

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR**  
**ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**



**UNIVERSITE DE BLIDA 1**

**Faculté des sciences de la nature et de la vie**  
**Département des biotechnologies**

**Projet de Fin d'Etudes en vue de l'obtention du diplôme en Master académique.**

**Filière : biotechnologie.**

**Option : Biotechnologies végétales.**

***Thème :***

**Contribution à l'amélioration de la nutrition d'une glycophyte cultivé cas de courgette ( *cucurbita pepo L.* ) par l'acide salicylique dans une eau non conventionnelle enrichie de  $MgCl_2$  et  $CaCl_2$ .**

**Réalisé par :**

- **ADJIRI Sihem.**
- **BOUDOUANI Khadidja.**

**Devant le jury composé de :**

<b>Mr. ABBAD M.</b>	<b>M.C.B</b>	<b>U. Blida 1</b>	<b>Président</b>
<b>Mr. SNOUSSI S.A</b>	<b>Professeur.</b>	<b>U. Blida 1</b>	<b>Promoteur</b>
<b>Mme. BENZAHRA S.</b>	<b>M.C.B</b>	<b>U. Blida 1</b>	<b>Examinatrice</b>

**Année Universitaire 2019-2020**

# REMERCIEMENTS

*Tout d'abord, nous exprimons nos remerciements à **ALLAH** de nous avoir donné le courage et la patience pour terminer notre travail.*

*Nous tenons à exprimer nos profonds remerciements :*

*A notre promoteur, **Pr SNOUSSI S-A.**, professeur au département de Biotechnologie Faculté des sciences de la nature et de la vie pour son encadrement, sa confiance, sa patience, sa générosité, ses encouragements, ses suggestions toujours aussi pertinents et son œil critique qui nous a été très précieux, nous le remercions vivement.*

*Veillez trouver ici l'expression de notre profonde gratitude.*

*Toute notre reconnaissance aux membres du jury pour avoir eu l'amabilité d'avoir accepté de lire notre manuscrit et d'apporter les critiques nécessaires à la mise en forme finale de cet ouvrage.*

*Nos sincères remerciements à **Mr ABBAD M.**, pour avoir accepté de présider le jury.*

*Nous remercions également chaleureusement **Mme BENZAHRA S.**, pour nous avoir fait l'honneur d'examiner notre travail.*

*Nos sincères remerciements à tous nos enseignants de la Faculté des Sciences de la nature et de la vie de l'Université BLIDA-1, pour la précieuse formation que nous avons reçue de leur part tout au long de notre cursus universitaire, un grand merci.*

## *DÉDICACE*

*Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie,*

*Je dédie ce projet*

*À ceux qui m'ont donné la vie et m'ont soutenu depuis mes débuts, mes très chers respectueux et magnifiques parents **M'HAMED & FARIDA** qui ont toujours été là pour moi, je n'arriverai jamais à leur rendre ce qu'ils ont fait pour moi. Puisse dieu, le tout puissant vous préserver et vous accorder santé, longue vie et bonheur.*

*À mon cher frère **AMAR** et à ma chère sœur **MAROUA***

*Pour tout l'amour qu'ils m'apportent et leur soutien, je vous souhaite un avenir plein de bonheur, joie et succès.*

*À ma chère tante **LEILA** :*

*Que j'adore, merci pour votre encouragement dans les moments difficiles, Que Dieu te protège.*

*À ma binôme **KHADIDJA** :*

*Je te souhaite une vie pleine de réussite, de santé et que dieu te procure tout le bonheur que tu mérites.*

*À tous ceux que j'aime.*

*Sans oublier mes camarades de la promotion **BTV 2019/2020**.*

***SIHEM***

## *DÉDICACE*

*Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer Mon amour sincère.*

*Je dédie ce projet*

*À mon père **Abde Waheb***

*Mon exemple éternel, mon soutien moral et ma source de bonheur, celui qui s'est Toujours sacrifié pour me voir réussir ; à toi mon cher papa.*

*À ma mère **Sabîha***

*La lumière de mes jours, la source de mes efforts, ma vie et mon bonheur ; maman que j'adore ; à toi ma chère maman.*

*À mon adorable frère **Abde raouf***

*Pour dévouement, pour ton écoute et ton soutien Qui sait toujours comment procurer la joie, et le bonheur pour toute la famille. Reçois ici ma profonde gratitude.*

*À mes chères sœurs*

*En témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je porte pour vous, je vous souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de réussite et de sérénité.*

*À ma binôme **Sihem***

*Pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet. Je te souhaite une merveilleuse vie pleine de succès.*

*Sans oublier mes camarades de la promotion **BTV 2019/2020.***

***KHADIDJA***

## ***RESUME***

Le travail expérimental entrepris s'articule sur l'effet de l'adjonction de deux concentrations 0,5 et 1 mM d'acide salicylique dans un milieu salin contenant  $\text{CaCl}_2$  et  $\text{MgCl}_2$  sur la croissance et le développement des plantes de courgette (**cucurbita pepo**, variété Nedjma) cultivées par le procédé hors sol.

Les résultats obtenus à travers notre expérimentation ont montré que l'addition de l'acide salicylique dans l'eau saline a manifesté les meilleures performances sur le comportement physiologique des plantes de courgette. La concentration de 0,5 mM d'acide salicylique s'est distinguée de manière remarquable sur les paramètres biométriques mesurés tels que la hauteur finale des tiges, la biomasse fraîche aérienne et le nombre de fleurs femelles apparues au niveau des tiges des plantes irriguées par le traitement correspondant.

A l'inverse le traitement T3 correspondant à l'eau saline d'Oued Chleff partiellement reconstitué dépourvu d'acide salicylique a présenté les paramètres biométriques les plus faibles en raison d'une part de la toxicité des deux types de sels présents dans le milieu alimentaire et du déséquilibre ionique de l'eau saline, inhibant ainsi la vitesse de croissance, et par conséquent la croissance est limitée d'où incidence directe sur les paramètres biométriques mesurés.

**Mots clés :** Salinité, Cucurbita pepo L., Acide salicylique, hors sol

## ***Abstract***

The experimental work undertaken revolves around the effect of the addition of two concentrations 0.5 and 1 mM of salicylic acid in a saline medium, containing  $\text{CaCl}_2$  and  $\text{MgCl}_2$  on the growth and development of zucchini plants (***cucurbita pepo***, variety Nedjma) cultivated by the above-ground process.

