 ±0.02 b	0.40 0.02 a	0.34 ±0.01 a	
	G	0.35 ±0.02 a	0.46 ±0.03 a	0.57 ±0.03 a		0.45 ±0.02 a	0.43 ±0.02 a	0.33 ±0.02 a	
	L	0.32 ±0.02 a	0.40 ±0.03 a	0.52 ±0.03 a		0.45 ±0.02 a	0.42 ±0.03 a	0.32 ±0.02 a	
F2	T1	0.28 ±0.01 b	0.26 ±0.02 c	0.25 ±0.03 b	1.35 ±0.16 a	0.43 ±0.02 b	0.36 ±0.02 c	0.34 ±0.02 a	0.38 ±0.05 b
	T2	0.35 ±0.02 a	0.49 ±0.03 b	0.69 ±0.04 a	1.56 ±0.05 a	0.43 ±0.02 b	0.42 ±0.03 b	0.31 ±0.02 a	0.56 ±0.01 a
	T3	0.35 ±0.01 a	0.48 ±0.02 b	0.68 ±0.03 a	1.56 ±0.05 a	0.45 ±0.01 b	0.43 ±0.01 ab	0.32 ±0.02 a	0.56 ±0.00 a
	T4	0.38 ±0.03 a	0.54 ±0.03 a	0.67 ±0.04 a	1.56 ±0.05 a	0.47 ±0.02 a	0.46 ±0.02 a	0.35 ±0.02 a	0.64 ±0.04 a

En ce concerne la courgette, la vitesse de croissance présente une différence significative pour toutes les coupes, et la plus haute vitesse de croissance est notée chez les plantes témoins. En plus, à la 1ere coupe, nous constatons des vitesses identiques entre T1, T2 et T3. À la 2eme coupe, les traitements T2, T3 et T4 présentent une légère différence entre eux, et croissent par la suite avec une vitesse homogène.

Le facteur «stade d'application» ne présente aucun effet significatif sur les plantes de concombre et de courgette, seulement, chez la courgette au niveau de la 1ere coupe, on constate une faible vitesse de croissance au niveau de stade «S».

1-2-2- HAUTEUR DES PLANTS :

D'après le tableau 15, nous remarquons chez le concombre une différence significative du facteur «traitement» sur la hauteur des plants. Les plus faibles valeurs sont au niveau de traitement naturel (T1). Par contre les plus importantes, elles sont observées au niveau de témoin, et mesurée au niveau des traitements corrigés. Les valeurs sont atteintes au 53eme jour de culture.

En revanche, le facteur «stade d'application» ne présente pas de différence significative, à l'exception de la 2eme coupe «C2» où l'on constate un effet remarquable du facteur notamment au niveau du traitement «L» où l'on enregistre la hauteur la plus faible.

Tableau 15 : Hauteurs des plantes (cm).

Facteur	traitement	Concombre				Courgette			
		C1	C2	C3	CF	C1	C2	C3	CF
F1	S	11.11 ±0.43 a	20.02 ±1.18 a	33.04 ±2.26 a		10.27 ±0.44 b	13.74 ±0.55 a	14.74 ±0.66 a	
	G	11.26 ±0.79 a	19.27 ±1.06 a	30.44 ±1.58 a		10.87 ±0.42 a	14.6 ±0.68 a	14.56 ±0.78 a	
	L	10.28 ±0.54 a	16.96 ±1.02 b	27.32 ±1.43 a		10.84 ±0.37 a	14.24 ±0.91 a	14.21 ±0.91 a	
F2	T1	8.83 ±0.45 c	10.69 ±0.97 c	13.04 ±1.74 b	107.62 ±7.65 b	10.30 ±0.34 b	12.21 ±0.73 c	14.97 ±0.76 ab	35.29 ±4.88 b
	T2	11.10 ±0.52 b	20.57 ±1.04 b	36.71 ±2.06 a	150 ±2.55 a	10.30 ±0.56 b	14.26 ±1.03 b	13.76 ±0.69 b	50.20 ±0.33 a
	T3	11.21 ±0.52 b	20.06 ±1.05 b	35.86 ±1.67 a	150 ±2.55 a	10.78 ±0.29 ab	14.7 ±0.49 ab	14.02 ±0.95 ab	51.05 ±0.40 a
	T4	12.39 ±0.87 a	23.42 ±1.33 a	35.45 ±1.79 a	150 ±2.55 a	11.27 ±0.40 a	15.61 ±0.62 a	15.25 ±0.79 a	58.10 ±4.15 a

L'interaction de deux facteurs est positive. C'est aux 42 premiers jours de culture, que la hauteur la plus importante est observée au niveau du traitement T4S, tandis que la plus faible hauteur est mesurée au niveau du T1 quelque soit le mode d'application.

En fin de cycle, les hauteurs présentent une différence significative avec une faible valeur au niveau du traitement naturel (T1), en raison du déséquilibre ionique du milieu aboutissant à une réduction de la taille des plantes.

Chez la courgette, l'effet traitement exerce une différence significative sur le paramètre mesurée. Les plantes irriguées le T1 manifestent des hauteurs finales les plus faible comparativement avec celles des autres traitements.

1-2-2- DIAMETRE DES TIGES:

Selon le tableau 16, le diamètre de tiges des plantes du concombre et de courgette présentent une différence significative dû à l'effet traitements (solutions d'irrigation). Les plantules des deux espèces forment des diamètres au niveau des traitements corrigés et le témoin les plus larges.

L'effet d'interaction ne présente pas de différence significative, le facteur «stade d'application» est aussi non significatif, à l'exception de la 1ere coupe, mais avec une légère différence. Le facteur «stade d'application» semble manifester un effet marqué sur le diamètre de tiges des deux espèces. Les plantules irriguées au stade «L» présentent les diamètres les plus faible quelque soit le stade de coupe.

Tableau 16 : Diamètres des tiges (cm).

facteur	traitement	Concombre				Courgette			
		C1	C2	C3	CF	C1	C2	C3	CF
F1	S	0.31 ±0.01 a	0.37 ±0.01 a	0.40 ±0.02 a		0.40 ±0.02 a	0.46 ±0.02 a	0.74 ±0.02 a	
	G	0.30 ±0.01 ab	0.37 ±0.01 a	0.41 ±0.02 a		0.39 ±0.02 a	0.42 ±0.01 b	0.45 ±0.01 a	
	L	0.28 ±0.01 b	0.35 ±0.01 a	0.39 ±0.02 a		0.37 ±0.01 b	0.40 ±0.01 b	0.42 ±0.01 a	
F2	T1	0.25 ±0.01 b	0.29 ±0.01 c	0.30 ±0.02 b	0.51 ±0.00 b	0.34 ±0.02 c	0.39 ±0.02 c	0.39 ±0.02 d	0.43 ±0.02 c
	T2	0.31 ±0.40 a	0.40 ±0.01 a	0.44 ±0.02 a	0.79 ±0.02 a	0.42 ±0.02 a	0.47 ±0.02 a	0.51 ±0.01 a	1.10 ±0.06 a
	T3	0.32 ±0.01 a	0.39 ±0.01 ab	0.43 ±0.02 a	0.82 ±0.02 a	0.39 ±0.02 b	0.43 ±0.0 b	0.47 ±0.02 b	0.84 ±0.01 b
	T4	0.31 ±0.01 a	0.38 ±0.01 b	0.80 ±0.00 a	0.80 ±0.00 a	0.39 ±0.01 b	0.42 ±0.02 b	0.43 ±0.02 c	0.75 ±0.05 b

Les plantules issues des traitements naturels forment des tiges les plus faibles, compte tenu l'absence d'éléments utiles et le déséquilibre ionique du milieu alimentaire provoquant sans doute un déséquilibre dans la physiologie de la plante. Ce déséquilibre ionique limite l'absorption d'autres éléments en particulier le Mg^{++} qui est indispensable au maintient de l'hydratation du cytoplasme cellulaire (COIC et LESANT.,1975). Cette limitation de l'entrée du Mg^{++} se traduit par une déshydratation des cytoplasmes. Il apparaît un phénomène de plasmolyse aboutissant au dépérissement des tiges et à la formation de tiges mois développées (SNOUSSI, 2001).

1-2-3- NOMBRE DE FEUILLES :

Selon le tableau 17, le nombre de feuilles des deux espèces est influencé significativement par l'effet traitements quel que soit le stade de coupe. On constate que le nombre de feuilles le plus faible est observé dans le traitement (T1) naturel quel que soit le stade de coupe.

Tableau 17 : Nombres des feuilles.

facteur	traitement	Concombre				Courgette			
		C1	C2	C3	CF	C1	C2	C3	CF
F1	S	3 ±0.00 a	4 ±0.90 a	5 ±0.00 a		3 ±0.21 a	4 ±0.00 a	6 ±0.21 a	
	G	3 ±0.28 a	4 ±1.00 a	5 ±0.21 a		3 ±0.00 a	4 ±0.00 a	6 ±0.21 a	
	L	2 ±0.33 b	4 ±0.80 a	5 ±0.28 a		3 ±0.00 a	4 ±0.00 a	6 ±0.21 a	
F2	T1	2 ±0.14 b	2 ±0.44 c	3 ±0.14 c	14 ±0.35 a	2 ±0.07 b	3 ±0.00 a	4 ±0.13 b	18 ±0.53 c
	T2	3 ±0.32 a	3 ±0.44 b	6 ±0.20 ab	19 ±5.30 a	3 ±0.22 a	4 ±0.00 a	6 ±0.31 a	34 ±0.53 b
	T3	3 ±0.20 a	3 ±0.33 b	6 ±0.29 b	19 ±4.60 a	3 ±0.07 a	4 ±0.00 a	6 ±0.13 a	32 ±0.88 b
	T4	3 ±0.29 a	4 ±0.44 a	6 ±0.14 a	27 ±0.35 a	3 ±0.07 a	4 ±0.00 a	6 ±0.24 a	37 ±0.18 a

L'effet inhibiteur du sel au niveau du traitement salé naturel (T1) sur la production de feuilles est plus précoce chez le concombre et à un degré moindre chez la courgette.

La correction des eaux salines naturelles améliore la production de biomasse des feuilles dont l'accroissement le plus élevé est observé au niveau de la courgette.

1-2-4- LE POIDS FRAIS DES FEUILLES :

Nous constatons selon le tableau 18, une différence significative de l'effet traitements nutritifs sur les plantes de concombre et de courgette quelque soit le stade de coupe. La correction des eaux salines naturelles accroît le poids frais des feuilles des deux espèces testées au cours de leur développement. Autrement dit les plantes alimentées par les eaux salines naturelles produisent des plants ayant un poids frais des feuilles plus faible que celui obtenu sur les plants des autres traitements. L'accroissement de la biomasse fraîche des feuilles est plus important chez la courgette.

Tableau 18 : Poids frais des feuilles (g).

facteur	traitement	Concombre				Courgette			
		C1	C2	C3	CF	C1	C2	C3	CF
F1	S	1.15 ±0.11 a	3.83 ±0.33 a	8.04 ±0.57 a		1.78 ±0.11 a	5.53 ±0.28 a	9.47 ±0.61 a	
	G	0.98 ±0.07 a	3.82 ±0.35 a	7.56 ±0.49 a		1.81 ±0.18 a	5.46 ±0.48 a	10.21 ±0.54 a	
	L	0.78 ±0.09 b	3.18 ±0.30 b	6.74 ±0.45 a		1.49 ±0.15 a	4.83 ±0.41 a	9.75 ±0.61 a	
F2	T1	0.44 ±0.05 b	0.94 ±0.37 c	1.35 ±0.62 c	16.58 ±0.79 d	1.06 ±0.11 c	2.04 ±0.31 c	2.50 ±0.51 c	20.18 ±4.31 b
	T2	1.12 ±0.05 a	4.68 ±0.22 a	9.97 ±0.34 a	116.12 ±5.16 c	1.91 ±0.18 ab	6.32 ±0.41 ab	13.45 ±0.51 a	337.38 ±3.04 a
	T3	1.17 ±0.11 a	3.91 ±0.37 b	8.50 ±0.67 b	132.94 ±1.97 b	1.76 ±0.12 b	5.91 ±0.31 b	10.56 ±0.74 b	307.41 ±44.35 a
	T4	1.16 ±0.09 a	4.89 ±0.34 a	9.69 ±0.33 a	174.93 ±3.99 a	2.05 ±0.19 a	6.83 ±0.54 a	12.73 ±0.26 a	439.03 ±37.00 a

Le stade application des solutions en l'occurrence, le stade « L » forme des plantes quelque soit l'espèce testée, ayant un poids frais des feuilles faible à la coupe C1.

Le traitement T1 représente donc le milieu ou quelle que soit l'espèce testée, la biomasse fraîche des feuilles est la plus faible, ceci en raison de la composition du milieu dont le déséquilibre ionique est le plus important.

Cette réduction de biomasse de feuille a pour origine une diminution de la photosynthèse et un dessèchement précoce des plantes.

1-2-5- LE POIDS FRAIS DES TIGES :

L'effet traitement exerce une influence significative sur le poids frais des tiges de concombre et de courgette au moment de chaque coupe. La correction des eaux salines naturelles présente des accroissements de poids frais des tiges plus élevés chez la courgette que chez le concombre.

Tableau 19 : Poids frais des tiges (g).

facteur	traitement	Concombre				Courgette			
		C1	C2	C3	CF	C1	C2	C3	CF
F1	S	1.09 ±0.09 a	2.74 ±0.30 a	5.59 ±0.48 a		1.30 ±0.05 ab	2.70 ±0.13 a	4.08 ±0.26 a	
	G	0.97 ±0.05 a	2.64 ±0.19 a	4.89 ±0.34 b		1.36 ±0.05 a	2.66 ±0.16 a	4.11 ±0.19 a	
	L	0.77 ±0.06 b	2.08 ±0.14 b	4.09 ±0.22 c		1.22 ±0.06 b	2.43 ±0.18 b	4.12 ±0.20 a	
F2	T1	0.52 ±0.05 c	0.76 ±0.19 b	1.08 ±0.36 c	13.19 ±2.51 c	0.94 ±0.05 b	1.37 ±0.12 c	1.88 ±0.10 c	17.85 ±2.00 d
	T2	1.00 ±0.05 b	3.20 ±0.12 a	6.53 ±0.25 a	46.03 ±1.90 b	1.40 ±0.06 a	2.97 ±0.21 b	5.20 ±0.31 a	148.21 ±4.33 b
	T3	1.10 ±0.05 a	2.87 ±0.32 a	6.07 ±0.48 ab	47.18 ±0.68 b	1.37 ±0.07 a	2.78 ±0.08 b	4.26 ±0.23 b	115.90 ±2.74 c
	T4	1.15 ±0.06 a	3.11 ±0.22 a	5.76 ±0.34 b	62.24 ±5.09 a	1.45 ±0.04 a	3.27 ±0.19 a	5.06 ±0.12 a	176.20 ±9.06 a

Le facteur «stade application » manifeste aussi une influence très significative sur le poids frais des tiges. Les résultats sont remarquables au niveau de stade « S », faible au niveau de stade « L », et plus ou moins égaux au niveau de « S » et de « G » pendant les 42 jours de culture, et ce quelque soit l'espèce testée.

1-2-6- LE POIDS FRAIS TOTAL :

L'effet traitement exerce une action significative sur la biomasse fraîche totale. Les eaux salines corrigées accroissent la biomasse fraîche totale.

Les jeunes organes des plantes de concombre et de courgette poussant dans les eaux naturelles salines T1 se nécrosent et les feuilles terminales se fanent aboutissant à une diminution de la biomasse fraîche totale quel que soit le stade de coupe.

Tableau 20 : Poids frais total (feuille + tige) (g).

Facteur	traitement	Concombre				Courgette			
		C1	C2	C3	CF	C1	C2	C3	CF
F1	S	2.23 ±0.17 a	6.58 ±0.60 a	13.64 ±1.12 a		3.09 ±0.16 a	8.23 ±0.39 a	13.62 ±0.71 a	
	G	1.96 ±0.13 b	6.46 ±0.50 a	12.48 ±0.75 b		3.15 ±0.21 a	8.12 ±0.61 a	14.05 ±1.10 a	
	L	1.55 ±0.13 c	5.25 ±0.38 b	10.80 ±0.66 c		2.69 ±0.20 b	7.27 ±0.57 b	14.22 ±1.11 a	
F2	T1	0.96 ±0.10 b	1.72 ±0.56 c	2.42 ±1.05 c	30.18 ±3.94 c	1.99 ±0.15 c	3.42 ±0.42 c	4.02 ±1.21 d	38.27 ±2.71 c
	T2	2.11 ±0.14 a	7.86 ±0.29 a	16.48 ±0.53 a	162.01 ±9.34 b	3.31 ±0.23 ab	9.28 ±0.60 b	19.20 ±1.33 a	481.99 ±1.26 b
	T3	2.26 ±0.19 a	6.79 ±0.66 b	14.62 ±1.19 b	180.21 ±2.44 b	3.12 ±0.17 b	8.70 ±0.38 b	14.84 ±0.66 c	423.54 ±46.90 b
	T4	2.31 ±0.14 a	8.02 ±0.46 a	15.72 ±0.55 ab	238.76 ±10.84 a	3.48 ±0.21 a	10.09 ±0.70 a	17.78 ±0.60 b	616.63 ±42.93 a

La biomasse fraîche est améliorée beaucoup plus chez la courgette que chez le concombre compte tenu la surface foliaire très importante.

