

UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA

Faculté des sciences agronomiques et vétérinaires

Département d'agronomie

MEMOIRE DE MAGISTER

Spécialité : Amélioration des productions végétales

EFFET DE L'UTILISATION D'ANTI-STRESS DE SYNTHÈSE ET BIOLOGIQUE
SUR LA PRODUCTION DE PLANTS DE CONCOMBRE (*Cucumis sativus* L.) EN
HORS SOL ET DANS DES CONDITIONS SALINES

Par

Ferroudja AIT OUAZZOU

Devant le jury composé de :

M. BENMOUSSA	Professeur, USD. Blida	Président
S.A. SNOUSSI	Professeur, USD. Blida	Promoteur
M. BENCHABANE	Maître de conférences A, USD. Blida	Co-promoteur
L. BENFEKIH	Maître de conférences A, USD. Blida	Examinatrice
M.S. ABDULHUSSAINE	Chargé de cours, USD. Blida	Examinatrice

Blida, Mars 2011

REMERCIEMENTS

Grâces à dieu le tout puissant qui ma donné le courage, la volonté et la santé pour terminer mes études et préparer ce mémoire.

Mes remerciements pour ma famille surtout mes parents : mon père et ma mère qui m'ont poussé toujours vers l'avant et qui m'ont donnés tous les moyens nécessaire à réaliser ce travail facilement.

Mes vifs remerciements au Pr. S.A. SNOUSSI, mon promoteur, d'avoir accepté de diriger ce travail, pour sa gentillesse, sa noblesse, sa compréhension, son soutien et ses conseils.

Je tiens à remercier également le Dr. M. Benchabane, mon co-promoteur, d'avoir accepté de diriger une partie de ce travail et pour son aide et ses conseils précieux.

Je remercie, **P^r** M. Ben Moussa d'avoir bien voulu accepter de présider ce travail.

Je tiens également à remercier Dr L. Benfekih et Mme M.S. ABDULHAUSSAINE qui m'ont fait l'honneur de leur présence et ont voulu examiner ce travail.

Un grand merci à Mr N. Ait Saadi, pour sa gentillesse et sa disponibilité.

Je remercie toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

RESUME

Notre travail a porté sur l'évaluation des effets du fertiactyl qui est un engrais liquide synthétique à qualité anti-stress et de la souche bactérienne de *Pseudomonas fluorescens* à savoir la CHAO stimulatrice de la croissance des plantes, sur une culture de concombre en condition saline.

L'étude des différents paramètres de croissance et de développement mesurés aux différents stades de culture à savoir (60 jours, 80 jours et 108 jours après semis) nous a permis de constater que l'utilisation des solutions salines naturelles dans l'irrigation des plantes de concombre limite considérablement la croissance de ces dernières. En revanche, la correction des eaux salines naturelles permet d'augmenter les paramètres de croissance et de développement.

L'addition du fertiactyl et de la CHAO à la solution saline naturelle a amélioré considérablement la croissance et le développement de ces plantes notamment à travers la plus part des paramètres étudiés où on a enregistré des gains appréciables allant jusqu'à 260,63% pour la hauteur des tiges et 207,02% pour le poids frais total. Ceci démontre que les effets bénéfiques du fertiactyl et de la souche bactérienne qui sont accentués par leur association conjuguée comparée à leur utilisation séparée.

Mots clé : salinité, hors sol, concombre, stress salin, solution nutritive, fertiactyl, *Pseudomonas spp. fluorescents*.

Summary

Our work consists on the evaluation of fertiactyl effects who are synthetic liquid fertilizes of anti-stress propriety and bacterial strain of *Pseudomonas fluorescens* CHAO stimulating the cucumber plants growth in saline conditions.

The Study of different growth parameters and development at the three culture stages allowed us to note that the salt stress causes a reduction of growth and fruits production. However, the correction of the saline water can raise the increase all parameters measured.

The addition of the fertiactyl to the CHAO in the saline solutions improves the growth and development measured through the parameters which average 260, 63% height and 207.02% for the total weight.

These results show that the strain application of *Pseudomonas fluorescent* and fertiactyl at the same time in the saline nutrient solution improve growth and cucumber production compared to their application separately.

Keywords: salinity, soilless culture, cucumber, nutrient solution, saline stress, fertiactyl, *Pseudomonas spp. Fluorescents*.

الملخص

تطرقنا دراستنا التجريبية إلى تقييم مدى مفعول "الفرتي أكتيل" "Fertiactyl" الذي يتمثل في سماد سائل من نوع اصطناعي ذات خاصية مضادة للإجهاد (التوتر) وكذا عزلة من عزلات بكتيريا البسودوموناس فليورسانس *Pseudomonas fluorescens* وهي عزلة CHAO التي تعتبر بكتيريا مفزة لنمو وتطور النباتات وهذا على الخيار في بيئة ذات ملوحة مرتفعة.

بينت ختلف القياسات المنجزة على معالم النمو، وتطور النباتات المنجزة في مراحل مختلفة من النمو، إن استعمال محاليل ملحية طبيعية في سقي النباتات يعيق بصفة معتبرة نمو نباتات الخيار، وعكس ذلك فإن تصحيح التوازن الأيوني لهذه المحاليل الملحية يسمح بتحسين وارتفاع في نمو وتطور هذه النباتات.

كما لاحظنا أيضا أن مزج السماد السائل fertiactyl وعزلة CHAO في آن واحد للمحلول الملحي الطبيعي الغير المصحح قد سمح أيضا بارتفاع معالم النمو لدى نبات الخيار التي وصلت في بعض الأحيان إلى نسبة 260,63 % لطول ساق النبتة و207,02 % للوزن الكلي للنبات مقارنة باستعمالها على حدا.

الكلمات الدالة: الملوحة، مضاد للتوتر، الخيار، التوتر الملحي، محلول معدني، الزراعة المائية

TABLE DES MATIERES

RESUME	2
REMERCIEMENT	5
TABLE DES MATIERE	6
LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUS	8
INTRODUCTION	11
CHAPITRE 1. GENERALITE SUR LA CULTURE DE CONCOMBRE	14
1.1. Origine et historique	14
1.2. Le marché du concombre	14
1.3. Morphologie du concombre	17
1.4. La valeur nutritionnelle	19
1.5. Les exigences de concombre	20
1.6. Production de concombre en hors sol	22
1.7. Maladies et ennemis du concombre	24
CHAPITRE 2.SALINITE DES SOLS ET PHYSIOLOGIE DES PLANTES EN MILIEU SALIN	26
2.1. Origine de la salinité	26
2.2. Salinisation des sols	27
2.3. Salinisation des eaux	29
2.4. Salinité dans le monde et en Algérie	32
2.5. Effets des sels sur les plantes	33
2.6. Tolérance des plantes à la salinité	34
2.7. Stratèges et pratiques pour lutter contre la salinité	35
CHAPITRE 3. NOTIONS GENERALES SUR LA CULTURE HORS-SOL	37
3.1. Définition	37
3.2. Historique	37
3.3. Avantages et inconvénients de la culture hors sol	38
3.4. Composantes du système hors sol	38
CHAPITRE 4. NUTRITION HYDROMONERALE DES PLANTES	41
4.1. Généralités	41
4.2. Nutrition hydrique	41
4.3. Nutrition minérale	42
4.4. Constituant minéraux des plantes	43
4.5. La fumure minérale	47

CHAPITRE 5. GENERALITES SUR LES PSEUDOMONAS FLUORESCENTS	50
5.1. Stimulation de la croissance végétale	51
5.2. Biocontrôl des agents pathogènes	51
CHAPITRE 6. MATERIELS ET METHODES	53
6.1 Matériel végétal	53
6.2 Conditions expérimentales	53
6.3 Prégermination et repiquage	57
6.4 Dispositif expérimental	58
6.5 Description des différents traitements	62
6.6 Souche bactérienne	75
6.7 Tolérance à la salinité	76
6.8 Inoculation bactérienne	77
6.9 Test de viabilité	77
6.10 Entretien de la culture	78
CHAPITRE 7. RESULTATS ET DISCUSSION	80
7.1. Paramètre de croissance	80
7.1.1 La vitesse de croissance des plantes	80
7.1.2 Hauteur de la tige	82
7.1.3 Diamètre des tiges	83
7.1. 4 Nombre des feuilles	85
7.1. 5 Poids frais total de la partie aérienne	87
7.1. 6 Poids frais des feuilles	89
7.1.7 Poids frais des tiges	91
7.1. 8 Poids sec des feuilles	92
7.1. 9 poids sec des tiges	93
7.1. 10 Poids sec total de la partie aérienne	94
7.1. 11 Taux de matière sèche des feuilles	95
7.1. 12 Taux de matière sèche des tiges	96
7.1. 13 Taux de matière sèche total	97
7.1. 14 Longueur racinaire	98
7.1. 15 Poids frais des racines	99
7.1. 16 poids sec des racines	100
7.2. Paramètre de production	101
7.2. 1 Nombre de fleurs	101
7.2. 2 Nombre de fleurs nouées	102
7.2. 3 Nombre de Fruits	103
7.2. 4 Poids des fruits	104
7.2. 5 Taux d'avortement	106
7.3. Taux d'absorption hydrominérale	107
7.4. Discussion générale	108
CONCLUSION	112
REFERENCES	114

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

Figure 6.1: pots sous micro - tunnels en polyester.

Figure 6.2: prégermination des graines de concombre dans les boîtes de Pétri.

Figure 6.3: repiquage des germes dans les pots.

Figure 6.4: dispositif expérimental.

Figure 6.5: schéma du dispositif expérimental

Figure 6.6: aspect morphologique de la souche de *Pseudomonas fluorescens*
(CHAO)

Figure 6.7: Aspect d'un fragment racinaire avant culture

Figure 6.8 : Aspect du fragment racinaire après culture

Figure 7.9 : vitesse de croissance (cm/j)

Figure 7.10: Système racinaire de différents traitements

Figure 7.11 : Fruits des différents traitements

Figure 7.12: Taux d'avortement des fleurs

Tableau 1.1 : La production et les échanges mondiaux de concombre et de cornichons

Tableau 1.2 : Production du concombre en Algérie

Tableau 1.3 : Doses d'engrais nécessaires par semaine en (kg/ha)

Tableau 1.4 : Caractéristiques climatiques en culture de concombre hors-sol

Tableau 1.5 : Caractéristiques d'une solution nutritive pour culture de concombre hors sol

Tableau 2.6 : Classification des eaux salines

Tableau 2.7 : Dommages dus à la salinisation

Tableau 6.8 : Moyenne des températures par semaine enregistrées sous serre

Tableau 6.9 : teneur des différents éléments minéraux contenus dans l'eau de Blida

Tableau 6.10 : Composition de l'eau de Blida pH = 7.8

Tableau 6.11 : Eau de Blida corrigée (solution nutritive de base) pH = 5,8

Tableau 6.12: Eau de Gassi Touil naturelle

Tableau 6.13: Composition de l'eau de Blida

Tableau 6.14: Eau de Gassi Touil reconstituée avec l'eau Blida

Tableau 6.15: Eau de Gassi Touil corrigée reconstituée avec l'eau de Blida: T₄

Tableau 6.16: composition des solutions complémentaires d'oligo- éléments A et B

Tableau 6.17: composition globale des deux solutions nutritives salines et corrigées T₃ et T₄

Tableau 6.18 : Origine de la souche de *Pseudomonas fluorescens* : CHAO

Tableau 6.19: programme des traitements phytosanitaires réalisés.

Tableau 7. 20 : Hauteur moyenne des tiges en (cm)

Tableau 7. 21 : Diamètre moyen des tiges en (cm)

Tableau 7. 22 : Nombre des feuilles

Tableau 7. 23 : Poids frais total de la partie aérienne en (g)

Tableau 7. 24 : Poids frais des feuilles en (g)

Tableau 7. 25 : Poids frais des tiges en (g)

Tableau 7. 26: Poids sec des feuilles en (g)

Tableau 7. 27: Poids sec des tiges en (g)

Tableau 7. 28: Poids sec de la partie aérienne en (g)

Tableau 7. 29: Taux de matière sèche des feuilles (%)

Tableau 7. 30: Taux de matière sèche des tiges (%)

Tableau 7. 31: Taux de matière sèche total (%)

Tableau 7. 32: longueur racinaire en (cm)

Tableau 7. 33 : Poids frais racinaire en (g)

Tableau 7. 34: Poids sec des racines en (g)

Tableau 7. 35: Nombre des fleurs

Tableau 7. 36: Nombre des fleurs nouées

Tableau 7. 37: Nombre des fruits

Tableau 7. 38: Poids des fruits en (g)

Tableau 7. 39: Taux d'absorption hydrominérale des plantes en (%)

INTRODUCTION

La salinité du sol et des eaux est l'une des principales contraintes environnementales de l'agriculture moderne. En effet, près de 20% des terres cultivées, dont 50% de terres irriguées sont affectées par la salinité dans le monde, cela est due principalement à l'irrigation avec les eaux saumâtres. Dix millions d'hectares de terres cultivées sont abandonnées chaque année à cause de l'accumulation de sels par l'irrigation. Si certaines cultures s'accommodent fort bien au sol salé, il n'en est pas de même pour d'autres cultures [1].

La salinité limite la croissance et la production des plantes par accumulation d'ions toxiques (sodium et chlorure) dans les feuilles. Ces ions sont capables d'inhiber l'activité enzymatique et le métabolisme des plantes, voire l'activité photosynthétique. La salinité du milieu induit aussi un stress supplémentaire lié à la diminution de la pression osmotique du sol. L'eau du sol devient alors moins disponible même si la nappe est affleurante d'où l'apparition d'un déficit hydrique qui modifie le potentiel hydrique foliaire et la transpiration des plantes [2, 3, 4].

Les ressources en eau douce sont menacées de diminution dans les prochaines décennies. L'étude des mécanismes de résistance au stress salin présente donc un enjeu important. Les connaissances de méthodes d'amélioration des cultures et de valorisation des sols salés permettront une meilleure production végétale, pour répondre à une demande sans cesse croissante notamment dans les zones arides [5].

Une des possibilités pour développer les productions légumière et horticoles dans les régions touchées par la salinité est la culture hors sol qui se définit comme une culture de végétaux effectuant leur cycle complet de production sans que leur système racinaire ne soit en contact avec le sol [6], tout en utilisant des substrats inertes comme support pour les cultures et d'assurer l'intégralité des

besoins en eau et en sels minéraux des plantes par la transformation des eaux naturelles salines en solutions nutritives [7, 8].

Dans le sol, l'activité microbienne est intense en particulier dans la rhizosphère, qui contient plus d'un million de microorganismes par gramme de sol. Certains de ces micro-organismes, principalement des bactéries, sont capables de coloniser efficacement les systèmes racinaires et influencent de manière bénéfique les plantes en stimulant leur croissance et/ou en les protégeant contre des infections par des agents phytopathogènes. Ces bactéries de la rhizosphère sont alors reprises sous le terme PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) [9], qui ont été décrits pour leur effet stimulateur de la croissance des plantes et l'augmentation des rendements des cultures [10, 11, 12, 13, 14].

Parmi ces PGPR, le groupe des *Pseudomonas spp.* fluorescents, a bénéficié d'une attention particulière car en plus de leur capacité de produire une large gamme de métabolites favorisant la croissance des plantes, il a été démontré qu'elles ont une capacité d'améliorer la tolérance des plantes au stress abiotique tel que la sécheresse et la salinité [15, 16, 17, 18, 19].

Aussi, certains engrais liquides d'origine végétale qui sont constitués de composés organiques et qui en plus de leur rôle dans l'alimentation minérale des plantes, ils jouent un rôle important dans l'adaptation de la culture au stress environnemental tel que le stress salin [20].

Dans de nombreux travaux antérieurs, l'effet bénéfique de la correction des eaux salines naturelles pour l'alimentation de plusieurs espèces cultivées (tomate, concombre, haricot, melon, courgette), a été mis en évidence [21, 8, 22, etc.], ainsi que l'effet de l'utilisation des engrais liquides en conditions de stress salin [23, 24], sans oublier celles menées dans le cadre des effets bénéfiques des *Pseudomonas fluorescens* en milieu salin [25, 26, 27 etc...].

C'est dans ce contexte que s'est inscrit notre travail portant sur la mise en évidence de l'effet d'un anti-stress liquide (le Fertiactyl) et d'une souche de *Pseudomonas fluorescens* à savoir la CHAO, en association conjuguée ou séparée d'une part introduit

dans une eau d'irrigation non conventionnelle de Gassi Touil chargée en sel, et d'autre part dans une solution nutritive synthétisée à partir de la même eau non conventionnelle, comme eaux d'irrigation pour les plantes de concombre variété super marketer en culture hors-sol.

CHAPITRE 1

GENERALITE SUR LA CULTURE DE CONCOMBRE

1.1. Origine et historique :

Des arguments botaniques et historiques donnent pour origine l'espèce à *Cucumis sativus* les contreforts de l'Himalaya, au nord-ouest de l'Inde 5000 ans avant J-C, le concombre était déjà cultivé par les peuples de Chine où il symbolisait la fécondité, pour son abondante fructification. On en retrouve également des traces au niveau des dynasties égyptiennes et dans la Grèce Antique [27].

Le concombre qui poussait naturellement au pied de l'Himalaya aurait été domestiqué pour la 1^{er} fois en Inde il y a au moins 3000 ans [28]. Beaucoup de recherches ont montrés que l'Inde, la Chine et l'Asie centrale sont les régions où la culture du concombre remonte à plus de 3000 ans [29].

Introduit en Amérique par Christophe Colomb, le concombre se propage très rapidement, tant chez les indiens que chez les colons qui le cultivèrent en abondance [30].

Très répondeu en Europe dès le 17^{ème} siècle où il est apprécié pour ses vertus rafraîchissante, sa rusticité et sa rapidité de production, le concombre sous châssis ou en plein champ dans l'ensemble des secteurs maraîchers jusqu'à la première moitié de 20^{ème} siècle, peu après la seconde guerre mondiale, la maîtrise de la production sous abris, stimule le développement de cette culture, et plus récemment, les techniques de production hors sol ont permis de valoriser l'important potentiel de cette espèce [27].

1.2. Le marché du concombre :

1.2.1. Situation mondiale :

Le concombre occupe la 6^{ème} place parmi les légumes avec une production de 13 millions de tonnes ; les types cultivés et les formes de consommation sont très variables, le continent asiatique est celui qui donne la plus grande place à ce

légume. Sur le continent américain, les Etats-Unis sont de loin les plus gros producteurs avec environ 800000 tonnes [31, 30].

Le concombre auquel les statistiques associent parfois le cornichon, est cultivé dans un grand nombre de pays, avec près de 30 millions de tonnes produites chaque année (soit 5% de la production mondiale de légumes) (Tableau1.1), il arrive au 5^{ème} rang derrière la tomate ou les choux mais devant la carotte, les salades ou le melon. Les concombres courts, produits notamment dans le bassin méditerranéen, dominent le marché [27]

Tableau 1.1 : La production et les échanges mondiaux de concombre et de cornichons [32].

Moyenne 97-98-99 (million de tonnes)	Production	Exportation	Importation
Europe de l'Ouest :	1688	760	690
dont : pays Bas	465	364	48
Espagne	420	316	0
Grèce	150	17	0
France	140	11	46
Allemagne	140	14	406
Royaume-Uni	80	0	71
Europe centrale ou Orientale :	957	50	90
dont Pologne	390	8	9
Bulgarie	190	6	1
Roumanie	120	10	2
Hongrie	120	8	2
République Tchèque	55	0	54
Ex URSS	1392	4	25
Total Europe	4037	814	805
Extrême Orient :	17000	35	31
dont Chine	15000	0	0

Japon	750	0	3
Malaisie	55	27	2
Singapour	0	0	26
Proche Orient :	3837	46	31
dont Turquie	1400	10	0
Liban	180	2	13
Péninsule arabique	180	6	20
Jordanie	70	25	0
Total Asie	21625	93	66
Amérique de Nord et de centre	1745	408	363
Dont Etats-Unis	108	38	324
Mexique	430	350	0
Canada	150	14	39
Total Amérique	1830	409	363
Total reste monde	414	2	1
Monde	27906	1318	1235

L'Asie représente 75% du volume mondial, dont une grosse partie venant de Chine. Il y a également un pôle important de production au moyen Orient.

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

En fin, l'Amérique du nord correspond à la dernière grande zone de production principalement grâce aux Etats-Unis et dans une moindre mesure au Mexique.

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

1.2.2 Situation en Algérie :

D'après le ministère de l'agriculture et du développement rural (MADR) la production du concombre en Algérie (Tableau 1.2) durant les années 2005/2006 est la suivante :

Tableau 1.2 : Production du concombre en Algérie [33]

Production Période	Superficie (ha)	Production (qx)	Rendement (qx/ha)
2005	3959	977370	246,9
2006	4274	934463	218,6

Le concombre sous serre occupe une superficie avoisinant les 700 ha dans plusieurs wilayas : Tipaza, Alger, Boumerdes, Blida, Tlemcen, Ain defla, Sétif, Skikda, Chleff, Biskra, Jijel, Mostaganem [33].

1.3. Morphologie du concombre :

Le concombre (*Cucumis sativus*) est une plante potagère herbacée, rampante, de la famille des Cucurbitacées, cultivée pour son fruit, lequel est consommé comme légume, c'est la même espèce qui produit les cornichons [28].

1.3.1. Classification :

Règne : Plantae

Division : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Ordre : Violales

Famille : Cucurbitacées

Genre : Cucumis

Nom binominale : Cucumis sativus L.1753

1.3.2. Description :

Le concombre est une plante herbacée annuelle, à tige rampante ou grimpante, à section anguleuse et munies de vrilles. Les feuilles à nervation palmée comptant de trois à cinq lobes. Les bords du limbe est denté, rarement trilobées, à sommet acuminé, molle et le plus souvent poilues [27, 28].

Les fleurs sont jaunes pâle. Fleurs male et femelles sont distinctes, mais portées par le même pied (plante monoïque) [28].

Les fleurs sont aussi semblables à celle du melon, elles présentent néanmoins un pédoncule plus court et un ovaire effilé. On trouve surtout des fleurs femelles, plus rarement des pièces mâles. Chez les anciennes variétés, un des sexes peut disparaître très précocement sous le contrôle de facteurs génétiques s'exprimant différemment suivant les conditions de milieu, les températures basses et les jours courts sont féminisants. Les températures élevées et les jours longs sont masculisants [27].

Les mêmes auteurs indiquent que les fleurs apparaissent très tôt, dès le 3^{ème} ou le 4^{ème} nœud, à l'aisselle des feuilles. Les pièces mâles se développent les 1^{ères} sur la tige principale, elles éclosent successivement en petites inflorescences contractées, puis alternent régulièrement avec les fleurs femelles, les ramifications portent surtout des pièces femelles qui sont reconnaissables par leurs longs ovaires.

On trouve des variétés à fruits blanc ou jaune comme le blanc long hâtif ou le blanc très gros de Bonneuil qui ne sont guère cultivées et sont remplacées par des variétés lignées ou des variétés hybrides F_1 à épiderme vert [34].

La plupart des variétés actuellement cultivées sont issus d'hybrides F_1 qui augmentent sensiblement la vigueur, la longévité et la productivité de la culture grâce à l'effet hétérosis, améliore l'homogénéité des plantes et de la production.

Les fruits allongés et charnus, au toucher rugueux, peuvent atteindre 30cm de long et 5cm de diamètre. Leur couleur à maturité varié selon les variétés du vert au blanc en passant par le jaune [28].

Les progrès décisifs en matière d'amélioration ont porté sur les caractéristiques morphologiques du fruit, l'amertume qui est due aux cucurbitacines substances appartenant au groupe des triterpènes tétracycliques et se trouvant fréquemment sous forme de monoglycéride, la parthénocarpie, l'expression du sexe, la résistance aux maladies [30].

1.4. La valeur nutritionnelle :

Le concombre est de faible valeur nutritive, il est fraîchissant et laxatif, pauvre en vitamines et en éléments nutritifs [35].

La chaire de concombre contient à l'état frais : 95% d'eau, 2 à 2.5% de glucides, 0.5 à 0.7% de protéines, 0.1% de lipides et des quantités on négligeables de potassium et de phosphore. Sa valeur énergétique est particulièrement faible : 12% de calories pour 100g de matière fraîche, sa teneur en vitamines A est faible : 50mg/100g de matière fraîche, la vitamine C est de 10mg/100g de matière fraîche [30].

1.5. Les exigences de concombre :

1.5.1. Les exigences climatiques :

1.5.1.1. La température :

L'optimum de croissance racinaire est de 22 -25°C, un minimum de 12°C est exigé pour le développement racinaire. L'optimum de croissance végétative est de 20-22°C le jour et de 17-18°C la nuit. En période de production, la culture exige 20-25°C le jour et 17-20°C la nuit [35].

1.5.1.2. L'humidité :

Ce facteur joue un rôle très important dans les niveaux de production, le rendement final étant très étroitement corrélé avec une hygrométrie élevée de jour : 35% d'augmentation de rendement pour une hygrométrie passant de 60 à 80% [30].