The results obtained through our experimentation have shown that the addition of salicylic acid in saline water has shown the best performance on the physiological behavior of zucchini plants. The concentration of 0.5 mM of salicylic acid stood out remarkably on the measured biometric parameters such as the final height of the stems, the fresh aerial biomass and the number of female flowers appeared at the stems of the plants irrigated by the corresponding treatment.

Conversely, the T3 treatment corresponding to the saline water of Oued Chleff partially restored devoid of salicylic acid presented the lowest biometric parameters due, on the one hand, to the toxicity of the two types of salts present in the food environment and ionic imbalance in saline water, thus inhibiting the growth rate, and consequently growth is limited, which directly affects the biometric parameters measured.

**Keywords :** Salinity, *Cucurbita pepo* L., Salicylic acid, above ground

## ملخص

يستند العمل التجريبي الذي تم إجراؤه إلى تأثير إضافة تركيزين 0.5 و 1 ملي مول من حمض الصفصاف في وسط ملحي يحتوي على  $CaCl_2$  و  $MgCl_2$  على نمو وتطور نباتات الكوسة (*Cucurbita pepo* L، متنوعة نجمة) المزروعة بعملية فوق الأرض.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها من خلال تجربتنا أن إضافة حمض الصفصاف في المياه المالحة قد أظهر أفضل أداء على السلوك الفسيولوجي لنباتات الكوسة. تميز تركيز 0.5 ملي مول من حمض الصفصاف بشكل ملحوظ على المقاييس البيومترية المقاسة مثل الارتفاع النهائي للسيقان والكتلة الحيوية الهوائية الطازجة وعدد الزهور الأنثوية التي ظهرت في سيقان النباتات المرورية بواسطة العلاج المقابل.

على العكس من ذلك، قدم العلاج T3 المقابل للمياه المالحة لواد الشلف المعاد تكوينها جزئياً الخالية من حمض الصفصاف أقل المقاييس البيومترية بسبب، من ناحية، سمية نوعين من الأملاح الموجودة في البيئة الغذائية وعدم التوازن الأيوني في المياه المالحة، وبالتالي تثبيط معدل النمو، وبالتالي النمو محدود، مما يؤثر بشكل مباشر على المقاييس البيومترية المقاسة.

الكلمات الرئيسية: ملحوظة، *Cucurbita pepo* L ، حمض الصفصاف ، فوق الأرض.

## Listes des figures

**Figure N°01** : Effet du sodium sur le complexe adsorbant.

**Figure N°02** : L'acide salicylique et ses principaux dérivés naturels (salicylate de méthyle, ester glucosylé, glucoside). L'acide acétylsalicylique, principe actif de l'aspirine, est également représenté.

**Figure N°03** : Voie de biosynthèse de l'acide salicylique et de ses principaux dérivés. Le salicylate hydroxylase est une enzyme codée par le gène bactérien nahG qui peut être introduit dans une plante par transformation génétique.

**Figure N°04** : Plante de Cucurbita pepo.

**Figure N°05** : Situation du site expérimental.

**Figure N°06** : Rinçage du gravier à l'eau.

**Figure N°07** : Aspect général des conteneurs.

**Figure N°08** : Schéma du dispositif expérimental adapté.

**Figure N°09** : Vue du dispositif expérimental utilisé.

**Figure N°10** : Essai de germination des graines de courgette.

**Figure N°11** : Levée des plantules de courgette.

**Figure N°12** : Aspect général des plantes de courgette en cours de culture.

**Figure N°13** : Vitesse de croissance des plantes de courgette en (cm/jours).

**Figure N°14** : Hauteur finale des plantes de courgette en (cm).

**Figure N°15** : Nombre finale des feuilles de courgette.

**Figure N°16** : Biomasse fraîche de la partie aérienne de courgette en (g).

**Figure N°17** : Biomasse fraîche des feuilles de courgette en (g).

**Figure N°18** : Biomasse fraîche des tiges de courgette en (g).

**Figure N°19** : Biomasse fraîche des racines de courgette en (g).

**Figure N°20** : Poids sec de la partie aérienne (feuilles + tiges) des plantes de courgette en (g).

**Figure N°21** : Poids sec de la partie racinaire des plantes de courgette en (g).

**Figure N°22** : Taux de matière sèche totale (partie aérienne) de courgette en (%).

**Figure N°23** : Nombre de fleur de courgette par plante.

## Liste des tableaux

**Tableau N°01** : Superficie affectée par la salinité dans le monde.

**Tableau N°02** : Teneurs des différents éléments minéraux contenus dans l'eau de Blida (mg/l) et (meq/l).

**Tableau N°03** : Composition partielle de l'eau d'Oued Chleff et de l'eau de Blida en meq/l.

**Tableau N°04** : Reconstitution partielle de l'eau de l'oued Chleff avec l'eau de Blida, en meq/l.

**Tableau N°05** : Les différents traitements utilisés.

**Tableau N°06** : Date d'apparition de la 1ère feuille des plantes de courgette par Traitements.

**Tableau N°07** : Début et pleine nouaison des plantes de courgette en nombre de jours.

**Tableau N°08** : Début et pleine floraison des plantes de courgette en nombre de jours.

**Tableau N°09** : Classements des traitements selon les paramètres biométriques mesurés.

## Liste des abréviations

**Ca Cl** : Chlorure de calcium.

**Mg Cl** : chlorure de magnésium.

**Na Cl** : chlorure de sodium.

**PH** : potentiel hydrogène.

**FAO** : Organisation international de l'alimentation de l'agriculture.

**CE** : conductivité électrique.

**SAR** : Résistance Systémique Acquise.

**T** : traitement.

**ANOVA** : analyse de la variance.

**DDL** : degré de liberté.

**C.pepo** : Cucurbita pepo.

## Table des matières

Remerciements	
Dédicace	
Résumé	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction.....	01