1-2-7- LE POIDS FRAIS DES RACINES :

Le facteur traitement n'exerce pas d'effet significatif sur la production racinaire du concombre et de la courgette durant les deux premières coupes, autrement dit après 42 jours de culture.

Le développement racinaire est beaucoup plus important chez le concombre en comparaison avec la courgette, de ce fait on peut dire que le système racinaire de la courgette est peu développé.

Tableau 21 : Poids frais des racines (g).

facteur	traitement	Concombre				Courgette			
		C1	C2	C3	CF	C1	C2	C3	CF
F1	S	1.47 ±0.16 a	3.79 ±0.46 a	6.73 ±0.89 a		1.60 ±0.10 a	2.66 ±0.10 a	4.24 ±0.32 a	
	G	128 ±0.10 a	3.55 ±0.26 ab	6.37 ±0.60 a		1.60 ±0.11 a	2.50 ±0.29 a	4.13 ±0.26 a	
	L	1.14 ±0.16 a	3.03 ±0.22 b	5.87 ±0.49 a		1.48 ±0.15 a	2.37 ±0.19 a	3.94 ±0.23 a	
F2	T1	1.39 ±0.18 a	2.10 ±0.42 b	2.21 ±0.76 c		1.62 ±0.16 a	2.49 ±0.33 a	3.02 ±0.28 c	
	T2	1.17 ±0.10 a	3.89 ±0.28 a	7.40 ±0.68 b		1.56 ±0.09 a	2.59 ±0.13 a	4.87 ±0.35 a	
	T3	1.42 ±0.19 a	3.81 ±0.28 a	7.28 ±0.57 b		1.56 ±0.15 a	2.60 ±0.16 a	4.53 ±0.24 a	
	T4	1.21 ±0.09 a	4.03 ±0.21 a	8.40 ±0.75 a		1.49 ±0.09 a	2.36 ±0.38 a	4.00 ±0.23 b	

Pour ce qui est du facteur mode d'application de la solution nutritive, on peut conclure selon les observations du tableau 21 que l'application de l'arrosage dès le semis semble favoriser la production racinaire des espèces testées et plus particulièrement chez le concombre et ceci comparativement aux deux autres modes d'application expérimentés.

1-2-8- LE POIDS SEC DES FEUILLES :

Selon les résultats du tableau 22, on remarque que le séries de traitements montrent une différence remarquable sur le paramètre mesuré dès le début de culture et ce jusqu'à la fin de cycle de développement des deux espèces testées.

Le facteur «stade application» manifeste un effet significatif uniquement à la 1ere coupe chez le concombre et à la 2eme coupe chez la courgette. Le stade « L » manifeste un faible poids sec des feuilles quelque soit l'espèce testée. Par contre le stade « S » forme des plants ayant un poids sec de feuilles le plus important.

Tableau 22 : Poids sec des feuilles (g).

Facteur	Traitement	Concombre				Courgette			
		C1	C2	C3	CF	C1	C2	C3	CF
F1	S	0.12 ±0.01 a	0.47 ±0.04 a	1.03 ±0.11 a		0.17 ±0.03 a	0.43 ±0.03 a	1.02 ±0.08 a	
	G	0.11 ±0.02 a	0.46 ±0.00 a	0.98 ±0.09 a		0.16 ±0.02 a	0.40 ±0.03 a	1.03 ±0.05 a	
	L	0.08 ±0.04 b	0.40 ±0.07 a	0.89 ±0.13 a		0.14 ±0.01 a	0.36 ±0.03 b	0.97 ±0.06 a	
F2	T1	0.06 ±0.01 b	0.17 ±0.06 c	0.23 ±0.12 c	2.84 ±0.05 c	0.12 ±0.03 c	0.19 ±0.02 c	0.35 ±0.06 c	2.34 ±0.63 b
	T2	0.12 ±0.01 a	0.06 ±0.08 a	1.20 ±0.07 ab	12.53 ±0.47 b	0.17 ±0.02 ab	0.45 ±0.03 b	1.30 ±0.07 a	30.98 ±1.82 a
	T3	0.11 ±0.01 a	0.45 ±0.05 b	1.10 ±0.12 b	13.73 ±0.62 b	0.15 ±0.02 bc	0.44 ±0.03 b	1.05 ±0.08 b	28.47 ±4.94 a
	T4	0.12 ±0.02 a	0.57 ±0.02 a	1.34 ±0.13 a	20.16 ±0.09 a	0.19 ±0.02 a	0.50 ±0.04 a	1.31 ±0.05 a	39.30 ±6.13 a

Le facteur «stade application» manifeste un effet significatif uniquement à la 1ere coupe chez le concombre et à la 2eme coupe chez la courgette. Le stade « L » manifeste un faible poids sec des feuilles quelque soit l'espèce testée. Par contre le stade « S » forme des plants ayant un poids sec de feuilles le plus important.

1-2-9- LE POIDS SEC DES TIGES :

Les plantes de concombre ont des poids sec des tiges qui se différencient significativement durant les 95 jours de culture (tableau 23). Les résultats indiquent une homogénéité entre les traitements corrigés (T2 et T3) et le témoin (T4) en début de culture, à l'exception du traitement T3 qui échappe de cette homogénéité à la 2eme coupe.

Tableau 23 : Poids sec des tiges (g).

Facteur	traitement	Concombre				Courgette			
		C1	C2	C3	CF	C1	C2	C3	CF
F1	S	0.05 ±0.01 a	0.17 ±0.01a a	0.41 ±0.11 a		0.07 ±0.00 a	0.14 ±0.01 a	0.32 ±0.03 a	
	G	0.05 ±0.01 a	0.16 ±0.01 a	0.32 ±0.02 ab		0.07 ±0.01 a	0.13 ±0.01 a	0.32 ±0.02 a	
	L	0.04 ±0.00 a	0.13 ±0.01 b	0.26 ±0.03 b		0.07 ±0.01 a	0.12 ±0.01 a	0.31 ±0.02 a	
F2	T1	0.04 ±0.00 b	0.05 ±0.01 c	0.06 ±0.06 b	1.44 ±0.36 b	0.06 ±0.01 b	0.11 ±0.01 c	0.20 ±0.03 c	1.61 ±0.19 d
	T2	0.05 ±0.01 a	0.20 ±0.01 a	0.43 ±0.03 a	4.75 ±0.35 a	0.07 ±0.01 ab	0.14 ±0.01 b	0.36 ±0.03 ab	10.77 ±0.20 b
	T3	0.05 ±0.01 a	0.17 ±0.01 b	0.44 ±0.11 a	4.50 ±0.04 a	0.07 ±0.01 ab	0.13 ±0.01 b	0.33 ±0.02 b	7.82 ±0.29 c
	T4	0.05 ±0.01 a	0.19 ±0.01 a	0.39 ±0.05 a	6.39 ±0.75 a	0.08 ±0.01 a	0.15 ±0.01 a	0.37 ±0.02 a	12.84 ±0.68 a

Le mode d'application de l'irrigation est significative et nous remarquons une différence négligeable entre « S » et « G », alors que le stade « L » se manifeste faiblement. La variance d'interaction présente aussi une différence significative au 42ème jour de culture, cette différenciation indique clairement l'augmentation du poids au sien des solutions nutritives combinant avec les stades « S » et « G ».

La courgette est ainsi subit à un effet significative des solutions nutritives, et dans ce cas, on note une ressemblance entre T2 et T3 au début de culture, puis, le T2 s'adapte mieux à partir du 34ème jour de culture. Cependant, le témoin a le poids sec des tiges le plus élevé.

1-2-10- LE POIDS SEC TOTAL :

L'effet traitement enregistre une action significative sur le paramètre mesuré aussi bien chez le concombre que chez la courgette. Le traitement T1 (solution saline naturelle) appliqué sur les plantes des deux espèces manifeste une biomasse sèche totale la plus faible, comparativement avec les autres traitements.

Tableau 24 : Poids sec total (feuille + tige) (g).

Facteur	traitement	Concombre				Courgette			
		C1	C2	C3	CF	C1	C2	C3	CF
F1	S	0.17 ±0.02 a	0.64 ±0.05 a	1.44 ±0.17 a		0.23 ±0.02 a	0.57 ±0.03 a	1.32 ±0.08 ab	
	G	0.16 ±0.01 a	0.63 ±0.06 a	1.30 ±0.11 ab		0.23 ±0.03 a	0.53 ±0.04 a	1.35 ±0.06 a	
	L	0.13 ±0.01 b	0.53 ±0.08 b	1.15 ±0.12 b		0.21 ±0.02 a	0.51 ±0.09 a	1.28 ±0.08 b	
F2	T1	0.10 ±0.01 b	0.22 ±0.08 c	0.29 ±0.17 b	4.28 ±0.31 c	0.17 ±0.02 c	0.30 ±0.03 c	0.54 ±0.06 c	3.92 ±4.47 b
	T2	0.17 ±0.02 a	0.80 ±0.08 a	1.63 ±0.07 a	17.34 ±0.08 b	0.24 ±0.03 ab	0.59 ±0.06 b	1.66 ±0.09 a	41.42 ±7.55 a
	T3	0.17 ±0.01 a	0.61 ±0.06 b	1.54 ±0.18 a	18.17 ±0.40 b	0.21 ±0.02 b	0.57 ±0.03 b	1.38 ±0.08 b	20.75 ±10.61 ab
	T4	0.17 ±0.02 a	0.76 ±0.02 a	1.73 ±0.11 a	26.37 ±0.63 a	0.26 ±0.03 a	0.68 ±0.09 a	1.68 ±0.05 a	52.19 ±1.42 a

Le mode d'application de l'irrigation montre que le stade « L » présente le poids sec total est le plus faible, tandis que les stades « S » et « G » sont homogènes et produisent beaucoup plus de biomasse sèche quelle que soit l'espèce étudiée.

1-2-11- LE POIDS SEC DES RACINES :

Selon le tableau 25, le poids sec des racines est non significatif chez les deux espèces testées, quelque soit le stade d'application des solutions nutritives. Par contre, les traitements testés montrent une différence significative dès la 2eme coupe.

Tableau 25 : Poids sec des racines (g).

Facteur	traitement	Concombre			Courgette		
		C1	C2	C3	C1	C2	C3
F1	S	0.07 ±0.01 a	0.22 ±0.03 a	0.46 ±0.09 a	0.10 ±0.01 a	0.16 ±0.02 a	0.38 ±0.05 a
	G	0.06 ±0.01 a	0.21 ±0.04a a	0.41 ±0.06 a	0.10 ±0.01 a	0.15 ±0.02 a	0.37 ±0.03 a
	L	0.06 ±0.01 a	0.17 ±0.03b a	0.41 ±0.05 a	0.10 ±0.02 a	0.15 ±0.02 a	0.37 ±0.04 a
F2	T1	0.06 ±0.01 a	0.12 ±0.02 b	0.13 ±0.08 c	0.10 ±0.02 a	0.13 ±0.01 b	0.22 ±0.02 b
	T2	0.06 ±0.01 a	0.21 ±0.02 a	0.47 ±0.05 b	0.10 ±0.02 a	0.16 ±0.02 ab	0.43 ±0.06 a
	T3	0.07 ±0.01 a	0.23 ±0.04 a	0.47 ±0.07 b	0.10 ±0.02 a	0.16 ±0.02 ab	0.40 ±0.03 a
	T4	0.06 ±0.01 a	0.23 ±0.03 a	0.64 ±0.08 a	0.10 ±0.01 a	0.17 ±0.03 a	0.44 ±0.04 a

Ces résultats montrent que le traitement naturel (T1) présente le poids sec des racines la plus faible, tandis que le témoin (T4) manifeste le poids sec des racines le plus élevé. les plantes alimentées par les traitements (T2) et (T3) présentent une homogénéité dans le paramètre mesuré notamment chez la courgette.

1-3- LES PARAMETRES DE PRODUCTION :

1-3-1- NOMBRE TOTAL DES FRUITS PAR PLANTE :

L'alimentation hydrominérale assurée par les différents traitements exerce une différence significative sur le nombre de fruits des deux espèces testées.

Tableau 26 :Nombre total des fruits par plantes.

	T1	T2	T3	T4
Concombre	3 ±0.71 c	6 ±0.00 b	7 ±0.71 ab	9 ±0.00 a
courgette	0 ±0.53 b	8 ±0.88 a	8 ±0.53 a	9 ±0.18 a

Les résultats obtenus montrent que les fruits de concombre sont les plus faibles au niveau de traitement naturel T1, et le nombre le plus élevé au niveau de traitement témoin T4. A l'inverse, chez la courgette le nombre de fruits est homogène chez les traitements corrigés et le témoin, et nul au niveau de traitement naturel (T1).

1-3-2- LONGUEUR DES FRUITS :

L'addition aux eaux salines naturelles d'éléments majeurs NPK et le réajustement de la balance ionique ont permis un accroissement significatif de la longueur des fruits récoltés des espèces testées.

Tableau 27 :Longueur des fruits (cm).

	T1	T2	T3	T4
Concombre	8.69 ±0.90 b	14.38 ±0.00 a	14.35 ±0.60 a	14.35 ±0.31 a
courgette	0.00 ±0.02 b	7.85 ±0.31 a	7.82 ±0.24 a	7.78 ±0.09 a

1-3-3- DIAMETRE DES FRUITS :

La correction des eaux salines naturelles exerce un effet significatif sur le diamètre des fruits.

Tableau 28 :Diamètre des fruits (cm).

	T1	T2	T3	T4
Concombre	3.37 ±0.12 b	4.23 ±0.27 a	4.07 ±0.10 a	4.13 ±0.04 a
Courgette	0.00 ±0.03 b	2.70 ±0.04 a	2.64 ±0.04 a	2.74 ±0.03 a

Le traitement T3 semble manifester les accroissements les plus faibles quelque soit l'espèce étudiée.

1-3-4- POIDS FRAIS ET POIDS SEC DES FRUITS:

D'après les résultats observés, on peut dire que les effets de la concentration des eaux salines sont plus marqués pour la courgette que pour le concombre. Ce qui confirme bien la sensibilité supérieure de la courgette aux effets des sels.

Tableau 29: poids frais et sec des fruits (g / plante)

	concombre			courgette		
	Poids frais (g / plante)	Poids sec (g /plante)	Matière sèche (%)	Poids frais (g / plante)	Poids sec (g /plante)	Matière sèche (%)
T1	144.86 ±22.41 d	6.27 ±2.92 b	4.51 ±0.54 a	0.00 ±4.22 d	0.00 ±5.69 b	0.00 ±0.42 b
T2	879.36 ±4.63 c	34.32 ±1153 a	5.38 ±0.04 a	253.81 ±7.45 c	32.43 ±3.44 a	6.63 ±0.51 a
T3	933.17 ±15.52 b	50.66 ±2.16 a	5.06 ±0.30 a	227.30 ±6.97 b	25.13 ±5.76 a	5.61 ±0.50 a
T4	1219.03 ±2.26 a	61.71 ±6.45 a	4.49 ±0.88 a	295.22 ±3.74 a	36.94 ±8.00 a	5.97 ±0.41 a

La concentration des eaux salines exerce sur le poids frais et sec des fruits un effet significatif. En effet, les plantes de concombre et de courgette issues des eaux salines corrigées présentent un poids frais et sec des fruits, tandis que ceux issus de l'eau saline naturelle (T1), ils restent faibles.

1-4- TAUX DE SUCRES REDUCTEURS DES FRUITS PRODUITS :

Le taux de sucres totaux le plus élevé dans les fruits récoltés est observé au niveau des traitements corrigés.

Tableau 30 : Taux de sucres totaux (sucres simples et sucres réducteur) des fruits produits (%).

	T1	T2	T3	T4
Concombre	2.17 ±0.02 b	2.43 ±0.11 a	2.16 ±0.06 a	1.42 ±0.04 a
Courgette	0.00 ±0.15 c	2.78 ±0.08 a	2.08 ±0.21 b	2.30 ±0.02 ab

En outre, le taux de sucre dans les fruits est maximum dans le traitement T2 en raison de la forte concentration de potassium. La saveur des fruits est liée à la teneur du potassium.

1-5- L'ABSORPTION HYDROMINERALE :

Pour l'évaluation de l'absorption hydrominérale, une technique a été mise au point par SNOUSSI (2001) et qui nous a permis de mesurer l'absorption hydrominérale par la différence de volume de la solution nutritive avant et après son passage à travers le substrat. Elle consiste donc en un système à percolation sur substrat.

Tableau 31 : l'absorption hydrominérale (%).