Les mêmes auteurs soulignent que l'hygrométrie excessive (au dessus de 90%) est très défavorable, surtout durant le jour, car elle bloque le transit de la sève brute, avec une perturbation de l'alimentation minérale de la plante.

1.5.1.3. La lumière :

Le concombre réagit positivement jusqu'à des niveaux d'intensité lumineuse très élevée. Les plantes cultivées sous de faibles niveaux d'éclairement en durée et intensité sont grêles, à entre-nœuds longs, feuilles plus petites et ramifications très réduites. A l'inverse, sous forte insolation et surtout en jour long, la plante adopte un port à tendance plus buissonnante : entre-nœuds courts et ramifications abondantes [30].

1.5.1.4. L'irrigation :

Les besoins en eau de la culture se situent aux environs de 500 mm pour une culture d'arrière saison. Moins l'eau est nécessaire pour une culture de plein champ en période pluvieuse : 300 à 500 mm. En période post-florale, il ne faut pas exposer la culture à la pluie ou à l'aspersion car elle sera rapidement détruite par les maladies cryptogamiques, le meilleur système d'irrigation est le goutte à goutte [35].

1.5.2. Les exigences édaphiques :

Les exigences en sol ne sont pas importantes, le pH optimal est de 5.5 -6.8, il ne doit pas être asphyxiant ni trop frais au printemps. Il est recommandé d'éviter les sols pauvres, trop lourds ou compacts, un niveau élevé en matière organique est toujours souhaitable [30, 35].

1.5.3. Les exigences nutritionnelles :

D'après SKIREDJ et al [35], les besoins de la culture de concombre en fumure de fond sont de :

- 50 tonnes/ha de fumier ;
- 50 kg d'azote/ha ;
- 100 kg de P_2O_5 /ha ;
- 200 kg de K_2O /ha.

En couverture :

- 30 kg d'azote/ha ;
- 20 kg de P_2O_5 /ha ;
- 50 kg de K_2O /ha.

On conseille également d'apporter 3 – 4 tonnes de fumier en couverture au stade début floraison printanière. Lorsque le sol est trop froid, il est conseillé de doubler ou tripler la dose du phosphore.

Pour la culture en fertirrigation, épandre avant la plantation la quantité totale de phosphate recommandée et environ 30 à 50% des quantités d'azote et de potasse recommandées. Les quantités restantes de ces engrais devront être injectées par intermédiaire du réseau de micro-irrigation (par fertirrigation) (Tableau 1.3) [36].

Tableau 1.3 : Apports fractionnés d'azote et de potasse par fertirrigation (kg/ha)[36]

Stades	Dose par semaine
De la mise en place à la floraison	5 kg /ha
De la formation des fruits à la récolte	10 kg /ha
Pendant la récolte	5 kg /ha

1.6. Production de concombre en hors sol :

CHAUX et FOURY [30], indiquent que le semis est réalisé soit dans des caissettes ou en bouchons de laine de roche. La température de germination est de 28°C, ramenée à 25°C après la levée (Tableau 1.4). Le repiquage généralement est réalisé dans des cubes de laine de roche de 650 cm³ ou de 350 cm³, doublé sur leurs quatre faces latérales d'un film plastique noir destiné à éviter l'évaporation.

Tableau 1.5 : Caractéristiques d'une solution nutritive pour culture de concombre hors-sol [30].

Milieu	Valeurs souhaitables												
	pH	CE	En meq/l						En mg/l				
			NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	H ₂ PO ₄	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Fe	Mn	Zn	B	Mo
Apport solution standard	5.8	1.3	12.5	0.5	1.8	7.0	7.5	2.0	1.5	0.75	0.25	0.20	0.03

1.7. Maladies et ennemis du concombre :

Les principaux ennemis de la culture sont la nuile, l'oïdium, l'araignée rouge, les pucerons, les thrips, les taupins et les vers gris, il est conseillé de traiter contre ces ennemis d'une manière préventive [35].

1.7. Soins, Récoltes et conditions de conservation :

SKIREDJ et al [35], indiquent que la taille est pratiquée sous tunnel par étêtage de la tige principale aux stades 3^{ème} feuille puis aveuglement des 3^{ème} feuilles des rameaux, en plein champ, les plantes ne sont pas taillées. Il est conseillé de faire 2 à 3 binages et de 2 à 3 buttages à fin de fortifier le système racinaire. Le paillage plastique est souvent utilisé sous abri serre puisqu'il peut être valorisé par le fort rendement. En plein champ, il n'est pas conseillé de l'utiliser puisque il est difficile de le valoriser.

La récolte est effectuée à l'aide du sécateur à fin de ne pas endommager les plantes. Les fruits ne doivent pas être jetés dans des sacs de cueillette, mais bien rangés dans des caisses. Les meilleurs stades de récolte est le stade fruit tendre ; il est recommandé d'acheminer la production rapidement à sa destination pour vente immédiate a fin de sauvegarder la qualité du produit.

L'entreposage se fait à 10-12°C et à 90-95% d'humidité dans un locale aéré, il ne doit pas dépasser 1 à 2 jours, sinon la qualité du produit risque d'être détériorée. A une température dépassant 12°C, le fruit vert tend vers le jaunissement. Il est recommandé de ne pas conserver dans un même local que la tomate, la pomme de terre ou autres fruits ou légumes qui génèrent l'éthylène [35].

CHAPITRE 2

SALINITE DES SOLS ET PHYSIOLOGIE DES PLANTES EN MILIEU SALIN

L'excès de la teneur en sels est l'un des principaux soucis des agriculteurs. Une concentration élevée en sels dans l'eau d'irrigation ou dans les sols affectera négativement le rendement, provoquera une dégradation des sols et une pollution des eaux souterraines [30].

Les mêmes auteurs définissent la salinité par la concentration des solutions du sol en sels dissous. La salinité est mesurée par la conductivité électrique dont la valeur varie dans le même sens que la salinité. L'unité de mesure est le millisiemens/cm ou le microsiemens/cm ou la mmhos/cm.

L'accumulation de ces sels dans le sol affecte les rendements et peut détériorer les terres de façon irrémédiable [37]. Dans les zones arides et semi arides, la contrainte saline s'associe souvent au déficit hydrique pour limiter la production des espèces végétales [38].

2.1. Origine de la salinité :

A mesure que les roches et les sols sont érodés par l'eau, de petites quantités des sels minéraux qu'ils contiennent sont entraînées jusqu'aux fleuves et les couches aquifères, s'infiltrant ainsi dans l'eau d'irrigation. Si on utilise trop peu d'eau, les sels s'incrustent dans le sol. Mais le plus grave danger pour le sol est l'eau en trop grande quantité qui cause son engorgement et élève, à son tour, le niveau de la nappe phréatique, le sol fonctionne alors comme une éponge, aspirant l'eau dans la rhizosphère par capillarité. Cet effet peut attirer l'eau à la surface sur environ 1.5m, selon les sols. L'eau s'évapore et le sel reste autour des racines, entravant leur capacité d'absorber l'eau. Ce processus se produit en particulier dans les régions arides [37].

La majorité des sels qui se trouvent dans les sols sont au-dessous de la rhizosphère et lorsque les conditions sont normales, n'affectent pas la croissance

de la plante, cependant, plusieurs facteurs peuvent faire que les sels dissous atteignent la surface, où ils empêchent les cultures d'absorber l'eau et les substances nutritives[39].

La salinité constitue un facteur limitant dans la production des cultures légumières, elle intéresse principalement les régions arides et semi-arides. Elle est due soit à la salinisation des sols, soit à la salinisation des eaux.

2.2. Salinisation des sols :

Le phénomène de la salinisation des sols correspond à l'accumulation excessive de sels très soluble (chlorures, sulfates, carbonates de sodium ou de magnésium) dans la partie superficielle des sols, ce qui se traduit par une diminution de la fertilité des sols [40].

Ces sels sont produits par une action chimique exercée sur les minéraux des couches supérieures des roches [41].

Les mêmes auteurs indiquent qu'il est possible de repérer les sols salinisés avant que le problème ne soit grave et cela par quelques signes précurseurs :

- ❖ Croissance soudaine des cultures, d'où des rendements élevés
- ❖ Augmentation de l'humidité du sol, au point de rendre les lieux inaccessibles
- ❖ Apparition de mauvaises herbes tolérantes au sel parmi les plantes cultivées

Les signes deviennent plus évidents à mesure que la teneur en sel augmente :

- ❖ Croissance irrégulière des cultures et manque de vigueur des plantes
- ❖ Croûtes blanche en surface
- ❖ Formation de point et de stries de couleur blanche sur le sol, même en l'absence de croûte en surface
- ❖ Présence de végétation naturelle tolérante au sel

Le degré de la salinité peut être modifié par tout processus qui influe sur le bilan d'eau dans le sol, dont la géologie, hydrologie, le climat, le couvert végétal et les pratiques agricoles privilégiées dans une région.

2.2.1. Salinisation primaire :

Elle est hérité des conditions naturelles, liés à la présence de couches géologiques salées, car lorsque l'eau souterraine entre en contacte avec ces roches, le sel est dissout.

La salinisation primaire touche d'abord les régions arides et semi-arides où l'évapotranspiration y est en effet beaucoup plus forte que les précipitations pendant une bonne partie de l'année. Les eaux du sol remontent alors par capillarité et déposent dans la partie superficielle des sols, sous forme de cristaux, les sels qu'elles contenaient jusque là en solution [40].

Cette aptitude dépend de la texture, de son homogénéité verticale et surtout de l'état structural de l'horizon de surface travaillé ou non [42, 8].

2.2.2. Salinisation secondaire :

Elle est liée à l'activité de l'homme et en particulier aux pratiques d'irrigation. La salinisation secondaire résulte souvent d'une mauvaise gestion du bilan de l'eau et des sels à l'échelle de parcelle. Tel est le cas des irrigations menées avec les eaux venant de retenues d'eau (derrière des barrages, ou par prélèvement direct dans des fleuves ou rivières) est classique. Les agriculteurs apportent trop d'eau par rapport aux stricts besoins de la plante. Une partie de cette eau s'infiltré, on constate donc une remontée progressive du niveau de cette nappe [40].

L'importance de l'accumulation des sels dans le sol dépendra de la qualité d'eau d'irrigation, de la conduite des irrigations et de l'efficacité du drainage [37].

Une grande attention doit être prise pour les zones côtières où l'infiltration d'eau de mer pose un risque important de salinité de l'eau d'irrigation qui est alors pompée depuis des puits [43].

2.2.3. Effet des sels sur le sol :

La présence dans le sol de fortes teneurs en sel réduit la capacité de croissance des cultures et diminue les rendements en raison de la présence des sels solubles qui en s'accumulant provoquent une détérioration des conditions physiques du sol [41].

L'accumulation de ces sels et en particulier le sodium détériorent la structure du sol, car la présence des quantités excessives de sodium échangeable favorise la dispersion et le gonflement des argiles, le sol devient alors imperméable à l'air et à l'eau, l'infiltration et la conductivité décroissent dans des proportions telles que l'eau ne circule pratiquement plus ou pas de tout. A l'état humide, le sol est plastique, en séchant il devient dur, difficile à travailler et une croûte se forme à la surface [44].

2.3. Salinisation des eaux :

Nous devons une grande partie de notre nourriture à l'irrigation mais un dixième environ des terres irriguées de la planète sont endommagées par le sel. La salinisation des eaux réduit les superficies irriguées du monde de 1 à 2% par an et frappe le plus durement les régions arides et semi-arides [37].

La plupart des eaux d'irrigation sont d'une qualité bonne à excellente et ne présentant pas de contraintes sérieuses de salinité. Le contrôle de la salinité devient cependant plus difficile avec une eau plus médiocre. Les sels solubles contenus dans les eaux souterraines ou superficielles sont susceptibles de contaminer les sols par l'accumulation des produits solubles dans le milieu poreux ainsi que par une modification du complexe adsorbant. Il en résulte une transformation profonde des propriétés physiques et chimiques du sol, avec pour conséquence la création d'un milieu stérile vis-à-vis de la production agricole. L'irrigation en faite ne fait qu'aggraver ce problème. En effet les sels sont apportées dans le sol à chaque irrigation, la culture prélève dans le sol ses besoins en eau en laissant sur le sol une solution très concentrée e sel. Cette concentration sera encore très importante par l'irrigation suivante [39].

2.3.1. Origine des eaux salines :

L'eau d'irrigation inclut toujours une certaine quantité de substances dissoutes. Ces sels sont issus de la désagrégation des roches par l'eau, le gypse et d'autres sources de sels sont dissous avec le temps, menant à des degrés variables de salinité dans l'eau d'irrigation [45, 46, 47].

Parmi les différentes origines des eaux salines existantes, RHOADES et al [48], soulignent que dans l'utilisation agricole pratique, une source commune de l'eau saline est celle des eaux souterraines qui peut être naturelle ou induite par l'homme :

- ❖ L'eau dans les couches sédimentaires devient de plus en plus saline avec l'augmentation de la profondeur, car en surface on trouve l'eau riche en sulfates, à un niveau intermédiaire, l'eau riche en bicarbonates et à une plus grande profondeur, l'eau concentrée en chlorure.

- ❖ Dans beaucoup de secteur, les eaux souterraines douces sont pompées des couches aquifères qui sont dans le raccordement hydraulique avec l'eau de mer, un écoulement d'eau salée de la mer vers les puits peut se produire.

- ❖ Dans les zones côtières, les sources d'eau peuvent devenir saline dues à l'influence des marées de la mer. Lorsque la marée élevée entre dans le secteur côtier, l'eau de la mer atteint les fleuves et les canaux de drainage. Cette migration ascendante d'eau de mer change la qualité d'eau d'une manière significative.

- ❖ La surexploitation des eaux est un autre mécanisme par lequel les eaux souterraines pourraient devenir saumâtres, dans le cas où l'eau saline sous-jacente se trouve à proximité de l'eau douce qui par migration ascendante envahit les puits, tel est le cas aux Etats-Unis où plus de deux tiers de la région continentale ont été touchés.

- ❖ L'utilisation des eaux de drainage pour l'irrigation constitue une source de salinisation, car son niveau de salinité augmente après chaque réutilisation.

2.3.2. Classification des eaux salines :

La convenance d'une eau saline pour l'irrigation dépend des conditions de son utilisation, du climat, du sol, de la méthode d'irrigation et des procédures de gestion. Afin d'identifier les niveaux de salinité de l'eau, un arrangement de classification à été abordé (Tableau 2.6) :

Tableau 2.6 : Classification des eaux salines [31].

Classe de l'eau	Conductivité électrique (ds/m)	Concentration en sel (mg/l)	Type d'eau
Non salée	<0.7	<500	Eau potable et d'irrigation
Légèrement salée	0.7-2	500-1500	Eau d'irrigation
Moyennement salée	2-10	1500-7000	Eau souterraine de drainage primaire
Fortement salée	10-25	7000-15000	Eau souterraine de drainage secondaire
Très Fortement salée	25-45	15000-35000	Eau souterraine très saline
Saumâtre	>45	>35000	Eau de mer

2.3.3. Utilisation des eaux salines :

L'utilisation des eaux salines et de qualité médiocre ainsi que le recyclage des eaux de drainage est important quant l'approvisionnement en eau de bonne qualité pour l'irrigation est limitée et elle est l'un des moyens efficace pour réduire la pollution de l'eau. Cette utilisation doit être judicieuse et raisonnée.

Aux Etats-Unis, les eaux salines ont été employées avec succès pour l'irrigation pendant des périodes de 75 à 100 ans dans plusieurs secteurs de sud-ouest [48].

Le gouvernement Egyptien a lancé la politique d'employer l'eau de drainage depuis des années d'une conductivité électrique de 4.5 ds/m après qu'elle soit mélangé avec l'eau du Nil pour avoir une eau d'irrigation de 1.0 ds/m. En l'an 2000, cette utilisation a atteint 7 milliards de m³. L'eau saline de rivière de Medjerda e Tunisie d'une conductivité électrique de 3.0 ds/m est employée avec succès pour irriguer le palmier dattier, le sorgho, l'orge, la luzerne, le seigle et les arachides [48].

2.4. Salinité dans le monde et en Algérie :

Les risques de voir de nouvelles terres perdues par la salinisation s'est fortement accru depuis 20 ans. On estime que 10 millions d'hectares de terre irriguée sont perdues chaque année pour les cultures par suite d'une salinisation devenue trop élevée (Tableau 2.7). En Argentine, 50% des 40000 hectares mis en irrigation au 19^{eme} siècle sont désormais trop salés pour être utilisés [48].

Tableau 2.7 : Dommages causés par la salinisation [43]

Pays	Terres irriguées endommagés par le sel (million d'ha)	Totale de terres irriguées endommagés par le sel (%)
Inde	7	17
Chine	6.7	15
Pakistan	4.2	26
Etats-Unis	4.2	23
Ouzbékistan	2.4	60
Iran	1.7	30
Turkménistan	1.0	80
Egypte	0.9	33
Estimation dans le monde	47.7	21

DROUHIN [49], indique que la salure des sols Algériens est le plus souvent d'origine sédimentaire. Deux types de salure existent en Algérie :

- ◆ Salure des régions telliennes (plaines sub-littorales) et des hautes plaines steppiques où l'élément toxique est constitué essentiellement par le chlorure de sodium (NaCl) ou le chlorure de magnésium ($MgCl_2$) ou l'association de ces deux composés ;

- ◆ La salure des vallées et des dépressions sahariennes où le climat est chaud favorisant l'apparition du carbonate de soude dont la toxicité est redoutable.

Selon ROCHDI et al [50], le pourcentage des terres irriguées atteintes par la salinisation est en effet significatif. Ce pourcentage se situe entre 10 et 15% pour l'Algérie.

2.5. Effets des sels sur les plantes :

La salinité des sols devient un problème lorsque la concentration en sel qui s'accumule dans la zone racinaire est importante et affecte négativement la croissance des plantes, ainsi les sels solubles en excès dans la rhizosphère limitent l'alimentation hydrique des plantes [51, 52, 53].

Dans les environnements salins, l'eau est fortement adhérente aux particules terreuses et moins disponible pour les plantes. Ceci est dû à la pression osmotique élevée au niveau du sol qui engendre une diminution de la croissance et exprime des symptômes comparables à ceux causés par la sécheresse tel que le fanage et la perte des feuilles. La pression osmotique élevée peut induire par la suite la mort des plantes [46, 54].

La salinité excessive dans la rhizosphère a un effet néfaste sur la croissance des plantes qui se manifeste par la réduction de la transpiration. Cet effet est principalement lié à la concentration totale en électrolytes (pression osmotique élevée). Cette dernière fait détourner l'énergie fournie par les plantes, pour les réactions biochimiques nécessaires pour la croissance et le développement au profit de leur alimentation hydrominérale [48].

La salinité peut avoir comme conséquence une phytotoxicité des plantes par certains ions qui s'accumulent comme les chlorures ou le sodium. Elle peut

engendrer également un antagonisme des éléments minéraux, comme par exemple l'accumulation excessive de sodium provoque des carences en calcium et en magnésium. Aussi, l'excès du bore est également très phytotoxique [40].

L'excès de sel affecte le métabolisme azoté et la synthèse protéique qui provoque un développement anormal des plantes et diminution des rendements). A l'échelle cellulaire, la salinité affecte l'ultrastructure des chloroplastes; chez le petit pois, le stress salin provoque la perte de l'enveloppe chloroplastique, l'apparition des gouttelettes lipidiques et la dégradation des membranes thylakoidiennes [55].

2.6. Tolérance des plantes à la salinité :

La plupart des plantes sont certes capables d'une certaine régulation de leur potentiel osmotique interne en fonction de celui du milieu extérieur. Mais cette régulation est variable selon les espèces à une certaine limite (les plantes halophytes sont plus privilégiées) [56].

Les plantes peuvent tolérer la salinité jusqu'à certains niveaux sans perte mesurable dans leur rendement (seuil de salinité). Quand le seuil de salinité est dépassé, les rendements des cultures diminuent linéairement à mesure que la salinité augmente [43].

RHOADES et al [48], rapportent que la tolérance des plantes à la salinité dépend de certains facteurs :

- ❖ Le climat est un facteur important affectant la tolérance au sel. La plupart des plantes peuvent tolérer un plus grand taux de sel si le temps est frais et humide que s'il est chaud et sec ;
- ❖ Les plantes sont généralement relativement tolérantes pendant la germination mais deviennent plus sensibles pendant la croissance ;
- ❖ La tolérance au sel varie d'une variété à une autre pour une même espèce ; donc il peut y avoir une différence significative de la tolérance entre les variétés ;
- ❖ La tolérance au sel dépend également de la méthode et la fréquence d'irrigation.

Les travaux de PENNINGSFELDS [57] in [8], indiquent qu'il existe une classification en trois groupes en fonction de la tolérance au sel :

- ◆ Les plantes sensibles pour lesquels le développement correspond à des concentrations de 0.2 à 2 g/l (haricot, concombre, laitue)
- ◆ Les plantes tolérantes à une salinité de 2 à 4 g/l (tomate, chou)
- ◆ Les plantes résistantes à une concentration élevée de 5 à 8g/l (betterave, épinard, rosier)

Il a été démontré que dans un stress salin, certains composés notamment les sucres solubles et les protéines s'accumulent dans les tissus des plantes cultivées qui sont impliqués dans les mécanismes de tolérance au sel et l'ajustement osmotique [58, 59]. D'autres molécules azotées comme la glycine bétaine [60].

2.7. Stratèges et pratiques pour lutter contre la salinité :

CHEVERRY et al [40], indiquent qu'il est indispensable d'améliorer les méthodes de gestion des cultures en conditions salines telles que :

- Maintien de la nappe phréatique dans les périmètres irrigués, à une profondeur suffisante (2.5 à 3.5 m) pour que le phénomène de remonter capillaire soit réduit ;
- La mise en place, lorsque cela est possible, d'un mulch en surface du sol afin de réduire l'évaporation ;
- Le maintien d'une bonne capacité d'infiltration du sol et d'une bonne conductivité hydraulique, pour que le transfert de sel en profondeur, au delà de la zone racinaire reste possible ;
- Une bonne adaptation aux conditions climatiques par exemple à ce que les sols soient humides à l'entrée de l'hiver pour que les précipitations qui surviendront aient une forte efficacité lessivant des sels, ou à réserver l'usage des eaux salées aux périodes où les cultures sont dans une phase de maturité, car elles sont alors plus tolérantes ;

➤ L'analyse soignée, à l'échelle des bassins versants, de l'origine des sels qui sont apportées aux systèmes cultivés.

Il existe des moyens de prévenir ou de corriger la salinisation tel que la lixiviation en donnant aux cultures juste un peu plus d'eau que nécessaire. Le drainage qui peut emporter l'eau saline. La submersion des terres regorgeant de sel peuvent être remises en état. Le choix du système d'irrigation adéquat, car l'irrigation par aspersion est plus efficace que l'irrigation de surface, mais l'irrigation par le goutte à goutte est meilleure [61].

EILERS et al [41], rapportent qu'il faut ensemercer des cultures tolérantes au sel, réduire les travaux profonds du sol par adaptation de méthodes culturales, de conservation y compris le non labour. Refaire au sol le fumier et les résidus de culture car un sol plus riche en matière organique pourra retenir d'avantage d'eau et l'empêche de se rendre jusqu'aux eaux souterraines.

CHAPITRE 3

NOTIONS GENERALES SUR LA CULTURE HORS-SOL

3.1. Définition :

La culture hors sol au sens stricte, est la culture dans un milieu racinaire qui n'est pas le sol naturel, mais un milieu reconstitué et isolé de sol. On parle souvent de culture sur substrat, car ce milieu reconstitué repose souvent sur l'absorption d'un matériau physique stable [62].

L'horticulture sans sol est une technique de production fondée sur l'alimentation de la plante avec une solution minérale nutritive. La plante était disposée sur un support autre que le sol [63].

MICHAUD [64], rapporte que ces matériaux peuvent être du gravier, sable, vermiculite, laine de roche, brique concassé, et même du polystyrène.

3.2. Historique :

Selon les historiens, la culture des plantes sur l'eau était pratiquée à l'époque des Astèques et était utilisée pour les jardins suspendus de Babylone. Il faut attendre l'année 1860 pour avoir deux chercheurs allemands réussir à faire pousser des plantes sur un milieu composé uniquement d'eau et de sels minéraux. Cette découverte a permis de mieux connaître la physiologie de la nutrition et le rôle des éléments minéraux. La culture en hydroponie a été lancée par les américains pendant la deuxième guerre mondiale pour répondre aux besoins de leur armée en légumes frais [65].

Le même auteur indique que la technique du hors sol a été introduite en Europe dans les années 70 ; appliquée à quelques cultures maraichères et florales sous serre, elle s'est en suite développée à un rythme rapide.