### Partie01 : Recherche bibliographique

#### Chapitre I : Salinité

1. Généralités sur la salinité.....	04
1.1. Définition de la salinité.....	04
1.2. Définition de la salinisation.....	04
1.3. Origine de la salinité.....	04
2. Différents types de salinité.....	05
3. Formes de la salinisation.....	05
3.1. Salinisation primaire.....	05
3.2 .Salinisation secondaire.....	06
4. Causes de la salinité.....	06
5. Méthodes de mesure de la salinité.....	06
5.1. Méthodes de laboratoire.....	06
5.2. Méthodes de terrain.....	07
6. Les Effets de la salinité.....	07
6.1. Effet de la salinité sur la germination.....	07
6.2. Effet de la salinité sur la levée et la croissance.....	08
6.3. Effet de la salinité sur la photosynthèse.....	08
6.4. Effet de la salinité sur la proline.....	09

6.5. Effet de la salinité sur les sucres.....	09
6.6. Effet de la salinité sur la chlorophylle.....	10
6.7. Effet de la salinité sur l'absorption de l'eau.....	10
6.8. Effet de la salinité sur l'anatomie de la feuille.....	10
6.9. Effet de la salinité sur le rendement.....	11
6.10. Effet de la salinité sur le sol.....	11
6.10.1. Sur les propriétés biologiques.....	11
6.10.2. Sur les propriétés chimiques.....	11
6.10.3. Sur les propriétés physiques.....	11
7. Classification des plantes vis-à-vis de la résistance à la salinité.....	13
8. Mécanisme de tolérance à la salinité.....	13
8.1. L'inclusion.....	13
8.2. Exclusion des ions toxiques.....	13
8.3. La recirculation.....	13
8.4. L'ajustement osmotique.....	14
8.5. Synthèse des solutés compatibles.....	14
8.6. Changement dans le cheminement photosynthétique.....	14
9. Mécanisme d'adaptation au stress salin.....	14
9.1. Adaptation phénologique.....	14
9.2. Adaptation morphologique.....	15
9.3. Adaptation physiologique.....	15
9.4. Adaptation biochimique.....	15
10. salinité dans le monde et en Algérie.....	16
10.1. Salinité dans le monde.....	16
10.2. Salinité en Algérie.....	17

## **Chapitre II : Culture hors sol**

1. Généralités sur la culture hydroponique ou culture hors-sol.....	18
---	----

1.1. Historique.....	18
1.2. Définition.....	19
2. Composantes de l'hydroponie.....	19
2.1. Substrat.....	19
2.2. Conteneurs.....	19
2.3. Solution nutritive.....	20
3. Principales cultures cultivées en hors sol.....	21
4. Différents systèmes de culture hors sol.....	21
4.1. Culture aéroponique.....	21
4.2 Culture hydroponique.....	21
4.3. Culture sur substrat inerte.....	22
5. Les avantages et inconvénients du procédé hors sol.....	22
5.1. Avantages.....	22
5.2. Inconvénients.....	23

### **Chapitre III : Acide Salicylique**

1. Acide salicylique.....	24
1.1. Historique.....	24
1.2. Propriétés physico-chimiques.....	24
2. Biosynthèse de l'acide salicylique.....	25
3. Rôle de l'acide salicylique.....	26
4. Mode d'action de l'acide salicylique.....	27
5. L'acide salicylique et la résistance abiotique.....	27

### **Chapitre IV : Généralités sur la courgette**

1. Botanique de la courgette .....	29
1.1. Systématique de la courgette.....	29
1.2. Morphologie de la courgette.....	29
1.3. Vie de la courgette.....	29

2. Origine et distribution de la courgette.....	30
3. Importance de la courgette.....	30.
4. Ecologie de la courgette.....	31
4.1. Température.....	31
4.2. Pluviosité.....	31
4.3. Sol.....	31
5. Techniques culturales de la courgette.....	32
5.1. Préparation du terrain.....	32
5.2. Semis.....	32
5.3. Entretien.....	32
5.4. Récolte.....	32
6. Pathologies et ennemis de ta courgette.....	33
6.1. Pathologies.....	33
6.2. Ennemis.....	33

## **Partie 02 : Matériel et méthodes**

1. Objectif de l'expérimentation.....	35
2. Matériel végétal testé.....	35
3. Conditions expérimentales.....	35
3.1. Lieu de l'expérience.....	35
3.2. Substrat utilisé.....	36
3.3. Conteneurs utilisés.....	36
4. Dispositif expérimental.....	37
5. Pré-germination et repiquage.....	38
5.1. Pré-germination.....	38
5.2. Repiquage des jeunes plants de courgette.....	39
6. Description des différents traitements.....	39
7. Différents traitements testés.....	40