Facteur	traitement	Concombre				Courgette			
		C1	C2	C3	CF	C1	C2	C3	CF
F1	S	22.04 ±1.14 a	36.51 ±1.43 a	38.13 ±1.19 a		53.56 ±1.16 a	43.75 ±0.69 a	28.20 ±1.28 a	
	G	20.39 ±3.72 a	37.57 ±0.51 a	37.55 ±1.65 a		52.15 ±2.14 a	43.16 ±0.97 a	25.62 ±1.29 a	
	L	20.13 ±3.98 a	39.17 ±1.48 a	38.00 ±1.41 a		52.33 ±1.18 a	44.47 ±2.16 a	26.74 ±1.17 a	
F2	T1	20.63 ±3.90 a	19.14 ±1.42 c	13.54 ±1.98 a	18.77 ±3.98 b	50.79 ±1.39 b	51.47 ±1.23 d	11.48 ±0.74 c	32.69 ±0.52 d
	T2	22.92 ±4.01 a	42.73 ±1.19 b	41.81 ±1.12 b	40.91 ±1.78 a	51.16 ±1.37 b	49.31 ±1.23 b	33.21 ±1.06 a	57.40 ±1.13 b
	T3	21.28 ±2.88 a	43.36 ±1.39 b	43.62 ±1.47 b	43.46 ±3.18 a	55.09 ±2.34 a	46.69 ±2.22 c	28.06 ±1.38 b	53.56 ±1.32 c
	T4	18.59 ±1.75 a	45.77 ±0.90 a	52.62 ±1.05 c	58.36 ±5.38 a	53.68 ±1.94 ab	51.47 ±0.65 a	34.66 ±1.69 a	87.54 ±0.71 a

Selon les résultats recueillis dans le tableau 31 on a remarqué que le taux d'absorption hydrominérale est plus faible au niveau de traitement salé naturel pour les deux espèces étudiées quelque soit la période de coupe et même en fin de cycle végétatif. Ceci résulte de la difficulté d'absorption par les racines des plantes des deux espèces alimentées par ce traitement T1. L'absorption hydrominérale est dominante chez la courgette comparativement avec le concombre à chacune des périodes étudiées.

1-6- DYNAMIQUE D'ABSORPTION DES ELEMENTS MINERAUX DANS LES PLANTES:

1-6-1- le sodium:

D'après la figure 3, nous constatons une accumulation importante de sodium au niveau des tiges du concombre, un peu moins dans les racines, et faible dans les feuilles. Ces résultats correspondent aux travaux de LECHINO *et al* (1997), qui indiquent qu'en premier temps, la teneur de Na est plus basse au niveau des feuilles en comparaison avec les autres parties végétales.

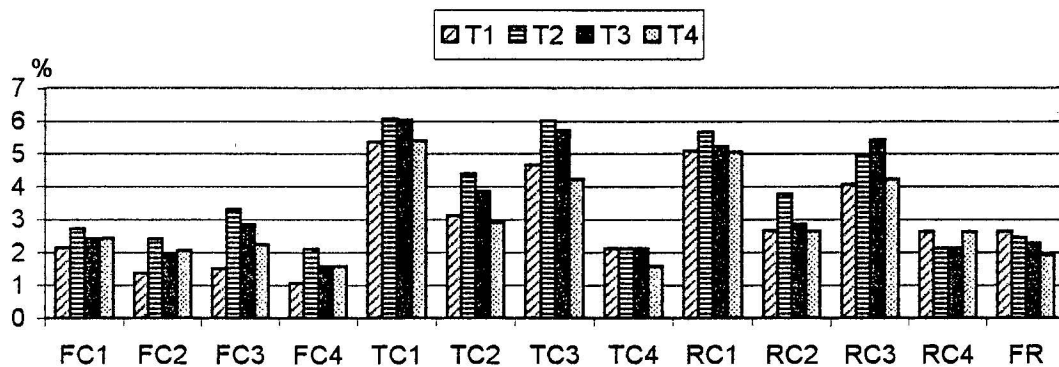


Figure 3 : Teneur de Na⁺ dans les organes de concombre (% de M.S).

A la fin de cycle, le sodium migre aussi vers les fruits des différents traitements où il a tendance à s'accumuler. Le témoin semble garder beaucoup de sodium dans les racines. Ce résultat est similaire à celui trouvé par GEERRIER en 1984, et qui a montré que dans les conditions de témoin en NaCl, ce sont les racines qui accumulent plus de Na que les autres organes.

En ce qui concerne la courgette (figure 4), le sodium s'accumule préalablement beaucoup plus dans les tiges que dans les feuilles. Ensuite, il devient très important dans les racines que dans les tiges. A la fin de cycle, le sodium s'accumule en quantité remarquable dans les tiges et les racines, et un peu moins dans les fruits. Les feuilles présentent la plus faible teneur de Na⁺ par rapport aux autres organes. La teneur est voisine au niveau des quatre traitements, ce qui est comparable avec les travaux de SMITH et MIDDLETON en 1980 où il indique que le chlorure de sodium diminue la croissance des tiges et des racines plus que la croissance des feuilles.

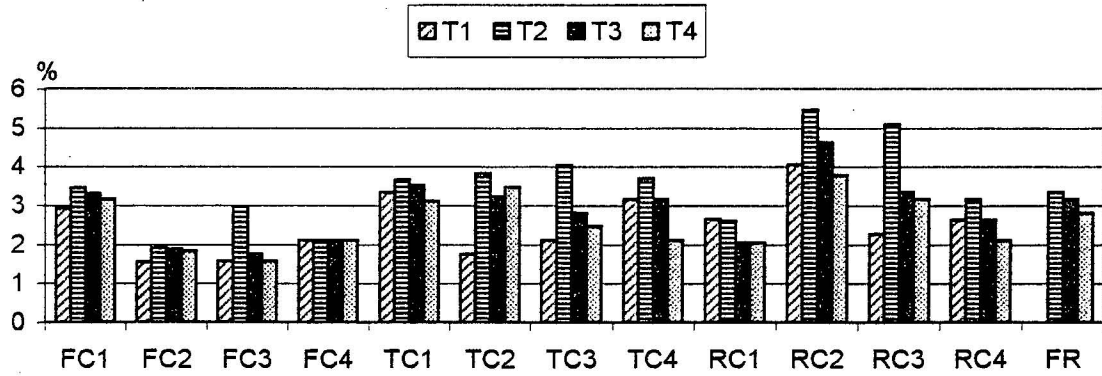


Figure 4 : Teneur de Na⁺ dans les organes de courgette (% de M.S).

Enfin, l'accumulation du Na est dominante au niveau des racines des plantes de courgette à la coupe 2 (45 jours après semis).

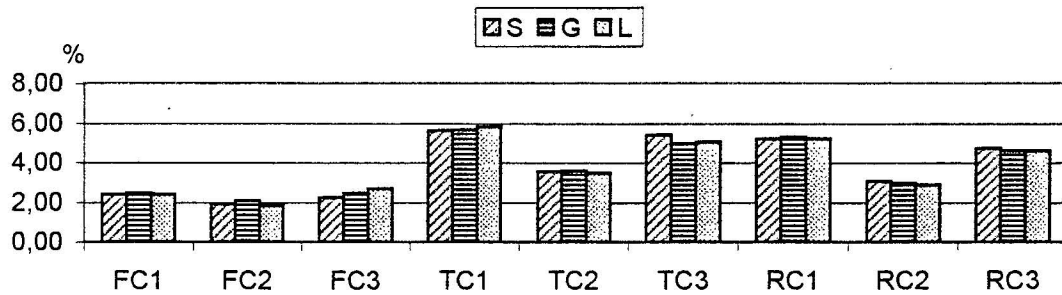


Figure 5 : Teneur de Na⁺ chez le concombre à chaque niveau d'application (% M.S).

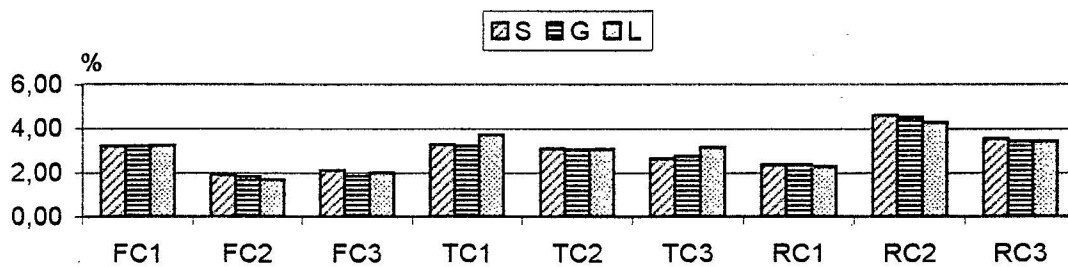


Figure 6 : Teneur de Na⁺ chez la courgette à chaque niveau d'application (% M.S).

Aussi, nous constatons, que les stades d'application des différents traitements n'ont pas d'effet important sur l'accumulation du Na dans les plantes des deux espèces cultivées (figure 5 et 6).

1-6-2- Le potassium:

La figure 7 montre que les tiges du concombre sont plus chargées en potassium que les feuilles au niveau des coupes 1 et 3.

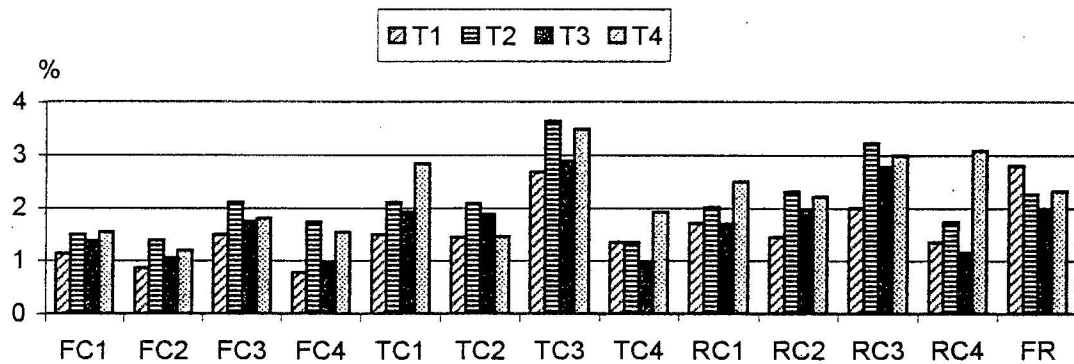


Figure 7 : Teneur de K⁺ dans les organes de concombre (% de M.S).

Selon la figure ci-dessous, on remarque qu'en cours de culture de la courgette, une accumulation de K⁺ beaucoup plus élevée dans les tiges que dans les feuilles et les racines. Il apparaît aussi, que la plus forte teneur en K est celle des plantes issues de T2. Ceci est en relation avec la forte concentration de milieu du en cet élément.

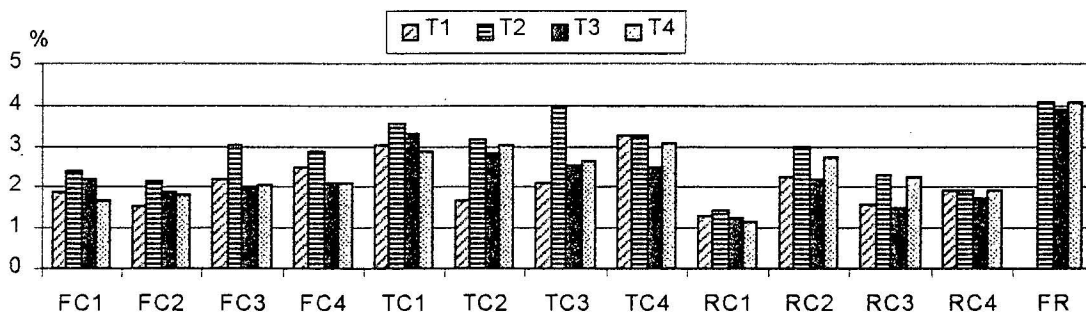


Figure 8 : Teneur de K⁺ dans les organes de courgette (% de M.S).

Aussi, il est important de noter la pauvreté en potassium des organes des plantes de concombre et de courgette irriguées par le traitement naturel salé. Des observations similaires ont été trouvées sur tomate et haricot par SNOUSSI (2001) où ceci a été expliqué par la difficulté d'assimilation de K par les racines et son transfert vers la partie aérienne suite à la pression osmotique élevée et le déséquilibre ionique du milieu.

Enfin, il apparaît au niveau des deux espèces une forte accumulation du potassium dans les fruits.

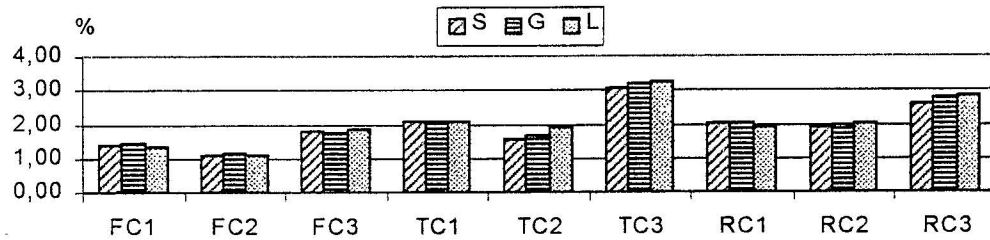


Figure 9 : Teneur de K⁺ chez le concombre à chaque niveau d'application (% M.S).

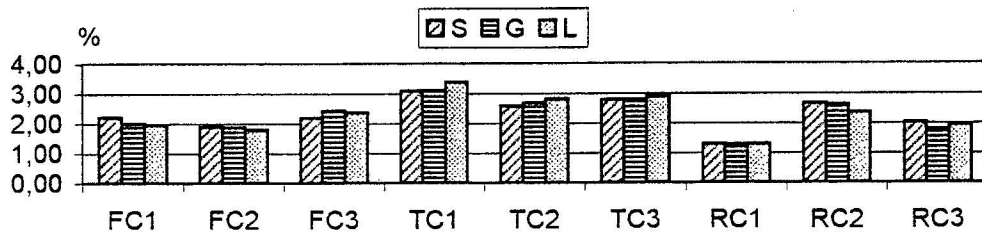


Figure 10 : Teneur de K⁺ chez la courgette à chaque niveau d'application (% M.S).

Là aussi, nous remarquons que les stades ou les périodes d'applications des différents traitements n'ont pas d'influence remarquable sur la teneur en K au niveau des plantes des espèces testées. Les plantes de courgette semblent ne pas stocker beaucoup de K au niveau leur racines en début de culture. Par contre chez le concombre, c'est au niveau des feuilles que l'accumulation du K est la plus faible en début de culture.

1-6-3- Le calcium:

Selon les résultats des figures 11 et 12, on remarque que les plantes des deux espèces forment des racines dont leur teneur en calcium est très élevée par rapport à elle de la partie aérienne (feuilles et tiges).

Le T4 favorise en fin de culture l'accumulation de Ca dans les feuilles. Aussi, nous constatons que la plus faible teneur est celle des fruits, alors que la plus forte est celle des feuilles.

Des observations similaires de HELLER (1969), BROWN (1995) et PIVOT *et al* (1996) qui ont mis en évidence une accumulation importante du Ca au niveau des feuilles par rapport aux racines et tiges. Cela est expliqué par le métabolisme de nitrate () qui s'effectue principalement dans les feuilles et qui nécessite la présence de calcium, et après le métabolisme de NO₃, le calcium se trouve à l'état de sels d'acides organiques dans les vacuoles foliaires.

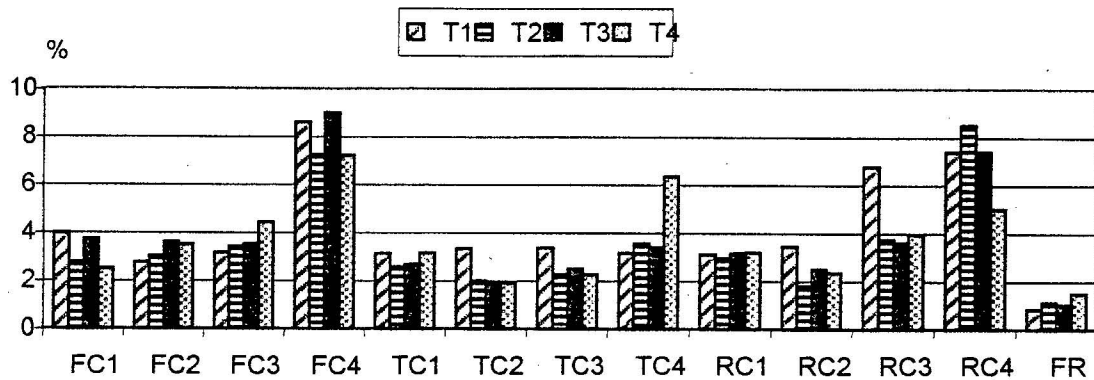


Figure 11: Teneur de Ca⁺⁺ dans les organes de concombre (% de M.S).

Egalement la comparaison des traitements met en évidence la pauvreté des feuilles en Ca chez le T4 au début de culture, alors que les tiges et les racines sont riches en Ca. Par la suite, les feuilles s'enrichissent en Ca.

Pour la courgette (figure 10), le calcium commence à s'accumuler tout d'abord dans les racines, ensuite, il migre progressivement vers les feuilles. Les fruits sont les moins riches en Ca. Cependant, à la fin de cycle, le témoin se caractérise par une forte accumulation de calcium au niveau des tiges.

Nous observons également, à la fin de cycle des deux cultures des taux importants de Ca au niveau des tiges et des fruits issus de T4 par rapport aux autres traitements. Par contre, les feuilles et les racines possèdent les taux les plus faibles, et ce à cause de la difficulté de migration du Ca des racines vers les parties aériennes. Le calcium est un élément peu mobile dans la plante.