3.3. Avantages et inconvénients de la culture hors sol :

URBAN [66], indique que la culture hors sol a connu un développement important vu ses avantages tels que :

- L'affranchissement des sols contaminés ;
- La suppression des travaux de préparation et d'entretien des sols ;
- De meilleures performances agronomiques des cultures, accroissement des rendements, gain de précocité ;
- Economie d'eau et d'engrais : certaines cultures en hors sol consomment presque dix fois moins d'eau qu'en plein champ.

La culture hors sol présente aussi des inconvénients car elle exige des investissements et des niveaux de technicité assez élevés. La faible inertie des systèmes de culture ne donne pas droit à l'erreur et condamne le producteur à suivre ses cultures et ses installations régulièrement [66]. Il note aussi que les cultures hors sol sont à l'origine de rejets polluants de solutions nutritives et de résidus des substances.

La culture hors sol menée sous forte insolation a montré une forte sensibilité au stress climatique : certaines cultures tendent à se dégrader par forte chaleur, car la demande transpiratoire de la plante devient excessive et que l'irrigation n'arrive pas à suivre la consommation en eau de la plante [67].

3.4. Composantes du système hors sol :

La nature du substrat et des conteneurs ainsi que la solution nutritive constituent les composantes de la culture hors sol.

3.4.1. Substrats :

Le substrat peut se substituer au sol dans le cas où il présente toutes les qualités physiques, chimiques et biologiques d'un bon sol. Il joue un rôle de support pour la plante [62, 68]. Les mêmes auteurs soulignent que le substrat doit présenter les propriétés suivantes :

- présenter une structure physique permettant un comportement vis-à-vis de l'air et de l'eau pour une bonne alimentation de la plante ;

- le milieu racinaire devra garder ses qualités structurales dans le temps (pas de tassement par exemple) et dans l'espace : le volume racinaire doit être physiquement homogène ;

- le substrat doit être chimiquement inerte, avec une capacité d'échange nulle ou faible et ne libérant aucun élément nutritif ;

- être facile à mettre en œuvre et à recycler ;

- avoir un coût faible.

3.4.2. Conteneurs :

Le choix des conteneurs doit se faire en fonction de l'espèce cultivée et de son système racinaire, car ils doivent être de forme et de dimensions adéquates avec la culture et le substrat, chimiquement inerte, résistants, faciles à mettre en œuvre, facile à désinfecter et à un prix réduit [69, 68, 70].

3.4.3. Solution nutritive :

En hors sol, il n'y a pas d'apport d'éléments minéraux par le substrat. Ces derniers doivent donc être fournis par la solution nutritive, en même temps que l'eau et doivent être suffisants pour couvrir à chaque instant les besoins de la plante [68, 66].

Elle est caractérisée par trois paramètres principaux à savoir : pH, la conductivité électrique et l'équilibre ionique.

3.4.3.1. pH :

La majorité des espèces cultivées exigent un pH entre 5.5 et 6.5, car de telles valeurs mettent à l'abri d'une éventuelle précipitation des phosphores et des oligo-éléments et assurent une complète solubilité des sels généralement utilisés dans la confection des solutions nutritives [68].

BRUN [71], indique que le contrôle du pH de la solution nutritive à pour objectifs de :

- Neutraliser l'alcalinité naturelle de l'eau ;
- Eviter la précipitation des éléments minéraux notamment le phosphore et le calcium ;
- Mener le pH de la solution dans une zone favorable à l'absorption de la majorité des éléments minéraux ;
- Ajuster le pH de la solution aux exigences de l'espèce.

3.4.3.2. Conductivité électrique :

Le facteur majeur à contrôler dans le système hors sol est la concentration de la solution nutritive qui est mesurée par la conductivité électrique « CE », car si elle est très basse ou très élevée la croissance des plantes est bloquée. La conductivité électrique de la solution nutritive doit être propre à chaque espèce cultivée et permettant une absorption équilibrée en eau et en éléments nutritifs au niveau des racines [62].

Une conductivité électrique élevée limite l'absorption du Ca^{2+} , la production de la matière fraîche et la capacité d'échange des ions [65].

3.4.3.3. Equilibre ionique :

Il est possible de réaliser un équilibre entre les ions minéraux correspondant aux besoins de la culture de telle manière qu'il n'y ait pas excès créant une salinité résiduelle [72].

L'égalité équivalente entre les anions et cations est obligatoire dans la solution. Les équilibres ioniques pour l'alimentation hydrique et minérale ne sont pas indifférents et pourront être modulés en fonction des stades de développement de la plante [73, 30].

CHAPITRE 4

NUTRITION HYDROMONERALE DES PLANTES

4.1. Généralités :

L'eau est le constituant le plus abondant des végétaux. Elle présente jusqu'à 85-90% de la matière fraîche. Elle est indispensable à l'activité des végétaux car elle facilite la pénétration et le transport des sels minéraux [74].

Les besoins en eau dépendent des facteurs liés au climat, au sol et à la culture. Ces besoins peuvent s'estimer grâce à l'évapotranspiration potentielle [75].

Les plantes parviennent à satisfaire leurs besoins minéraux essentiellement par absorption radiculaire, soit par transport passif (passage avec l'eau, diffusion, échange et adsorption). Soit par transport actif par des processus métaboliques, espace libre [76, 77].

4.2. Nutrition hydrique :

L'eau est indispensable pour la plante. Ses rôles sont nombreux. C'est le moyen de transport des éléments nutritifs des sèves (brute et élaborée) et rentre dans plusieurs réactions du métabolisme cellulaire [78].

Les mêmes auteurs indiquent que la teneur en eau des tissus varie suivant : les espèces, les tissus, l'âge des tissus, l'intensité du métabolisme, la rigidité des tissus, de la croissance, du métabolisme cellulaire, du transport des éléments minéraux et la régulation thermique grâce à l'évapotranspiration.

4.3. Nutrition minérale :

Pour se développer et croître, les plantes prélèvent les éléments nutritifs nécessaires au fonctionnement de leur métabolisme dans leur milieu.

L'analyse de la matière sèche des végétaux mis en évidence trois groupes de constituants :

- Un premier groupe d'éléments dits « Plastiques » au nombre de 6, qui participent à la formation des tissus végétaux et représentent 99% de la masse du végétal et qui sont : l'azote, le phosphore, le potassium, le magnésium, le calcium, le soufre,
- Un deuxième groupe est constitué des oligoéléments au nombre de 6 présents en très faible quantité, et qui sont : le fer, le manganèse, le molybdène, le bore, le cuivre, le zinc;
- Le troisième groupe est constitué d'éléments présents en quantités très variantes dont les rôles sont plus ou moins élucidés [79].

L'absorption de certains ions est inhibée par d'autres ions appelés ions antagonistes exemple : le Ca^{++} inhibe le Mg^{++} , ou stimulée par d'autres appelés ions synergistes exemple : l'absorption des ions phosphoriques est facilitée par le magnésium.

LAFON et al [78], rapportent que certains facteurs peuvent influencer l'absorption minérale des plantes :

- L'acidité du sol est plus favorable à l'absorption car la plupart des sels sont plus solubles en milieu acide qu'en milieu basique.
- La température influe sur la transpiration ce qui nécessite une absorption importante.
- L'absorption varie en fonction de la teneur en oxygène du milieu de la même façon que la respiration.
- La lumière n'a qu'un effet indirect, une augmentation de l'éclairement provoque une augmentation de la transpiration, ce qui favorise l'absorption.

4.4. Constituant minéraux des plantes :

L'analyse des plantes montre qu'elle contient plusieurs éléments minéraux à des proportions variables et sont classés en deux groupes :

4.4.1. Les éléments majeurs :

4.4.1.1. Azote :

L'azote joue un rôle primordial dans le métabolisme des plantes, car c'est le constituant numéro un des protéines qui sont les composés fondamentaux de la matière vivante, c'est le facteur essentiel des rendements [80].

SOLTNER [81], indique que l'azote en excès entraîne un retard de maturité due à l'allongement excessif de la période végétative, une sensibilité plus grande aux maladies cryptogamiques, aux parasites, au gel et à la verse.

La carence en azote provoque un retard de la croissance des organes végétatifs, une diminution de taux des protéines et une baisse des rendements [82].

4.4.1.2. Le phosphore :

Il est absorbé sous forme d'ions H_2PO_4 . Il rentre dans la constitution des acides nucléiques et des phospholipides. Il confère un haut pouvoir énergétique à certaines molécules par la formation de liaisons riches en énergie, exemple ATP nécessaires pour la floraison, la nouaison et la précocité de la production [78].

En excès, le phosphore peut provoquer un déséquilibre du rapport N/P et une insolubilisation du fer dans le sol entraînant ainsi une décoloration suivie d'un brunissement des feuilles qui se nécrosent et tombent par la suite [83].

Sa carence provoque la coloration violacée ou rouge intense des feuilles, la réduction de la croissance des plants, le retard de la floraison et la perturbation de la fécondation et de la maturité [80].

4.4.1.3. Le potassium :

SOLTNER [81] et VILAIN [76], soulignent que le potassium est essentiel pour les plantes car :

- Il agit comme régulateur des fonctions de croissance de la plante, ce qui explique son abondance dans les tissus jeunes, et même son départ des racines vers le sol en fin de croissance ;

- Il est nécessaire à la photosynthèse. Il favorise la synthèse des glucides et leurs migration vers les organes de réserves ;

- Il participe dans la synthèse des protéines. Son absorption est parallèle à celle de l'azote, du moins en début de végétation ;

- Il augmenterait aussi la résistance des végétaux à la sécheresse en limitant la transpiration, et la verse des céréales en augmentant la rigidité des tiges ;

- Il est responsable de la pression osmotique au niveau cellulaire ;

- Il a un rôle d'activateur d'enzymes au sein du métabolisme général ;

- Il intervient dans l'équilibre anions /cations et contrôle la transpiration.

Le potassium en excès exprime rarement des symptômes de toxicités mais provoque des troubles dans l'assimilation des nitrates [77, 83].

La carence en potassium donne des tâches brunes puis des perforations dans les feuilles [64].

4.4.1.4. Le magnésium :

C'est un facteur important du fonctionnement de nombreux métabolismes comme celui de carbone nécessaire au maintien des structures des chloroplastes et des mitochondries, ainsi que dans la fixation de l'azote atmosphérique. De ce fait, il constitue un élément fondamental dans la formation des rendements et de l'obtention de la qualité des produits récoltés. Son excès crée un déséquilibre, une absorption insuffisante du potassium, une croissance excessive des racines et des tiges, une diminution de la floraison et de la fructification [84, 85].

La carence apparaît sur les feuilles les plus âgées, une décoloration qui commence entre les nervures puis se nécrosent [80].

4.4.1.5. Le calcium :

C'est un constituant de près de 50% des cendres de la plante entière et essentiellement des parois cellulaires. Il joue un rôle dans la neutralisation des acides organiques [80].

En période de croissance, la carence en calcium peut provoquer la nécrose des bourgeons terminaux, une augmentation de la sensibilité aux maladies vasculaires (fusariose par exemple), en cours de maturation, et la nécrose apicale des fruits. A ce même stade l'excès en calcium favorise l'apparition des tâches immatures et l'évolution des collets verts [86].

4.4.1.6. Le soufre :

C'est un constituant des acides aminés soufrés (méthionines et cystéine). Il joue un rôle fondamental dans le métabolisme des vitamines. C'est un constituant des produits responsables des odeurs et saveurs de certaines plantes exemple : ail, oignon, chou, haricot [80, 73].

L'excès du soufre se traduit par une couleur verte brunâtre, les tiges sont dures, les feuilles se courbent vers l'intérieur et les bords brunissent [87].

Sa carence induit une réduction de croissance, les jeunes feuilles deviennent vert pâle à jaunes, les tiges deviennent rigides et cassantes [80].

4.4.2. Les éléments mineurs :

Les oligo-éléments sont des composés chimiques indispensables aux plantes. Ils sont exigés en quantités infimes pour la croissance, le développement et la physiologie des plantes cultivées [88].

4.4.2.1. Le fer :

C'est un élément essentiel dans la formation de la chlorophylle, dans le transport d'oxygène et catalyseur de plusieurs enzymes [64].

L'excès de fer est rarement toxique pour sa sensibilité facile. Les symptômes de carence apparaissent sur les jeunes feuilles qui présentent une chlorose entière sauf le long des nervures qui restent bien vertes [80].

4.4.2.2. Le molybdène :

Il est nécessaire au métabolisme de l'azote. C'est un constituant des nitrates réductases et indispensable aux bactéries fixatrices d'azote. Sa carence est induite par un pH acide du sol. Elle provoque une réduction de la croissance, le feuillage est vert clair et il y'a apparition d'anomalies sur la partie végétative [81].

4.4.2.3. Le manganèse :

Il joue un rôle dans la synthèse de la chlorophylle, dans la résistance au gel et activateur de la nitrate réductase. Son excès est un facteur limitant de la croissance des plantes dans les sols acides et asphyxiants [88]. Sa carence provoque une décoloration internervaire diffuse sur les feuilles âgées.

4.4.2.4. Le cuivre :

Il stimule la germination et la croissance, et permet le renforcement des parois cellulaires. C'est un catalyseur de la formation des hormones de croissance et présente un rôle essentiel dans la nitrification [80].

L'excès en cuivre provoque les mêmes symptômes que la chlorose ferrique, la croissance est réduite plus particulièrement celle des racines [88].

4.4.2.5. Le zinc :

Il a un rôle dans la biosynthèse des glucides et des protéines, et plus particulièrement de l'auxine et dans le métabolisme du soufre [66]. Sa carence provoque la nanification des plantes et leur donne un port en rosette. Aussi, la carence provoque une mauvaise nouaison due à la perturbation du métabolisme du phosphore [80].

4.4.2.6. Le bore :

Le bore présente un rôle dans la croissance méristimatique, la migration et l'utilisation des glucides, le métabolisme des acides nucléique et la synthèse des protéines [88]. La carence en bore provoque l'éclatement des membranes des tissus des bourgeons terminaux, des fleurs et des fruits provoquant des crevasses rapidement attaquées par les bactéries. Les racines se nécrosent à leur extrémité [89].

4.5. La fumure minérale :

4.5.1. Généralité :

Selon MORARD [90], les engrais sont des matières fertilisantes dont la fonction principale est d'apporter aux plantes des éléments directement utiles à leur nutrition (éléments fertilisants majeurs, éléments fertilisants secondaires et oligo-éléments).

Un engrais est une substance destinée à apporter un ou plusieurs éléments minéraux indispensables aux plantes [91].

D'après SOLTNER [92], plusieurs classifications des engrais peuvent être adoptées, selon le nombre d'éléments fertilisants qu'il appartient nous avons :

- Les engrais simples ;
- Les engrais composés.

D'après leur origine et leur forme on a :

- Les engrais organiques : proviennent de la transformation de déchets végétaux et surtout animaux ;
- Les engrais minéraux : ont pour origines des roches éruptives (poudre de basalte) ou soit des synthèses ou des transformations industrielles.

Les engrais commercialisés se présentent sous trois formes : solides, liquides (solutions aqueuses) ou gazeuses (ammoniac anhydre) [83].

4.5.2. Les engrais liquides :

Un certain nombre de sels minéraux utilisés comme engrais peuvent être employés en solution aqueuse. Les solutions utilisées sont celles de sels très solubles, riches en éléments fertilisants : urée, nitrates et phosphates d'ammoniac, bicarbonates de potasse, etc. on peut donc concevoir sous cette forme des engrais simples, binaires ou ternaires [83].

D'après ELIARD [91], on attribue un certain nombre d'avantage aux engrais liquides :

- manutention plus facile (la pompe diminue l'effort physique) ;
- rapidité de travail (les pulvérisateurs peuvent épandre sur 9 à 12 m à la fois) ;
- régularité de l'épandage lorsque la pulvérisation est bien réglée ;
- facilité d'adjonction de certains oligo-éléments.

Selon DIEHIL [83], les avantages sont nombreux à priori : économie de sacherie, manipulation facile, épandage régulier pouvant être combiné éventuellement avec des traitements herbicides ou antiparasitaires.

4.5.2.1. Cas du Fertiactyl :

4.5.2.1.1. Présentation :

Selon MEDANE [93], le Fertiactyl est un engrais minéral sous forme liquide pour appliquer à l'eau d'irrigation, il est fabriqué exclusivement à partir de produits d'origine végétale. C'est un fertilisant biologique et biostimulant métabolique naturel pour le sol et la plante présentant les propriétés suivantes :

- c'est un fertilisant biologique non toxique ;
- il est présenté sous forme liquide, en flacon de solution concentrée d'un litre ;
- c'est un produit propre et sain, non dangereux pour l'homme, les animaux, les semences, les plantes et le sol ;
- préserve l'environnement ;

- agit sur toutes les plantes en favorisant leur croissance tout en améliorant leur résistance au stress ;
- améliore l'activité microbologique au niveau des sols ainsi que la mobilisation des éléments nutritifs.

4.5.2.1.2. Composition :

Le Fertiactyl est composé de :

- azote total 13% ;
- oxyde de potassium (K₂O) 5% ;
- autres composants : acides humiques, acides fulviques, zéatine, glycine bêtaïne.

Pour ce qui est des acides humiques et fulviques, ce sont des composés essentiels de la matière organique, ils ont pour rôles, l'amélioration de la fertilité des sols, la mobilisation des éléments minéraux et la stimulation de la croissance des cultures.

La zéatine appartient à la famille des cytokinines qui interviennent dans de nombreux processus physiologiques, ces composés sont des biostimulants naturels présents à différentes concentrations chez tous les végétaux.

Enfin pour la glycine bêtaïne, c'est une molécule naturelle d'adaptation aux stress, elle s'accumule en cas de stress, pour permettre aux cellules de fonctionner. La glycine bêtaïne est osmo-protectante, elle protège les membranes et les enzymes [93].

CHAPITRE 5

GENERALITES SUR LES PSEUDOMONAS FLUORESCENTS

Le sol est un système complexe qui est déterminé par de nombreuses interactions entre ses constituants physiques, chimiques et biologiques qui sont modulés par les conditions environnementales [94] in [95].

Les micro-organismes du sol ont un rôle important dans le maintien de la fertilité et de l'équilibre des sols par leur importance dans la régulation de plusieurs processus environnementaux clés tels que les cycles biogéophysiques des éléments minéraux et de la matière organique et la protection des plantes contre les agents pathogènes [96, 97, 98, 99, 100, 101].

Plusieurs études ont démontrées que les micro-organismes du sol sont en interaction avec les racines des plantes et les constituants du sol au niveau de la rhizosphère [102, 103].

Les rhizobactéries sont des bactéries qui présentent l'aptitude à coloniser les racines de façon intense. La plupart d'entre elles sont appelées PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria), qui sont considérées comme des agents potentiels de la stimulation de la croissance des plantes et de la lutte biologique [104, 105]. Elles sont définies par trois caractéristiques : sont capable de coloniser les racines, peuvent survivre et se multiplier associées aux racines et en compétition avec d'autres rhizobactéries et en fin promouvoir la croissance et la protection des plantes [106, 95].

Parmi les PGPR, les *Pseudomonas spp.* fluorescents représentent une grande fraction des rhizobactéries, ces bactéries saprophytes à oxydase positive se trouvent sous tous les horizons, particulièrement sur le système racinaire des plantes [107, 108], elles incluent plusieurs espèces principalement *Pseudomonas putida* et *Pseudomonas fluorescens* qui représentent une partie importante du genre *Pseudomonas* dans la rhizosphère [109, 110].

Les principaux mécanismes d'action induisant les effets bénéfiques sont relatifs à des effets directs par phytostimulation ou indirects par le biocontrôle des

gents pathogènes des plantes, ces réactions bénéfiques sont souvent le résultat d'un métabolisme secondaire qui conduisent à la libération de métabolites secondaires tels que : les sidérophores, les antibiotiques, les phytohormones et les phénazines [104].

5.1. Stimulation de la croissance végétale :

Les PGPR peuvent favoriser la croissance des plantes par l'amélioration de leur alimentation minérale par divers mécanismes tels que la fixation de l'azote, la solubilisation du phosphore organique du sol par les phosphatases [111, 112].

Les *Pseudomonas fluorescens* solubilisent également le manganèse grâce à des agents chélateurs, qui forment avec le manganèse un complexe soluble qui évite sa précipitation [113].

Certaines *Pseudomonas* ont la capacité de synthétiser des siderophores qui sont des molécules chélatrices du fer nécessaire à leur croissance. Ces composés ont une grande affinité pour le Fe³⁺. En s'appropriant les ions ferriques présents dans la rhizosphère, ils les rendent ainsi disponibles et facilement assimilable par la plante [114, 115].

Quelques souches de *Pseudomonas fluorescens*, interviennent dans l'inhibition de la synthèse d'éthylène par la plante en conditions de stress qu'il soit biotique ou abiotique et ce par l'hydrolyse du 1-aminocyclopropane-1-acide carboxylique (ACC), qui est le précurseur immédiat de l'éthylène sur les plantes, l'enzyme catalysant cette réaction est la ACC deaminase [116].

5.2. Biocontrôle des agents pathogènes :

D'autre part, certaines souches de PGPR peuvent protéger les plantes d'une façon indirecte par la stimulation de mécanismes de défense inductibles dans la plante, ce qui peut rendre l'hôte beaucoup plus résistant à l'agression future par des agents pathogènes. Ce phénomène a été nommé «résistance systémique induite» (ISR, Induced Systemic Resistance) [117].

Les *Pseudomonas fluorescens* impliquent plusieurs mécanismes et de métabolites secondaires dans la suppression des maladies des plantes : les antibiotiques, les siderophores [118].

5.2.1. Les antibiotiques :

Plusieurs antibiotiques interviennent dans le contrôle des agents pathogènes : la tropolane, la pyoluteorine et la pyrrolnitrine, l'acide phénazine-1-carboxylique et le 2-4-diacetylphloroglucinol [104].

5.2.2. Les siderophores :

Un cas particulier de compétition pour les nutriments repose sur la compétition pour le fer. Les micro-organismes ont la capacité de synthétiser des siderophores qui sont des molécules chélatrices du fer nécessaire à leur croissance.

En s'appropriant les ions ferriques présents dans la rhizosphère, ils les rendent ainsi non disponibles pour le champignon pathogène, ce qui provoque une diminution de sa croissance, certaines bactéries du genre *Pseudomonas* ont un grand pouvoir de chélation du fer. Elles peuvent reconnaître et utiliser les siderophores produits par d'autres souches, alors que ces dernières ne sont pas capables d'utiliser le siderophore qu'elles produisent. Cette particularité peut favoriser la souche dans le processus de la colonisation et la compétition pour le substrat mieux que d'autres habitants microbiens de la rhizosphère [114].

CHAPITRE 6

MATERIELS ET METHODES

6.1 Matériel végétal :

L'espèce utilisée durant l'expérimentation est le concombre (*Cucumis sativus*), variété super-marketer dont les semences proviennent de la firme (Royal Sluis) des USA, récoltées en 2003 et ayant une pureté spécifique de 99%. Cette variété est une:

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

6.2 Conditions expérimentales:

6.2.1 Lieu de l'expérience, substrat et conteneurs:

L'expérimentation a été réalisé à la station expérimentale du département d'agronomie de Blida, dans une serre en polyméthacrylate de méthyle dont : l'orientation est nord sud, l'aération est assurée par plusieurs fenêtres placées latéralement de part et d'autre de la serre. L'évolution de la température interne de la serre a été contrôlée par un thermomètre suspendu en son centre.

Le tableau 6.8 indique les moyennes des températures par semaine enregistrées au niveau de la serre, durant trois moments de la journée ,9h ,12h, et 16h

Tableau 6.8 : Moyenne des températures par semaine enregistrées sous serre en (C°):

Périodes	Températures		
	9 h	12h	16h
28-01-07 au 03-02-07	12.14	17.14	18.28
04-02-2007 au 10-02-2007	12.57	20.14	21.17
11-02-2007 au 17-02-2007	15.14	25.57	25.00
18-02-2007 au 24-02-2007	13.85	20.28	20.14
25-02-2007 au 03-03-2007	14.57	25.85	27.00
04-03-2007 au 10-03-2007	15.00	21.28	21.57
11-03-2007 au 17-03-2007	14.14	22.28	21.14

18-03-2007 au 24-03-2007	12.42	19.71	20.85
25-03-2007 au 31-03-2007	14.42	22.28	21.14
01-04-2007 au 07-04-2007	14.71	23.28	23.71
08-04-2007 au 14-04-2007	18.00	22.14	19.28
15-04-2007 au 21-04-2007	16.71	24.00	21.71
22-04-2007 au 28-04-2007	20.85	22.14	23.42
29-04-2007 au 05-05-2007	21.00	25.57	24.71
06-05-2007 au 12-05-2007	26.42	34.00	33.71
13-05-2007 au 21-05-2007	27.44	38.33	35.55

D'une manière générale, et d'après nos observations, nous pouvons dire que les températures pendant le cycle végétatif répondaient aux besoins des plantes, mis à part durant les périodes froides ou on avait enregistré quelques chutes de température.