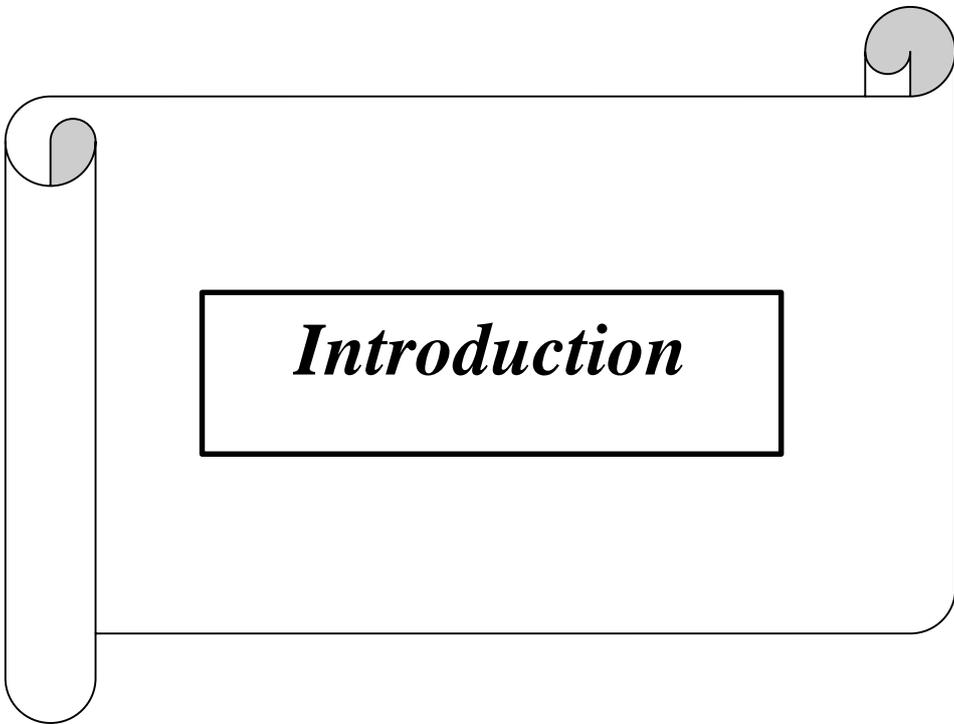
7.1. Reconstitution de l'eau d'Oued Chleff enrichie de CaCl <sub>2</sub> et MgCl <sub>2</sub> avec l'eau de Blida.....	40
7.2. Calcul des concentrations de MgCl <sub>2</sub> et de CaCl <sub>2</sub> .....	41
7.2.1. Cas du CaCl <sub>2</sub> .....	41
7.2.2. Cas du MgCl <sub>2</sub> .....	41
7.3. Calcul des concentrations de l'acide salicylique à 0,5 mM et 1 mM.....	41
7.3.1. Cas de la concentration de 0,5 mMole.....	41
7.3.2. Cas de la concentration de 1 mMole.....	41
7.4. Calcul des solutions mères concentrées.....	42
7.4.1 : préparation de la solution mère concentrée de MgCl <sub>2</sub> .....	42
7.4.2 : préparation de la solution mère concentrée de CaCl <sub>2</sub> .....	42
7.4.3 : préparation de la solution mère concentrée de l'acide salicylique.....	42
7.4.3.1. Pour la concentration 1 : à savoir 0 ,5 mM d'acide salicylique.....	42
7.4.3.2. Pour la concentration 2 : à savoir 1 Mm d'acide salicylique.....	43
8. Entretien de la culture.....	43
8.1. Irrigation.....	43
8.2. Palissage.....	43
8.3. Aération.....	44
9. Paramètres biométriques mesurés.....	44
9.1. Vitesse de croissance [cm/j].....	44
9.2. Hauteur finale des plantes [cm].....	44
9.3. Nombre des feuilles.....	44
9.4. Biomasse fraîche produite [g].....	44
9.5. Biomasse sèche produite [g].....	45

### **Partie03 : Résultats et discussion**

1. Paramètres de croissance.....	47
1.1. Aspect général des plantes.....	47

1.2. Vitesse de croissance des plantes.....	47
1.3. Effet du traitement sur la hauteur finale des plantes.....	48
1.4. Effet du traitement sur la date de l'apparition de la première feuille.....	49
1.5. Effet du traitement sur le nombre de feuilles.....	50
1.6. Effet du traitement sur la floraison et la nouaison des plantes.....	51
2. Effet du traitement sur la biomasse fraîche produite en (g).....	52
2.1. Biomasse aérienne fraîche produite (g).....	52
2.2. Poids frais des feuilles de courgette (g).....	53
2.3. Poids frais des tiges de courgette (g).....	54
2.4. Biomasse fraîche racinaire (g).....	54
2.5. Biomasse sèche aérienne (g).....	55
2.5.1. Biomasse aérienne sèche totale produite (g).....	55
2.5.2. Biomasse sèche racinaire (g).....	56
3. Taux de matière sèche totale (%).....	56
4. Paramètres de rendement.....	57
4.1. Nombre de fleurs par plant.....	57
Discussion générale.....	59
Conclusion.....	61
Références bibliographiques.....	63

Annexes



***Introduction***

La salinisation des sols constitue un processus important, notamment dans les zones arides et semi-arides (**SAIDI et al., 2004**). Le stress salin est un excès d'ions en particulier, mais pas exclusivement, aux ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ . Le stress salin est dû à la présence de quantités importantes de sels. Il réduit fortement la disponibilité de l'eau pour les plantes. Plus la solution du sol est salée, plus la pression osmotique est élevée et plus il est difficile pour les racines d'extraire l'eau de la réserve du sol car la salinité modifie le potentiel osmotique de la solution du sol, lorsque la teneur en sels augmente.

Au fur et à mesure que la population mondiale augmente, l'intensification agricole impose une pression accrue sur les terres irriguées et productives. Celle-ci est accompagnée par un développement dans les systèmes d'irrigation. Dans la majorité des situations, le développement de l'irrigation s'accompagne par l'apparition de processus de salinisation, de sodisation ou d'alcalinisation des sols à des degrés divers (**BOUALLA et al. 2012**).

L'acide salicylique, molécule synthétisée par la plante, semble être impliquée dans la signalisation et l'établissement des mécanismes de résistance à plusieurs contraintes environnementales (**KORKMAZ et al., 2007**). Son application exogène à des plantes sous différents stress a été étudiée par plusieurs chercheurs et son rôle dans l'activation de la germination, de la croissance sous stress salin a été signalé chez le blé (**ARFAN et al., 2006**), l'orge (**EL TAYEB, 2005**) et le maïs (**GUNES et al., 2005**).

Cette molécule joue un rôle important dans la défense des plantes contre les deux conditions de stress biotiques et abiotiques (**ÜNLÜ et al., 2009**).

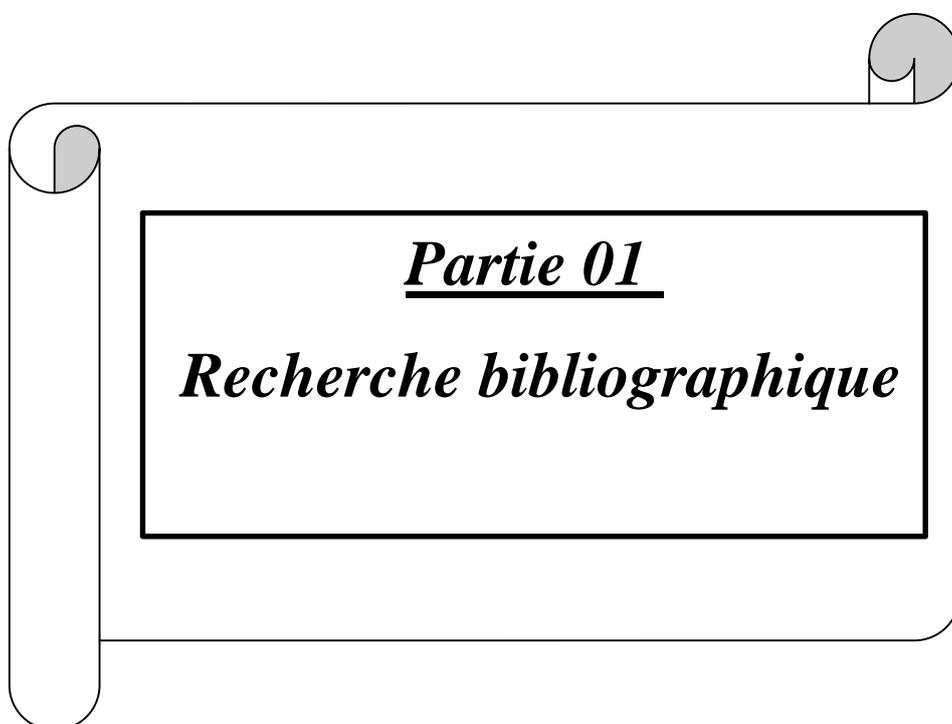
C'est dans cette perspective que s'inscrit notre travail qui porte principalement sur l'effet de l'adjonction de deux concentrations de l'acide salicylique dans une eau saline contenant de  $\text{CaCl}_2$  et de  $\text{MgCl}_2$  sur la croissance et le développement des plantes de courgette.