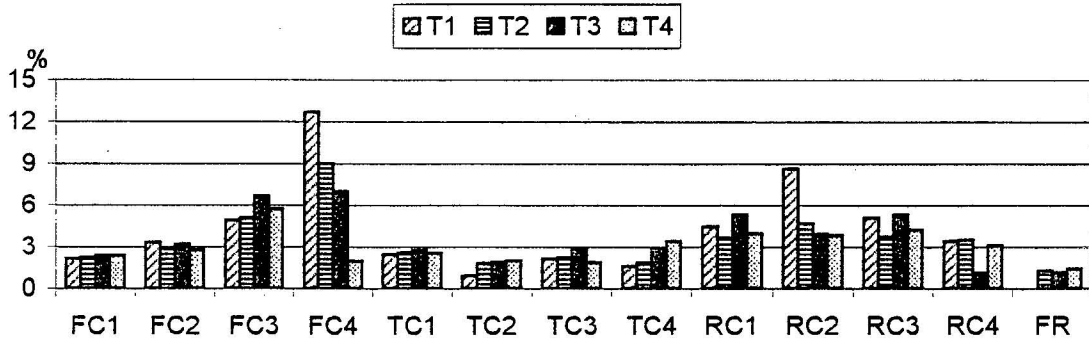


Figure 12 : Teneur de Ca⁺⁺ dans les organes de courgette (% de M.S).

L'abaissement de la teneur en Ca est fortement observé chez la courgette.

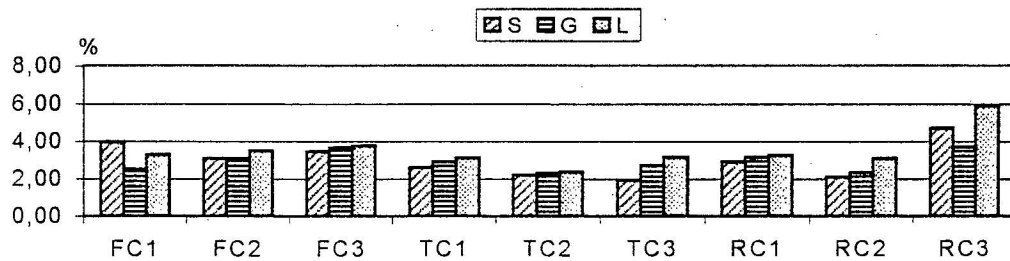


Figure 13 : Teneur de Ca⁺⁺ chez le concombre à chaque niveau d'application (% M.S).

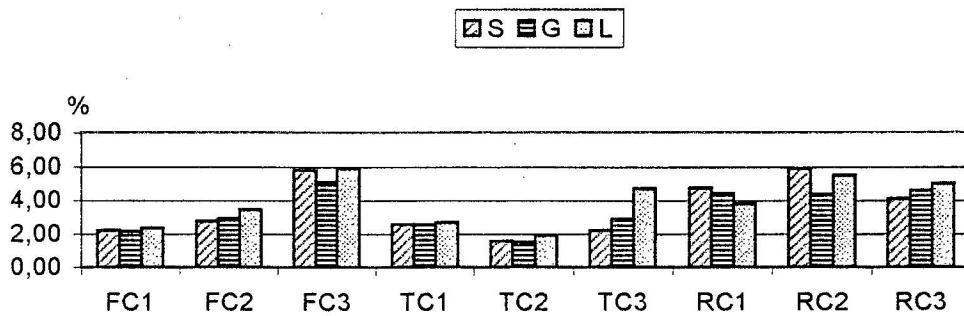


Figure 14 : Teneur de Ca⁺⁺ chez la courgette à chaque niveau d'application (% M.S).

Les périodes d'application ne semblent pas avoir d'effet remarquable sur la teneur en calcium au niveau des organes des plantes des espèces étudiées.

1-6-4 Le magnésium:

D'après la figure 15, le concombre possède une forte concentration de Mg dans les tiges et les racines de traitement naturel, les autres traitements accumulent plus de Mg dans leurs feuilles.

La teneur des feuilles et des tiges en magnésium est en diminution en cours de stade pépinière. Le prélèvement final indique la faiblesse de cet élément dans les fruits et sa forte concentration dans les feuilles ; Le magnésium est un élément mobile dans la mesure où il migre facilement dans les différentes parties de la plantes (MORARD,1995).

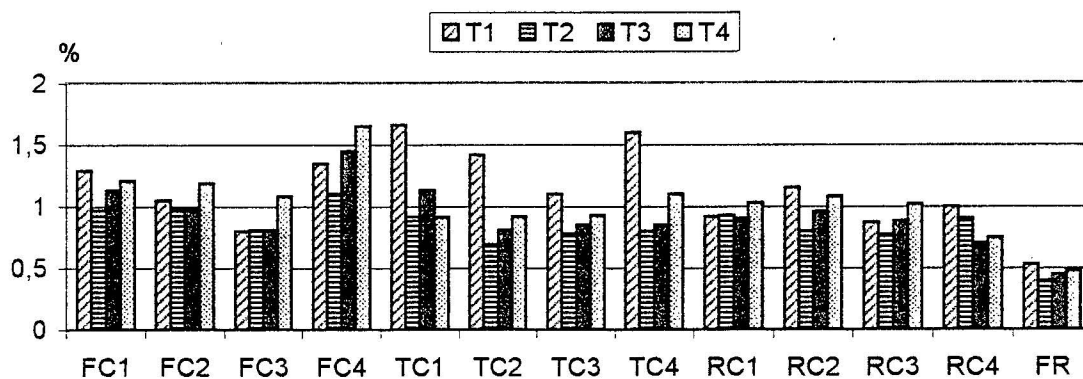


Figure 15 : Teneur de Mg⁺⁺ dans les organes de concombre (% de M.S).

En ce qui concerne la courgette (figure n°16), au début de culture, le magnésium s'accumule beaucoup plus dans les racines, en suite, il devient plus important au niveau des feuilles au fil de temps ce qui confirme sa facilité d'absorption par les plantes et son transfert vers la partie aérienne. Les résultats montrent aussi des faibles teneurs au sein des fruits.

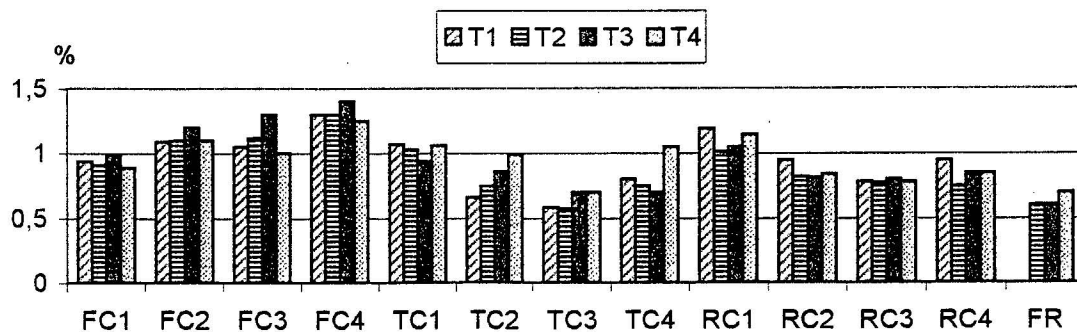


Figure 16 : Teneur de Mg⁺⁺ dans les organes de courgette (% de M.S).

Au niveau des traitements nous constatons que les feuilles issues de témoin sont les moins riches en Mg. Par contre, les tiges et les racines sont les plus riches par rapport aux autres traitements. le témoin étant le milieu le moins salé et l'équilibre ionique parfait du milieu facilité le transfert du Mg des racines vers la partie aérienne en permettant une meilleure assimilation notamment chez le concombre.

Les périodes d'application des différents traitements paraissent sous effet remarquable sur la teneur de Mg au niveau des organes des plantes expérimentées (figure 17 et figure 18).

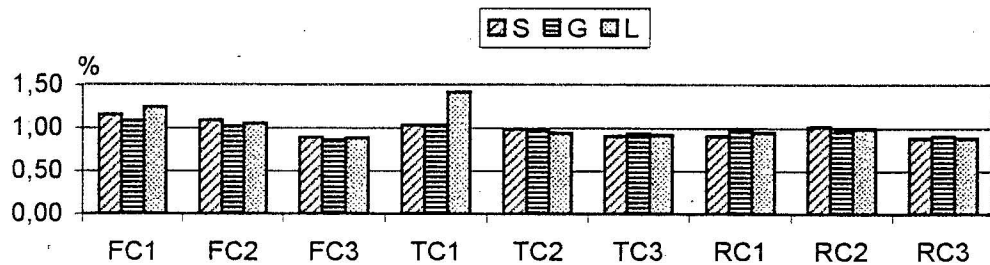


Figure 17 : Teneur de Mg⁺⁺ chez le concombre à chaque niveau d'application (% M.S).

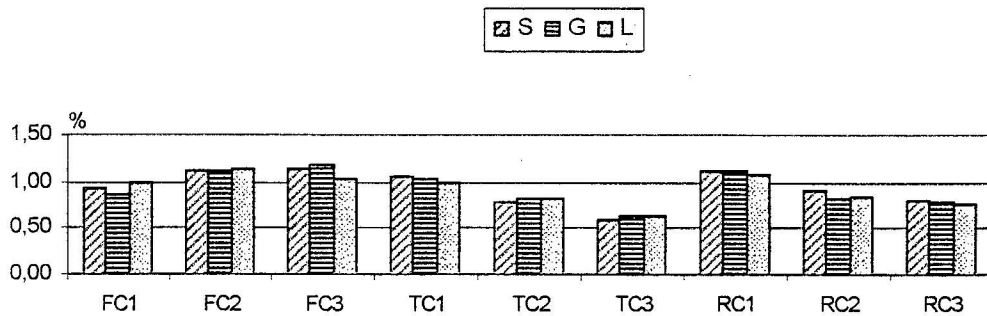


Figure 18 : Teneur de Mg⁺⁺ chez la courgette à chaque niveau d'application (% M.S).

Aussi, selon les figures 17 et 18, nous pouvons dire que l'accumulation de magnésium chez les deux espèces, n'obéit pas à l'effet de stade d'irrigation.

1-6-5- La somme des cations (Na, K, Ca, Mg) :

Chez le concombre, la somme des quatre éléments présentés par la figure 19 montre leur accumulation importante dans les tiges et les racines durant le stade pépinière. En période de production les feuilles et les racines renferment des teneurs en cations précités légèrement différents entre les organes analysés. Les fruits sont les moins riches en éléments minéraux.

Nous constatons une accumulation importante des éléments au niveau des tiges et des racines produites par le T4. Ensuite, en 2eme coupe, le taux d'accumulation augmente au profit de feuilles. En fin de culture, nous remarquons que le T4 renferme le taux le plus faible par rapport aux autres traitements.

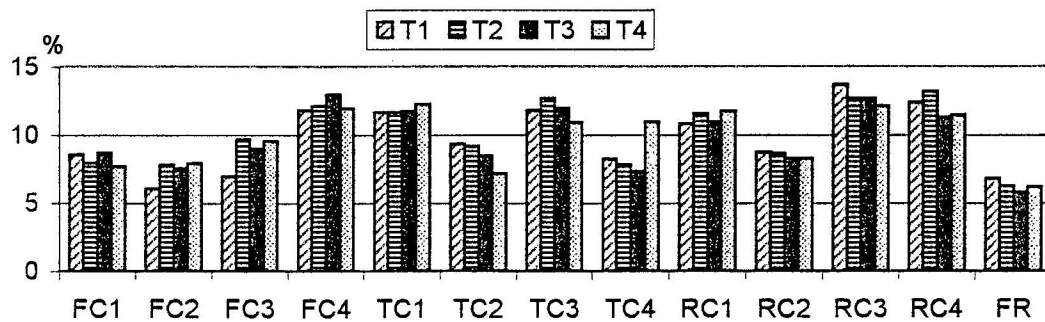


Figure 19: Teneur globale en éléments minéraux dans les organes de concombre (% M.S).

En ce qui concerne la courgette en début du cycle (figure 20), les éléments minéraux s'accumulent également dans les tiges et les racines. Ensuite, ils migrent successivement vers les feuilles. En fin de culture, nous observons une légère différence entre les tiges, les racines et les fruits.

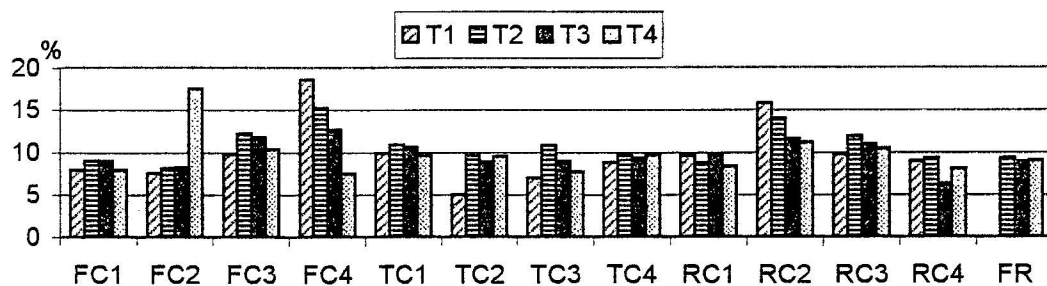


Figure 20 : Teneur globale en éléments minéraux dans les organes de courgette (% M.S).

La somme des cations analysés n'est pas sous l'influence des stades d'irrigation ou des périodes des d'application des différents traitements (figure 21, 22).

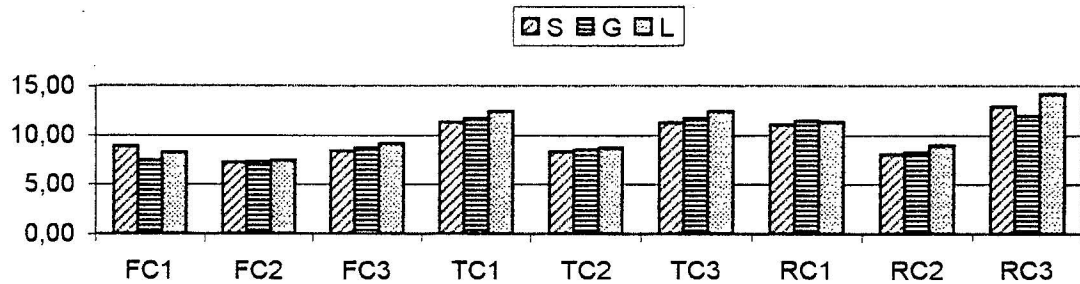


Figure 21 : Teneur globale en éléments minéraux dans les organes de concombre à chaque niveau d'application (% M.S).

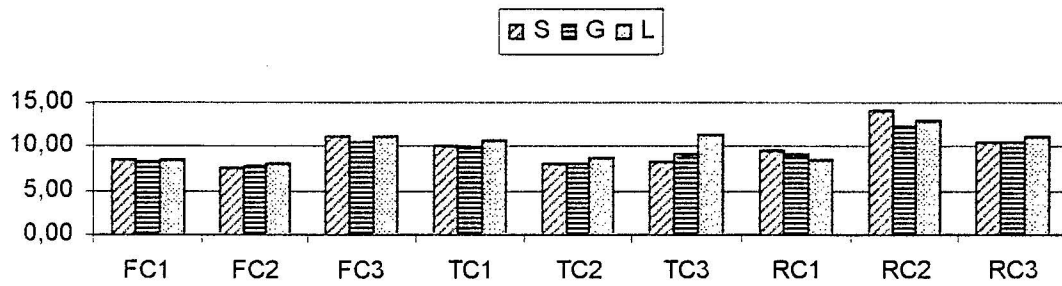


Figure 22 : Teneur globale en éléments minéraux dans les organes de courgette à chaque niveau d'application (% M.S).

2- DISCUSSION GENERALE:

Selon BOTIA *et al* (1998), le processus de germination dépend de la capacité des graines à absorber l'eau. Cette capacité peut être affectée si le potentiel osmotique de la solution externe augmente et, si les niveaux des enzymes et des hormones dans les graines changent en conséquence par l'effet toxique provoqué par les hautes concentrations de Na^+ et Cl^- . COME (1970) ajoute que les semences sont capables de fixer l'eau des solutions aqueuses ayant parfois des pressions osmotiques très élevées.

COME (1970) et BOTIA *et al* (1998) indiquent que la salinité peut affecter la germination par deux voies différentes :

a/ Soit par la réduction de pourcentage de germination à cause de l'inhibition de l'un ou de l'autre élément (Na^+ ou Cl^-),

b/ Soit tout simplement par un retard immédiat après l'application des traitements.

Dans notre expérimentation, la germination des deux espèces de cucurbitacées n'est affectée par aucune de ces deux voies. Nous supposons donc, que cela peut être dû à la résistance de ces deux espèces au niveau de salinité dans les traitements testés. Ceci peut être également valable pour le stade levée des plantules.

Les résultats obtenus montrent que les stades végétatifs étudiés présentent des différences significatives chez les plantes de concombre. Les paramètres concernés sont principalement la biomasse fraîche totale produite, le poids sec des tiges et le poids sec total. La majorité des paramètres de croissance des plantes issues de traitement « S » et « G » sont homogènes et sont supérieurs à ceux du traitement « L ». Cela peut être expliqué en fait que les stades avancés (S , G) qui assurent précocement les besoins nutritionnelles des plantules.

Concernant la courgette, le choix du stade végétatif pour le début de l'irrigation avec les solutions nutritives provoque une différence significative uniquement durant les 34 jours de culture. Cette différence affecte le diamètre et le poids frais des tiges, dont ils sont les plus importants au niveau des stades « S » et « G ».

Les quatre traitements testés ne présentent pas de différence significative en ce qui concerne le nombre des feuilles. Par contre, la différence est significative pour les autres paramètres étudiés.