Après repiquage, les pots étaient placés sous des micros - tunnels en polyester jusqu'à l'apparition des deux feuilles cotylédonaires (Figure 6.1). Durant les périodes chaudes, l'ouverture des fenêtres s'est avérée nécessaire afin de diminuer la température de la serre.



Figure 6.1: pots sous micro - tunnels en polyester.

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

Afin d'écarter tous les risques de contamination, une désinfection du substrat a été effectuée comme suit :

- Lavage à l'eau afin de supprimer les particules terreuses et les débris végétaux ;
- Remplissage des pots avec le gravier lavé;
- Désinfection du gravier avec une solution javellisée diluée de concentration initiale 12°, durant 24h et recouvert d'un film plastique;

- Rinçage abondant de tous les pots à l'eau de robinet pour éliminer toutes les traces de l'eau de javel fortement nocives pour les jeunes plantes ;

Les conteneurs utilisés sont des pots en plastique, ayant une capacité de 800ml et présentant des orifices de drainage à leur base permettant l'évacuation de la solution nutritive excédentaire.

6.3 Prégermination et repiquage:

Les semences utilisées sont issues de la variété super – marketer. La prégermination a été réalisée le 23.01.2007. Les graines ont été mises dans des boîtes de Pétri contenant du papier buvard imbibé d'eau à raison de 30 graines par boîte. Ces dernières ont été placées dans l'étuve à une température de 25° C pendant 4 jours. La faculté germinative était de 95% (Figure 6.2).



Figure 6.2: prégermination des graines de concombre dans les boîtes de Pétri.

Le repiquage des jeunes germes de concombre en place définitive a été réalisé le 27.01.2007 à raison de trois germes par pot (Figure 6.3). Ces derniers ont été arrosés avec l'eau du robinet pour favoriser la reprise des jeunes plantules. Après l'apparition des deux feuilles cotylédonaires, une seule plantule était gardée dans un pot, et ont été arrosées avec une solution nutritive de base notée pour avoir un matériel végétal vigoureux et homogène de départ. Dès l'apparition de la première feuille, nous avons procédé à l'application des différents traitements et ce le 07.03.2007, soit 40 jours après semis.



Figure 6.3: repiquage des germes dans les pots.

6.4 Dispositif expérimental:

L'expérimentation a été menée en randomisation totale. Les dix traitements ont été distribués aléatoirement selon la table de permutation des nombres aléatoires de 1 à 10. Chaque traitement comporte 30 répétitions, soit 300 plants au total (Figures 6.4 et 6.5). Nous avons effectué trois coupes successives en prélevant 10 plants par traitement à savoir 100 plants à chaque coupe.



Figure 6.4: dispositif expérimental.

- Coupe 01 : 02/04/2007 : correspond à 66 jours après semis, qui correspond au stade développement végétatif ;
- Coupe 02 : 16/04/2007 : correspond à 80 jours après semis, qui correspond au stade pleine floraison ;
- Coupe 03 : 14/05/2007 : correspond à 108 jours après semi, qui correspond au stade fructification.

C₃	P₃₀	P₃₀	P₃₀	P₃₀	P₃₀	P₃₀	P₃₀	P₃₀	P₃₀	P₃₀
	P₂₉	P₂₉	P₂₉	P₂₉	P₂₉	P₂₉	P₂₉	P₂₉	P₂₉	P₂₉
	P₂₈	P₂₈	P₂₈	P₂₈	P₂₈	P₂₈	P₂₈	P₂₈	P₂₈	P₂₈
	P₂₇	P₂₇	P₂₇	P₂₇	P₂₇	P₂₇	P₂₇	P₂₇	P₂₇	P₂₇
	P₂₆	P₂₆	P₂₆	P₂₆	P₂₆	P₂₆	P₂₆	P₂₆	P₂₆	P₂₆
	P₂₅	P₂₅	P₂₅	P₂₅	P₂₅	P₂₅	P₂₅	P₂₅	P₂₅	P₂₅
	P₂₄	P₂₄	P₂₄	P₂₄	P₂₄	P₂₄	P₂₄	P₂₄	P₂₄	P₂₄
	P₂₃	P₂₃	P₂₃	P₂₃	P₂₃	P₂₃	P₂₃	P₂₃	P₂₃	P₂₃
	P₂₂	P₂₂	P₂₂	P₂₂	P₂₂	P₂₂	P₂₂	P₂₂	P₂₂	P₂₂
	P₂₁	P₂₁	P₂₁	P₂₁	P₂₁	P₂₁	P₂₁	P₂₁	P₂₁	P₂₁
C₂	P₂₀	P₂₀	P₂₀	P₂₀	P₂₀	P₂₀	P₂₀	P₂₀	P₂₀	P₂₀
	P₁₉	P₁₉	P₁₉	P₁₉	P₁₉	P₁₉	P₁₉	P₁₉	P₁₉	P₁₉
	P₁₈	P₁₈	P₁₈	P₁₈	P₁₈	P₁₈	P₁₈	P₁₈	P₁₈	P₁₈
	P₁₇	P₁₇	P₁₇	P₁₇	P₁₇	P₁₇	P₁₇	P₁₇	P₁₇	P₁₇
	P₁₆	P₁₆	P₁₆	P₁₆	P₁₆	P₁₆	P₁₆	P₁₆	P₁₆	P₁₆
	P₁₅	P₁₅	P₁₅	P₁₅	P₁₅	P₁₅	P₁₅	P₁₅	P₁₅	P₁₅
	P₁₄	P₁₄	P₁₄	P₁₄	P₁₄	P₁₄	P₁₄	P₁₄	P₁₄	P₁₄
	P₁₃	P₁₃	P₁₃	P₁₃	P₁₃	P₁₃	P₁₃	P₁₃	P₁₃	P₁₃
	P₁₂	P₁₂	P₁₂	P₁₂	P₁₂	P₁₂	P₁₂	P₁₂	P₁₂	P₁₂
P₁₁	P₁₁	P₁₁	P₁₁	P₁₁	P₁₁	P₁₁	P₁₁	P₁₁	P₁₁	
C₁	P₁₀	P₁₀	P₁₀	P₁₀	P₁₀	P₁₀	P₁₀	P₁₀	P₁₀	P₁₀
	P₉	P₉	P₉	P₉	P₉	P₉	P₉	P₉	P₉	P₉
	P₈	P₈	P₈	P₈	P₈	P₈	P₈	P₈	P₈	P₈
	P₇	P₇	P₇	P₇	P₇	P₇	P₇	P₇	P₇	P₇
	P₆	P₆	P₆	P₆	P₆	P₆	P₆	P₆	P₆	P₆
	P₅	P₅	P₅	P₅	P₅	P₅	P₅	P₅	P₅	P₅
	P₄	P₄	P₄	P₄	P₄	P₄	P₄	P₄	P₄	P₄
	P₃	P₃	P₃	P₃	P₃	P₃	P₃	P₃	P₃	P₃
	P₂	P₂	P₂	P₂	P₂	P₂	P₂	P₂	P₂	P₂
	P₁	P₁	P₁	P₁	P₁	P₁	P₁	P₁	P₁	P₁
	T₁F	T₃BF	T₄	T₄BF	T₄F	T₃B	T₃F	T₄B	T₁	T₃

Figure 6.5: schéma du dispositif expérimental

P: plant;

C₁, C₂, C₃ : représentent les trois coupes;

T₁, T₁F, T₂, T₃, T₃F, T₃B, T₃BF, T₄, T₄F, T₄B, T₄BF: représentent les traitements testés :

T₁F: Eau de Blida + bactérie + fertilactyl

T₃BF: solution saline de Gassi taouil + bactérie + fertilactyl

T₄ : solution saline de Gassi taouil corrigée

T₄BF: solution saline de Gassi taouil corrigée + bactérie + fertilactyl

T₄F: solution saline de Gassi taouil corrigée + fertilactyl

T₃B : solution saline de Gassi taouil + bactérie

T₃F : solution saline de Gassi taouil + fertilactyl

T₄B : solution saline de Gassi taouil corrigée + bactérie

T₁ : Eau de Blida + bactérie

T₂ : Solution nutritive de base:(eau de Blida transformée en solution nutritive)

T₃ : solution saline de Gassi taouil

6.5 Description des différents traitements :

6.5.1 Caractéristiques de l'eau utilisée pour la synthèse des solutions nutritives et correction :

Pour des raisons pratiques et compte tenu en besoins en eau importants des plantes, nous avons préparé toutes les solutions nutritives avec l'eau potable de Blida (Tableau 6.9), selon la méthode COIC et LESAIN [119].

Tableau 6.9 : teneur des différents éléments minéraux contenus dans l'eau de Blida:

Element	Teneur en mg/l	Teneur en meq /l
K⁺	00	00
Ca⁺⁺	56	2.8
Na⁺	29.9	1.3
Mg⁺⁺	21.6	1.8
NO₃⁻	21.7	0.35
SO₄⁻⁻	38.4	0.8
CL⁻	21.3	0.6
HCO₃⁻	24.5	4.08
total	433.9	11.73

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

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

Deux types d'acides ont été utilisés à savoir, l'acide nitrique HNO_3 et l'acide phosphorique H_3PO_4 . Ces deux acides permettent d'une part l'abaissement du pH et l'apport des éléments utiles tel que les nitrates et le phosphore de l'autre part.

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

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

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

Cette quantité d'acide sera partagée entre:

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

6.5.2 Composition des solutions nutritives et techniques de préparation des différents traitements :

Durant l'expérimentation, trois solutions nutritives ont été utilisées à savoir:

- T_2 : Solution nutritive de base:(eau de Blida transformée en solution nutritive) ;
- T_3 : Eau de Gassi Touil naturelle saline reconstituée avec l'eau de Blida ;
- T_4 : Eau de Gassi Touil naturelle saline corrigée reconstituée avec l'eau de Blida.

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

6.5.2.1 Formule de solution nutritive pour une eau naturelle peu chargée en ions : Cas de l'eau de Blida :

Pour ce type de solution nutritive, l'eau renferme des teneurs insuffisantes en certains éléments utiles (KNO_3^- , k^+). Parfois des éléments tels que le sodium, le calcium et les sulfates peuvent se trouver à des concentrations supérieures aux besoins des plantes.

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

La formule de solution nutritive peu chargée en sels correspond à la solution nutritive de base synthétisée avec l'eau de Blida selon les normes définies par COIC et LESAIN [119].

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

a/ Sur les tableaux 6.10 et 6.11 suivants, on reporte chaque anion et cation selon les quantités contenues dans l'eau exprimées en méq / l.

b/ L'apport d'azote est fixé à 12

10.2 méq / l NO_3^-
 1.8 méq/ NH_4^+ représentant 15%

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

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

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

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

Nitrates: - besoins: 10,2 méq / l.

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

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

-déjà disponibles: 0,8 méq / l.

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

f/ L'apport d'ammonium (1,8 méq / l de NH_4^+) est assuré par l'emploi de NO_3NH_4 qui assurera en même temps l'apport de 1,8 méq / l de NO_3^- . Les anions disponibles pour apporter un complément de K, Ca et Mg sont désormais les suivants:

Nitrates: (7,65 – 1,8) NO_3NH_4 = 5,85 méq / l	}	Total = 6,55 méq / l
Sulfates = 0,7 méq / l		

g/ somme totale des cations K, Ca et Mg dans la solution nutritive finale = (k + Ca + Mg) déjà présents dans l'eau + (K + Ca + Mg) apportés sous forme de nitrates et de sulfates.

Total = (0 + 2,8 + 1,8) + 6,55 = 11,15 méq / l.

Selon les normes définies par COIC et LESAINTE [66], les proportions relatives de ces 3 éléments doivent être proches des valeurs suivantes:

K : 39,6%

Ca : 47,6%

Mg : 12,8%

Ce qui donne dans le cas présent:

4,41 méq / l (k) + 5,31 méq / l (Ca) + 1,43 méq / l (Mg) = 11,15 méq / l.

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

K (4,41 méq / l), Ca (2,51 méq / l), Mg (0 méq / l).

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

Les 11,15 méq / l – 1,8 méq / l (Mg) = 9,35 méq / l d'anions sont donc à partager entre K et Ca uniquement et en respectant les proportions

K+ Ca = 87.2 soit:

$$K = 9,3 \times \frac{9,6}{39,6 + 47,6} = 4,25 \text{ méq / l}$$

$$Ca = 9,3 \times \frac{47,6}{39,6 + 47,6} = 5,1 \text{ méq / l}$$

Tous les résultats sont reportés dans les tableaux suivants:

Tableau 6.10: Composition de l'eau de Blida pH = 7.8

Eau de Blida	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Total
K+					0
0					
Na ⁺					1.30
1.3					
Ca ⁺⁺					2.80
2.8					
Mg ²⁺⁺					1.80
1.8					
NH ₄ ⁺					0
0					
HCO ₃ ⁻					4.08
4.08					
Total	0.35	0	0.8	0.6	

Tableau 6.11: Eau de Blida corrigée (solution nutritive de base) pH = 5,8

Eau de Blida	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	Total
K+	3,55		0,70		4,25
0					
Na ⁺					1,30
1.3					
Ca ⁺⁺	2,30				5,10
2.8					
Mg ²⁺⁺					1.80
1.8					
NH ₄ ⁺	1,80				1,80
0					
H ⁺	2,20	1,10			3,30
Total	10,20	3,30	1,50	0.6	

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

En dernier lieu, nous avons rajoute une solution d'oligoéléments composée des deux solutions complémentaires d'oligoéléments préconisées par COIC et LESANT [119]

Le contrôle de pH de la conductivité électrique est obligatoire avant chaque utilisation.

Quantités et ordre de dissolution des sels de la solution nutritive élaboré par l'eau de Blida :

$$\text{HNO}_3 = 2.2 \times 63 = 138,6 \text{ mg/l}$$

$$\text{H}_3\text{PO}_4 = 1.1 \times 98 = 107.8 \text{ mg/l}$$

$$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 = 2.3 \times 118 = 271.4 \text{ mg/l}$$

$$\text{KNO}_3 = 3.55 \times 101 = 358.55 \text{ mg/l}$$

$$\text{NH}_4\text{NO}_3 = 1.8 \times 80 = 144 \text{ mg/l}$$

$$\text{K}_2\text{SO}_4 = 0.7 \times 87 = 60.9 \text{ mg/l}$$

La solution nutritive de base renferme aussi des oligo – éléments. Le fer est apporté à raison de 5 ml / l de solution de concentration 2 g / l de séquestréne de fer. Les autres oligo – éléments contenant le Molybdate d'ammonium (0,5 g / l), l'acide borique (15 g / l), le sulfate de manganèse (20 g / l) et le sulfate de cuivre (2,5 g / l) + sulfate de zinc (10 g / l) sont apportés à raison de 0,1 ml / l.

6.5.2.2 Formule de solution nutritive pour une eau très chargée en ions: cas de l'eau de Gassi Touil:

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

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

a/ On reporte pour chaque anion et cation les quantités dans l'eau exprimées en méq / l dans le Tableau 6.12.

Tableau 6.12: Eau de Gassi Touil naturelle

Eau de Blida	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Total
K ⁺					0,50
0,50					
Na ⁺					16,50
16,50					
Ca ⁺⁺					9,10
9,10					
Mg ²⁺⁺					8,40
8,40					
NH ₄ ⁺					0
0					
HCO ₃ ⁻					2,22
Total	0.55	0	17,70	14,10	

On remarque à travers cette composition qu'il y a trop de Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , SO_4^- et de Cl^- , par contre on enregistre un manque de K^+ , NH_4^+ , NO_3^- et PO_4^{3-} .

En pratique les eaux salines d'origines diverses n'étant pas disponibles en volume suffisant pour être expérimentées à Blida, il a fallu les reconstituer à partir de l'eau de Blida. De façon pratique, cette reconstitution ne peut être à l'identique si l'on veut respecter un pH final de 5,8. Par conversion, on se base donc à respecter les concentrations en cations et à admettre une légère variation de la concentration en chlorures et sulfates.

La reconstitution a été réalisée comme suit (Tableaux 6.13 et 6.14):

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

Tableau 6.13: Composition de l'eau de Blida

Eau de Blida	NO_3^-	PO_4^{3-}	SO_4^{2-}	Cl^-	Total
K^+					0
0					
Na^+					1.30
1.3					
Ca^{++}					2.80
2.8					
Mg^{2++}					1.80
1.8					
NH_4^+					0
0					
HCO_3^-					4.08
4.08					
Total	0.35	0	0.80	0.60	

Tableau 6.14: Eau de Gassi Touil

restituée avec l'eau Blida

Eau de Blida	NO_3^-	PO_4^{3-}	SO_4^-	Cl^-	Total
K^+	0.20			0.30	0.50
0					
Na^+			9.35	5.85	16.50
1.3					
Ca^{++}				6.30	9.10
2.8					
Mg^{2++}			6.60		8.40
1.8					
NH_4^+					0
0					
H^+CO_3					2.22
4.08					
Total	0.55	0.00	16.75	13.05	

Quantités et ordre de dissolution des sels:

$$\text{KNO}_3 = 0.20 \times 101 = 20.20 \text{ mg/L}$$

$$\text{KCl} = 0.30 \times 74.5 = 22.35 \text{ mg/l}$$

$$\text{Na}_2\text{SO}_4 = 9.35 \times 71 = 663.85 \text{ mg/l}$$

$$\text{NaCl}_2 = 5.85 \times 58.45 = 341 \text{ mg/l}$$

$$\text{CaCl}_2 = 6.30 \times 73.5 = 463.05 \text{ mg /l}$$

$$\text{MgSO}_4 = 6.6 \times 123 = 811.8 \text{ mg /l}$$

6.5.2.2.1 Correction de la solution saline de Gassi Touil reconstituée avec l'eau de Blida: T₄

a/ Pour corriger le pH de l'eau de Blida, il faut 3,3 meq / l d'acide ainsi répartis:

- $\text{H}_3\text{PO}_4 = 1,1 \text{ méq / l}$ (apport du phosphore est réglé)
- $\text{HNO}_3 = 2,2 \text{ méq / l}$

b/ Assurer l'apport d'azote:

$$\text{NH}_4^+ = 1,8 \text{ méq / l de NO}_3\text{NH}_4$$

NO_3^- disponible après la correction du pH et l'apport de NO_3NH_4

$$\text{NO}_3^- = 2,2 \text{ méq / l (HN}_3) + 0,35 \text{ meq / l (eau de Blida) + 1,8 méq / l (NO}_3\text{NH}_4)$$

$$\text{NO}_3^- \text{ à apporter} = 10,2 - 4,35 = 5,85 \text{ méq / l.}$$

c/ Assurer l'apport du calcium:

$$\text{Ca}^{++} \text{ total (1,9) - Ca}^{++} \text{ eau de Blida (2,8) = 6,30 méq / l}$$

Apport de 6,30 meq / l de Ca sous forme de 5,85 meq / l de $\text{Ca (NO}_3)_2$ (apport de nitrates réglé) et de 0,45 meq / l de Ca Cl_2 .

d/ Assurer l'apport du magnésium:

6,6 meq / l de MgSO_4 assure la correction voulue en Mg (6,6 + 1,8 eau de Blida) = 8,40 meq / l.

e/ Assurer l'apport de sodium:

$$\text{Na total (16,5 méq / l)} - \text{Na eau de Blida (1,3 méq / l)} = 15,2 \text{ meq / l}$$

Les apports de chlorures et de sulfates sont tels que le rapport initial de l'eau de Gassi Touil $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-} = 0,79$ soit respecté.

- Les sulfates existants : 0,8 méq / l (eau de Blida) + 7,6 méq / l (apport de K_2SO_4) + 6,6 méq / l (apport de MgSO_4) = 15 méq / l.

- Les chlorures existants: 0,6 meq / l (eau de Blida) + 0,45 méq / l (apport de CaCl_2) = 1,05 méq / l.

- Total général: $\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^- + \text{mélange NaCl} = 15 + 1,05 + 15,2 = 31,25 \text{ méq / l}$.

Donc:

$$\text{SO}_4^{2-} = 17,45 \text{ méq / l}$$

$$\text{Cl}^- = 13,80 \text{ méq / l}$$

Les résultats de la correction sont reportés dans le tableau 6.15 :

Tableau 6.15: Eau de Gassi Touil corrigée reconstituée avec l'eau de Blida: **T₄**

Eau de Blida	NO_3^-	PO_4^{3-}	SO_4^{2-}	Cl^-	Total
	0,35	0	0,80	0,60	
K ⁺			7,60		7,60
0					
Na ⁺			2,45	12,75	16,50
1,3					
Ca ⁺⁺	5,85			0,45	9,10
2,8					
Mg ²⁺⁺			6,60		8,40
1,8					
NH ₄ ⁺	1,80				1,80
0					
H ⁺	2,20	1,10			3,30
Total	10,20	3,30	17,45	13,80	

Quantités et ordre de dissolution des sels:

$$\text{HNO}_3 = 2.2 \times 63 = 138,6 \text{ mg/l}$$

$$\text{H}_3\text{PO}_4 = 1.1 \times 98 = 107.8 \text{ mg/l}$$

$$\text{MgSO}_4 = 6.6 \times 123 = 811.8 \text{ mg /l.}$$

$$\text{Ca (NO}_3)_2 = 5,85 \times 118 = 690,3 \text{ mg / l.}$$

$$\text{NH}_4\text{NO}_3 = 1,80 \times 80 = 144 \text{ mg / l.}$$

$$\text{NaCl} = 12,75 \times 58.45 = 745,23 \text{ mg/l.}$$

$$\text{K}_2\text{SO}_4 = 7,60 \times 87 = 661,2 \text{ mg / l.}$$

$$\text{CaCl}_2 = 0,45 \times 73.5 = 33,07 \text{ mg / l .}$$

$$\text{Na}_2\text{SO}_4 = 2,45 \times 71 = 173.95 \text{ mg/l .}$$

La solution de Gassi Touil corrigée reconstituée avec l'eau de Blida renferme aussi la solution complémentaire d'oligo – éléments représentés dans le tableau 6.16:

Tableau 6.16:Composition des solutions complémentaires d'oligo-éléments A et B [119]

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

Le fer est apporté à raison de 5 ml / l de solution "B" de concentration 2 g / l de séquestréne de fer, les autres oligo – éléments sont apportés à raison de 0,1 ml / l de solution "A".

Les différents traitements sont à base de solutions mère de macro-éléments puis diluée au moment de la préparation de la solution prête à l'utilisation.

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

En dernier lieu, nous avons ajouté les solutions d'oligoéléments des deux solutions complémentaires d'oligoéléments préconisées par COIC et LESAINTE [119].

Le contrôle de pH et de la conductivité électrique est obligatoire avant chaque utilisation.

Tableau 6.17 : Composition globale des deux solutions nutritives saline et

Corrigée: T₃ et T₄:

Produit	Concentration g / l	T ₃		T ₄	
		ml / l	ml / 40l	ml / l	ml / 40l
HNO ₃	0	0	0	0	6,4
H ₃ PO ₄	0	0	0	0	6,8
MgSO ₄	162,36	5	200	5	200
NaCl	176	1,94	77,6	4,23	169,2
Ca(NO ₃) ₂	138,06	0	0	5	200
NH ₄ NO ₃	28,8	0	0	5	200
KCl	64,8	0,34	13,6	0	0
CaCl ₂	94,81	4,88	195	0,34	13,6
KNO ₃	4,04	5	200	0	0
K ₂ SO ₄	132,2	0	0	5	200
Na ₂ SO ₄	107,92	6,15	246	1,61	64,4
Oligoéléments	0	0	0	0	4
Fer	0	0	0	0	200

Pour la réalisation des autres traitements à savoir: T₃B, T₄B, T₁, nous avons additionné une suspension bactérienne aux solutions nutritives de Gassi Touil reconstituées avec l'eau de Blida aussi à l'eau de Blida, donc:

T₁ : Eau de Blida + suspension bactérienne.

T₃B : solution nutritive de Gassi Touil reconstituée avec l'eau de Blida + suspension bactérienne.

T₄B : solution nutritive de Gassi Touil corrigée et reconstituée avec l'eau de Blida + suspension bactérienne.

Il faut noter également, qu'à tous les traitements cités au par avant, nous avons ajoutés une solution de fertilactyl avec une dose de 1ml de fertilactyl / l de solution nutritive :

T₁F: Eau de Blida + suspension bactérienne + 1ml de fertilactyl.

T₃F: solution nutritive de Gassi Touil reconstituée avec l'eau de Blida + 1ml de fertilactyl.

T₄F: solution nutritive de Gassi Touil corrigée et reconstituée avec l'eau de Blida + 1ml de fertilactyl.

T₃BF: solution nutritive de Gassi Touil reconstituée avec l'eau de Blida + suspension bactérienne + 1ml de fertilactyl.

T₄BF: solution nutritive de Gassi Touil corrigée et reconstituée avec l'eau de Blida + suspension bactérienne + 1ml de fertilactyl.