Notre travail est structuré en trois parties, comme suit :

La première partie est consacrée à la synthèse bibliographique se rapportant sur l'effet de la salinité sur la nutrition des plantes, la technique hors sol, les généralités sur la courgette, ainsi que les notions de bases sur l'acide salicylique.

La deuxième partie portera sur la présentation du matériel et méthode utilisées, ainsi que l'approche méthodologique, le dispositif expérimental et les techniques de mesures adoptées.

Enfin, une troisième partie, qui sera consacrée aux résultats obtenus et leurs interprétations, et une conclusion générale accompagnée de quelque recommandation achèvera le travail réalisé.



## 1. Généralités sur la salinité

La salinité se réfère à la quantité des sels solubles qui se trouve dans le sol (CHESWORTH, 2008). Elle est souvent associée à la sécheresse et elle entraîne une réduction des surfaces cultivables (MARCUM, 2006) et menace l'équilibre alimentaire mondial (KINET et al., 1999).

Les sols naturellement salins sont fréquents dans les zones arides, parce que l'évaporation potentielle du sol dépasse largement la quantité d'eau qui arrive au sol, ce qui permet aux sels de s'accumuler près de la surface (LAURA DE FRANCHIS, 2003).

Dans un pays aride du désert et des steppes, la salinité du sol est toujours plus élevée. Les sels cristallisés se déposant à la surface du sol (point de contact entre l'air et la terre) l'eau remontant à la surface pour ensuite s'évaporer dans l'atmosphère (CARDEN, 2009).

### 1.1. Définition de la salinité

La salinité peut être définie comme une accumulation excessive de sels dans les sols ou dans les eaux à un seuil pouvant avoir un impact sur les activités humaines et naturelles (plantes, animaux, écosystèmes aquatiques, approvisionnement en eau, agriculture, ...) (EL MOUKHTAR, 2010).

Elle peut être définie, aussi, comme toutes teneurs excessives en ions, pouvant se présenter dans les sols ainsi que dans les eaux (MERZOUG et FALI, 2011).

### 1.2. Définition de la salinisation

La salinisation est un processus d'accumulation de sels à la surface du sol et dans la zone racinaire qui occasionne des effets nocifs sur les végétaux et le sol. Il s'en suit une diminution des rendements et à terme une stérilisation du sol (MERMOUD, 2006).

La salinisation est un processus d'enrichissement d'un sol en sels solubles qui aboutit à la formation d'un sol salin (MERMOUD, 2006).

### 1.3. Origine de la salinité

- Le matériau géologique, par le biais de l'altération, peut libérer les éléments nécessaires à la formation des sels solubles (altération de minéraux primaires riches en sodium, de roches volcaniques, des produits de l'hydrothermalisme riches en soufre et en chlore, ou encore dissolution des évaporâtes, qui sont des accumulations salines anciennes).

- L'eau de mer est, bien entendu, une source principale de sel en milieu côtier. La Salinisation peut alors être un phénomène permanent lié aux marées (salinisation marine), ou encore due à la présence de lentilles d'eau sur-salées lorsque les zones basses sont isolées de la mer par un colmatage alluvial (**BOUALLA et al., 2012**).
- Une nappe phréatique, d'origine continentale et salée par héritage géologique, peu contaminer le sol par ascension capillaire.
- L'eau d'irrigation, on parle alors de salinisation anthropique. Elle peut être très rapide et se manifester à l'échelle de l'année, de la dizaine d'année ou de quelques siècles. Ce type de salinisation est la conséquence de pratique agricole due à la mauvaise combinaison d'une forte évaporation et d'un apport inadapté d'eau d'irrigation en relation avec son contenu en sels dissous. La remontée de la nappe phréatique peut atteindre plusieurs dizaines de mètres (**BOUALLA et al., 2012**).

## 2. Différents types de salinité

On distingue deux types de salinité des sols salins (solontchaks) et les sols alcalins (solonetz).

Les sols salins (solontchaks) ont comme principale caractéristique leur richesse en sels Solubles notamment des chlorures et sulfates de sodium, de magnésium, de potassium, etc. Ces sols sont généralement dominants dans les régions arides et semi-arides.

Les sols alcalins (Solontez) ce sont des sols présentant des teneurs en sels alcalins (carbonates et bicarbonates) élevées et un pH est supérieur à 8,8 ce qui empêche la croissance de la plus part des plantes. Le sodium échangeable représente moins de 15% du complexe D'échange (**LOZER et MATHIEU, 1990**).

## 3. Formes de la salinisation

### 3.1. Salinisation primaire

Près de 80 % des terres salinisées ont une origine naturelle, on qualifie alors la salinisation de «primaire». Dans ce cas, celle-ci est due à la formation des sels pendant l'altération des roches ou à des apports naturels externes :

- Dans les régions côtières, intrusion de l'eau salée ou submersion des terres basses.
- Inondation périodique par de l'eau de mauvaise qualité.
- Remontée d'une nappe phréatique salée près de la zone racinaire (**MERMOUD, 2006**).