La croissance des feuilles a connu trois étapes importantes. Dans un premier temps, la croissance des feuilles est homogène entre les plantes témoins et les traitements testés (T2, T3). Par la suite, durant le 42ème et le 53ème jour, la biomasse des feuilles devient plus importante au niveau de traitement T2. Enfin après le 53ème jour de culture de concombre, c'est le T3 qui produit plus de poids frais des feuilles par conséquent plus de poids frais des fruits par la suite.

Nos résultats sont très proches de ceux de ZORNOZA et CARPENA (1996) qui notèrent que les plantes de concombre se classent comme des plantes préférant la forme NO_3^- .

La croissance de cette culture augmente avec l'utilisation des solutions contenant des quantités plus ou moins similaires en NO_3^- et NH_4^+ . Par contre, FENG et BARKER (1992) indiquent que le poids frais des plantes recevaient le NH_4^+ et les sels est inférieur à celui des plantes recevaient les nitrates NO_3^- avec les sels. Pour cela, nous pouvons dire que la fraction d'azote du T3 à savoir (75% de NO_3^- et 25% de NH_4^+) est bien au-dessous du seuil d'intoxication ammoniacale.

Pour la courgette, généralement les traitements testés ne présentent pas de différence significative en ce qui concerne le nombre de feuilles et le poids frais des feuilles. Cependant, la différence est significative pour les autres paramètres mesurés. Généralement, c'est la proportion de (10.2/1.8) qui convient beaucoup plus aux plantes de courgette, notamment au niveau du diamètre des tiges, de son poids frais et de son poids sec.

Selon les résultats obtenus, nous pouvons dire que les plantes de courgette croissent convenablement dans un milieu contenu 85% de NO_3^- et 15% de NH_4^+ . PURITCH et BARKER (1967) in (LAMRANI *et al.*, 1996) trouvent que lorsque les symptômes de toxicité ammoniacale progresse, il existe un important changement dans la morphologie des chloroplastes, de la dégradation des plastides et perte de la chlorophylle. Aussi, SATTI *et al* (1994) indiquent que le poids des fruits est probablement limité par la photosynthèse. Cette réduction est partiellement due à la réduction de conductance stomatique et par conséquent à la variabilité de CO_2 dû à la carboxylation.

Dans notre expérimentation, le taux de sucres réducteurs des fruits de concombre et de courgette se caractérise par un faible corrélation avec les paramètres de croissance et de production, à l'exception de nombre des feuilles ($r = -0.64$), le taux de croissance des feuilles ($r = -0.72$) et le nombre des fruits ($r = -0.74$). On peut conclure que le taux de sucre augmente avec la salinité, qui assure l'ajustement osmotique (1.42 % de sucres réducteurs au niveau de témoin et plus de 2 % au niveau des traitements salés.

Egalement, on peut dire que le dosage des éléments minéraux dans les organes confirme ces résultats, et indique que l'origine de l'augmentation de taux de sucre est la migration du Na vers les fruits ($r = 0.84$); d'autre part, ce taux diminue si les fruits sont riche en Ca ($r = -0.79$), et lorsque, les feuilles sont riche en Mg ($r = -0.91$), c'est à dire, lorsque elles sont en bonne activité photosynthétique. Il diminue aussi, avec la richesse des racines en

K ($r = -0.84$). Nous constatons également, un faible taux de sucre au niveau de traitement T3 (2.16 %) par rapport au traitement T2 (2.43 %), nous supposons que cela est dû à l'augmentation de NH_4^+ qui empêche la migration de Na vers les fruits.

En ce qui concerne les fruits de courgette, le taux de sucre augmente dans le cas de la richesse des feuilles en K ($r = 0.95$). Aussi, il est en corrélation positive avec la somme des cations au niveau des fruits ($r = 0.98$).

Le poids frais des fruits de concombre montre une diminution progressive sous l'effet de translocation de Na ($r = -0.74$) et de K ($r = -0.84$) vers les fruits. Par contre, il augmente avec l'accumulation de Ca ($r = 0.64$). Aussi, nous constatons que le poids frais des fruits est en corrélation avec le contenu des feuilles en Na. Selon SATTI *et al* (1994), le poids des fruits est réduit de plus 20 % à cause de la salinité. Cela nous permet de conclure que le poids des fruits serait important si le sodium reste piégé dans les feuilles et ne migre pas vers les fruits.

Contrairement au concombre, le rendement de courgette diminue lorsqu'il y a beaucoup d'accumulation de Ca ($r = -0.77$) et de Mg ($r = -0.95$) au niveau des feuilles. Aussi, lorsque les rapports $\text{K}/[\text{Ca}+\text{Mg}]$ ($r = -0.98$) et Na/K ($r = -0.91$) sont les plus élevés au niveau des fruits.

Les résultats montrent aussi que l'accumulation de Na ($r = -0.74$) et de K ($r = -0.60$) au niveau des fruits diminuent le poids sec des fruits de concombre. Tandis que le poids sec de la courgette est en corrélation avec la somme des cations au niveau des fruits ($r = 0.72$). Néanmoins, il diminue avec un fort rapport de $\text{K}/[\text{Ca}+\text{Mg}]$ ($r = -0.75$) et de Na/K ($r = -0.57$).

Les résultats de notre expérimentation montrent également que les fruits de concombre présentent plus de matière sèche lorsqu'il y a plus de Na que de K ($r = 0.85$ pour Na/K) au niveau des fruits. Les autres éléments présents (K, Ca, Mg) réduisent la proportion des fruits en matière sèche.

Pour la courgette, nous constatons une forte corrélation entre la matière sèche des fruits et le taux de sucres réducteurs des fruits ($r = 0.98$).

Compte tenu des résultats obtenus relatifs à l'analyse des principaux éléments il en ressort les observations suivantes :

Le magnésium (Mg), reste l'élément le plus faible dans tous les organes et durant toutes les périodes, et ce au niveau des deux espèces testées.

Les feuilles des deux espèces, ainsi que les racines de la courgette contiennent plus de Ca que de Na, de K et de Mg.

Les tiges et les racines de concombre sont chargées de moins au moins en Na, Ca, et K durant le stade pépinière. Par la suite, ces organes deviennent plus chargés en Ca que Na et K, et ce en fin de culture. Cependant, les tiges de la courgette accumulent plus de Na que de K et de Ca et de Mg.

Les fruits de concombre contiennent beaucoup de Na que de K de Ca et de Mg. Par contre, les fruits de courgette contiennent de moins en moins de K, de Na, de Ca, et de Mg.

Pour les deux espèces l'accumulation de Na est toujours supérieure au K dans les différents organes, à l'exception des fruits de courgette. Cette diminution de concentration de K est similaire à celle des travaux de PABLO *et al* en 1998 sur les plantes de melon (*Cucumis melo*) sous les conditions salines. Cet auteur explique ceci en terme d'absorption compétitive entre Na et K. aussi, cette augmentation des teneurs en Na s'explique selon MAZILIAK (1981), par la régulation de la pression osmotique qu'il faut maintenir toujours supérieure à celle du milieu extérieur pour assurer l'attraction de l'eau et des éléments minéraux : ce qui montre bien l'accumulation de Na à l'intérieur de la cellule. Aussi, les travaux de SMITH et MIDDELTON (1981) indiquent que la cause des faibles teneurs en K, s'explique par la capacité de Na a remplacé le K dans plusieurs fonctions non spécifiques.

Les teneurs des plantes en Na et en K sont faibles au niveau du traitement T3 (75 % NO_3^- et 25 % NH_4^+) par rapport au T2 (85% NO_3^- et 15% NH_4^+). Selon HELLER (1981) et ZORNOZA et CARPENA (1996), les plantes croissent en milieu enrichi en NH_4^+ sont souvent moins chargés en Ca, Mg et K que celles qui croissent en milieu enrichi en NO_3^- , Ceci peut être attribué à l'interaction compétitive entre le NH_4^+ et les cations nutritifs dans le processus d'absorption.



CONCLUSION

GENERALE

CONCLUSION:

Dans notre étude expérimentale nous avons réalisé d'une part une correction chimique d'une eau saline naturelle afin de voir son influence sur la croissance et le développement de deux espèces de cucurbitacées : le concombre (*Cucumis sativus L.*) et la courgette (*Cucurbita pepo L.*), cultivées en hors sol, et de l'autre part, voir le comportement de ces deux plantes face à l'antagonisme en cations, afin de réduire l'effet toxique du sodium en substituant la proportion de NH_4^+ à l'ion NO_3^- .

Aussi, il a été réalisé au préalable un essai préliminaire au stade pépinière, afin d'identifier le mode d'apport idéal des irrigations par des eaux salines soit dès le semis, soit dès la germination, soit dès la levée.

Ce travail nous a permis d'identifier le rapport $\text{NO}_3^- / \text{NH}_4^+$ ainsi que le ou les stades d'application des irrigations qui conviendrait le mieux à chacune de ces deux espèces étudiées dans un environnement salin.

Dans nos conditions expérimentales, cette étude nous a montré qu'il n'y a aucune influence des solutions ni des stades d'applications des irrigations sur la germination, et sur la levée des deux espèces étudiées.

Les résultats obtenus montrent que le stade de germination des graines convient mieux aux apports des irrigations par les eaux salines des plantes de concombre. Par contre, aucun effet d'apport des irrigations n'est observé chez des plantes de la courgette.

L'effet traitements présente une différence significative sur tous les paramètres étudiés tels que la vitesse de croissance, la hauteur des plants, le diamètre des tiges, le nombre des feuilles et le poids frais et sec de différents organes végétatifs comme des paramètres de croissance. Le nombre des fruits, la longueur et le diamètre des fruits et le poids frais et sec des fruits comme paramètres de production et les paramètres de qualités représentées par le taux des sucres réducteurs.

Les résultats de notre expérimentation nous indiquent que c'est le traitement T3 où l'azote total est représenté par (75% de NO_3^- et 25% de NH_4^+) qui produit le plus de poids frais des feuilles, par conséquent plus grand poids frais des fruits par la suite. La fraction de

25% de NH_4^+ semble être bien au-dessous de seuil d'intoxication ammoniacale chez les plantes de concombre.

En revanche, les plantes de courgette se comportent convenablement lorsque l'azote total présente la proportion de 85% de NO_3^- et 15% de NH_4^+ . De cette constatation, on peut conclure la courgette présente un indice de sensibilité à la forme d'azote ammoniacal supérieur à celui du concombre.

Concernant les résultats obtenus relatifs à l'analyse des principaux éléments minéraux, on peut nous conclure que les teneurs en éléments minéraux varient selon l'espèce, l'organe et le stade végétatif des plantes.

Il a été remarqué que le poids frais et sec des fruits des deux espèces testés diminue sous l'effet de migration du Na^+ vers les fruits, et par conséquent, les fruits devenaient plus chargé en cendre.

Pour les deux espèces l'accumulation de Na est toujours supérieure à celle du potassium (K) dans les différents organes, à l'exception des fruits de courgette. Cette diminution de concentration de K dans les conditions salines, s'explique en terme d'absorption compétitive entre Na et K, où le sodium a la capacité de remplacer le K dans plusieurs fonctions non spécifiques, entre autre, la régulation de la pression osmotique qu'il faut maintenir toujours supérieure à celle du milieu extérieur pour assurer l'attraction de l'eau et des éléments minéraux : ce qui montre bien l'accumulation de Na à l'intérieur de la cellule.

Aussi, il a été observé que le taux de sucres réducteurs augmente avec la salinité, et plus précisément avec la migration du Na^+ vers les fruits, et ce pour assurer l'ajustement osmotique (1.42 % et 2.30 % de sucres réducteurs au niveau de témoin et environ de 2.28 % et 2.43 % au niveau des autres traitements pour le concombre et la courgette respectivement).

Les teneurs des plantes en Na et en K sont faibles au niveau du traitement T3 (7,2 meq/l de N) et ce comparativement au traitement T2 (12 meq/l de N). Ceci peut être attribué à l'interaction compétitive entre le NH_4^+ et les cations nutritifs dans le processus d'absorption. Autrement dit l'augmentation de NH_4^+ empêche la migration de Na^+ vers les fruits, notamment chez le concombre.

L'Algérie possède une part importante d'eaux riches en sels qu'il apparaît indispensable de valoriser en agriculture ou en culture hors-sol. Le travail réalisé ici constitue

une recherche finalisée ayant pour objectif l'effet du rapport $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ et du stade d'application des irrigations sur la production du concombre et de la courgette en milieu salin. La méthode qui a été expérimenté de correction, de modification et d'ajustement des solutions salines en solution nutritive a permis déjà la réalisation de cultures avec des eaux salines et d'obtenir des augmentations importantes de production (facteur 7.88 pour le concombre à 100 pour la courgette).



REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

AL-RAWAHY S. A; STOEHLIN. J. L; and PESSARAKLI. M., 1992: Dry-matter yield and nitrogen-15, Na⁺, Cl⁻ and K⁺ content of tomatoes under sodium chloride stress. *Journal of plant nutrition*, 15(3) : 341-358.

ANDRE. L., 1986 : Les oligo-éléments en agriculture. Ed. Nouvelle librairie, Paris, 339 p.

AYERS. R. S ; et WESTCOT. D. W., 1984 : La qualité de l'eau en agriculture. Bull. d'irrigation et de drainage, F.A.O. n°29, Rome. 120 p.

BINET. P ; et BRUNEL. J. P., 1967 : Biologie végétale, Tome I : physiologie végétale. Ed. Doin, Paris, 238 p.

BINET. P., 1982: Adaptation physiologique à la salinité des végétaux supérieurs en environnement naturel. *Bull. Soc Eco Physiol.* 7 (2), 139-168.

BLANC. D., 1987 : Les cultures hors sol. Ed. INRA, Paris, 409 p.

BOTIA. P; CARVAJAL. M; CERDA. A; and MARTINEZ. V., 1998: Response of eight *Cucumis melo* cultivars to salinity during germination and early vegetative growth. *Agronomie* 18 (8-9). Paris, 503-513.

BOUARD. P ; CHARON. Y ; CORBIN. D ; MICHAUT. L ; RUETSCHMANN. C ; VADE. S ; et VERON. G. 1992 : Le guide. Ed. clause jardin, Brétigny, 854p.

BROWN S. L; CHANEY. R. L; ANGLE. J. S; and BAKER A. J. M., 1995: Zinc and Cadmium uptake by hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* grown in nutrient solution. *Published Soil Sci Soc. Am J.* 59: 125-133.

CHAUX. C; et FOURY. Y., 1994: Production légumière. Tome I: Généralité. Ed. J.B. Ballière, Paris, 548 p.

CHOUARD. P., 1952: Culture sous sol. Ed La maison rustique, Paris, 200 p.

COIC. Y., 1984: La culture sans sol. *Science et Vie* n°146, Paris, 68-75.

- COIC. Y; et COPPENET. M., 1989: Les oligo-éléments en agriculture et élevage. Ed. INRA, Paris, 114p.
- COIC. Y; et LESAINTE. C., 1975: La nutrition minérale en eau des plantes en horticulture avancée. Document technique S.C.P.A. n°23 CNRA, Versailles, 21p.
- COME. D., 1970 : Les obstacles à la germination. Ed. MASSON et CIE, Paris, 162 p.
- CORNILLON. P; et AUGÉ. M., 1980: Cinétique d'absorption des éléments minéraux par la tomate cultivées sous serre. Acad. Agri de France. 1242 - 1255.
- CORNILLON. P., 1985 : Effet des basses températures appliquées aux parties aériennes ou racinaires de la tomate sur l'absorption d'éléments minéraux et la fertilité pollinique. Agronomie, 5(1).33 - 38.
- DAOUD. Y; et HALITIM. A., 1994: Irrigation et salinisation au Sahara algérien. Sécheresse, 3 (5), 51-60.
- DIEHL. R., 1975 : Agriculture générale. Ed. J. B. Baillièrre, Paris, 400p.
- DROUHIN. G., 1961: Expérience algérienne d'utilisation des eaux saumâtres pour l'irrigation avec référence particulière aux sol salins. UNESCO, Paris, 150 p.
- DUTHIL. J., 1973: Eléments d'écologie d'agronomie. Tome 3. Ed J. B. Baillièrre, Paris, 265p.
- FENG. J; and BARKER. A.V., 1992: ethylene evolution and ammonium accumulation by tomato plants under water and salinity stress. Par II. Journal of plant nutrition. 15 (11), 2471-2490.
- FINDENEGG. G. R., 1987: A comparative study of ammonium toxicity at different constant pH of the nutrient solution. Plant and Soil, 103, 239-243.
- GERHARD. R., 1993: Métabolisme des végétaux: Physiologie et biochimie. Ed TEC et DOC, Paris, 526p.

Références bibliographiques

GUERRIER. G., 1984: L'absorption de Na^+ , K^+ et Ca^{++} chez des plantes sensibles ou tolérantes à la salinité, cas particulier de "*Raphanus sativus* L." *Agrochimica*, Vol XXVII, n°2-3, 235-247.

HALITIM. A., 1988 : Sols des régions arides d'Algérie. Ed. O. P. U, Alger, 384p.

HELLER. R., 1969: Biologie végétale. Tome II: Nutrition et métabolisme. Ed MASSON et CIE, Paris, 578p.

HELLER. R., 1974 : L'absorption minérale chez les végétaux. Ed MASSON et CIE, Paris, 151p.