6.6 Souche bactérienne :

La souche bactérienne utilisée dans notre expérimentation est la souche CHAO de *Pseudomonas fluorescents* originaire de Suisse, isolée à partir de la rhizosphère du tabac (tableau6.18) ; elle est considéré comme une souche de référence vu sa capacité importante dans la colonisation rhizosphérique ainsi que la production de métabolites secondaire tel que les antibiotiques et l'HCN [104]

Tableau 6.18 : Origine de la souche de *Pseudomonas fluorescens* : CHAO

Souche de <i>Pseudomonas fluorescens</i>	Origine végétale	Origine géographique	provenance
CHAO	Rhizosphère du tabac	Suisse	Envoi du P.Keel (laboratoire de phytomédecine, Zurich, Suisse)

6.7 Test de tolérance à la salinité :

Avant la bactérisation de nos plants, on a procédé à un test de tolérance au sel pour s'assurer de la survie des bactéries dans les conditions de salinité, pour cela on aensemencé de la crème bactérienne dans des tubes contenant 100 ml des différentes solutions à utiliser à savoir, la solution saline, la solution saline corrigée, l'eau de Blida ainsi que ces solutions additionnées à 0,1ml de fertiactyl, puis on les a mis à incuber dans l'étuve à 25°C pendant 48 heures.

Après 48 heures d'incubation, on a remarqué qu'il apparition d'un pigment fluorescent, du à la présence des bactéries CHAO, considéré comme un métabolite secondaire chez ces bactéries [120], cela signifie que les bactéries ont résistés à tous les stress dans les différentes solutions tout en élaborant des métabolites secondaires.

On a remarqué également qu'il y a eu développement d'une crème bactérienne importante (Figure 6.6), donc la souche bactérienne CHAO a pu se développer dans les conditions de salinité, on peut donc les attribuer à nos plants.

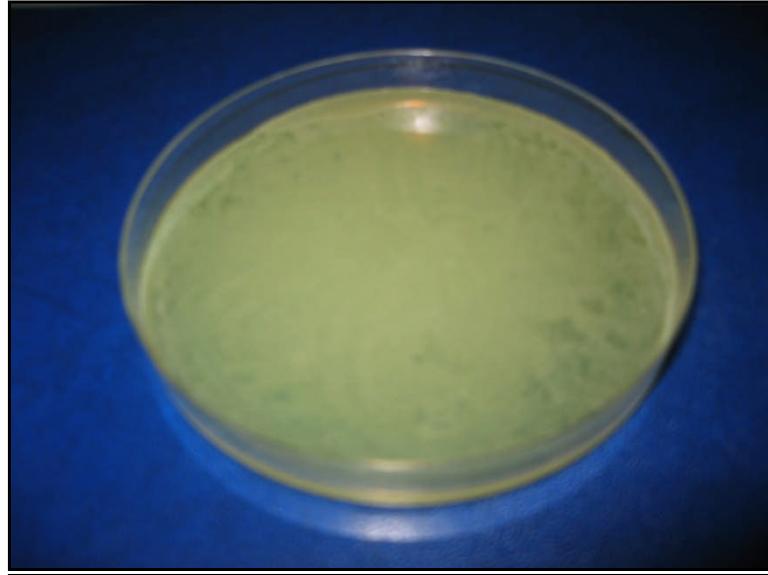


Figure 6.6: aspect morphologique de la souche de *Pseudomonas fluorescens* (CHAO)

6.8 Inoculation bactérienne :

Les suspensions bactériennes ont été préparées dans de l'eau distillée stérile à partir de cultures âgées de 24 heures cultivées sur milieu King B (appendice 1). La détermination de la concentration a été effectuée à l'aide d'un spectrophotomètre (Shimadzu), à la longueur d'onde $\lambda = 580 \text{ nm}$.

La suspension bactérienne a été apportée dans les solutions nutritives sans fertiactyl par une suspension de 200 ml à raison de 10^{12} CFU/ml ; dans les solutions nutritives avec fertiactyl par des suspensions de 100 ml à raison de 10^9 CFU/ml.

Les plants ont été arrosés chaque jour avec les différentes solutions nutritives bactérisées à raison de 20 ml deux fois par jour.

6.9 Test de viabilité :

Afin de vérifier la survie de la souche bactérienne dans les solutions nutritives, nous avons effectué un test de viabilité sept jours après la préparation des solutions, en prélevant de ces dernières quelques gouttes qu'on met sur milieu KB qu'on incube à 25°C pendant 24 heures, nous avons constaté un développement d'une crème bactérienne ainsi qu'une pigmentation fluorescente ; l'opération est répétée chaque semaine jusqu'à épuisement des solutions.

Pour vérifier la colonisation des substrats au moment de chaque coupe, on a prélevée un fragment de racine qu'en a cultivé sur milieu KB (Figure 6.7) et incubé à 25° C pendant 24 heures, on a remarqué le développement de la crème bactérienne ainsi que l'apparition du pigment fluorescent (Figure 6.8).



Figure 6.7 : Aspect d'un fragment racinaire avant culture



Figure 6.8 : Aspect du fragment racinaire après culture

6.10 Entretien de la culture:

La culture du concombre a nécessité des opérations d'entretien à savoir:

6.10.1 Systèmes d'irrigation:

Le système d'irrigation adopté est un système à percolation à circuit ouvert permettant l'évacuation de l'eau en excès.

Il est important de noter qu'en hors-sol, il est recommandé de connaître les besoins journaliers en eau des cultures, afin de pouvoir rationaliser les besoins selon les stades de développement du végétal et ce pour éviter les déficits et les éventuels excès de solution nutritive.

6.10.2 Les traitements phytosanitaires :

Au cours de l'expérimentation, nous avons effectué des traitements préventifs et curatifs (Tableau 6.19) pour écarter toute attaque cryptogamique ou d'insectes nuisibles contre les plantes selon le tableau suivant :

Tableau 6.19: Programme des traitements phytosanitaires réalisés:

Dates	Produit	Matière active	Désignation	Dose	Durée du traitement
25.02.2007	Mostagane m 20 sp	Acétamiprid A 20%	Traitement préventif contre les pucerons	0,1 g / l	14 jours
28.02.2007	Curzate M WP	Mancozeb 40% Cymoxanil 4%	Traitement préventif contre les maladies cryptogamiques	2 g / l	14 jours

6.10.3 Le palissage:

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

Méthode statistique :

Pour l'évaluation des paramètres de développement et de production, l'analyse statistique des résultats a été effectuée par l'analyse de la variance. Dans le cas où cette dernière est significative, la comparaison des traitements a effectuée sur la base des moyennes obtenues selon la plus petite amplitude significative (PPAS) du test de Newman-Keuls au risque d'erreurs ($\alpha = 5\%$).

CHAPITRE 7

RESULTATS ET DISCUSSION

7.1. Paramètre de croissance :

Les paramètres de croissances ont été mesurés après trois périodes différentes correspondant aux mesures réalisées durant les trois prélèvements a savoir : 60 jours après semis (1^{er} prélèvement), 80 jours après semis (2^{ème} prélèvement) et 108 jours après semis (3^{ème} prélèvement).

7.1.1 La vitesse de croissance des plantes :

La figure 6.9 ci-dessus montre l'évolution de la vitesse de croissance des plantes de concombre après l'application des différents traitements.

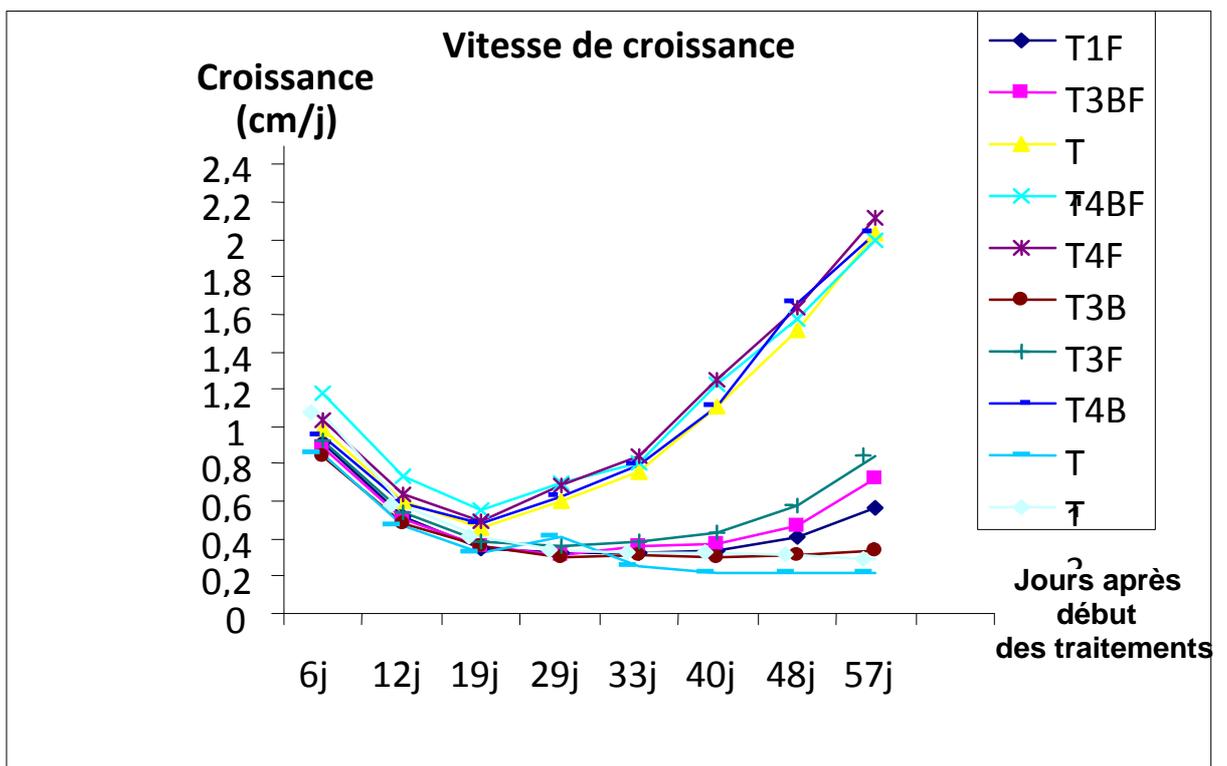


Figure 6.9 : Vitesse de croissance des plants (cm/j)

Selon la figure 6.9, on constate qu'il existe deux ensembles de courbes, dont le premier est celui des solutions salines non corrigées ou naturelles (T₃, T_{3B}, T_{3F}, T_{3BF}) et les témoins (T₁ et T_{1F}), et le second, celui des solutions salines corrigées.

On remarque également une diminution de la vitesse de croissance à partir de 6^{ème} jour après début des traitements pour l'ensemble des traitements avec une allure de reprise à partir du 19^{ème} jour pour atteindre par la suite 0,84 cm/jour pour le traitement T₃F à savoir la solution saline naturelle associée au fertiactyl.

Aussi, on remarque qu'après le 33^{ème} jour, la vitesse de croissance des plants de concombre alimentés par les solutions (T₃, T₃B) et le témoin (T₁) devient stationnaire aux alentours de 0,22 à 0,34 cm /jour. Ceci peut être expliqué par la présence de sels défavorables à la croissance des plantes notamment le NaSO₄, le CaCl₂ et surtout le NaCl qui est considéré comme étant le plus nocif. Les solutions salines non corrigées présentent un déséquilibre ionique, et des carences en éléments fertilisants (macro et micro éléments) , tels que l'azote, le phosphore et également le potassium dont son absence, selon REY et COSTES [121], ralentit la croissance des plantes.

Le deuxième groupe est constitué par les solutions salines corrigées (T₄, T₄B, T₄F, T₄BF) où la vitesse de croissance augmente progressivement à partir de 19^{ème} jours après début des traitements pour atteindre de 2 à 2,11cm/jour. La solution nutritive corrigée associée au fertiactyl (T₄F) a atteint une vitesse de croissance de 2,11 cm/jour après l'attribution des traitements et ce après 57jours .Ceci peut être expliqué par l'équilibre ionique parfait dans la solution saline corrigée et de sa richesse en éléments fertilisants, notamment la présence de l'élément d'azote , du phosphore, du potassium et la présence des oligoéléments. Selon les travaux de [83], l'azote est un élément indispensable à la multiplication cellulaire puisqu'il intervient dans la composition du noyau, donc il favorise l'augmentation de la croissance des végétaux.

Les nitrates No₃⁻ d'après ELIARD [91] facilitent la pénétration des cations K⁺ et Ca²⁺ par synergisme, ce qui améliore la photosynthèse.

7.1.2 Hauteur de la tige :

La hauteur des tiges a été mesurée à chaque prélèvement a partir de collet jusqu'à l'apex au niveau de chaque plant.

Tableau 7.20 : Hauteur moyenne des tiges en (cm):

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative ($P < 0,001$).

Les résultats obtenus durant les trois périodes révèlent qu'il y a une

	T ₁ F	T ₃ BF	T ₄	T ₄ BF	T ₄ F	T ₃ B	T ₃ F	T ₄ B	T ₁	T ₃
Prélèvement	10,75	10,65	18,00	19,35	18,60	11,45	12,05	19,35	10,40	10,55
01	± 2,41 b	± 1,76 b	± 4,18 a	± 4,51 a	± 2,85 a	± 1,30 b	± 2,19 b	± 3,03 a	± 1,97 b	± 1,62 b
Prélèvement	17,27	20,55	49,28	61,32	58,61	16,75	25,39	57,95	13,10	13,80
02	3,35 d	3,45 cd	15,23 b	5,02 a	10,91 a	1,90 d	6,82 c	5,26 a	4,06 d	1,96 d
Prélèvement	42,60	63,40	147,90	141,45	150,11	25,05	61,80	142,40	14,60	17,58
03	± 7,14 c	± 11,86 b	± 11,99 a	± 36,83 a	± 14,77 a	± 5,33 d	± 14,31 b	± 13,27 a	± 3,57 d	± 4,52 d

augmentation de la hauteur des plants au niveau de la solution saline de Gassi touil corrigée (T₄), T₄F (solution associée au fertiactyl), T₄B (solution associée à la bactérie) et au traitement T₄BF à savoir solution saline corrigée associée au fertiactyl et à la bactérie et ce par rapport aux autres traitements (Tableau 7.20).

La meilleure performance a été enregistrée au niveau du traitement T₄B et T₄BF durant le premier prélèvement à savoir 60 jours après semis. Durant le second prélèvement, c'est le traitement T₄BF qui manifeste le paramètre le plus élevé et enfin c'est le traitement T₄F qui présente la hauteur la plus importante durant la 3^{ème} période c'est-à-dire à 108 jours après semis.

Les solutions salines naturelles de Gassi touil (T₃, T₃B, T₃F, T₃BF), au niveau du 1^{er} prélèvement n'ont enregistré aucune performance par rapport aux témoins (T₁ et T₁F) car le test de Newman-Keuls ($\alpha = 5\%$) classe les traitements salins et les témoins dans le même groupe homogène à savoir le groupe (b).

Dans la deuxième et la troisième période, l'association de fertiactyl seul et le fertiactyl avec la bactérie à la solution saline naturelle (T₃F et T₃BF) a été efficace par rapport à la solution saline (T₃) et associée avec la bactérie (T₃B) qui sont classés dans le même groupe homogène (d) que les témoins.

Durant la troisième période, le témoin T₁F (eau de Blida +fertiactyl+ bactérie) a enregistré une valeur supérieure à celle des solutions salines naturelles ou brutes (T₃, T₃B) et au témoin T₁ qui sont classés dans le même groupe homogène (d). A ce propos BANU et al [122], notent que la présence d'une grande quantité de sel dans le sol provoque la réduction de la division et de l'allongement cellulaire, et par conséquent une diminution de la croissance de la plante.

7.1. 3 Diamètre des tiges:

La mesure du diamètre des tiges a été effectuée à chaque prélèvement au moyen d'un pied à coulisse au niveau du collet de chaque plant.

Tableau 7. 21 : Diamètre moyen des tiges en (cm):

	T ₁ F	T ₃ BF	T ₄	T ₄ BF	T ₄ F	T ₃ B	T ₃ F	T ₄ B	T ₁	T ₃
Prélèvement 01	0,32 ± 0,00 B	0,32 ± 0,05 b	0,42 ± 0,07 a	0,42 ± 0,05 a	0,43 ± 0,05 a	0,29 ± 0,05 b	0,32 ± 0,00 b	0,40 ± 0,04 A	0,29 ± 0,05 b	0,32 ± 0,00 b
Prélèvement 02	0,33 ± 0,03 c	0,37 ± 0,04 b	0,45 ± 0,07 a	0,43 ± 0,04 a	0,46 ± 0,07 a	0,30 ± 0,04 c	0,33 ± 0,03 c	0,47 ± 0,05 A	0,31 ± 0,03 c	0,37 ± 0,06 b
Prélèvement 03	0,37 ± 0,05 bc	0,39 ± 0,07 b	0,51 ± 0,04 a	0,47 ± 0,05 a	0,49 ± 0,05 a	0,33 ± 0,02 c	0,39 ± 0,05 b	0,52 ± 0,03 A	0,32 ± 0,04 c	0,35 ± 0,04 bc

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative (P<0,001).

Les mesures effectuées durant les trois prélèvements ont montré que les solutions salines corrigées à savoir (T₄, T₄B, T₄F, T₄BF) ont enregistré les

meilleurs diamètres par rapport aux témoins et aux solutions salines non corrigées (Tableau 7.21). Durant la première période, le meilleur diamètre est obtenu au niveau des plants alimentés par la solution saline corrigée associée au fertiactyl (T_4F) avec une valeur de 0.43cm. Pour les deux autres coupes, la solution saline corrigée associée à la bactérie (T_4B) a donné la meilleure performance.

Le test de Newman-Keuls ($\alpha = 5\%$) classe les solutions salines naturelles non corrigées (T_3 , T_3B , T_3F , T_3BF) et les témoins (T_1 , T_1F) durant la première coupe dans le même groupe homogène (b) donc les résultats sont statistiquement homogènes. Durant la deuxième et la troisième période, les solutions salines non corrigées (T_3BF) ont donné des résultats supérieurs aux solutions salines non corrigées (T_3B , T_3F) et aux témoins (T_1 , T_1F) classés dans le même groupe (c).

Le témoin T_1F (eau de Blida +fertiactyl+ bactérie) a enregistré une valeur supérieure à la solution T_3B et au témoin T_1 durant la troisième période.

Les carences en éléments essentiels provoquent d'abord l'arrêt de la croissance des tissus jeunes, puis rapidement cet état de déficience s'uniformise dans les différents organes. Il en résulte des troubles des fonctions de la plante, entraînant inévitablement un ralentissement et un retard de croissance avec apparition de phénomène de plasmolyse aboutissant ainsi à la formation de tiges moins rigides et donc peu développées. [123, 124,8].

7.1. 4 Nombre des feuilles:

Ce comptage est réalisé au niveau de chaque plant au moment de prélèvements.

Tableau 7. 22 : Nombre des feuilles :

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative ($P < 0,001$).

Pour ce qui est du nombre des feuilles (Tableau 7.22), les meilleures

	T ₁ F	T ₃ BF	T ₄	T ₄ BF	T ₄ F	T ₃ B	T ₃ F	T ₄ B	T ₁	T ₃
Prélèvement 01	5,50 ± 0,53 b	6,00 ± 0,82 b	11,90 ± 2,42 a	11,50 ± 1,78 a	12,40 ± 1,58 a	5,00 ± 0,00 b	6,60 ± 1,35 b	12,30 ± 1,70 a	4,90 ± 0,57 b	5,10 ± 0,32 b
Prélèvement 02	7,80 ± 1,14 cd	8,20 ± 0,63 cd	21,80 ± 5,88 b	23,10 ± 2,77 b	21,90 ± 1,91 b	6,10 ± 0,30 d	9,40 ± 1,43 c	25,80 ± 2,43 a	5,90 ± 1,52 d	6,10 ± 0,32 d
Prélèvement 03	12,50 ± 1,90 c	12,00 ± 2,00 c	38,80 ± 5,29 a	31,90 ± 8,71 b	33,00 ± 4,76 b	9,50 ± 1,84 c	12,10 ± 1,60 c	33,30 ± 4,92 b	9,00 ± 1,41 c	8,20 ± 1,48 c

performances sont toujours enregistrées par les solutions salines corrigées (T₄, T₄B, T₄F, T₄BF) avec un nombre de feuilles le plus élevé dont le traitement (T₄F) avec 12,40 feuilles, suivi de (T₄B) avec une valeur de 12,30 au niveau de la première période; les témoins et les solutions salines non corrigées sont classées dans le même groupe homogène (b). Au niveau du deuxième prélèvement, la solution T₄B (corrigée associée à la bactérie) a enregistré une valeur de 25,80 supérieure à celles enregistrées par les autres solutions salines corrigées.

La solution saline non corrigée associée au fertiactyl (T₃F) a enregistré une valeur de 9,40 supérieure aux autres solutions salines naturelles et aux témoins. La solution saline (T₃B) et le témoin (T₁F) ont donné les valeurs respectives de 8,20 et 7,80 supérieures aux deux autres solutions salines naturelles (T₃ et T₃B) et au témoin (T₁) qui sont classés dans les mêmes groupes (d).

Par contre au niveau du troisième prélèvement, la solution saline corrigée seule (T₄) a donné une meilleure performance de 38,80 feuilles par rapport aux autres traitements associés à la bactérie et au fertiactyl (T₄B, T₄BF, T₄F). Les solutions salines non corrigées n'ont donné aucune performance car le test de

Newman-Keuls ($\alpha = 5\%$) les a classé dans le même groupe homogène (c) que les témoins (T_1 et T_1F).

Selon DIEHIL [83], ce résultat est dû au calcium qui joue un rôle d'antagoniste en empêchant l'absorption du magnésium, du potassium et même du phosphore et d'autres oligo-éléments tel que le zinc, le fer et le manganèse, se traduisant ainsi par un arrêt de photosynthèse et aboutissant au phénomène de chlorose. Ainsi, on observe une réduction du nombre de feuilles au niveau des plantes.

7.1. 5 Poids frais total de la partie aérienne :

Le poids frais total (feuille+tige) est pesé au niveau de chaque plant au moment de chaque prélèvement.

Tableau 7.23 : Poids frais total de la partie aérienne en (g) :

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative ($P < 0,001$).

L'estimation du poids frais total de la partie aérienne a révélé une

	T ₁ F	T ₃ BF	T ₄	T ₄ BF	T ₄ F	T ₃ B	T ₃ F	T ₄ B	T ₁	T ₃
Prélèvement 01	3,34 ± 0,35 b	4,00 ± 0,82 b	11,22 ± 2,74 a	11,94 ± 2,27 a	11,37 ± 1,19 a	2,91 ± 0,50 b	4,24 ± 1,22 b	11,59 ± 2,24 a	2,51 ± 0,28 b	3,17 ± 0,24 b
Prélèvement 02	6,03 ± 1,05 cd	7,70 ± 1,00 cd	35,97 ± 11,42 d	40,11 ± 4,34 a	40,68 ± 3,67 a	4,53 ± 0,49 cd	9,36 ± 2,27 c	42,28 ± 3,24 a	3,63 ± 1,40 d	4,27 ± 0,57 cd
Prélèvement 03	13,61 ± 1,52 bc	17,04 ± 3,32 b	103,66 ± 13,76 a	89,32 ± 26,31 a	101,90 ± 15,71 a	6,59 ± 1,38 c	16,77 ± 2,14 b	101,25 ± 25,18 a	4,10 ± 1,03 c	5,55 ± 0,62 c

augmentation des poids durant les trois périodes pour les solutions salines corrigées (T₄, T₄B, T₄F, T₄BF) (Tableau 7.23). La plus haute valeur a été enregistrée par le traitement bactérisé additionné au fertiactyl (T₄BF) avec une valeur de 11,94g au niveau du premier prélèvement. Par contre, au niveau du second prélèvement c'est le traitement (T₄B) qui manifeste une biomasse fraîche totale égale à 42,28g tandis qu'au niveau du 3^{ème} prélèvement, c'est le traitement T₄ qui produit le paramètre le plus élevé à savoir 103,66g par plante. En effet, la correction de l'eau saline a un effet bénéfique sur la croissance du concombre, parce qu'elle fournit tous les éléments nécessaires aux besoins des plantes à des proportions convenables. CARMER (1994).

Comparativement aux témoins (T₁, T₁F), les solutions salines naturelles (T₃, T₃B, T₃F, T₃BF) n'ont enregistré aucune augmentation du poids frais total car le test de Newman-Keuls ($\alpha = 5\%$) a classé les données dans le même groupe (b) durant la première période.

Pour la deuxième période, la solution saline naturelle associée au fertiactyl (T_3F) a enregistré une valeur de 9,36g par rapport aux autres solutions salines naturelles et aux témoins.