La Salinisation primaire liée à la présence naturelle relativement concentrée de sels à travers un long processus naturel de dégradation des roches salines et des apports éoliens des sels des mers et océans (STENGEL et al, 2009).

### 3.2 .Salinisation secondaire

Le phénomène de la salinisation secondaire lié à l'irrigation constitue une menace particulièrement grave mais très difficile à évaluer de manière correcte (STENGEL et al., 2009).

Elle est induite par l'activité humaine et fréquemment liée à des pratiques agricoles (MERMOUD, 2006).

En effet, même une eau douce de la meilleure qualité contient des sels dissous et si la quantité de sels apportée par cette eau peut sembler négligeable, les quantités d'eau apportées au fil du temps entraînent un dépôt cumulé de sels dans les sols qui peut s'avérer considérable (MARLET, 2005).

## 4. Causes de la salinité

Selon (HARTANI et al., 2008), les rares précipitations, l'évaporation élevée, l'irrigation avec de l'eau saline et les pratiques culturelles sont parmi les facteurs principaux qui contribuent à la salinité croissante.

SAXENA (2006), ajoute que les principales causes de salinité sont la présence des eaux salines natives, l'irrigation par une eau saline, la remonté d'eau et l'absence de drainage, La limite des ressources en eau dans les zones arides et le manque des eaux douces pour recouvrir les besoins.

## 5. Méthodes de mesure de la salinité

Plusieurs méthodes ont été utilisées pour évaluer et quantifier la salinité du sol. On peut les regrouper en deux : les méthodes de laboratoire et les méthodes de terrain.

### 5.1. Méthodes de laboratoire

Le principe de base des méthodes de laboratoire repose sur la mesure de la conductivité électrique. Lorsqu'on applique un champ électrique à un milieu conducteur, un courant électrique parallèle et proportionnel à ce champ y apparaît selon la loi d'Ohm ( $\vec{i} = \sigma \cdot \vec{E}$ ) ;  $\vec{i}$  étant la densité du courant  $\vec{E}$  le champ électrique, et  $\sigma$  la conductivité électrique (S.m-1).

Cette dernière est définie comme étant la capacité d'un matériau de 1 m de long à laisser passer un courant électrique (SCHNEIDER, 2010).

## 5.2. Méthodes de terrain

Comme alternative à la détermination de la CE au laboratoire, la salinité de sol peut être évaluée sur le terrain en mesurant la CE apparente (Ce). Cette dernière peut être représentée par la conductivité à travers trois voies agissant en parallèle (RHOADES, 1993 ; CORWIN et LESCH, 2005) :

- Conductivité par des couches alternatives des particules solides et de la solution du sol qui enveloppe et sépare ces particules (voie solide-liquide).
- Conductivité par des voies continues de la solution du sol (voie liquide).
- Conductivité le long des surfaces des particules en contact direct et continu entre elles (voie solide).

## 6. Les Effets de la salinité

### 6.1. Effet de la salinité sur la germination

Selon REJILI et al., (2006), les semences répondent au stress salin, en réduisant le nombre total des graines germées et en accusant un retard dans l'initiation du processus de la germination. Parmi les causes de l'inhibition de la germination en présence de sel, la variation de l'équilibre hormonal.

La germination des plantes, qu'elles soient halophytes ou glycophytes, est affectée par la salinité. Selon l'espèce, l'effet dépressif peut être de nature osmotique ou toxique :

- ✓ Les effets osmotiques se traduisent par l'inaptitude des graines à absorber des quantités suffisantes en eau pour les ramener à leur seuil critique l'hydratation, nécessaire au déclenchement du processus de germination.
- ✓ Les effets toxiques sont liés à une accumulation cellulaire de sels qui provoquent des perturbations des enzymes impliquées dans la physiologie des graines en germination, empêchent la levée de dormance des embryons et conduisent à une diminution de la capacité de germination (REJILI et al., 2006).

La germination des graines qu'elles soient halophiles ou glycophiles, est affectée par la salinité (DEBEZ et al., 2001).

### 6.2. Effet de la salinité sur la levée et la croissance

La réponse immédiate du stress salin est la réduction de la vitesse de l'expansion de la surface foliaire ce qui conduit à l'arrêt de l'expansion si la concentration du sel augmente (WANG et NIL, 2000).

Les effets néfastes de la salinité sur la croissance des plantes sont généralement associés au faible potentiel osmotique de la solution du sol et au niveau élevé de toxicité du sodium (et du chlore pour certaines espèces) qui provoquent des perturbations multiples sur le métabolisme, la croissance et le développement des plantes aux niveaux moléculaire, biochimique et physiologique (HANANA et al, 2011).

Plusieurs recherches ont rapporté une réduction de croissance de plantes en raison de la salinité, chez la tomate (ROMERO- ARANDA et al., 2001) et le coton (MELONI et al., 2001). Cependant, il existe des différences dans la tolérance au stress salin entre les espèces et les cultivars (OMMAMIE, 2005).

La salinité des sols et des eaux d'irrigation demeure, dans les écosystèmes arides et semi arides, un obstacle majeur au développement et à la croissance des végétaux (FARISSI et al., 2014).

### 6.3. Effet de la salinité sur la photosynthèse

Les études entreprises sur différentes espèces végétales ont prouvé que la capacité photosynthétique est déprimée par la salinité (PARIDA et al., 2004).

La teneur en sel élevée, dans les tissus, influence directement les enzymes photosynthétiques et, par conséquent, les réactions d'échange de lumière et de gaz, or, la réduction de la photosynthèse à long terme entraîne l'inhibition de la formation et de l'expansion de la feuille ainsi que l'abscission précoce de cette dernière (BOUCHOUKH, 2010).

La réduction de la photosynthèse par la salinité est l'une des causes majeures de la réduction de la croissance et de la productivité végétale (FARISSI et al., 2014).

L'effet de la salinité sur la photosynthèse dépend des concentrations en sel et des espèces stressées, car à de faibles concentrations la photosynthèse est stimulée tandis qu'à de hautes concentrations elle est inhibée (**PARIDA et al., 2004**).

#### **6.4. Effet de la salinité sur la proline**

Les teneurs en proline s'accroissent rapidement chez de nombreuses mono- ou dicotylédones soumises à un stress salin (**YOSHIBA et al., 1999 ; RHODES et al., 2002 ; SILVA-ORTEGA et al., 2007**).