HELLER. R., 1977: Abrégé de physiologie végétale, tome 1 nutrition. Ed. Masson . Paris, 155p.

HELLER. R., 1981: Abrégé de physiologie végétale, tome 1: nutrition. Ed Masson, Paris, 238p.

HELLER. R; ESNAULT. R; et LANCE. C., 1998: Physiologie végétale: 1- nutrition. 6^{ème} ed, Ed DUNOD, Paris, 323p.

HILLEL. D., 1997 : La petite irrigation dans les zones arides : Principes et options. Ed. F.A.O, Rome. 250 p.

HORST. M., 1986: Mineral nutrition of higher plants. *Plant Physical Biochem*, (20), 523-542.

HUDSON. NOMAN. W., 1987 : soil and water conservation in semi-arid areas. FAO. Land and Water Development Division, Irrigation and drainage paper, n° 57, Rome

JEANNEQUIN. B., 1981: Les cultures hors sol. Ed. INRA, Paris, 20p.

KATERJI. N., 1995: réponse des cultures à la contrainte hydrique d'origine saline: approches empiriques et mécanistes. Ed C.R. Acad. Agric, France, n°2, 73-86.

KOTUBY-AMACHER. J; KOENIG. R; and KITCHEN. B., 1997: Salinity and plant tolerance. USDA. 15 p.

- LAMBERT. J., 1975: Polycopié d'analyse de sol et végétaux. INA El-Harrach, 150 p.
- LAMRANI. Z; BELAKBIR. A; RUIZ. J.M; RAYALA.L; LOPEZ-CANTAVERA. I; and ROMERO. L.,1996: Influence of nitrogen, phosphorus, and potassium on pigments concentrations in cucumber leaves. Commun. Soil. SCI. Plant ANAL, 27 (5-8), 1513-1526.
- LASRAM. M., 1995: Comportement des plantes en milieu salé et placé en pourtour Méditerranée. AC.R. Acad Agric 81 (02), 47-60.
- LECHINO. S; ZAMSKI. E; and TEL-OR. E., 1997: Salt stress-induced responses in cucumber plants. Pant Physiol. Vol 150, 206-211.
- LEMAIRE. F; DARTIGUES. A; RIVIERE. L.M; et CHARPPENTIER. S., 1989: Cultures en pots et conteneurs. Ed. INRA, Paris. 184 p.
- LESAINT.C et COIC.Y., 1983 : La culture hydroponique. Ed. INRA. Paris, 119p.
- LETARD. M ;ERARD. P ; et JEANWEQUIN.B., 1995 : Maîtrise de l'irrigation fertilisante : tomate sous serre et abris en sol et hors sol. Ed TEC.DOC, Cachan, 220 p.
- MAZLIAK. R., 1974: Physiologie végétale: nutrition et métabolisme. Ed HERMANN, Paris, 349 p.
- MORAL. R; GOMEZ. I; NAVARRO-PEDRENO. J; and MATAJ. J., 1996: Absorption of Cr and effects on micronutrient content in tomato plant (*Lycopersicum esculentum* Mill). Agrochimica, Vol XL-N 2-3.
- MORARD. P.,1995: Les cultures végétales en hors sol. Ed Pub Agri, Paris, 301p.
- MUSARD. M., 1990: Qualité de la tomate de serre conduite de l'alimentation hydrominérale en culture sur substrat.Ed CTIFL, Paris, pp 21-26.
- OLUF.CHR. BOCKMAN; OLA KOARSTAD; OLE H. LIE; et IAN RICHARDS., 1990: Agriculture et fertilisation. Ed Norsk Hydro. Norvège, 158p.
- PENNINGSFELD. A; et KURZMAN.T., 1969: Cultures sans sol, hydroponie et sur tourbe. Ed. Maisson Rustique. Paris, 219 p.

Références bibliographies

PIVOT. D; REIST. A; GILLIOZ. J-M; et RYSER. J.P., 1996: Qualité de l'eau d'irrigation, environnement climatique et nutrition de la tomate cultivée sur substrat en solution recyclé. Revue Suisse, Vol 28(6) : 399-405.

RHOADES. J. D; KANDIAH. A; and MASHALI. A. M., 1992: The use of saline water for crop production. Irrigation and drainage paper, F.A.O n° 48, Rome. 140 p.

REY. Y; et COSTES. C., 1965: La physiologie de la tomate, étude bibliographique. Ed CNRA. Paris, 111p.

SARRO.M; PAZ.R.M; CACERES.M.D; and PENALOSA.J.M., 1994: Effect of calcium/potassium ratio ammonium supply on nutrition and yields of cucumber plants. Journal of Plant. Nutrition, 17 (9), 1489-1500.

SATTI. S. M. E; LOPEZ. M; and FHAD. A. AL-SAID., 1994:
Salinity induced changes in vegetative and reproductive growth in tomato.
Commun. Soil SCI. Plant ANAL, 25 (5-6), 501-510.

SEELIG. B. D., 2000: Salinity and sodicity in North Dakota soils. NDSU Extension Service, North Dakota State University. 20 p.

SMIRNOV. B; MOURAVINE. E; STOROJENKOV. R; et RIKIPOV. N., 1977:
L'agrochimie. Ed Mir, Moscou, 279 p.

SMITH. G. S; and MIDDLETON. K. R., 1980: Sodium nutrition of pasture plants.
II- Effects of sodium chloride on growth, chemical composition and the reduction of nitrate nitrogen. New Phytol. 84, 613-622.

SNOUSSI. S.A., 2001: Effet de Valorisation des eaux salines pour la nutrition minérale des plantes cultivées. Thèse doctorat d'Etat, INA El-Harrach , Alger. 152 p.

SOLTNER. D., 1988: Les bases de la production végétale, Tome I: Le sol. 16 eme ed. Ed Sciences et techniques agricoles, Angers, 466p.

SYLVIE .F; IRENE. A and ALAIN. M., 1992: Daily variation of the mineral composition of scylemic escudates in tomato. Journal of plant nutrition (15): 85-98.

VILAIN. M., 1993: La production végétal, Vol I : les composantes de la production.
Ed. J. B. Ballière, Paris, 428 p.

VAN HOORN. J. W., 1995: Développement de la salinité du sol dans la zone racinaire.
CR. Acad. Agric. Fr. 81, n°2, 61-72.

U. N., 1991 : World population prospects 1990. Population Studies. n° 120. United Nations,
New York, 607 p.

ZORNOZA. P; and CARPENA. O., 1996: Influence of Potassium / Rubidium ratios on the
xylematic transport of solutes in cucumber plants grown with nitrate plus ammonium.
Journal of plant nutrition, 19 (3-4), 469-480.



ANNEXES

Tableau 34 : Germination des graines de concombre :

	S.C.E	DDL	Carres Moyens	Test F	PROPA	E.T	C.V
VAR. TOT S-BLOC	2.22	8	0.28				
VAR. F1	0.89	2	0.44	1.88	0.2655		
VAR. BLOCS	0.39	2	0.19	0.82	0.5036		
VAR. R1	0.94	4	0.24			0.49	5.3%
VAR. TOTALE	6.22	35	0.18				
VAR. F2	0.67	3	0.22	1.50	0.2479		
VAR. INTER F1.F2	0.67	6	0.11	0.75	0.6187		
VAR. TOT S-BLOC	2.22	8	0.28	1.87	0.1274		
VAR. R2	2.67	18	0.15			0.38	4.2%

Tableau 35 : Germination des graines de courgette :

	S.C.E	DDL	Carres Moyens	Test F	PROPA	E.T	C.V
VAR. TOT S-BLOC	1.39	8	0.17				
VAR. F1	0.06	2	0.03	0.09	0.9179		
VAR. BLOCS	0.06	2	0.03	0.09	0.9179		
VAR. R1	1.28	4	0.32			0.57	6.1%
VAR. TOTALE	7.64	35	0.22				
VAR. F2	0.31	3	0.10	0.39	0.7623		
VAR. INTER F1.F2	1.28	6	0.21	0.82	0.5689		
VAR. TOT S-BLOC	1.39	8	0.17	0.67	0.7124		
VAR. R2	4.67	18	0.26			0.51	5.5%

Tableau 36 : Longueur des fruits de concombre.

	S.C.E	DDL	Carres Moyens	Test F	PROPA	E.T	C.V
AR. TOTALE	49.48	7	7.07				
VAR. F1	19.20	3	16.07	38.12	0.0066		
VAR. BLOCS	0.02	1	0.02	0.05	0.8304		
VAR. R	1.26	3	0.42			0.65	5.0%

Tableau 37 : Longueur des fruits de courgette.

	S.C.E	DDL	Carres Moyens	Test F	PROPA	E.T	C.V
AR. TOTALE	91.74	7	13.11				
VAR. F1	91.58	3	30.53	560.08	0.0001		
VAR. BLOCS	0.00	1	0.00	0.03	0.8610		
VAR. R	0.16	3	0.05			0.23	4.0%

Tableau 38 : Diamètre des fruits de concombre.

	S.C.E	DDL	Carres Moyens	Test F	PROPA	E.T	C.V
AR. TOTALE	1.03	7	0.15				
VAR. F1	0.93	3	0.31	9.54	0.0485		
VAR. BLOCS	0.00	1	0.00	0.12	0.7428		
VAR. R	0.10	3	0.03			0.18	4.6%

Tableau 39 : Diamètre des fruits de courgette.

	S.C.E	DDL	Carres Moyens	Test F	PROPA	E.T	C.V
AR. TOTALE	10.90	7	1.56				
VAR. F1	10.89	3	3.63	2157.22	0.0000		
VAR. BLOCS	0.00	1	0.00	2.41	0.2184		
VAR. R	0.01	3	0.00			0.04	2.0%

Tableau 40 : Poids frais des fruits de concombre.

	S.C.E	DDL	Carres Moyens	Test F	PROPA	E.T	C.V
AR. TOTALE	12611243.12	7	180177.59				
VAR. F1	1257398.88	3	419132.97	1633.25	0.0000		
VAR. BLOCS	3074.38	1	3074.38	11.98	0.0391		
VAR. R	769.88	3	256.63			16.02	2.0%

Tableau 41 : Poids frais des fruits de courgette.

	S.C.E	DDL	Carres Moyens	Test F	PROPA	E.T	C.V
AR. TOTALE	105342.23	7	150448.89				
VAR. F1	10535.18	3	35045.06	774.39	0.0001		
VAR. BLOCS	71.28	1	71.28	1.58	0.2989		
VAR. R	135.77	3	45.26			6.73	3.5%

Tableau 42 : Poids sec des fruits de concombre.

	S.C.E	DDL	Carres Moyens	Test F	PROPA	E.T	C.V
AR. TOTALE	3719.98	7	531.43				
VAR. F1	3484.54	3	1161.51	18.57	0.0192		
VAR. BLOCS	47.82	1	47.82	0.76	0.4485		
VAR. R	187.61	3	62.54			7.91	20.7%

Tableau 43 : Poids sec des fruits de courgette.

	S.C.E	DDL	Carres Moyens	Test F	PROPA	E.T	C.V
AR. TOTALE	43.44	7	6.21				
VAR. F1	41.18	3	13.73	33.39	0.0080		
VAR. BLOCS	1.03	1	1.03	2.5	0.2114		
VAR. R	1.23	3	0.41			0.64	16.8%

Tableau 44 : Matière sèche des fruits de concombre.

	S.C.E	DDL	Carres Moyens	Test F	PROPA	E.T	C.V
AR. TOTALE	2.52	7	0.36				
VAR. F1	1.12	3	0.37	0.98	0.5073		
VAR. BLOCS	0.25	1	0.25	0.65	0.4816		
VAR. R	1.15	3	0.38			0.62	12.7%

Tableau 45 : Matière sèche des fruits de courgette.

	S.C.E	DDL	Carres Moyens	Test F	PROPA	E.T	C.V
AR. TOTALE	57.84	7	8.26				
VAR. F1	56.28	3	18.76	66.03	0.0028		
VAR. BLOCS	0.71	1	0.71	2.49	0.2122		
VAR. R	0.85	3	0.28			0.53	11.7%

Tableau 46 : S des fruits de concombre.

	S.C.E	DDL	Carres Moyens	Test F	PROPA	E.T	C.V
AR. TOTALE	1.16	7	0.17				
VAR. F1	1.12	3	0.37	64.40	0.029		
VAR. BLOCS	0.02	1	0.02	2.94	0.1842		
VAR. R	0.02	3	0.01			0.08	3.7%

Tableau 47 : S des fruits de courgette.

	S.C.E	DDL	Carres Moyens	Test F	PROPA	E.T	C.V
AR. TOTALE	9.22	7	1.32				
VAR. F1	9.06	3	3.02	128.28	0.0010		
VAR. BLOCS	0.09	1	0.09	3.75	0.1476		
VAR. R	0.07	3	0.02			0.15	8.6%

II -Tableaux des résultats d'interaction (F1x F2) :

Tableau 48 : Vitesse de croissance des plantes en hauteur (cm/j).

Facteur	Traitement	Concombre			Courgette		
		C1	C2	C3	C1	C2	C3
F1×F2	T1S	0.28 ±0.01 bc	0.28 ±0.02 c	0.26 ±0.05 a	0.43 ±0.03 a	0.35 ±0.02 a	0.36 ±0.02 a
	T1G	0.29 ±0.03 bc	0.25 ±0.04 c	0.24 ±0.03 a	0.43 ±0.02 a	0.36 ±0.03 a	0.34 ±0.03 a
	T1L	0.26 ±0.00 c	0.25 ±0.01 c	0.24 ±0.03 a	0.43 ±0.00 a	0.37 ±0.03 a	0.33 ±0.02 a
	T2S	0.35 ±0.02 abc	0.51 ±0.04 ab	0.75 ±0.05 a	0.41 ±0.02 a	0.40 ±0.02 a	0.31 ±0.01 a
	T2G	0.38 ±0.02 ab	0.52 ±0.02 ab	0.72 ±0.03 a	0.42 ±0.02 a	0.44 ±0.03 a	0.33 ±0.01 a
	T2L	0.31 ±0.02 abc	0.43 ±0.04 b	0.60 ±0.03 a	0.45 ±0.03 a	0.42 ±0.05 a	0.30 ±0.03 a
	T3S	0.35 ±0.01 abc	0.46 ±0.01 b	0.77 ±0.03 a	0.41 ±0.02 a	0.41 ±0.02 a	0.32 ±0.02 a
	T3G	0.33 ±0.01 abc	0.51 ±0.04 ab	0.64 ±0.03 a	0.48 ±0.02 a	0.40 ±0.01 a	0.31 ±0.03 a
	T3L	0.37 ±0.02 ab	0.46 ±0.02 b	0.62 ±0.04 a	0.45 ±0.01 a	0.44 ±0.02 a	0.33 ±0.03 a
	T4S	0.38 ±0.03 ab	0.59 ±0.03 a	0.71 ±0.07 a	0.45 ±0.02 a	0.45 ±0.01 a	0.35 ±0.02 a
	T4G	0.41 ±0.05 a	0.55 ±0.02 ab	0.70 ±0.02 a	0.48 ±0.02 a	0.47 ±0.02 a	0.35 ±0.02 a
	T4L	0.34 ±0.02 abc	0.47 ±0.04 c	0.60 ±0.01 a	0.48 ±0.02 a	0.45 ±0.03 a	0.34 ±0.02 a

Tableau 49 : Hauteurs des plantes (cm).