Les solutions salines non corrigées à savoir celles d'une part associées à la bactérie CHAO et au fertiactyl (T_3BF) et celles associées au fertiactyl seul (T_3F) d'autre part, ont donné une valeur de 17,04g et 16,77g supérieures aux autres traitements salins naturels T_3 et T_3B et aux témoins T_1 et T_1F au niveau du troisième prélèvement. Par contre le témoin bactérisé associé au fertiactyl (T_1F) a donné une valeur de 13,61g supérieure à celles des solutions salines naturelles T_3B et T_3 et qui sont de (6,59g et 5,55g) respectivement et celle du témoin T_1 avec 4,10g seulement.

La diminution de la croissance est une réponse à la déshydratation. Elle contribue à la conservation des ressources en eau, ce qui permet la survie de la plante. [125].

7.1. 6 Poids frais des feuilles :

Le poids frais des feuilles est pesé au niveau de chaque plan au moment de chaque prélèvement.

Tableau 7. 24 : Poids frais des feuilles en (g):

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative ($P < 0,001$).

	T ₁ F	T ₃ BF	T ₄	T ₄ BF	T ₄ F	T ₃ B	T ₃ F	T ₄ B	T ₁	T ₃
Prélèvement	2,33	2,85	8,14	8,67	2,28	2,08	3,02	8,49	1,69	2,16
01	± 0,28 b	± 0,65 b	± 1,99 a	± 1,51 a	± 1,81 a	± 0,27 b	± 0,82 b	± 1,60 a	± 0,24 b	± 0,19 b
Prélèvement	4,28	5,42	25,12	27,58	27,98	3,09	6,28	29,96	2,55	2,96
02	± 0,68 c	± 0,54 c	± 8,01 b	± 3,51 ab	± 3,81 ab	± 0,36 c	± 1,38 c	± 2,53 a	± 0,94 c	± 0,40 c
Prélèvement	9,63	10,70	68,44	57,13	67,53	4,45	10,20	63,44	2,83	3,60
03	± 1,10 b	± 2,63 b	± 9,09 a	± 18,10 a	± 10,46 a	± 1,01 c	± 1,86 b	± 26,84 a	± 0,68 c	± 0,32 c

Les mesures effectuées révèlent que la solution saline équilibrée associée à la bactérie CHAO et au fertiactyl (T₄BF) a enregistré une valeur maximale de 8,67g durant la première période. Au cours de la deuxième période, c'est la solution nutritive équilibrée associée à la CHAO uniquement (T₄B) qui a donnée la plus haute valeur estimée à 29,60g. Enfin au niveau de la troisième période, la solution nutritive équilibrée seule (T₄) a donné un poids frais de feuilles de 68,44g (Tableau 7.24). CHENNAOUI [126] a enregistré des résultats similaires par la biostimulation du concombre avec la souche CHAO au niveau de la biomasse aérienne des plants.

Le test Newman-Keuls ($\alpha = 5\%$) durant la deuxième période classe les solutions salines (T₃, T₃B, T₃BF, T₃F) dans un même groupe homogène (c) avec une valeur maximale du traitement (T₃F) de 6,28g qui se rapproche de celle du témoin T₁F (4,28g).

Les résultats obtenus durant la troisième période sont comparables à ceux obtenus au niveau du poids frais total, car les traitements T₃BF (10,70g), T₃F (10,20g) et le témoin T₁F (9,63g) sont supérieurs aux traitements salins naturels T₃B (4,45 g) et T₃ (3,60 g) et le témoin T₁ (2,83g) qui sont classés dans un même

groupe (c). Selon MAILLARD (2001), les ions sodium et de chlorures peuvent être adsorbés par les racines et s'accumuler dans les feuilles. Dès lors, ces ions peuvent provoquer les brûlures et le jaunissement prématuré des feuilles.

De nombreux travaux mettent en évidence la contribution des *Pseudomonas* spp fluorescent dans l'amélioration de l'alimentation minérale des plantes essentiellement pour le fer, le phosphore et le manganèse [104, 127, 118, 106].

7.1.7 Poids frais des tiges :

Le poids frais des tiges est pesé au niveau de chaque plant au moment de chaque prélèvement.

Tableau 7.25 : Poids frais des tiges en (g) :

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative ($P < 0,001$).

Les poids frais des tiges (Tableau 7.25) montrent que la solution saline

	T_{1F}	T_{3BF}	T₄	T_{4BF}	T_{1F}	T_{3B}	T_{3F}	T_{4B}	T₁	T₃
Prélèvement 01	1,01 ± 0,18 bc	1,15 ± 0,24 bc	3,07 ± 0,77 ab	3,21 ± 0,77 a	3,04 ± 0,45 ab	0,92 ± 0,13 bc	1,20 ± 0,39 bc	3,06 ± 0,65 ab	0,78 ± 0,13 c	0,98 ± 0,28 bc
Prélèvement 02	1,73 ± 0,38 cd	2,31 ± 0,41 cd	10,65 ± 3,44 b	12,50 ± 1,14 a	12,60 ± 1,98 a	1,43 ± 0,17 cd	3,01 ± 0,88 c	12,26 ± 1,00 a	1,09 ± 0,47 d	1,27 ± 0,18 d
Prélèvement 03	3,81 ± 0,45 c	6,08 ± 1,10 c	35,25 ± 5,37 ab	30,51 ± 9,62 b	34,37 ± 6,18 ab	2,14 ± 0,43 c	5,98 ± 1,18 c	38,19 ± 12,29 a	1,25 ± 0,36 c	1,85 ± 0,27 c

équilibrée associée à la CHAO et au fertiactyl (T4BF) durant la première coupe a donné le paramètre mesuré le plus élevé (3,21g)

Au niveau de la seconde coupe ou prélèvement, la solution saline équilibrée associée au fertiactyl (T4F) a enregistré un poids de 12,60g. Enfin au niveau de la troisième période, c'est la solution saline équilibrée associée à la bactérie (T4B) qui a donné le plus grand poids frais de tiges à savoir 38,19g.

Les plants alimentés par les solutions salines naturelles (T₃, T_{3B}, T_{3BF}, T_{3F}) produisent des poids de tige statistiquement similaires à ceux des témoins (T₁, T_{1F}) au niveau du premier prélèvement. Au second prélèvement, le poids frais de la solution saline naturelle associée au fertiactyl (T_{3F}) est supérieure aux autres solutions salines naturelles (T₃, T_{3B}, T_{3BF}) et aux témoins T₁ et T_{1F}.

7.1. 8 Poids sec des feuilles :

Le poids sec des feuilles est obtenu par séchage des organes végétaux à l'étuve à 70°C jusqu'à stabilisation des poids.

Tableau 7. 26: Poids sec des feuilles en (g) :

Prélèvement	0,42 ± 0,05 bc	0,47 ± 0,10 bc	0,92 ± 0,23 a	0,98 ± 0,17 a	0,95 ± 0,09 a	0,37 ± 0,05 c	0,54 ± 0,15 b	1,06 ± 0,20 A	0,34 ± 0,05 c	0,41 ± 0,03 bc
Prélèvement	0,77 ± 0,12	0,90 ± 0,09	2,33 ± 0,74	2,81 ± 0,36	2,66 ± 0,36	0,53 ± 0,06	1,03 ± 0,23	3,17 ± 0,27	0,53 ± 0,20	0,60 ± 0,09
	T₁F	T₁BF	T₄	T₄BF	T₄F	T₃B	T₃F	T₄B	T₁	T₃
Prélèvement	2,22 ± 0,45 B	2,12 ± 0,52 b	7,46 ± 0,99 a	6,99 ± 1,99 a	7,40 ± 1,15 a	0,96 ± 0,22 c	2,20 ± 0,40 b	7,68 ± 3,25 A	0,70 ± 0,17 c	0,82 ± 0,07 c

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative ($P < 0,001$).

Pour le poids sec des feuilles, les solutions salines équilibrées à savoir (T₄, T₄B, T₄F, T₄BF) ont enregistré les meilleures performances par rapport aux solutions salines naturelles (T₃, T₃B, T₃BF, T₃F) et aux témoins (T₁, T₁F) (Tableau 7.26). Les valeurs les plus élevées sont celles enregistrées par la solution saline équilibrée et bactériisée par CHAO à savoir (T₄B) au niveau des trois périodes.

Durant la première et la deuxième coupe, la solution saline naturelle associée au fertiactyl (T₃F) a enregistré un poids supérieur par rapport aux autres solutions salines (T₃, T₃B, T₃BF) et aux témoins (T₁, T₁F). Par contre au niveau du troisième prélèvement, c'est le traitement témoin T₁F (eau de Blida associée à CHAO et au fertiactyl) qui a enregistré la meilleure valeur par rapport à toutes les solutions salines non corrigées (T₃, T₃B, T₃BF, T₃F) et au témoin (T₁).

7.1. 9 poids sec des tiges :

Le poids sec des tiges est obtenu par séchage des organes végétaux à l'étuve à 70°C jusqu'à stabilisation des poids.

Tableau 7. 27: Poids sec des tiges en (g) :

Prélèvement 01	0,08 ± 0,01 b	0,08 ± 0,02 b	0,21 ± 0,05 a	0,22 ± 0,05 a	0,20 ± 0,03 a	0,07 ± 0,01 b	0,09 ± 0,03 b	0,31 ± 0,29 a	0,07 ± 0,01 b	0,08 ± 0,02 b
Prélèvement 02	0,12 ± 0,03 c	0,15 ± 0,03 c	0,71 ± 0,23 b	0,82 ± 0,08 a	0,81 ± 0,13 a	0,09 ± 0,01 c	0,20 ± 0,06 c	0,85 ± 0,07 a	0,09 ± 0,04 c	0,10 ± 0,02 c
Prélèvement 03	0,47 ± 0,06 b	0,60 ± 0,11 b	3,04 ± 0,47 a	2,81 ± 0,89 a	3,03 ± 0,58 a	0,21 ± 0,04 b	0,64 ± 0,13 b	3,37 ± 1,09 a	0,13 ± 0,04 c	0,17 ± 0,03 c

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative ($P < 0,001$).

Les résultats obtenus par les poids sec des tiges sont similaires à ceux obtenus au niveau des poids sec des feuilles, la valeur la plus élevée est celle enregistrée par la solution saline équilibrée bactériisée par CHAO (T4B) au niveau des trois coupes.

Durant la première période, les résultats obtenus par les solutions salines naturelles (T₃, T₃B, T₃BF, T₃F) et ceux obtenus par les témoins (T1, T1F) sont statistiquement uniformes car ils sont classés dans le même groupe homogène (b) (Tableau 7.27). Le témoin (T1F) a donné une performance supérieure à celle des deux solutions salines naturelles (T₃B, T₃) et au témoin (T1) durant les deux dernières périodes.

7.1. 10 Poids sec total de la partie aérienne :

Le poids sec total (feuilles + tiges) de la partie aérienne est obtenu par séchage des organes végétaux à l'étuve à 70°C jusqu'à stabilisation des poids.

Tableau 7. 28: Poids sec de la partie aérienne en (g) :

	T ₁ F	T ₁ BF	T ₄	T ₄ BF	T ₄ F	T ₃ B	T ₃ F	T ₄ B	T ₁	T ₃
Prélèvement 01	0.50 ± 0.05 bc	0.54 ± 0.12 bc	1.13 ± 0.28 a	1.19 ± 0.22 a	1.15 ± 0.12 a	0.43 ± 0.06 bc	0.63 ± 0.13 b	1.27 ± 0.24 a	0.41 ± 0.05	0.49 ± 0.05 bc
Prélèvement 02	0.89 ± 0.15 def	1.04 ± 0.12 de	3.09 ± 0.98 c	3.62 ± 0.41 b	3.47 ± 0.34 b	0.55 ± 0.08 F	1.22 ± 0.28 d	4.05 ± 0.39 a	0.62 ± 0.24 ef	0.69 ± 0.10 ef
Prélèvement 03	2.80 ± 0.32 b	2.72 ± 0.58 b	10.30 ± 1.66 a	9.64 ± 3.20 a	10.43 ± 1.63 a	1.19 ± 0.23 b	2.41 ± 1.60 b	10.96 ± 3.06 a	0.83 ± 0.21 b	1.00 ± 0.08 b

L'analyse de la variation a révélé une différence très hautement significative ($p < 0.001$)

Comme pour le poids sec des feuilles et des tiges, le poids sec total a enregistré une meilleure performance de poids au niveau du traitement T₄B (solution saline corrigée associée à la bactérie) durant les 3 périodes.

La solution saline naturelle non corrigée associée au fertiactyl (T₃F) a donné une valeur supérieure par rapport aux traitements salins (T₃, T₃B, T₃BF) et aux témoins (T₁ et T₁F) durant la première et la deuxième période. Enfin, au niveau de la dernière coupe, le témoin T₁F a donné une valeur supérieure à celles enregistrées par toutes les solutions salines naturelles (T₃, T₃B, T₃F, T₃BF) et à celle du témoin (T₁), à savoir 2.80 g (Tableau 7.28).

En revanche, la salinité au niveau des solutions salines naturelles, provoque la réduction de la matière sèche totale .A cet effet, la plante doit réguler strictement la pénétration des ions à travers les racines pour empêcher une accumulation trop rapide des ions au niveau aérien ; ceci conduit à une concentration du déficit hydrique [125].

7.1. 11 Taux de matière sèche des feuilles :

Le taux de matière sèche est exprimé en pourcentage d'un rapport poids sec sur poids frais :

Poids sec des feuilles

_____ × 100 = Taux de matière sèche des feuilles
Poids frais des feuilles

Tableau 7. 29: Taux de matière sèche des feuilles (%):

	T ₁ F	T ₃ BF	T ₄	T ₄ BF	T ₄ F	T ₃ B	T ₃ F	T ₄ B	T ₁	T ₃
Prélèvement 01	18.16 ± 0.14 ab	16.34 ± 0.14 ab	11.31 ± 0.04 bc	11.25 ± 0.04 bc	12.40 ± 0.10 abc	17.11 ± 0.51 ab	17.82 ± 0.13 ab	12.48 ± 0.04 abc	20.00 ± 0.00 a	18.89 ± 0.17 ab
Prélèvement 02	17.87 ± 0.07 c	16.59 ± 0.07 d	9.43 ± 0.01 j	10.16 ± 0.01 h	9.51 ± 0.01 i	16.08 ± 0.07 f	16.34 ± 0.06 e	10.57 ± 0.01 g	20.87 ± 0.16 a	20.15 ± 0.16 b
Prélèvement 03	24.12 ± 0.03 b	19.84 ± 0.02 e	10.90 ± 0.01 i	11.53 ± 0.01 g	10.95 ± 0.01 h	21.57 ± 0.09 d	21.56 ± 0.03 d	12.10 ± 0.01 f	24.72 ± 0.10 a	22.85 ± 0.09 c

D'après l'analyse de la variance du taux de matière sèche des feuilles, la différence est très hautement significative ($p < 0.001$).

Le taux le plus élevé est enregistré par le témoin T₁ (eau de Blida + CHAO) au niveau des trois coupes par rapport aux solutions salines équilibrées (T₄, T₄B, T₄F, T₄BF) et aux solutions salines naturelles (T₃, T₃B, T₃F, T₃BF) .

La solution saline naturelle (T₃) semble meilleure par rapport aux autres solutions brutes (T₃B, T₃F, T₃BF) (Tableau 7.29).

7.1. 12 Taux de matière sèche des tiges :

Le taux de la matière sèche est exprimé en pourcentage d'un rapport poids sec sur poids frais :

Poids sec des tiges

_____ × 100 = Taux de matière sèche des tiges
Poids frais des tiges

Tableau 7.30: Taux de matière sèche des tiges (%):

	T ₁ F	T ₃ BF	T ₄	T ₄ BF	T ₄ F	T ₃ B	T ₃ F	T ₄ B	T ₁	T ₃
Prélèvement 01	7.62 ± 0.29 d	6.57 ± 0.36 gh	6.74 ± 0.15 g	6.73 ± 0.03 h	6.53 ± 0.03 h	7.74 ± 0.12 c	7.34 ± 0.29 e	6.86 ± 0.08 f	8.58 ± 0.27 a	8.06 ± 0.32 b
Prélèvement 02	7.15 ± 0.22 c	6.31 ± 0.18 e	6.67 ± 0.88 de	6.54 ± 0.02 de	6.42 ± 0.03 e	6.49 ± 0.12 de	6.53 ± 0.12 de	6.91 ± 0.02 cd	7.94 ± 0.49 a	7.58 ± 0.25 b
Prélèvement 03	12.41 ± 0.08 a	9.82 ± 0.04 d	8.61 ± 0.01 f	9.29 ± 0.01 e	8.81 ± 0.71 f	10.00 ± 0.00 cd	10.78 ± 0.05 b	8.82 ± 0.01 f	10.18 ± 0.28 c	9.45 ± 0.09 e

L'évaluation du taux de la matière sèche des tiges a révélé une différence très hautement significative ($p < 0.001$).

Le traitement T₁ (eau de Blida + CHAO) a donné le taux le plus élevé par rapport à toutes les autres solutions durant la première et la deuxième période, par contre au niveau de la troisième période c'est le témoin T₁F (eau de Blida + CHAO + fertiactyl) qui a donné le taux de matière sèche le plus élevé avec 12.41% (Tableau 7.30).

La solution saline naturelle non corrigée (T₃) a enregistré le taux le plus élevé par rapport aux autres solutions saline naturelles et celles corrigées pour les deux premières périodes. En fin, au niveau du dernier prélèvement, c'est la solution saline naturelle associée au fertiactyl (T₃F) qui a enregistré le taux le plus élevé avec 10,78% comparativement aux autres solutions salines naturelles et corrigées.

7.1. 13 Taux de matière sèche total :

Le taux de matière sèche est exprimé en pourcentage d'un rapport poids sec sur poids frais.

$$\frac{\text{Poids sec total}}{\text{Poids frais total}} \times 100 = \text{Taux de matière sèche total}$$

Tableau 7.31: Taux de matière sèche total (%):

	T ₁ F	T ₃ BF	T ₄	T ₄ BF	T ₄ F	T ₃ B	T ₃ F	T ₄ B	T ₁	T ₃
Prélèvement 01	14,98 ± 0.48 c	13,51 ± 0.38 E	10.05 ± 0.11 g	9.99 ± 0.09 g	10.24 ± 0.35 g	14.46 ± 0.42 d	14.77 ± 0.32 cd	10.96 ± 0.07 f	16.11 ± 0.84 a	15.68 ± 0.41 b
Prélèvement 02	14.77 ± 0.18 c	13.50 ± 0.15 d	8.57 ± 0.05 f	9.02 ± 0.11 ef	8.54 ± 0.14 f	13.70 ± 0.22 d	13.47 ± 2.18 d	9.50 ± 0.06 e	17.10 ± 0.28 a	16.21 ± 0.42 b
Prélèvement 03	20.52 ± 0.12 a	16.11 ± 0.63 c	9.91 ± 0.64 d	10.57 ± 1.33 d	10.22 ± 0.25 d	17.79 ± 0.47 bc	16.94 ± 1.88 c	10.80 ± 0.53 d	18.91 ± 4.33 b	17.96 ± 0.81 bc

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative entre les différents traitements ($p < 0.001$).

Comme pour le taux de la matière sèche des tiges, le taux de matière sèche totale a enregistré au niveau du premier et du deuxième prélèvement le taux le plus élevé et ce par le témoin T₁ (eau de Blida + CHAO) par rapport à tous les autres traitements, par contre au niveau du troisième prélèvement c'est le témoin T₁F (eau de Blida + fertiactyl+ CHAO) qui a enregistré la plus grande valeur avec 20.52% (Tableau 7.31).

On constate également que la solution saline naturelle non corrigée seule (T₃) durant les trois périodes a enregistré la meilleure performance par rapport aux autres solutions salines non corrigées (T₃B, T₃F, T₃BF) et aux solutions équilibrées (T₄, T₄B, T₄F, T₄BF).

7.1. 14 Longueur racinaire :

La longueur racinaire a été mesurée à chaque prélèvement après avoir dépoter les racines, secouées et lavées pour éliminer le gravier adhérent.

Tableau 7. 32: longueur racinaire en (cm):

	T ₁ F	T ₃ BF	T ₄	T ₄ BF	T ₄ F	T ₃ B	T ₃ F	T ₄ B	T ₁	T ₃
Prélèvement 02	29.85	32.30	27.85	23.90	27.85	27.15	26.00	24.82	29.60	30.00
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	2.51 ab	6.63 ab	6.63 ab	3.35 b	6.63 ab	3.35 ab	4.11 ab	5.10 B	2.55 ab	3.09 ab
Prélèvement 03	26.75	25.30	23.90	21.20	21.20	19.00	22.30	22.70	22.30	19.20
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	4.30 a	7.92 ab	5.47 ab	3.05 ab	6.27 ab	7.07 b	4.95 ab	4.19 ab	4.67 ab	3.39 ab

L'analyse de la variance relative à la longueur racinaire a révélé une différence hautement significative ($p < 0.001$).

La solution saline non corrigée associée au fertiactyl et bactérisée par CHAO (T₃BF) a donné la meilleure performance à savoir 32.30 cm au niveau du second prélèvement par rapport à toutes les autres solutions et aux témoins (Tableau 7.32). Par contre, durant la dernière période c'est le témoin T₁F qui a enregistré la plus grande valeur avec 26.75cm par rapport aux autres solutions et au témoin T₁ qui sont classés dans le même groupe homogène (ab) selon le test de Newman-Keuls ($\alpha = 5\%$).

7.1. 15 Poids frais des racines:

Le poids frais des racines est obtenu par pesée des racines après les avoir dépotés, secoués et lavés pour éliminer le gravier adhérent (Figure 7.10), à chaque prélèvement.

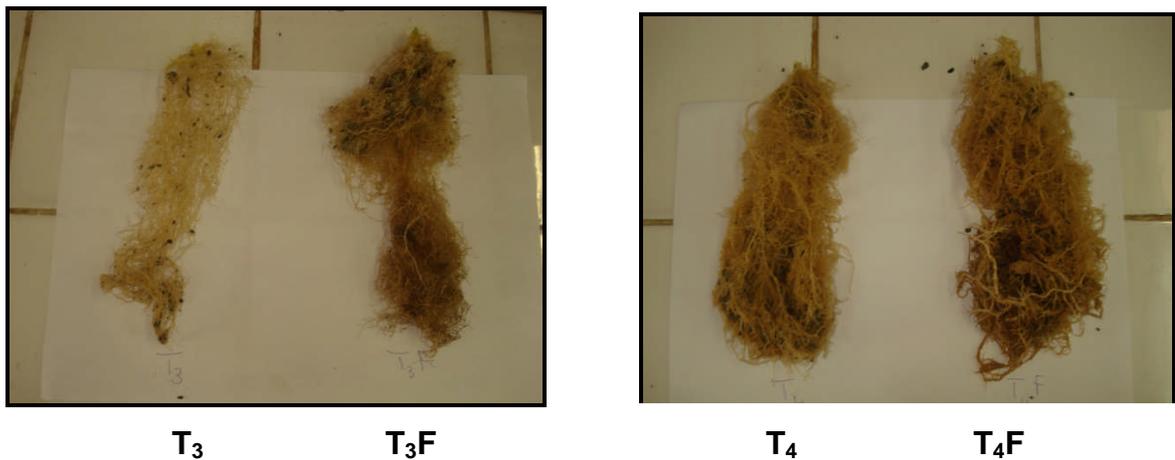


Figure 7.10: Système racinaire des différents traitements

Tableau 7.33 : Poids frais racinaire en (g):

Le poids frais racinaire d'après l'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative ($p < 0.001$).

Les poids les plus élevés sont enregistrés par les solutions salines corrigées (T_4 , T_4B , T_4F , T_4BF) avec une meilleure performance de 19.61g enregistrée par la

	T_1F	T_3BF	T_4	T_4BF	$T_4 F$	$T_3 B$	T_3F	$T_4 B$	T_1	T_3
Prélèvement 02	5.84	5.94	16.45	17.45	16.45	3.89	7.64	19.61	3.70	3.78
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	0.71	0.83	6.37	1.35	6.37	0.50	1.56	2.19	1.45	0.67
	b	b	a	a	a	b	b	a	b	b
Prélèvement 03	12.38	12.62	24.78	23.54	27.68	6.86	10.55	25.55	6.15	5.86
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	2.67	4.14	6.17	9.88	10.27	3.90	3.03	11.05	2.66	1.94
	b	B	a	a	a	b	b	a	b	b

solution saline corrigée bactériisée avec la souche CHAO à savoir (T_4B) au niveau de la deuxième période. Toujours durant la même période, la solution saline naturelle associée au fertiactyl (T_3F) a donné une meilleure valeur de 7.64g par rapport aux autres solutions salines (T_3 , T_3B , T_3BF) et aux témoins (T_1 et T_1F). Par contre, durant la troisième période et comparativement aux témoins et aux solutions salines brutes, les solutions salines corrigées ont données les meilleurs poids avec 27.68g comme meilleure valeur enregistrée par la solution corrigée associée au fertiactyl (T_4F). Parmi les solutions salines naturelles non corrigées, c'est la solution T_3BF (solution saline associée au fertiactyl et à la souche CHAO)

qui enregistre la meilleure performance avec 12.62g durant cette même période (Tableau 7.33).