La proline agit en tant que composé soluble compatible dans l'ajustement osmotique pouvant atteindre de fortes concentrations sans exercer d'effet toxique comme le cas des ions (**YANCEY et al., 1982 ; SILVA-ORTEGA et al., 2007**). En plus du rôle osmotique attribué à la proline, celle-ci intervient dans la détoxification des formes actives d'oxygène (**HONG et al., 2000 ; KOCSY et al., 2005**) et la stabilisation des protéines (**ASHRAF et FOOLAD, 2007 ; MAJUMDER et al., 2010**), protégerait l'intégrité de la membrane plasmique (**MANSOUR, 1998**) et constituerait une source de carbone et d'azote (**AHMAD et HELLEBUST, 1988 ; PENG et al., 1996; SAIRAM et Tyagi, 2004**).

L'accumulation de la proline chez diverses espèces de plantes stressées a été corrélée à leur capacité de tolérance, et sa concentration est généralement plus élevée chez les plantes tolérantes que les plantes sensibles (**ASHRAF et FOOLAD, 2007**).

#### **6.5. Effet de la salinité sur les sucres**

Il a été démontré que certains composés notamment, les sucres solubles s'accumulent dans les tissus des plantes cultivées sous stress (**LORETTI et al., 2001**).

Plusieurs études physiologiques ont démontré que l'accumulation des sucres et des polyols, principalement suite à l'hydrolyse de l'amidon (**HOEKSTRA et al., 2001 ; PHILIPS et al., 2002**).

L'accumulation des sucres solubles est un moyen adopté par les plantes en cas de stress, afin de résister aux contraintes du milieu (**BAJJI, 1999**).

Le mannitol est la forme réduite du mannose. Ce sucre alcool un sucre qui sert comme soluté soluble pour faire face au stress salin (**Zhifang et Loescher, 2003**).

### 6.6. Effet de la salinité sur la chlorophylle

Le taux de la chlorophylle et des caroténoïdes des feuilles diminue en général sous les conditions de stress salin. Les feuilles les plus âgées commencent à développer une chlorose et finissent par tomber pendant une période prolongée de stress salin (AGASTIAN et al., 2000).

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

Le potentiel hydrique et le potentiel osmotique des plantes deviennent de plus en plus négatifs avec l'augmentation de la salinité ainsi que la pression de la turgescence (PARIDA et DAS, 2005). Dans les conditions de concentrations élevées de salinité accrue, le potentiel hydrique de la feuille et la vitesse d'évaporation diminuent significativement chez l'halophyte (PARIDA et DAS, 2002).

Irriguer avec de l'eau chargée en sels réduit la faculté des racines des plantes à puiser de l'eau du sol. Entre deux irrigations, alors que l'humidité du sol diminue, les sels de la solution du sol peuvent se concentrer à hauteur de 2 à 5 fois leur valeur initiale. Ceci cause une augmentation de la pression osmotique de la solution du sol et rend encore plus difficile pour les racines d'extraire l'eau du sol. C'est ce qu'on appelle une sécheresse physiologique (MAILLARD, 2001). Les effets osmotiques du stress salin peuvent également limiter la croissance des racines, ce qui limite les possibilités d'absorption des éléments nutritifs du sol (JABNOUNE, 2008).

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

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

Le stress salin cause :

- le développement de la vacuolisation et un gonflement partiel du réticulum endoplasmique.
- le gonflement de la mitochondrie.
- la vésiculation et la fragmentation du tonoplaste.

- la dégradation du cytoplasme par le mélange de la matrice cytoplasmique et vacuolaire des feuilles de la patate douce (**PARIDA et DAS, 2005**).

### **6.9. Effet de la salinité sur le rendement**

La salinité influence également la croissance et la qualité des fruits dont l'aspect (fruits plus petites et nécrosés) et la qualité organoleptique sont modifiés, et dont la valeur marchande devient médiocre (**LEVIGNERON et al., 1995**).

### **6.10. Effet de la salinité sur le sol**

Les fortes teneurs en sels peuvent influencer négativement les propriétés biologiques, Chimiques et physiques du sol.

#### **➤ 6.10.1. Sur les propriétés biologiques**

La salinité peut perturber le nombre de microorganismes et leurs fonctions dans le sol. Plusieurs études ont montré l'effet négatif de la salinité sur la biomasse microbienne totale, la biomasse fongique et l'ergostérol fongique (**SARDINHA et al., 2003 ; RIETZ et HAYNES, 2003 ; WALPOLA et ARUNAKUMARA, 2010**). Toutefois, **CHANDRA et al. (2002)** ont souligné qu'à faible concentration, les sels ont un effet stimulant sur la minéralisation du carbone, mais peuvent devenir toxiques pour les micro-organismes avec des concentrations croissantes.

#### **➤ 6.10.2. Sur les propriétés chimiques**

La salinité affecte les propriétés chimiques du sol tels que le pH, la capacité d'échange cationique (CEC), le pourcentage de sodium échangeable (ESP), le carbone organique et modifie le potentiel osmotique et matriciel du sol (**WANG et al., 2014**).

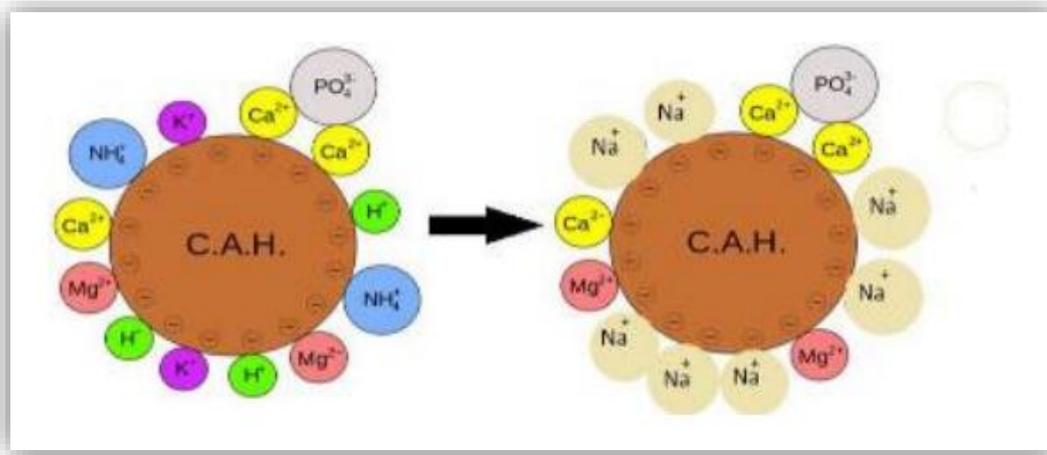
#### **➤ 6.10.3. Sur les propriétés physiques**

##### **▪ La structure du sol**

La structure du sol peut être définie comme le mode d'agencement des particules primaires du sol dans les agrégats. Elle gouverne d'une part, la pénétration des racines dans le sol et d'autre part le déplacement de l'eau et des éléments nutritifs de la masse du sol vers les racines (**LAVELLE et SPAIN, 2001**).