Facteur	traitement	Concombre			Courgette		
		C1	C2	C3	C1	C2	C3
F1×F2	T1S	9 ±0.31 cd	11.67 ±1.04 d	13.88 ±2.72 a	10.25 ±0.42 a	111.85 ±0.74 a	15.42 ±0.42 a
	T1G	9.15 ±0.84 cd	10.54 ±1.56 d	12.81 ±1.71 a	10.32 ±0.54 a	12.36 ±0.99 a	15.00 ±1.08 a
	T1L	8.35 ±0.02 d	10.67 ±0.48 d	12.43 ±1.37 a	10.32 ±0.07 a	12.42 ±0.76 a	14.50 ±0.95 a
	T2S	11.24 ±0.25 abc	21.54 ±1.22 bc	40.04 ±2.41 a	9.92 ±0.72 a	13.71 ±0.66 a	13.83 ±0.51 a
	T2G	12.00 ±0.63 ab	22.00 ±0.96 bc	37.94 ±2.8 a	10.14 ±0.54 a	14.83 ±0.93 a	14.25 ±0.49 a
	T2L	10.06 ±0.79 bcd	18.17 ±1.38 c	32.15 ±1.82 a	10.84 ±0.67 a	14.25 ±1.71 a	13.20 ±1.18 a
	T3S	11.06 ±0.56 abc	19.45 ±1.18 bc	40.56 ±1.81 a	10.13 ±0.31 a	13.96 ±0.64 a	14.13 ±0.95 a
	T3G	10.65 ±0.17 abc	21.39 ±1.56 bc	34.03 ±1.49 a	11.5 ±0.45 a	15.28 ±0.54 a	13.67 ±1.21 a
	T3L	11.92 ±0.85 ab	19.33 ±0.76 bc	32.99 ±2.38 a	10.71 ±0.22 a	14.85 ±0.49 a	14.25 ±1.12 a
	T4S	13.14 ±0.13 a	27.42 ±1.93 a	37.66 ±3.42 a	10.79 ±0.50 a	15.44 ±0.49 a	15.56 ±0.97 a
	T4G	13.22 ±1.5 a	23.17 ±0.59 b	36.97 ±0.9 a	11.52 ±0.41 a	15.94 ±0.66 a	15.32 ±0.71 a
	T4L	10.81 ±0.52 abc	19.67 ±1.74 bc	31.71 ±0.58 a	11.50 ±0.48 a	15.44 ±0.91 a	14.88 ±1.02 a

Tableau 50 : Diamètres des tiges (cm).

facteur	traitement	Concombre			Courgette		
		C1	C2	C3	C1	C2	C3
F1×F2	T1S	0.26 ±0.02 a	0.29 ±0.01 a	0.30 ±0.02 a	0.34 ±0.03 a	0.38 ±0.03 b	0.39 ±0.02 a
	T1G	0.24 ±0.00 a	0.29 ±0.02 a	0.30 ±0.03 a	0.36 ±0.02 a	0.39 ±0.01 b	0.39 ±0.02 a
	T1L	0.25 ±0.02 a	0.28 ±0.02 a	0.30 ±0.02 a	0.32 ±0.01 a	0.39 ±0.00 b	0.39 ±0.01 a
	T2S	0.33 ±0.02 a	0.41 ±0.01 a	0.44 ±0.03 a	0.45 ±0.05 a	0.50 ±0.02 a	0.53 ±0.01 a
	T2G	0.31 ±0.02 a	0.41 ±0.02 a	0.45 ±0.01 a	0.41 ±0.01 a	0.48 ±0.01 a	0.52 ±0.01 a
	T2L	0.29 ±0.01 a	0.38 ±0.00 a	0.44 ±0.04 a	0.41 ±0.01 a	0.42 ±0.02 b	0.48 ±0.02 a
	T3S	0.33 ±0.01 a	0.40 ±0.01 a	0.45 ±0.04 a	0.40 ±0.01 a	0.49 ±0.00 a	0.51 ±0.03 a
	T3G	0.34 ±0.02 a	0.40 ±0.01 a	0.45 ±0.02 a	0.40 ±0.03 a	0.42 ±0.01 b	0.48 ±0.01 a
	T3L	0.30 ±0.01 a	0.37 ±0.01 a	0.40 ±0.02 a	0.37 ±0.02 a	0.40 ±0.01 b	0.41 ±0.01 a
	T4S	0.33 ±0.01 a	0.39 ±0.00 a	0.40 ±0.02 a	0.40 ±0.01 a	0.45 ±0.04 ab	0.45 ±0.04 a
	T4G	0.31 ±0.02 a	0.39 ±0.02 a	0.44 ±0.01 a	0.40 ±0.01 a	0.41 ±0.01 b	0.42 ±0.02 a
	T4L	0.30 ±0.00 a	0.36 ±0.01 a	0.42 ±0.01 a	0.39 ±0.02 a	0.40 ±0.01 b	0.41 ±0.02 a

Tableau 51 : Nombres des feuilles.

facteur	traitement	Concombre			Courgette		
		C1	C2	C3	C1	C2	C3
F1×F2	T1S	2 ±0.14 a	2 ±0.58 b	3 ±0.00 b	2 ±0.14 a	3 ±0.00 a	4 ±0.14 a
	T1G	2 ±0.25 a	2 ±0.00 b	3 ±0.14 b	2 ±0.00 a	3 ±0.14 a	4 ±0.14 a
	T1L	2 ±0.00 a	2 ±0.58 b	3 ±0.25 b	2 ±0.00 a	3 ±0.00 a	4 ±0.14 a
	T2S	3 ±0.52 a	4 ±0.58 a	6 ±0.00 a	3 ±0.43 a	4 ±0.00 a	6 ±0.14 a
	T2G	3 ±0.38 a	4 ±0.00 a	6 ±0.14 a	3 ±0.00 a	4 ±0.00 a	6 ±0.14 a
	T2L	2 ±0.00 a	4 ±0.58 a	6 ±0.38 a	3 ±0.00 a	4 ±0.00 a	6 ±0.43 a
	T3S	3 ±0.14 a	4 ±0.00 a	6 ±0.00 a	3 ±0.14 a	4 ±0.14 a	6 ±0.14 a
	T3G	2 ±0.38 a	4 ±0.58 a	6 ±0.43 a	3 ±0.00 a	4 ±0.14 a	6 ±0.14 a
	T3L	2 ±0.00 a	4 ±0.00 a	5 ±0.38 a	3 ±0.00 a	4 ±0.00 a	6 ±0.14 a
	T4S	3 ±0.52 a	4 ±0.58 a	6 ±0.00 a	3 ±0.14 a	4 ±0.00 a	6 ±0.43 a
	T4G	3 ±0.25 a	4 ±0.58 a	6 ±0.14 a	3 ±0.00 a	4 ±0.00 a	6 ±0.14a
	T4L	2 ±0.00 a	4 ±0.00 a	6 ±0.25 a	3 ±0.00 a	4 ±0.14 a	6 ±0.14 a

Tableau 52 : Poids frais des feuilles (g).

facteur	traitement	Concombre			Courgette		
		C1	C2	C3	C1	C2	C3
F1×F2	T1S	0.45 ±0.07 d	1.05 ±0.39 a	1.32 ±0.82 a	1.03 ±0.09 a	1.93 ±0.39 a	2.42 ±0.54 a
	T1G	0.40 ±0.06 d	0.90 ±0.31 a	1.38 ±0.71 a	1.12 ±0.10 a	2.13 ±0.47 a	2.55 ±0.73 a
	T1L	0.46 ±0.05 d	0.88 ±0.54 a	1.36 ±0.60 a	1.02 ±0.18 a	2.07 ±0.10 a	2.52 ±0.49 a
	T2S	1.30 ±0.17 ab	5.09 ±0.22 a	10.65 ±0.55 a	2.06 ±0.16 a	6.71 ±0.30 a	12.63 ±0.43 a
	T2G	1.20 ±0.11 abc	5.04 ±0.37 a	10.38 ±0.19 a	1.84 ±0.17 a	6.58 ±0.53 a	14.14 ±0.98 a
	T2L	0.86 ±0.06 c	3.92 ±0.10 a	8.87 ±0.33 a	1.82 ±0.27 a	5.66 ±0.55 a	13.59 ±1.04 a
	T3S	1.44 ±0.17 a	3.78 ±0.58 a	9.47 ±0.83 a	1.88 ±0.16 a	6.19 ±0.26 a	10.14 ±1.21 a
	T3G	1.17 ±0.011 abc	4.15 ±0.42 a	8.58 ±0.69 a	1.92 ±0.18 a	6.15 ±0.46 a	10.96 ±0.34 a
	T3L	0.89 ±0.09 bc	3.81 ±0.23 a	7.45 ±0.78 a	1.48 ±0.05 a	5.38 ±0.33 a	10.58 ±0.79 a
	T4S	1.41 ±0.10 a	5.38 ±0.25 a	10.70 ±0.33 a	2.17 ±0.10 a	6.99 ±0.75 a	12.72 ±0.34 a
	T4G	1.14 ±0.02 abc	5.19 ±0.51 a	9.92 ±0.55 a	2.35 ±0.33 a	6.99 ±0.75 a	13.17 ±0.13 a
	T4L	0.92 ±0.16 bc	4.09 ±0.37 a	9.27 ±0.15 a	1.63 ±0.13 a	6.20 ±0.70 a	12.29 ±0.36 a

Tableau 53 : Poids frais des tiges (g).

facteur	traitement	Concombre			Courgette		
		C1	C2	C3	C1	C2	C3
F1×F2	T1S	0.55 ±0.08 e	0.91 ±0.26 c	1.15 ±0.69 e	0.96 ±0.07 a	1.37 ±0.10 a	1.94 ±0.26 a
	T1G	0.52 ±0.05 e	0.69 ±0.24 c	1.10 ±0.13 e	0.88 ±0.03 a	1.37 ±0.22 a	1.83 ±0.24 a
	T1L	0.49 ±0.05 e	0.70 ±0.16 c	0.98 ±0.15 e	1.00 ±0.06 a	1.41 ±0.07 a	1.87 ±0.19 a
	T2S	1.11 ±0.08 bc	3.57 ±0.13 a	7.60 ±0.41 a	1.47 ±0.04 a	3.12 ±0.11 a	4.86 ±0.44 a
	T2G	1.08 ±0.07 bc	3.54 ±0.15 a	6.60 ±0.10 abc	1.38 ±0.01 a	3.11 ±0.25 a	5.33 ±0.21 a
	T2L	0.82 ±0.02 d	2.48 ±0.13 b	5.38 ±0.28 cd	1.35 ±0.10 a	2.69 ±0.31 a	5.41 ±0.37 a
	T3S	1.26 ±0.14 ab	2.87 ±0.58 ab	7.29 ±0.68 ab	1.39 ±0.09 a	2.83 ±0.04 a	4.34 ±0.29 a
	T3G	1.15 ±0.08 bc	3.10 ±0.15 ab	6.06 ±0.53 abc	0.51 ±0.08 a	2.88 ±0.06 a	4.08 ±0.30 a
	T3L	0.90 ±0.10 cd	2.64 ±0.19 b	4.87 ±0.41 d	1.22 ±0.07 a	2.62 ±0.13 a	4.35 ±0.18 a
	T4S	1.43 ±0.09 a	3.63 ±0.28 a	6.34 ±0.38 abcd	1.37 ±0.04 a	3.47 ±0.25 a	5.15 ±0.18 a
	T4G	1.15 ±0.05 bc	3.21 ±0.29 ab	5.81 ±0.57 bcd	1.56 ±0.06 a	3.32 ±0.13 a	5.18 ±0.07 a
	T4L	0.87 ±0.07 cd	2.48 ±0.19 b	5.14 ±0.06 d	1.41 ±0.04 a	3.02 ±0.26 a	4.86 ±0.13 a

Tableau 54 : Poids frais total (g).

Facteur	traitement	Concombre			Courgette		
		C1	C2	C3	C1	C2	C3
F1×F2	T1S	0.99 ±0.14 d	1.98 ±0.64 d	2.41 ±1.75 a	1.98 ±0.14 a	3.27 ±0.50 a	4.37 ±0.75 a
	T1G	0.94 ±0.12 d	1.60 ±0.54 d	2.51 ±0.89 a	2.11 ±0.13 a	3.48 ±0.66 a	3.30 ±2.04 a
	T1L	0.95 ±0.09 d	1.57 ±0.73 d	2.33 ±0.77 a	1.87 ±0.23 a	3.50 ±0.04 a	4.38 ±1.07 a
	T2S	2.37 ±0.21 ab	8.66 ±0.24 ab	18.26 ±0.87 a	3.56 ±0.23 a	9.82 ±0.41 a	17.73 ±0.70 a
	T2G	2.29 ±0.18 ab	8.55 ±0.50 ab	17.01 ±0.15 a	3.20 ±0.16 a	9.67 ±0.71 a	19.47 ±1.48 a
	T2L	1.68 ±0.07 c	6.37 ±0.14 c	14.16 ±0.59 a	3.17 ±0.36 a	8.36 ±0.86 a	20.41 ±2.10 a
	T3S	2.70 ±0.29 a	6.67 ±1.13 c	16.86 ±1.63 a	3.26 ±0.23 a	9.06 ±0.27 a	14.53 ±1.17 a
	T3G	2.30 ±0.19 ab	7.25 ±0.58 bc	14.69 ±1.26 a	3.42 ±0.22 a	9.03 ±0.57 a	15.05 ±1.17 a
	T3L	1.78 ±0.18 bc	6.45 ±0.38 c	12.32 ±1.19 a	2.69 ±0.11 a	8.01 ±0.43 a	14.93 ±0.53 a
	T4S	2.86 ±0.14 a	9.01 ±0.51 a	17.04 ±0.69 a	3.55 ±0.10 a	10.76 ±0.58 a	17.84 ±0.58 a
	T4G	2.29 ±0.08 ab	8.43 ±0.77 ab	15.73 ±0.69 a	3.88 ±0.39 a	10.28 ±0.87 a	18.36 ±0.45 a
	T4L	1.77 ±0.22 bc	6.63 ±0.28 c	14.38 ±0.21 a	3.01 ±0.14 a	9.22 ±0.94 a	17.15 ±0.94 a

Tableau 55 : Poids frais des racines (g).

facteur	traitement	Concombre			Courgette		
		C1	C2	C3	C1	C2	C3
F1×F2	T1S	1.42 ±0.25 a	2.13 ±0.69 a	2.11 ±1.23 a	1.63 ±0.15 a	2.37 ±0.38 a	3.05 ±0.31 a
	T1G	1.31 ±0.10 a	2.05 ±0.31 a	2.36 ±0.73 a	1.67 ±0.09 a	2.52 ±0.42 a	2.94 ±0.46 a
	T1L	1.43 ±0.23 a	2.11 ±0.35 a	2.17 ±0.52 a	1.57 ±0.27 a	2.57 ±0.32 a	3.07 ±0.08 a
	T2S	1.31 ±0.07 a	4.36 ±0.26 a	7.75 ±1.03 a	1.63 ±0.04 a	2.79 ±0.13 a	4.99 ±0.59 a
	T2G	1.25 ±0.15 a	4.14 ±0.49 a	7.60 ±0.66 a	1.51 ±0.07 a	2.67 ±0.13 a	5.05 ±0.21 a
	T2L	0.96 ±0.11 a	3.17 ±0.02 a	6.84 ±0.58 a	1.53 ±0.17 a	2.32 ±0.18 a	4.58 ±0.33 a
	T3S	1.72 ±0.26 a	3.88 ±0.76 a	8.10 ±0.80 a	1.65 ±0.16 a	3.00 ±0.20 a	4.69 ±0.34 a
	T3G	1.52 ±0.14 a	4.01 ±0.12 a	7.11 ±0.77 a	1.65 ±0.20 a	2.41 ±0.20 a	4.72 ±0.30 a
	T3L	1.00 ±0.24 a	3.54 ±0.16 a	6.63 ±0.24 a	1.38 ±0.15 a	2.38 ±0.16 a	4.18 ±0.14 a
	T4S	1.41 ±0.03 a	4.79 ±0.19 a	8.96 ±1.09 a	1.48 ±0.08 a	2.47 ±0.54 a	4.22 ±0.08 a
	T4G	1.06 ±0.08 a	4.00 ±0.17 a	8.41 ±0.64 a	1.57 ±0.14 a	2.39 ±0.49 a	3.83 ±0.18 a
	T4L	1.15 ±0.16 a	3.31 ±0.32 a	7.83 ±0.82 a	1.43 ±0.08 a	2.20 ±0.18 a	3.93 ±0.41 a

Tableau 56 : Poids sec des feuilles (g).

Facteur	Traitement	Concombre			Courgette		
		C1	C2	C3	C1	C2	C3
F1×F2	T1S	0.06 ±0.01 a	0.19 ±0.05 a	0.20 ±0.16 a	0.16 ±0.05 a	0.20 ±0.04 a	0.41 ±0.10 a
	T1G	0.07 ±0.02 a	0.16 ±0.07 a	0.24 ±0.12 a	0.10 ±0.02 a	0.17 ±0.03 a	0.34 ±0.05 a
	T1L	0.06 ±0.01 a	0.16 ±0.09 a	0.23 ±0.14 a	0.11 ±0.01 a	0.21 ±0.01 a	0.34 ±0.05 a
	T2S	0.13 ±0.02 a	0.59 ±0.03 a	1.27 ±0.10 a	0.17 ±0.03 a	0.50 ±0.04 a	1.32 ±0.10 a
	T2G	0.13 ±0.01 a	0.65 ±0.09 a	1.26 ±0.03 a	0.18 ±0.03 a	0.46 ±0.04 a	1.31 ±0.07 a
	T2L	0.09 ±0.02 a	0.54 ±0.13 a	1.07 ±0.08 a	0.16 ±0.02 a	0.39 ±0.04 a	1.29 ±0.08 a
	T3S	0.14 ±0.02 a	0.46 ±0.06 a	1.21 ±0.17 a	0.15 ±0.04 a	0.47 ±0.02 a	1.03 ±0.12 a
	T3G	0.12 ±0.02 a	0.45 ±0.07 a	1.14 ±0.15 a	0.16 ±0.03 a	0.46 ±0.04 a	1.10 ±0.06 a
	T3L	0.09 ±0.00 a	0.43 ±0.06 a	0.93 ±0.08 a	0.13 ±0.01 a	0.37 ±0.03 a	1.03 ±0.09 a
	T4S	0.14 ±0.02 a	0.64 ±0.03 a	1.42 ±0.08 a	0.22 ±0.01 a	0.53 ±0.03 a	1.33 ±0.08 a
	T4G	0.13 ±0.03 a	0.59 ±0.01 a	1.26 ±0.05 a	0.19 ±0.03 a	0.51 ±0.05 a	1.38 ±0.03 a
	T4L	0.10 ±0.02 a	0.49 ±0.03 a	1.33 ±0.24 a	0.15 ±0.02 a	0.46 ±0.05 a	1.24 ±0.05 a

Tableau 57 : Poids sec des tiges (g).