Dans ce contexte, DUTHIL [128], note que la concentration élevée du sel dans le sol peut augmenter la pression osmotique qui devient égale ou dépasse celle de suc cellulaire des racines. Dans ce cas, le végétal subit un flétrissement temporaire qui peut devenir permanent en cas de déficit en eau.

7.1. 16 poids sec des racines :

Le poids sec des racines est obtenu par pesée des racines après les avoir dépotées, secouées et lavées pour éliminer le gravier adhérent, puis séchées à l'air libre jusqu'à stabilisation des poids.

Tableau 7.34: Poids sec des racines en (g):

	T ₁ F	T ₃ BF	T ₄	T ₄ BF	T ₄ F	T ₃ B	T ₃ F	T ₄ B	T ₁	T ₃
Prélèvement 02	0.73	0.61	2.56	1.82	2.10	0.25	0.25	2.91	0.43	0.47
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	0.33 d	0.24 D	0.97 ab	0.93 c	1.00 Bc	0.19 d	0.19 d	0.92 a	0.25 d	0.23 d
Prélèvement 03	1.53	0.91	2.00	1.51	2.73	0.16	0.66	2.96	0.43	0.43
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	1.22 bc	0.41 Bcd	0.72 Ab	0.97 bc	1.22 a	0.08 d	0.13 cd	2.35 a	0.18 cd	0.15 cd

L'analyse de la variance des poids sec racinaires a révélé une différence très hautement significative ($p < 0.001$).

La solution saline corrigée bactériisée par la souche CHAO (T₄B) a enregistré un poids sec supérieur aux autres solutions salines naturelles et corrigées ainsi qu'aux témoins durant les deux dernières périodes (Tableau 7.34). Parmi les solutions salines naturelles non corrigées, la solution saline bactériisée par la souche CHAO et associée au fertiactyl à savoir T₃BF a enregistré les valeurs respectives de 0,61 g et 0,91 g en cours des mêmes périodes.

7.2. Paramètre de production :

7.2. 1 Nombre de fleurs :

Ce comptage est réalisé au niveau de chaque plant au moment du prélèvement.

Tableau 7.35: Nombre des fleurs:

	T ₁ F	T ₃ BF	T ₄	T ₄ BF	T ₄ F	T ₃ B	T ₃ F	T ₄ B	T ₁	T ₃
Prélèvement 02	5.60 ± 2.67 d	6.80 ± 1.32 d	11.90 ± 5.09 bc	13.00 ± 3.02 B	16.60 ± 4.22 a	9.50 ± 3.44 cd	7.80 ± 2.25 d	16.60 ± 3.41 a	6.20 ± 2.20 d	8.00 ± 2.05 d
Prélèvement 03	3.70 ± 3.02 ab	3.70 ± 1.95 ab	6.30 ± 2.70 a	4.60 ± 3.06 ab	4.80 ± 2.10 ab	2.80 ± 1.69 b	2.10 ± 1.66 b	3.20 ± 1.81 ab	1.70 ± 1.57 b	1.40 ± 0.97 b

Concernant le nombre de fleurs, l'analyse de la variance a révélé une différence hautement significative ($p < 0.01$).

La solution saline corrigée associée au fertiactyl (T₄F) et celle associée à la souche bactérienne CHAO (T₄B) ont enregistré les meilleures performances au niveau de la seconde période par rapport à tous les autres traitements avec une valeur moyenne de 16.60 feuilles (Tableau 7.35). Toujours au niveau de la même coupe, la solution saline naturelle associée à la souche CHAO à savoir le traitement T₃B a donné une valeur supérieure par rapport aux autres solutions salines (T₃, T₃F, T₃BF) et aux témoins (T₁, T₁F) qui sont classés dans le même groupe homogène (d) selon le test de Newman-Keuls

($\alpha = 5\%$). En fin, durant le dernier prélèvement, c'est la solution saline équilibrée seule (T₄) qui a enregistré la meilleure valeur moyenne de 6.30 feuilles par rapport aux autres solutions.

Toujours au niveau de la dernière coupe, la solution saline naturelle bactérisée par CHAO et associée au fertiactyl (T₃BF) et le témoin (T₁F) ont enregistrés une valeur de 3.70 feuilles supérieur à celles enregistrées par les autres solutions salines (T₃, T₃B, T₃F) et le témoin (T₁) qui selon le test de Newman-Keuls ($\alpha = 5\%$) sont classées dans le même groupe homogène (b).

7.2. 2 Nombre de fleurs nouées :

Ce comptage est réalisé au niveau de chaque plant au moment du prélèvement.

Prélèvement 03	0.30	0.50	1.10	1.66	1.10	0.10	0.60	1.20	0.00	0.00
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	0.20	0.37	0.57	0.81	0.57	0.07	0.52	0.79	0.00	0.00
	b	Ab	a	a	a	b	ab	a	b	b

Au niveau du nombre des fruits l'analyse de la variance a montré une différence très hautement significative ($p < 0.001$).

Les solutions salines corrigées (T_4 , T_4B , T_4F , T_4BF) ont enregistré les meilleures performances avec la valeur la plus élevée de 1.66 fruits au niveau de la solution saline corrigée bactérisée avec la souche CHAO et associée au fertiactyl (T_4BF) (Tableau 7.37). Par contre au niveau des solutions salines, c'est la solution saline associée au fertiactyl (T_3F) qui a enregistré une meilleure valeur par rapport aux autres traitements salins naturels et au témoin (T_1F).

7.2. 4 Poids des fruits :

Le poids des fruits est obtenu par pesée des fruits de chaque plant au moment du prélèvement (Figure 7.11).



Figure 7.11 : Fruits des différents traitements

Tableau 7.38: Poids des fruits en (g):

	T ₁ F	T ₃ BF	T ₄	T ₄ BF	T ₄ F	T ₃ B	T ₃ F	T ₄ B	T ₁	T ₃
--	------------------	-------------------	----------------	-------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	----------------	----------------

Prélèvement 03	7.06	9.06	60.93	74.62	62.04	7.80	14.52	59.70	0.00	0.00
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	2.60	2.34	39.09	14.01	26.99	2.47	7.84	35.46	0.00	0.00
	b	B	a	a	a	b	b	a	b	b

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative ($p < 0.001$)

Concernant le poids des fruits, les traitements salins corrigés (T_4 , T_4B , T_4F , T_4BF) ont enregistré des poids plus élevés par rapport à ceux du témoin (T_1F) et des solutions salines naturelles non corrigées avec 74,62 g comme meilleure performance enregistrée par la solution saline corrigée bactérisée par la souche CHAO et associée au fertiactyl à savoir T_4BF . Aussi, la solution saline naturelle associée au fertiactyl T_3F a enregistré un meilleur poids à savoir 14,52 g que les autres solutions salines naturelles et les témoins qui sont classés dans le même groupe homogène (b) d'après le test de Newman-Keuls ($\alpha = 5\%$) (Tableau 7.38).

Cela est due certainement au fait que les solutions salines naturelles sont composées de sels tels que ($Mg\ So_4$, $Na\ Cl$, $K\ Cl$, $CaCl_2$), qui se trouvent à de fortes concentrations susceptibles d'influencer directement le poids frais des fruits. Les plantes issues des solutions salines corrigées présentent les meilleurs poids frais des fruits se qui peut s'expliquer par la présence de l'élément potassium en quantité appréciable dans ces solutions. Il est à noter que l'élément potassium favorise un bon développement végétatif et par conséquent accroît les organes de réserves ce qui permet une bonne production de fruit, [83].

7.2. 5 Taux d'avortement :

Les résultats relatifs aux taux de fleurs avortées par plantes sont présentées dans l'histogramme suivant.

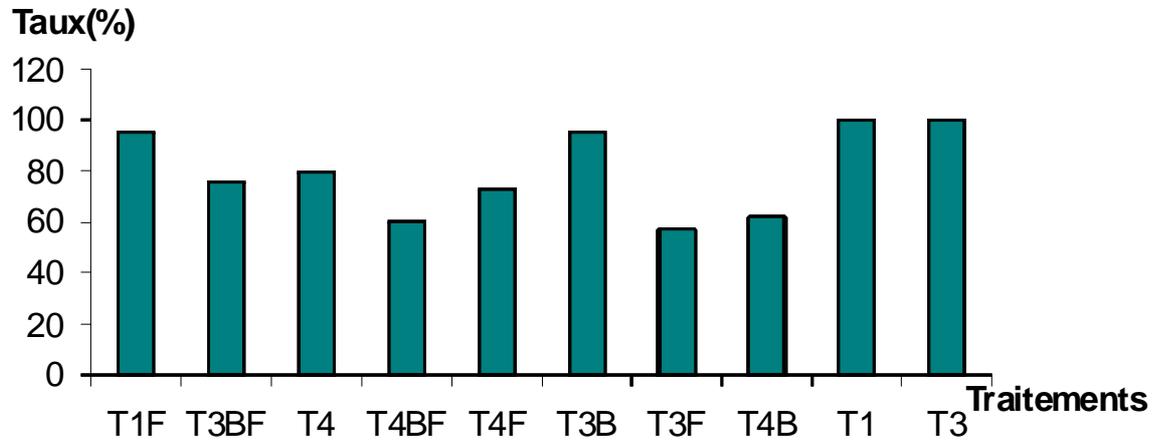


Figure 7.12: Taux d'avortement des fleurs

D'après la figure 7.12 ci-dessus, on constate que les plantes alimentées par la solution saline naturelle non corrigée (T_3) et le témoin (T_1) ont enregistré le taux d'avortement le plus élevé (100%), par contre, les solutions salines corrigées ont enregistrés les taux d'avortement les plus faibles avec une meilleure performance au niveau de la solution saline corrigée bactérisée par CHAO et associée au fertiactyl (T_4BF). Au niveau des solutions salines naturelles, les plants alimentés par le traitement (T_3F) ont enregistré le taux d'avortement le plus faible.

7.3. Taux d'absorption hydrominérale :

Le pourcentage d'absorption hydrominérale est obtenu par la relation suivante :

$$\frac{(\text{Volume donné} - \text{volume percolé})}{\text{Volume donné}} \times 100 = \text{Taux d'absorption}$$

Tableau 7.39: Taux d'absorption hydrominérale des plantes en (%) :

	T ₁ F	T ₃ BF	T ₄	T ₄ BF	T ₄ F	T ₃ B	T ₃ F	T ₄ B	T ₁	T ₃
Prélèvement 01	39,15	60,00	70,00	92,07	82,07	70,40	55,40	69,58	67,90	76,65
	± 3,43	± 1,58	± 4,74	± 1,70	± 5,55	± 3,09	± 4,33	± 1,82	± 2,65	± 1,82
	c	c	b	a	a	b	c	b	bc	b
Prélèvement 02	53,75	21,25	65,83	67,50	73,33	30,83	45,83	77,50	64,16	42,08
	± 5,00	± 1,11	± 5,47	± 5,00	± 3,76	± 2,50	± 6,45	± 2,23	± 5,97	± 7,74
	b	c	ab	ab	a	c	b	a	ab	b
Prélèvement 03	60,05	50,50	72,25	90,72	86,55	65,20	50,30	82,13	66,50	50,07
	± 7,86	± 3,36	± 4,81	± 1,68	± 2,30	± 0,48	± 4,51	± 6,46	± 7,17	± 4,57
	b	c	a	a	a	b	c	a	b	c

L'estimation du taux d'absorption hydrominérale a révélé que ce dernier est plus élevé au niveau des solutions salines équilibrées en raison de l'équilibre parfait des milieux alimentaires. Ces résultats sont similaires à ceux enregistrés par les travaux de [8] qui a constaté que ces milieux sont pourvus d'éléments minéraux indispensables à la croissance et au développement des plants. Aussi, on remarque que la solution saline corrigée bactériisée par la souche CHAO et associée au fertactyl (T₄BF) a enregistré le taux d'absorption hydrominérale le plus élevé au niveau du premier et du dernier prélèvement (Tableau 7.39). Par contre au niveau de la deuxième coupe c'est les plants de concombre alimentés par le traitement T₄B à savoir la solution saline corrigée bactériisée qui enregistre le taux d'absorption hydrominéral le plus accru.

Comparativement aux solutions salines corrigées, les solutions salines brutes ont enregistré les taux d'absorption les plus faibles en raison du

déséquilibre ionique des milieux et de l'absence de macro et micro éléments nutritifs utiles. Aussi, on peut constater que le témoin T₁ (eau de Blida + CHAO) a enregistré un taux d'absorption hydrominéral le plus élevé que les solutions salines non corrigées et que le témoin T₁F durant les deux dernières périodes, ce qui nous permet de conclure que la présence de la bactérie est plus bénéfique que le fertiactyl dans l'eau de Blida seul.

7.4. Discussion générale :

Les expérimentations réalisées dans ce présent travail, ont pour but de tester et d'évaluer les effets anti-stress de l'engrais liquide fertiactyl et la souche CHAO de *Pseudomonas fluorescens* sur une variété de concombre « super marketer » en milieu salin. L'essai expérimental effectué a révélé des modifications tant sur le plan croissance que sur le plan développement des plantes de concombre.

En effet, l'utilisation de solutions salines dans l'irrigation des plants a conduit à la limitation de leur croissance et leur développement qui a été mis en évidence à travers les différents paramètres étudiés (hauteur et diamètre des tiges, nombres de feuilles, poids frais et sec de la partie aérienne, poids frais et sec de la partie racinaire, nombre et poids des fruits), car au niveau des solutions salines naturelles T₃, T₃B, T₃F, T₃BF, la biomasse fraîche et sèche a été réduite ce qui a conduit à l'obtention de plants chétifs en raison du taux de salinité élevé des milieux nutritifs et de leur déséquilibre ionique dans la zone racinaire qui limite donc l'absorption hydrominérale par les plantes .

L'effet de la salinité sur la croissance des plantes a été mis en évidence par plusieurs travaux qui expliquent que le blocage de la croissance est due à l'inhibition de la photosynthèse au niveau des chloroplastes en particulier par l'accumulation du sodium et des chlorures au niveau des jeunes feuilles qui limitent le mouvement des stomates et de la photosynthèse [129, 130, 131].

Aussi, sur le plan développement, il a été remarqué que la salinité à eu des effets remarquables sur la production, voir même une inhibition au niveau des traitements T₃ et le témoin T₁ qui ont enregistré un taux d'avortement de 100%.

Les mêmes résultats ont été obtenus par plusieurs travaux et sur différentes cultures (poivron, tomate, concombre) et qui ont montré qu'un taux de salinité

élevé réduit le nombre des fleurs et donc le nombre et le poids des fruits des plants [132, 133,134, 135].

La correction de ces solutions salines naturelles a conduit à une augmentation significative de la croissance des plantes et ce au niveau de tous les paramètres étudiés. Cette augmentation est aussi remarquable sur le plan développement à travers le nombre et le poids des fruits produit.

Cette amélioration s'explique par l'équilibre ionique parfait entre les cations et les anions réalisé au niveau de ces solutions et par l'apport d'oligo-éléments nécessaires à la croissance et au développement des plantes [136, 8, 119].

L'adjonction du fertiactyl et de la souche bactérienne à la solution saline naturelle T₃ que ce soit individualisé ou associés au même temps a enregistré un gain remarquable au niveau des différents prélèvements. Il est à noter qu'au niveau du troisième prélèvement, le traitement T₃B a enregistré 42,49% de gain pour la hauteur des tiges par rapport au T₃. Aussi, le traitement T₃F a marqué les meilleurs gains au niveau de la hauteur des tiges et ce à travers les deux derniers prélèvements avec des gains respectifs de 83,98% et 251,53%. Ces gains sont plus appréciables au niveau de la solution T₃BF avec 260,63% pour le même paramètre étudié au niveau du troisième prélèvement.

En revanche, des inhibitions ou autrement dit absence d'accroissement ont été enregistrées par les traitements T₃F et T₃B au niveau de différents prélèvements pour les paramètres : poids frais total, poids sec total, longueur racinaire et le poids sec racinaire.

Le fertiactyl a eu donc une réaction positive sur la salinité au niveau racinaire grâce à ses composés organiques (acides humiques et fulviques, zéatines et glycinebétaine) qui ont un effet stimulant sur la croissance et un effet d'anti-stress sur les plantes cultivés [93]. Des résultats similaires ont été obtenus par [24].

L'association de la souche CHAO de *Pseudomonas fluorescens* à la solution saline T₃ a permis également d'améliorer la croissance des plants de concombre grâce a son effet stimulateur de la croissance . Plusieurs travaux ont démontré que la stimulation de la croissance des plantes par les PGPR (plant growth promoting rhizobacteria) est due principalement à leur capacité d'améliorer la nutrition minérale de ces espèces [137]. Aussi, il y a lieu de noter que certaines

souches de *Pseudomonas* fluorescent sont capables de solubiliser le phosphore organique qui sera absorbé par les plantes [138]. Les PGPR sont aussi capables de fixer l'azote atmosphérique et de le mettre ainsi à la disposition de la plante [139].

D'autres études ont démontré que plusieurs souches de *Pseudomonas*. Spp fluorescents stimulent la croissance des plantes par la production de phytohormones telles que : les auxines, cytokinines et les gébberillines [104]. Elles produisant aussi de l'acide indolacétique (IAA) [139] qui favorise le développement du système racinaire.

La production de sidérophores qui ont une grande capacité de se lier avec les ions ferriques (Fe^{3+}) [140], formant ainsi un complexe fer-sidérophore qui est facilement assimilable par les plantes, améliore l'alimentation de ces dernières en fer en condition de carences [141].

Les solutions salines corrigées ont enregistré une amélioration de la croissance au niveau de la partie aérienne et racinaire ainsi que des paramètres de production par rapport aux solutions salines naturelles.

Au niveau des deux premiers prélèvements le traitement T₄BF a enregistré les meilleurs gains pour la plupart des paramètres étudiés sauf pour la longueur racinaire où il y a eu une inhibition de la croissance au niveau des trois prélèvements. On constate ainsi que pour les deux premiers stades l'association du fertiactyl et de la CHAO a eu un effet plus remarquable que lorsqu'ils sont utilisés séparément.

Pour ce qui est du dernier prélèvement, on remarque c'est la solution T₄B qui a enregistré les meilleures performances des paramètres de croissance à l'exception de la hauteur des tiges. Ceci s'explique par l'effet bénéfique de la souche de CHAO seule à cette solution qui a amélioré la croissance des plantes grâce à son effet d'anti-stress [142].

Pour ce qui est des paramètres de production enregistrés au niveau de la troisième période qui correspond à la période de production et grossissement des fruits, on a constaté que c'est la solution T₄BF qui a enregistré la meilleure performance. Malgré les conditions ambiantes défavorables (excès de température) au développement des plantes de concombres, nous pouvons ainsi

dire que c'est l'addition du fertiactyl et de la souche bactérienne au même temps qui ont permis à la plante de lutter contre la salinité et la déshydratation cela grâce aux propriétés d'anti-stress du fertiactyl et de la présence de la CHAO [143].

Durant la période de production et de grossissement des fruits, l'absorption hydrominérale la plus importante a été enregistrée toujours par la solution T₄BF ce qui explique une meilleure production au niveau de ce traitement.

CONCLUSION

Notre travail a porté sur l'évaluation des effets du fertiactyl qui est un engrais liquide synthétique à qualité anti-stress et de la souche bactérienne de *Pseudomonas fluorescens* à savoir la CHAO stimulatrice de la croissance des plantes, sur une culture de concombre en condition saline.

L'étude des différents paramètres de croissance et de développement mesurés aux différents stades de culture à savoir (60 jours, 80 jours et 108 jours après semis) nous a permis de constater que l'utilisation des solutions salines naturelles dans l'irrigation des plantes de concombre limite considérablement la croissance de ces dernières. Ceci est dû essentiellement au taux de salinité élevé et au désordre ionique dans les milieux alimentaires naturels, ainsi qu'à l'absence des éléments nutritifs utiles pour leur croissance notamment l'azote, le phosphore et le potassium, ce qui a conduit à des taux d'avortement allant jusqu'à 100%.

L'addition du fertiactyl et de la CHAO à la solution saline naturelle a amélioré considérablement la croissance et le développement de ces plantes notamment à travers la plus part des paramètres étudiés où on a enregistré des gains appréciables allant jusqu'à 260,63% pour la hauteur des tiges et 207,02% pour le poids frais total. Ceci démontre que les effets bénéfiques du fertiactyl et de la souche bactérienne qui sont accentués par leur association conjuguée comparée à leur utilisation séparée.

La correction de la solution saline naturelle a amélioré considérablement les paramètres étudiés durant tous les stades de culture. Ceci est due principalement à l'équilibre ionique parfait réalisé au niveau de ces solutions et à la présence des macro et micro éléments utiles au développement du concombre.

Cet équilibre nutritionnel de la solution nutritive associé à l'effet anti-stress du fertiactyl et à l'effet phytostimulateur de la souche de *Pseudomonas fluorescens* a amélioré remarquablement la croissance et surtout la production de l'espèce étudiée, car on a constaté que la bactérisation du milieu nutritif sans l'addition du fertiactyl durant le dernier stade de culture a amélioré nettement bien les paramètres de croissance, qui s'explique par l'effet bénéfique de la CHAO dans la phytostimulation de la croissance végétale. Par contre pour ce qui est des paramètres de production et toujours durant le dernier stade de développement à

savoir 108 jours après semis, l'association du fertiactyl et de la souche bactérienne conjuguée à la solution naturelle corrigée, a permis aux plantes d'assurer une meilleure production en fruits grâce à l'amélioration de l'absorption hydrominérale de ces plantes.

L'utilisation des engrais liquides d'origine végétale dans l'alimentation des espèces cultivées en présence d'eau d'irrigation chargée en sel comme agent anti-stress doit être raisonné par le choix des doses et des fréquences pour la croissance de ces espèces.

L'association des PGPR comme agent phytostimulateur de la croissance des espèces cultivées en conditions de salinité est considéré comme un moyen de lutte contre la salinisation des sols agricoles et ceci dans le but de réduire l'utilisation des intrants chimiques qui accentuent ce phénomène.

C'est dans ce contexte que s'est inscrit notre travail et il est souhaitable d'approfondir ces recherches d'une part pour l'utilisation des grandes ressources en eau saline qu'il apparaît indispensable de valoriser et d'autre part, dans le but de leur utilisation non seulement à l'échelle expérimentale, mais aussi pour des applications pratiques à grande échelle et notamment dans les régions arides à semi-arides.

REFERENCES

1. Marlet, S., Vincent, B., Vidal, A., Bouarfa, S., Wu, J., Yang, J., N'Diaye, M.K., Kuper, M., Zimmer, D., "Gestion de l'eau et de la salinité et redistribution des sels dans les périmètres irrigués" International Commission on Irrigation and Drainage, Symposium R.12, (2005), 18p.
2. Dulormne, M., Muller, F., Gatibelza, A., Toribio, A., Planchette, C., Bâ, A., "Morphology and hydric behavior of *Pterocarpus officinalis* associated with a nitrogen-fixing bacteria, *Bradyrhizobium sp.*, and a mycorrhisic bushy fungus, *Glomus intraradices*, in saline and waterlogging conditions", Colloque international et pluridisciplinaire, sur « Les écosystèmes forestiers des Caraïbes, entre écologie et développement, de la connaissance fondamentale à la gestion durable, Martinique, (Décembre 2005).
3. Bandou, E., Lebailly, F., Muller, F., Dulormne, M., Toribio, A., Chabrol, J., Courtecuisse, R., Planchette, C., Prin, Y., Dreyfus, B., Bâ, A. M., "The ectomycorrhizal fungus *Scleroderma bermudense* alleviates salt stress in seagrass (*Coccoloba uvifera* L.) Seedlings", *Mycorrhiza*, V. 16, (2006), 559-565.
4. Dulormne, M., "Effet des contraintes abiotiques en forêt marécageuse, salinité et inondation, sur le fonctionnement hydrique, azoté, et carboné du *Pterocarpus officinalis* (Fabacée) ", (octobre, 2007).
5. Jabnoute, M., "Adaptation des plantes à l'environnement : Stress salin", (2007), 49p.
6. Martinez, S., et Morard, P., "Recyclage des solutions nutritives en culture hors-sol", Forum Graines de Chercheurs, ENSAT, Toulouse, (Mai, 2000).
7. Snoussi, S.A., et Halitim, A., "Valorisation des eaux salines pour la nutrition minérale des plantes cultivées", *Etude et Gestion des Sols*, 5, 4, (1998), 289 - 298.
8. Snoussi, S.A., "Valorisation des eaux salines pour la nutrition des plantes cultivées", Thèse Doctorat, INA El-Harrach, (2001), 152p.

9. Adam, A., "Elicitation de la résistance systémique induite chez la tomate et le concombre et activation de la voie de la lipoxygénase par des rhizobactéries non-pathogènes", Thèse Doctorat, Université de Liège, (2008), 165p.
10. Esitken, A., Karlidag, H., Ercisli, S., Sahin, F., "Effects of foliar application of *Bacillus subtilis* Osu 142 on the yield, growth and control of shot-hole disease (*Coryneum* blight) of apricot. *Gartenbauwissenschaft*, V. 67, n°4, (2002), 139–142.
11. Dobbelaere, S., Vanderleyden, J., Okon, Y., "Plant Growth-Promoting Effects of Diazotrophs in the Rhizosphere", *CRC Crit Rev, Plant Sci*, V. 22, n° 2, (2003), 107-149.
12. Cakmakci, R., Donmez, F., Aydin, A., Sahin, F., "Growth promotion of plants by plant growth-promoting rhizobacteria under greenhouse and two different field soil conditions", *Soil Biol. Biochem*, V. 38, n° 6, (2006), 1482-1487.
13. Lee, J.P., Lee, S.W., Kim, C.S., Son, J.H., Song, J.H., Lee, K.Y., Kim, H.J., Jung, S.J., Moon, B.J., "Evaluation of formulations of *Bacillus licheniformis* for the biological control of tomato gray mold caused by *Botrytis cinerea*", *Biol. Control*, V. 37, n° 3, (2006), 329 - 337.
14. Orhan, E., Esitken, A., Ercisli, S., Turan, M., Sahin, F., "Effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrient contents in organically growing raspberry", *Sci. Hortic*, V. 111, n° 1, (2006), 38-43.
15. Ramamoorthy, V., Viswanathan, R., Raguchander, T., Prakasam, V., Smaiyyappan, R., "Induction of systemic resistance by plant growth-promoting rhizobacteria in crop plants against pests and diseases", *Crop Prot*, 20, (2001), 1 - 11.
16. Stafford, W.H.L., Baker, G.C., Brown, S.A., Burton, S.G., Cowan, D.A., "Bacterial diversity in the rhizosphere of proteaceae species", *Environ Microbiol*, 11, (2005), 1175 – 1768.
17. Mayak, S., Tirosh, T., Glick, B.R., "Plant growth- promoting bacteria that confer resistance to water stress in tomato and pepper", *Plant Sci.*, 166, (2004), 525-530.
18. Saravanakumar, D., Samiyappan, R., "ACC deaminase from *Pseudomonas fluorescens* mediated saline resistance in groundnut (*Arachis hypogea*) plants", *Journal of Applied Microbiology*, 102, (2007), 1283-1292.

19. Yang, J., Kloepper, J.W., Ryu, C.M., "Rhizospher bacteria help plants tolerate abiotic stress", Trends in Plant Science, 638, (2008).
20. Medane, M., "Fertiactyl", Sofertal, Paris, (2001), 72p.
21. Snoussi, S.A., "Effet de variation des concentrations d'azote et de potassium d'une solution nutritive de base sur la tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) cultivée en système hydroponique", Thèse Magister, INA, El-Harrach, (1984), 115p.
22. Saridi, A.K., " 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", Thèse Ing, INES Blida, (2002), 77p.
23. Ait ouazzou, F., "Effet de l'utilisation d'un anti-stress foliaire le « Fertilader » sur la croissance et le développement de plants de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) variété Heinz (1370) cultivés en hors sol et dans des conditions salines", Thèse Ing., USD, Blida, (2004), 79p.
24. Moustfaoui, R., "Effet d'un anti-stress « Le Fertiactyl » en agriculture sous conditions salines", Thèse Magister, USD Blida, (2007), 100p.
25. Ameer, D., "Mise en évidence des effets bénéfiques de *Pseudomonas fluorescens* : biostimulation de la croissance du haricot en milieu salin. Activité antagoniste vis-à-vis de *Fusarium oxysporum* F.sp. *albidinis*", Thèse Ing. INES, Blida, (1998), 80p.
26. Haddadi, F., "Mise en évidence des effets bénéfiques de *Pseudomonas fluorescens* : biostimulation de la croissance de la tomate en milieu salin. Activité antagoniste vis-à-vis de *Fusarium oxysporum* f.sp. *licopersici* et *viticilium*", Thèse Ing. INES, Blida, (1998), 72p.
27. Benchabane, M., "Caractérisation des effets d'antagonisme microbien et de promotion de la crissance végétale de souches de *Pseudomonas* spp. fluorescents", Thèse Doctorat d'état, FSB-UTHB, Alger, (2005), 235p.
27. Brajeul, E., "Le concombre", Ed.Ctifl, (2001), 349p.
28. Gül, A., Kidoğlu, F., Anaç, D., "Effect of nutrient sources on cucumber production in different substrates", Scientia Horticulturae 113, (February, 2007), 216 – 220.
29. Kolev, N., " Les cultures maraîchères en Algérie ", Tome I, "légumes fruits", I.T.C.M.I. , Staouili, (1976), 6-33.
30. Chauv, C. et Foury, C., "Productions légumières", Tome III, "Légumineuses potagères, Légumes fruits", Technique et Documentation – Lavoisier, Paris, (1994), 563p.

31. FAO., "Food and Agriculture Organization", l'Organisation mondiale pour l'Alimentation et l'Agriculture, (1994).
32. FAO., "Food and Agriculture Organization", l'Organisation mondiale pour l'Alimentation et l'Agriculture, (2000).
33. MADR., "Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural", "La culture de concombre en Algérie", Alger, (2007), 10p.
34. Chaux, C., "Productions légumière", J.B. Ballière, Paris, (1972), 414p.
35. Skiredj, A., Elattir, H., Elfadi, A., "La culture du concombre", Inst. Agr. Vét., HassanII, (2005), 1-2.
36. Maynard, D.N., Hochmuth, G.J., "Knott's Handbook for vegetable growers", Ed. 4, John Wiley and sons, Inc, New York, (1997), 15-30.
37. Warrence, N., Bauder, J.W., Pearson, K.E., "Fondements de la salinité et des effets de la sodicité sur les propriétés physiques du sol", Université Bozeman d'état de Montana, (2002), 13p.
38. Ben Khaled, L., Gómez, A.M., Honrubia, M., Oihabi, A., "Effet du stress salin en milieu hydroponique sur le trèfle inoculé par le Rhizobium", Agronomie 23, (2003), 553-560.
39. Ben Mechlia, N., "Perspectives de valorisation de l'eau d'irrigation dans les pays du magreb", INRAT, Tunis, (2001), 9p.
40. Cheverry, C., et Bourrié, G., "La salinisation des sols", S.Gelin, INRA, (1995), 19p.
41. Eilers, R.G., Eilers, W.D., Pettapiece, W.W., Lelyk, G., "La santé de nos sols: salinisation du sol", (1991).
42. Mermoud, A., Musy, A., "Salinisation du sol depuis une nappe peu profonde : Stimulation de l'effet d'un abaissement de la nappe sur les remontées d'eau vers la surface", 42th. Int. Executive concil Meeting of ICID, China, (1991), 14. 1-9.
43. Ghassemi, F., Jakeman, A.J., Nix, H.A., "Salinisation of land and water resources", Sydney, (1995).
44. Hudson, N.W., "Soil and water conservation in semi-arid areas", Irrigation and drainage paper, F.A.O., n°57, Rome, (1987), 135p.
45. Miller, R.W et Donahue, R.L., "Les sols dans notre environnement", Ed.7, Prudence Hall, Englwood, (1995), 323p.

46. Ayers, R.S., Westcot, D.W., "La qualité de l'eau en agriculture", Bull. d'irrigation et de drainage, F.A.O. n° 29, Rome, (1976), 95-97.
47. Bukman, H.O. et Brady, N.C., "La nature et les propriétés des sols", MacMillan Company, New York, (1967).
48. Rhoades, J.D., Kandiah, A., Mashali, A.M., "The use of saline water for crop production", Irrigation and drainage paper, F.A.O, n°48, Rome, (1992), 140p.
49. Drouhin, G., "Expérience algérienne d'utilisation des eaux saumâtres pour l'irrigation avec référence particulières aux sols salins", UNESCO, Paris, (1961), 150p.
50. Rochdi, A., Lemsellek, J., Bousarhal, A., Rachidai, A., "Evaluation sous serre de la tolérance à la salinité de quelques porte-greffes d'agrumes: *Citrus aurantium* et deux hybrides de *Poncirus trifoliata* (*Poncirus* x *Citrus sinensis* et *Poncirus* x *Mandarinier sunki*)", Biotechnol. Agron. Soc. Environ., V. 9, n°1, (2005), 65-73.
51. Bauder, J.W., "Interprétation d'analyse chimiques de l'eau d'irrigation", Communication personnelle, Montana, (2001).
52. Bauder, J.W., et Brock, T.A., "Qualité de l'eau d'irrigation, amendement de sol et effet de récolte sur la lixiviation de sodium", Recherche et gestion des terres arides. 15, (2001), 101-113.
53. Hanson, B., Grattan, S.R., Fulton, A., "Salinité et drainage agricoles", Californie, (1999).
54. Barbour, M.G., Burk, J.H., Pitts, W.D., Gillian, F.S., Schwartz, M.N., "Phytoécologie terrestre", Californie, (1998).
55. Slama, F., "Transport de Na⁺ dans les feuilles et sensibilité des plantes à NaCl. Evaluation d'un effet piège au niveau des tiges", Agronomie. 11. Elsevier, INRA, (1991), 275-281.
56. Katerji, N., "Réponse des cultures à la contrainte hydrique d'origine saline", C. R. Acad. Fr. 81. (1995), 73-86.
57. Penningsfeld, A., Kurzmann, T., "Cultures sans sol, hydroponiques et sur tourbe", Ed. Maison Rustique, Paris, (1969), 219p.
58. Irigoyen, J.J., Emerich, D.W., Sanchez-Diaz, M., "Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants", Physiol. Plant. 84, (1992), 55-60.

59. Larher, F., Quemner, B., Hervochon, P., "L'ajustement osmotique pendant la vie végétative de *Cicer arietinum* L. cultivée en présence de chlorure de sodium", *Plant. Physiol.* 312, (1991), 55-61.
60. Flowers, T.J., Troke, P.F., Yeo, A.R., "The mechanism of salt tolerance in halophytes", *Annu. Rev. Plant physiol.* 28, (1977), 89-121.
61. Beltran, J.M., "Le sel de la terre: un danger pour la production vivrière", *Irrigation and drainage paper*, Rome, (1999).
62. Vitre, A., "Fondements et principes du hors-sol", *Doc V3.1, HRS 12, Ind A*, (2003), 10p.
63. Robin, P., "Horticulture sans sol : histoire et actualité", *Cahiers d'économie et sociologie rurale*, n° 46-47, (1998), 98-129.
64. Michaud, N. et Boudreau, M.E., "La culture hydroponique", *Agriculture Canada Publication*, Ottawa, (2001), 52p.
65. Thiault, J.F., "La maîtrise de la culture hors-sol", *Bulletin Détail*, n° 215, (novembre, 2004), ISSN 0758-4334.
66. Urban, L., "Introduction à la production sous serre", *Maison Rustique*, Paris, (1997), 180p.
67. Baille, M., Baille, A., Delmon, D., "Microclimate and transpiration of greenhouse rose crops", *Agricultural and Forest Meteorology*, 71, (1994), 83-97.
68. Blanc, D., "Les cultures hors-sol", *INRA*, Paris, (1987), 409p.
69. Zuang, H., et Musurd, M., "Les cultures sur substrat", *C.T.I.F.L*, Paris, (1987), 276p.
70. Lemaire, F., Dartigues, A., Riviere, L.M., Charpentier, S., "Cultures en pots et conteneurs. Principes agronomiques et applications", *Revue Horticole*, Paris-Limoges, *INRA-PHM*, (1989), 184p.
71. Brun, R., "Maîtrise de la nutrition des cultures florales en hors-sol sur substrat inerte", *The Pennsylvania State University Press*, (1989), 220p.
72. Lesaint, C., "Evolution de la fertilisation et de l'irrigation vers l'utilisation des solutions nutritives équilibrées. Evaluation de l'état actuel des techniques et perspectives", *Ed. INRA. Versailles*, (1974), 2-10.
73. Coïc, Y., "La culture sans sol", *Rev. Science et Vie*, hors série, n° 14, (1984), 68-75.

74. Binet, P., Brunel, J.P., "Physiologie végétale", Tome I, Ed. Doin, Paris, (1967), 238p.
75. Brun, R., Settembrino, A., "Le pilotage de la fertilisation des cultures hors-sol", Rev.P.H.M, (1994), 8-15.
76. Vilain, M., "La production végétale", Ed.2, V. 1, (Les composante de la production), Ed. J.B. Baillièrè, (1993), 438p.
77. Heller, R., "Biologie végétale II : Nutrition et métabolisme", Ed.Masson et Cie, Pris, (1969), 400p.
78. Lafon, J.P., Tharaud-Prayer, C., "Biologie des plantes cultivées", Ed.2, Ed. Lavoisier Tec. Et Doc., Paris, (1996), 233p.
79. Schvarts, C., "Guide de la fertilisation raisonnée", Ed.France agricole, Paris, (2005), 413p.
80. Skiredj, A., "Besoins des plantes en eau et en éléments nutritifs", Fertigation-s : guide pour améliorer la production des cultures, Rabat, (2006), 1-9.
81. Soltner, D., "Les bases de la production végétale", Tome II. Le sol, Coll. Sci. Agro, (1988), 453p.
82. Smirnov, P., Mouravine, E., Storojenko, V., Rakipov, N., "L'agrochimie", Mir, Moscou, (1977), 280p.
83. Diehil, R., "Agriculture générale", J.B. Baillièrè, Paris, (1975), 400p.
84. Heller, R., "Physiologie végétale", Tome I. Nutition, Ed. Masson et Cie, Paris, (1977), 332p.
85. Huguet, C., et Copenet, M., "Le magnésium en agriculture", Ed. INRA, (1992), 270p.
86. Musard, M., "Qualité de la tomate de serre : conduite de l'alimentation hydrominérale en culture sur substrat", C.T.I.F.L, Paris, (1990), 21-26.
87. Chouard, P., "Les cultures sans sol", Maison Rustique, Paris, (1952), 200p.
88. Loue, A., "Les oligo-éléments en agriculture", Agro-Nathan International, Paris, (1986), 339p.
89. Morris, R., Devitt, D., "Sampling and interpretation of landscape irrigation water", University of Nevada, Fact Sheet.02.91, (2007).

90. Morard, P., "Les cultures végétales en hors sol", Pub. Agris, Paris, (1995), 301p.
91. Eliard, J.L., "Manuel d'agriculture générale", J.B. Ballière, Pris, (1987), 310p.
92. Soltner, D., "Les bases de la production végétalr", Tome I : "Le sol et son amélioration", 22^{ème} Ed. Collection sciences et techniques agricoles, Maine-et-loire, (2000), 472p.
93. Medane, M., "Fertiactyl", Sofertal, Paris, (2001), 72p.
94. Buscot, F., "Microorganisms in soils: roles in genesis and functions", Germany, (2005), 3-18.
95. Barea, J.M., Pozo, M.J., Azcón, R., Azcón-Aguilar, C., "Microbial cooperation in the rhizosphere", *Journal of Experimental Botany*, V. 56, n° 417, (2005), 1761-1778.
96. Barea, J.M., Azcon, R., Azcon-Aguilar, C., "Mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria", Eds. *Plant surface microbiology*. Heidelberg, Germany, (2004), 351–371.
97. Brdgett, R.D, "The Biology of soil: A Community and Ecosystem", Oxford University Press, Oxford, (2005).
98. De Veries, F.T., Hoffland, E., Van Eckeren, N., Brussaard, L., Bloem, J., "Fungal/bacterial ratios in grasslands with contrasting nitrogen management", *Soil Biology and Biochemistry*, 38, (2006), 2092-2103.
99. Hogberg, M.N., Chen, Y., Hogberg, P., " Gross nitrogen mineralisation and fungi-to-bacteria ratios are negatively correlated in boreal forests", *Biology and Fertility of Soils*, 44, (2007), 363-366.
100. Denef, K., Bubenheim, H., Lenhart, K., Vermeulen, J., Van Cleemput, O., Boeckx, P., Muller, C., "Community shifts and carbon translocation within metabolically-active rhizospher microorganisms in grasslands under elevated CO₂", *Biogeosciences* 4, (2007), 769-779.
101. Denef, K., Roobroeck, D., Manimel Wadu, M.C.W., Lootens, P., Boeckx, P., "Microbial community composition and rhizodeposit-carbon assimilation in differently managed temperate grassland soils", *Soil Biology end Biochemistry* 41, (2009), 144-153.
102. Lynch, J.M., "The rhizopher", John Wiley and Sons Ltd, Chichester, (1990), 458p.

103. Glick, B.R., "The enhancement of plant growth by freeliving bacteria", *Canadian Journal of Microbiology* 41, (1995), 109-117.
104. Lemanceau, P., "Effets bénéfiques de rhizobactéries sur les plante : exemple des *Pseudomonas* spp. fluorescents", *Agronomie* 12, (1992), 413-437.
105. Gamalero, E., Lingua, G., Berta, G., Lemanceau, P., "Methods for studying root colonization by introduced beneficial bacteria", *Agronomie* 23, (2003), 407-418.
106. Lugtenberg, B.J.J., Dekkers, L., Bloemberg, G.V., "Molecular determinants of rhizospher colonization by *Pseudomonas*. *Annu. Rev. Phytopathol* 39. (2001), 461-490.
107. Latour, X., Lemanceau, P., "Métabolisme carboné et énergétique des *Pseudomonas* spp. fluorescents saprophytes à oxydase positive", *Agronomie* 17. (1998), 427-443.
108. Allaire, M., "Diversité fonctionnelle des *Pseudomonas* producteurs d'antibiotiques dans les rhizosphères de conifères en pépinière et en milieu naturel", Université Laval, (2005).
109. Schroth, M.N., and Hancock, J.G., "Diseases suppressive soil and root colonizing bacteria", *Science* .216, (1982), 1376-1381.
110. Haas, D., Défago, G., "Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent pseudomonads", *Nature Rev. Microbiol*, V. 3, n°4, (2005), 307-319.
111. Cakmakci, R., Donmez, F., Aydin, A. and Sahin, F., "Growth promotion of plants by plant growth-promoting rhizobacteria under greenhouse and two different field soil conditions", *Soil Biol. Biochem.* V. 38, n°6, (2006), 1482-1487.
112. Orhan, E., Esitken, A., Ercisli, S., Turan, M. and Sahin, F., "Effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrient contents in organically growing raspberry", *Sci. Hortic.* V. 111 n°1, (2006), 38-43.
113. Marschner, H., "Miniral nutrition of higher plants", London: Academic Press, (1997), 889p.
114. Ongena, M., Jacques, P., Delfosse, P. and Thonart, P., "Unusual traits of the pyoverdinmediated iron acquisition system in *Pseudomonas putida* strain BTP1" *Biometals*, V.15 n°1, (2002), 1-13.

115. Adam, A., "Elicitation de la résistance systémique induite chez la tomate et le concombre et activation de la voie de la lipoxygénase par des rhizobactéries non-pathogènes", Thèse Doctarat, Université Liège, (2008), 166p.
116. Saravanakumar, D., Vijayakumar, C., Kumar, N. and Samiyappan, R., "PGPR-induced defense responses in the tea plant against blister blight disease", *Crop Protect.* V. 26, n°4, (2007), 556-565.
117. Van Loon, L.C., Bakker, P. and Pieterse, C. M. J., "Systemic resistance induced by rhizosphere bacteria", *Annu. Rev. Phytopathol.* V. 36, (1998), 453-483.
118. Compant, S., Duffy, B., Nowak, J., Clément, C., Ait Barka, E., "Use of plant growth promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: principles, mechanisms of action, and future prospects", *Applied and environmental microbiology*, American society for microbiology, V. 71, n° 9, (September, 2005), 4951-4959.
119. Coic, Y., et Lesaint, C., "La nutrition minérale en eau des plantes e hoticulture avancée", Document technique S.C.P.A, n°23, Versailles, (1975), 21p.
120. Jacques, P., Delfosse, P., Ongena, M., Lepoivre, P., Cornélis, P., Koedam, N., Neirinckx, L., Thonart, P., "Les mécanismes biochimiques développés par les *Pseudomonas* fluorescents dans la lutte biologique contre les maladies des plantes transmises par le sol" *Cahiers Agriculture*, 2, (1993), 301-307.
121. Rey, Y., et Costes, C., "La physiologie de la tomate", Etude bibliographique, Ed. INRA, Paris, (1965), 111p.
122. Banu, N.A., Hoque, M.A., Watanabe-Sugimoto, M., Matsuok, K., Nakamura, Y., Shimoishi, Y., Murata, Y., "Proline and glycinebetaine induce antioxidant defense gene expression and suppress cell death in cultured tobacco cells under salt stress", *Journal of Plant Physiology* 166, (2009), 146-156.
123. Mengel, K., Kirkby, E.A., "Principles of plant nutrition", Potash Inst 3^{ème} Ed. Worblanfen Bern, Switzerlnd, (1982), 655p.
124. Daoud, R., Halitim, A., "Irrigation et salinisation au sahara algérienne", *Secheresse*, V.5, n°3, (1994), 151-160.
125. BINZET, M.L., HESS, F.D., BRESSAN, R. et HASEGAWA, P.M., "Intracellular compartmentation of ions in salt adapted tobacco cells", *Plant physiol.* 86, (1988), 607-614.

126. Chennaoui, N., "Action des rhizobactéries bénéfiques sur l'amélioration de la stimulation de la croissance des plantes: importance de la compétence rhizosphérique chez les *Pseudomonas* spp. fluorescents", Thèse Magister, USD.Blida, (2008), 161p.
127. Weller, D.M., "Biological control of soil-born plant pathogens in the rhizosphere with bacteria", Annual review of phytopathology, n° 26, (1988), 379-407.
128. Duthil, J., "Elements d'écologie et d'agronomie", Tome III, J.B. Ballière, Paris, (1973), 265p.
129. Bethke, P.C., Drew, M.C., "Stomatal and nonstomatal components to inhibition of photosynthesis in leaves of *Capsicum annuum* during progressive exposure to NaCl salinity", Plant Physiol. 99, (1992), 219-226.
130. Aktas, H., Abak, K., Cakmak, I., "Genotypic variation in the response of pepper to salinity", Sci. Hort. 110, (2003), 260-266.
131. Lycoskoufis, I.H., Savvas, D., Mavrogianopoulos, G., "Growth, gas exchange, and nutrient status in pepper (*Capsicum annuum* L.) grown in recirculating nutrient solution as affected by salinity imposed to half of the root system", Sci. Hort. 106, (2005), 147-161.
132. Adams, P., Ho, L.C., "Effect of constant and fluctuating salinity on the yield, quality and calcium status of tomatoes", J. Hort. Sci. 64, (1989), 725-732.
133. Van Ieperen, W., "Effects of different day and night salinity levels on vegetative growth, yield and quality of tomato", J. Hort. Sci. 71, (1996), 99-111.
134. Savvas, D., Stmati, E., Tsirogiannis, I.L., Mantzos, N., Barouchas, P.E., Katsoulas, N., Kittas, C., "Interaction between salinity and irrigation frequency in greenhouse pepper grown in closed-cycle hydroponic systems", Agricultural water management 91, (2007), 102-111.
135. Magan, J.J., Gallardo, M., Thompson, R.B., Lorenzo, P., "Effects of salinity on fruit yield and quality of tomato grown in Soil-Less culture in greenhouses IN Mediterranean climatic conditions", Agricultural water management. 95, (2008), 1041-155.
136. Aslam, S.M., "Effect of nutrient solution pH and N source (NH_4/NO_3) on the growth and elemental contents of rice plants", Agronomie 4, (1984), 361-365.
137. Botelho, G.R., Mendonça, L.C., "Fluorescent pseudomonads associated with the rhizosphere of crops", Brazilian Journal of Microbiology. 37, (2006), 401-416.

138. Pal, K.K., Tilak, K.V.B.R., Saxena, A.K., Dey, R., Singh, C.S. "Suppression of maize root diseases caused by *Macrophomina phaseolina*, *Fusarium moniliforme* and *Fusarium graminearum* by plant growth promoting rhizobacteria", *Microbiol. Res.* 156, n°3, (2001), 209-223.
139. Hinsinger, P., "How do plant roots acquire mineral nutrients? Chemical processes involved in the rhizosphere", *Advances in Agronomy*, n° 64, (1998), 225-265.
140. Bashan, Y., and de-Bashan, L.E., "Plant growth promoting", *Encyclopedia of soils in the environment*, v. 1, Oxford, (2005), 103-115.
141. Loper, J.E., Buyer, J.S., "Siderophores in microbial interactions on plant surfaces", *MOL. Plant-Microbe Interaction*, 4, (1991), 5-13.
142. Yang, J., Klopper, J.W., Ryu, C.M., "Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress", *Trends in Plant Science*, (2008), 1360-1365.
143. Mayak, S., "Plant growth promoting bacteria confer resistance in tomato plants to salt stress", *Plant Physiol. Biochem.* 42, (2004), 565-572.