Facteur	traitement	Concombre			Courgette		
		C1	C2	C3	C1	C2	C3
F1×F2	T1S	0.03 ±0.00 a	0.06 ±0.02 c	0.07 ±0.11 a	0.05 ±0.00 a	0.13 ±0.01 a	0.21 ±0.03 a
	T1G	0.04 ±0.00 a	0.05 ±0.01 c	0.07 ±0.02 a	0.06 ±0.01 a	0.10 ±0.02 a	0.19 ±0.03 a
	T1L	0.04 ±0.00 a	0.05 ±0.01 c	0.05 ±0.02 a	0.07 ±0.01 a	0.12 ±0.01 a	0.20 ±0.02 a
	T2S	0.05 ±0.00 a	0.23 ±0.01 a	0.50 ±0.06 a	0.08 ±0.00 a	0.15 ±0.00 a	0.34 ±0.04 a
	T2G	0.06 ±0.01 a	0.21 ±0.02 a	0.43 ±0.01 a	0.06 ±0.01 a	0.14 ±0.01 a	0.38 ±0.04 a
	T2L	0.04 ±0.00 a	0.16 ±0.01 b	0.37 ±0.01 a	0.07 ±0.01 a	0.12 ±0.01 a	0.35 ±0.04 a
	T3S	0.05 ±0.01 a	0.17 ±0.02 ab	0.62 ±0.22 a	0.07 ±0.00 a	0.13 ±0.01 a	0.32 ±0.02 a
	T3G	0.06 ±0.01 a	0.18 ±0.01 ab	0.38 ±0.04 a	0.07 ±0.00 a	0.13 ±0.01 a	0.33 ±0.02 a
	T3L	0.05 ±0.00 a	0.15 ±0.01 b	0.32 ±0.04 a	0.05 ±0.01 a	0.12 ±0.01 a	0.34 ±0.03 a
	T4S	0.06 ±0.01 a	0.23 ±0.01 a	0.47 ±0.07 a	0.07 ±0.00 a	0.16 ±0.01 a	0.39 ±0.03 a
	T4G	0.05 ±0.01 a	0.20 ±0.01 ab	0.40 ±0.03 a	0.08 ±0.00 a	0.15 ±0.01 a	0.37 ±0.02 a
	T4L	0.05 ±0.00 a	0.14 ±0.01 b	0.31 ±0.05 a	0.08 ±0.01 a	0.14 ±0.01 a	0.35 ±0.00 a

Tableau 58 : Poids sec total (g).

Facteur	traitement	Concombre			Courgette		
		C1	C2	C3	C1	C2	C3
F1×F2	T1S	0.09 ±0.01 a	0.25 ±0.07 a	0.28 ±0.26 a	0.15 ±0.02 a	0.31 ±0.04 a	0.55 ±0.07 a
	T1G	0.11 ±0.01 a	0.21 ±0.08 a	0.32 ±0.15 a	0.17 ±0.03 a	0.27 ±0.02 a	0.54 ±0.08 a
	T1L	0.10 ±0.01 a	0.21 ±0.11 a	0.28 ±0.16 a	0.18 ±0.03 a	0.33 ±0.04 a	0.53 ±0.07 a
	T2S	0.18 ±0.02 a	0.82 ±0.03 a	1.77 ±0.11 a	0.24 ±0.02 a	0.64 ±0.04 a	1.65 ±0.08 a
	T2G	0.18 ±0.02 a	0.88 ±0.09 a	1.69 ±0.03 a	0.25 ±0.04 a	0.61 ±0.04 a	1.69 ±0.10 a
	T2L	0.13 ±0.03 a	0.69 ±0.14 a	1.43 ±0.07 a	0.23 ±0.03 a	0.53 ±0.11 a	1.63 ±0.12 a
	T3S	0.19 ±0.03 a	0.62 ±0.08 a	1.83 ±0.29 a	0.23 ±0.01 a	0.61 ±0.03 a	1.35 ±0.12 a
	T3G	0.17 ±0.00 a	0.63 ±0.07 a	1.53 ±0.20 a	0.23 ±0.02 a	0.60 ±0.05 a	1.43 ±0.04 a
	T3L	0.13 ±0.01 a	0.58 ±0.06 a	1.25 ±0.09 a	0.18 ±0.02 a	0.50 ±0.03 a	1.37 ±0.11 a
	T4S	0.20 ±0.03 a	0.87 ±0.04 a	1.90 ±0.08 a	0.30 ±0.03 a	0.69 ±0.03 a	1.71 ±0.08 a
	T4G	0.16 ±0.02 a	0.79 ±0.01 a	1.66 ±0.06 a	0.27 ±0.03 a	0.66 ±0.05 a	1.74 ±0.05 a
	T4L	0.14 ±0.02 a	0.63 ±0.03 a	1.63 ±0.19 a	0.23 ±0.03 a	0.70 ±0.17 a	1.60 ±0.05 a

Tableau 59 : Poids sec des racines (g).

Facteur	traitement	Concombre			Courgette		
		C1	C2	C3	C1	C2	C3
F1×F2	T1S	0.07 ±0.00 a	0.11 ±0.03 c	0.12 ±0.13 a	0.09 ±0.00 a	0.13 ±0.02 a	0.22 ±0.02 a
	T1G	0.06 ±0.01 a	0.13 ±0.01 c	0.15 ±0.08 a	0.10 ±0.02 a	0.13 ±0.01 a	0.20 ±0.02 a
	T1L	0.07 ±0.02 a	0.13 ±0.03 c	0.12 ±0.04 a	0.12 ±0.04 a	0.15 ±0.00 a	0.23 ±0.03 a
	T2S	0.06 ±0.01 a	0.23 ±0.03 ab	0.49 ±0.07 a	0.10 ±0.01 a	0.17 ±0.00 a	0.47 ±0.09 a
	T2G	0.07 ±0.00 a	0.23 ±0.04 ab	0.46 ±0.07 a	0.09 ±0.02 a	0.20 ±0.03 a	0.41 ±0.05 a
	T2L	0.05 ±0.01 a	0.16 ±0.02 bc	0.45 ±0.01 a	0.11 ±0.03 a	0.12 ±0.02 a	0.40 ±0.05 a
	T3S	0.08 ±0.00 a	0.20 ±0.05 abc	0.52 ±0.08 a	0.11 ±0.01 a	0.17 ±0.02 a	0.37 ±0.06 a
	T3G	0.07 ±0.01 a	0.26 ±0.06 a	0.42 ±0.02 a	0.11 ±0.02 a	0.14 ±0.01 a	0.42 ±0.00 a
	T3L	0.07 ±0.02 a	0.23 ±0.05 ab	0.47 ±0.10 a	0.09 ±0.02 a	0.16 ±0.02 a	0.42 ±0.04 a
	T4S	0.07 ±0.01 a	0.29 ±0.02 a	0.70 ±0.11 a	0.11 ±0.01 a	0.18 ±0.04 a	0.45 ±0.03 a
	T4G	0.06 ±0.01 a	0.25 ±0.05 ab	0.62 ±0.08 a	0.11 ±0.00 a	0.15 ±0.02 a	0.45 ±0.04 a
	T4L	0.06 ±0.01 a	0.15 ±0.02 bc	0.60 ±0.07 a	0.09 ±0.02 a	0.18 ±0.03 a	0.41 ±0.06 a

Tableau 60 : l'absorption hydrique (%).

Facteur	traitement	Concombre			Courgette		
		C1	C2	C3	C1	C2	C3
F1×F2	T1S	19.83 ±1.56 a	17.15 ±1.13 e	12.50 ±0.66 d	50.98 ±1.32 a	27.09 ±0.58 e	13.05 ±0.67 d
	T1G	20.94 ±2.51 a	18.61 ±0.19 e	12.43 ±2.89 d	53.33 ±1.80 a	24.38 ±1.05 e	11.11 ±0.84 d
	T1L	21.12 ±7.21 a	21.67 ±2.60 d	15.70 ±2.62 d	48.06 ±1.64 a	31.67 ±2.15 d	10.28 ±1.03 d
	T2S	17.82 ±1.31 a	42.71 ±1.93 b	40.21 ±1.84 c	51.67 ±1.15 a	50.42 ±0.85 ab	31.85 ±1.47 ab
	T2G	23.96 ±7.49 a	41.95 ±0.62 b	44.59 ±1.02 bc	50.56 ±1.89 a	47.93 ±1.70 abc	35.00 ±0.67 ab
	T2L	26.98 ±2.54 a	43.54 ±1.24 b	40.63 ±0.78 c	51.25 ±1.16 a	49.59 ±1.58 ab	32.78 ±1.37 ab
	T3S	27.09 ±1.73 a	38.40 ±1.93 c	45.86 ±1.97 b	55.83 ±1.67 a	46.25 ±0.85 bc	31.12 ±0.73 ab
	T3G	20.42 ±1.78 a	43.62 ±0.57 b	42.09 ±2.04 bc	54.44 ±3.21 a	49.94 ±0.97 ab	29.44 ±2.53 ab
	T3L	16.32 ±5.20 a	48.05 ±1.92 a	42.92 ±0.75 bc	55.00 ±2.98 a	43.89 ±4.26 c	23.61 ±0.84 c
	T4S	23.41 ±0.13 a	47.78 ±1.56 a	53.96 ±0.31 a	55.77 ±1.23 a	51.25 ±0.92 ab	36.76 ±2.43 a
	T4G	16.25 ±3.26 a	46.11 ±0.82 ab	51.11 ±1.20 a	50.28 ±2.86 a	50.42 ±0.51 ab	32.78 ±1.26 ab
	T4L	16.11 ±1.25 a	43.43 ±0.33 b	52.78 ±1.70 a	55.00 ±2.31 a	52.75 ±0.74 a	34.45 ±1.99 ab

III- Tableaux de coefficient de corrélation.

Tableau 61 : Coefficient de corrélation de culture de concombre.

	H	D	NF	PFF	PFT	PFTO	PSF	PST	PSTO	%ab	%sel	Nfr
H	+1.00											
D	+0.97	+1.00										
NF	+0.62	+0.57	+1.00									
PFF	+0.91	+0.92	+0.82	+1.00								
PFT	+0.92	+0.91	+0.81	+0.99	+1.00							
PFTO	+0.91	+0.91	+0.82	+0.99	+0.99	+1.00						
PSF	+0.87	+0.87	+0.82	+0.99	+0.98	+0.99	+1.00					
PST	+0.89	+0.87	+0.83	+0.98	+0.99	+0.99	+0.97	+1.00				
PSTO	+0.88	+0.88	+0.83	+0.99	+0.99	+0.99	+0.99	+0.98	+1.00			
%ab	+0.84	+0.85	+0.77	+0.96	+0.98	+0.97	+0.97	+0.97	+0.98	+1.00		
%sel	+0.73	+0.72	+0.69	+0.83	+0.79	+0.82	+0.87	+0.77	+0.85	+0.76	+1.00	
Nfr	-0.24	+0.80	+0.81	+0.76	+0.93	+0.90	+0.93	+0.94	+0.92	+0.91	+0.87	+1.00
L	+0.99	+0.98	+0.64	+0.92	+0.92	+0.92	+0.87	+0.90	+0.88	+0.85	+0.72	+0.64
Dfr	+0.90	+0.90	+0.70	+0.85	+0.87	+0.85	+0.79	+0.85	+0.82	+0.74	+0.64	+0.64
PFfr	+0.90	+0.91	+0.75	+0.94	+0.91	+0.94	+0.90	+0.88	+0.90	+0.84	+0.74	+0.83
PSfr	+0.88	+0.89	+0.67	+0.87	+0.82	+0.86	+0.81	+0.77	+0.81	+0.71	+0.75	+0.72
MSfr	+0.32	+0.33	-0.04	+0.12	+0.05	+0.08	+0.05	+0.00	+0.05	-0.11	+0.33	-0.12
%S	-0.18	-0.19	-0.64	-0.53	-0.52	-0.53	-0.62	-0.52	-0.59	-0.62	-0.57	-0.74

	L	Dfr	PFfr	PSfr	MSfr	%S
L	+1.00					
Dfr	+0.92	+1.00				
PFfr	+0.90	+0.87	+1.00			
PSfr	+0.88	+0.88	+0.97	+1.00		
MSfr	+0.31	+0.43	+0.25	+0.48	+1.00	
%S	-0.18	-0.08	-0.36	-0.20	+0.51	+1.00

Tableau 62 : Coefficient de corrélation de culture de la courgette.

	H	D	NF	PFF	PFT	PFTO	PSF	PST	PSTO	%ab	%sel	Nfr
H	+1.00											
D	+0.60	+1.00										
NF	+0.93	+0.77	+1.00									
PFF	+0.96	+0.70	+0.99	+1.00								
PFT	+0.94	+0.75	+0.98	+0.99	+1.00							
PFTO	+0.96	+0.71	+0.99	+0.99	+0.99	+1.00						
PSF	+0.95	+0.72	+0.98	+0.99	+0.98	+0.99	+1.00					
PST	+0.93	+0.73	+0.97	+0.97	+0.99	+0.98	+0.97	+1.00				
PSTO	+0.83	+0.62	+0.84	+0.85	+0.92	+0.87	+0.84	+0.94	+1.00			
%ab	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	+1.00		
%sel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	+1.00	
Nfr	+0.80	-0.10	+0.90	+0.80	+0.97	+0.94	+0.93	+0.94	+0.94	+0.53	+0.75	+1.00
L	+0.89	+0.84	+0.97	+0.94	+0.93	+0.94	+0.94	+0.90	+0.75	0.00	0.00	+0.96
Dfr	+0.90	+0.84	+0.98	+0.95	+0.94	+0.95	+0.95	+0.92	+0.77	0.00	0.00	+0.96
PFfr	+0.92	+0.78	+0.99	+0.97	+0.97	+0.96	+0.96	+0.95	+0.83	0.00	0.00	+0.95
PSfr	+0.87	+0.80	+0.97	+0.93	+0.95	+0.94	+0.91	+0.93	+0.84	0.00	0.00	+0.92
MSfr	+0.85	+0.88	+0.96	+0.91	+0.92	+0.92	+0.72	+0.90	+0.78	0.00	0.00	+0.95
%S	+0.83	+0.91	+0.96	+0.92	+0.92	+0.92	+0.91	+0.90	+0.76	0.00	0.00	+0.90

	L	Dfr	PFfr	PSfr	MSfr	%S
L	+1.00					
Dfr	+0.99	+1.00				
PFfr	+0.98	+0.98	+1.00			
PSfr	+0.94	+0.95	+0.98	+1.00		
MSfr	+0.97	+0.97	+0.97	+0.98	+1.00	
%S	+0.96	+0.96	+0.95	+0.96	+0.98	+1.00

Tableau 63 : Valeur de coefficient de corrélation entre les éléments minéraux et dosés en différents organes végétatif et les paramètres de production des fruits.

		Concombre				Courgette			
		P.F.FR	P.S.FR	% M.S	% Sucre	P.F.FR	P.S.FR	% M.S	% Sucre
Na	F	0.57	0.65	0.81	0.24	-	-	-	-
	T	-0.73	-0.34	0.57	0.96	-0.73	-0.29	0.48	0.52
	R	-0.20	-0.54	-0.95	-0.66	-0.59	-0.10	0.64	0.67
	FR	-0.74	-0.74	0.25	0.84	-0.74	-0.30	0.47	0.51
K	F	-0.61	0.50	0.42	-0.15	-0.11	0.40	0.94	0.95
	T	0.46	0.07	-0.56	-0.78	0.64	0.94	0.90	0.88
	R	-0.42	0.16	-0.42	-0.84	0.80	0.99	0.77	0.74
	FR	-0.84	-0.60	-0.60	0.00	0.80	0.99	0.77	0.74
Ca	F	-0.25	-0.38	-0.09	0.33	-0.70	-0.35	0.43	0.47
	T	0.79	0.42	-0.48	-0.93	0.40	-0.11	-0.79	-0.82
	R	-0.51	0.07	0.74	1.00	0.71	0.97	0.8	0.83
	FR	0.64	-0.22	-0.17	-0.79	0.98	0.94	0.41	0.37
Mg	F	-0.06	-0.74	-0.74	-0.91	-0.95	-0.97	-0.52	-0.48
	T	0.85	-0.76	-0.80	-0.17	0.96	0.69	-0.04	-0.08
	R	-0.11	-0.92	-0.11	0.46	0.11	-0.40	-0.94	-0.95
	FR	-0.54	-0.66	-0.91	-0.39	0.92	0.59	-0.17	-0.21
La somme des cations	F	0.61	0.68	0.53	0.25	-0.73	-0.29	0.48	0.52
	T	0.26	0.13	-0.66	-0.93	0.91	0.99	0.61	0.58
	R	-0.55	-0.46	0.47	0.67	0.47	0.85	0.97	0.96
	FR	-0.90	-0.94	-0.52	0.04	0.27	0.72	1.00	0.98
K/(Ca + Mg)	F	0.41-	0.43	0.42	-0.11	0.94	0.64	-0.10	-0.15
	T	0.54	-0.49	0.25	0.40	-0.11	0.41	0.94	0.95
	R	0.45	0.32	-0.53	-0.59	-0.77	-0.99	-0.81	-0.78
	FR	-0.98	-0.95	-0.21	0.51	-0.98	-0.75	-0.05	-0.01
Na/K	F	-0.07	0.01	0.29	-0.27	0.11	-0.40	-0.94	-0.95
	T	0.99	0.07	0.55	0.73	0.98	-0.76	-0.06	-0.01
	R	-0.54	-0.49	0.00	0.58	-0.82	-0.41	0.37	0.41
	FR	0.15	0.29	0.85	0.81	-0.91	-0.57	0.19	0.24