- **Le complexe adsorbant**

La salinité agit sur le complexe adsorbant par les cations échangeable ( $\text{Na}^+$  et  $\text{Mg}^{2+}$ ) ce qui provoque le lessivage des bases, la destruction des ponts calciques et avec comme conséquence une forte vitesse d'infiltration des eaux. La saturation du complexe adsorbant en  $\text{Na}^+$  provoque la dispersion des argiles (fraction fine) diminuant ainsi la porosité (aération) et la capacité de rétention de l'eau (**Figure N°01**).



**Figure N°01** : Effet du sodium sur le complexe adsorbant.

Dans les sols salins, la présence excessive de sels solubles neutres floccule la fraction argileuse, mais les maintient stable, alors que dans les sols alcalins, un excès en sodium échangeable favorise la dispersion de l'argile et rend la structure du sol instable. Ces sols sont ainsi sensibles aux encroûtements de surface qui favorisent le ruissellement de surface (**HASSAN, 2005**). Une prise en masse du sol peut également réduire fortement l'infiltration de l'eau dans le sol et conduire à une hydromorphie plus ou moins importante du sol selon sa texture et sa position topographique dans le paysage (**DOUAOUI et al, 2004**).

L'excès de sels dans un sol modifie les propriétés physiques et chimiques. Cette altération des conditions édaphiques constitue un stress indirect pour la croissance des plantes (**GREGORY, 2005**).

## 7. Classification des plantes vis-à-vis de la résistance à la salinité

Toutes les plantes ne sont pas égales face au stress salin, suivant leur production de biomasse en présence de sel, quatre grandes tendances ont été discernées. On peut distinguer :

- **Halophytes vraies** : dont la production de biomasse est stimulée par la présence de sel. Ces plantes (*Atriplex* sp, *Salicornia* sp, *Sueda* sp ...) présentent des adaptations poussées et sont naturellement favorisées par la salinité du sol.
- **Halophytes facultatives** : présentent une légère augmentation de biomasse à des teneurs faibles en sels : *Plantago maritima*, *Aster tripolium*....
- **Non halophytes résistants** : supportent de faibles concentrations en sels : *Hordeum* sp...
- **Glycophytes ou halophobes** : sensibles à la présence de sels: *Phaseolus vulgaris*.... (Hagemeyer, 1996 cité par Jabnoune, 2008).

## 8. Mécanisme de tolérance à la salinité

### 8.1. L'inclusion

Plante retient le sel qui parvient aux feuilles au même titre que l'eau, par le mouvement ascendant de la sève dans les vaisseaux. A l'intérieur des cellules, le sel est alors stocké dans les vacuoles grâce à des systèmes de pompes moléculaires .Les vacuoles sont des compartiments fermés au sein de la cellule, le sel est ainsi isolé des constituants cellulaires vitaux (BERTHOMIEU et al., 2003), ou excrété par des glandes vers l'extérieur (ALEM et AMRI ,2005).

### 8.2. Exclusion des ions toxiques

L'autre stratégie permettant aux plantes de survivre en condition de stress salin consiste à exclure le sodium du cytoplasme vers l'extérieur de la cellule. Dans ce cas, les plantes limitent l'entrée des éléments salins et les rejettent dans le compartiment apoplasmique (BLUMWALD et al., 2004 ; MUNNS 2005).

### 8.3. La recirculation

Récemment, BERTHOMIEU et al. (2003) ont montré chez *Arabidopsis thaliana* une troisième stratégie à l'intermédiaire entre l'exclusion et l'inclusion, la recirculation. Le Na<sup>+</sup> est absorbé et parvient jusqu'aux parties aériennes, mais il est aussitôt repompé être conduit par les vaisseaux du xylème vers les racines, qui peuvent excréter les ions à l'extérieur.

#### 8.4. L'ajustement osmotique

Chez plusieurs espèces végétales soumises à la contrainte saline. Cette accumulation varie dans de larges proportions suivant l'espèce, le stade de développement et le niveau de la salinité. Les différences d'accumulation des solutés (Acides aminés libres, proline et sucres solubles totaux) entre les plantes témoins et les plantes soumises au stress salin sont très importantes (EL MIDAOUI et al, 2007).

#### 8.5. Synthèse des solutés compatibles

L'accumulation des sucres solubles est très prononcée chez les plantes soumises à la contrainte saline, ces sucres ont pour rôle l'établissement de l'équilibre osmotique (MUNNS, 2002, GREGORY, 2005).

#### 8.6. Changement dans le cheminement photosynthétique

La réduction des taux d'assimilation photosynthétique chez les plantes soumises à la salinité est principalement due à la réduction de leur potentiel hydrique. Le but primordial de la tolérance à la salinité est donc d'augmenter l'efficacité d'utilisation de l'eau (OMAMI, 2005).

Chez les espèces tolérantes aux sels, il y a un passage du mode photosynthétique C3 à C4 (plantes en C4) en réponse à la salinité (ZHU et al., 2005).

### 9. Mécanisme d'adaptation au stress salin

A la différence des glycophytes qui ne supportent pas la présence de sels, les halophytes poussent mieux sur un sol salin. Elles déclenchent des mécanismes de tolérance qui contribuent à l'adaptation au stress osmotique et ionique provoqué par la salinité élevée. Ces mécanismes permettent d'ajuster la pression osmotique interne, grâce aux électrolytes et aux solutés organiques principalement des sucres solubles et des acides aminés, comme la proline et la glycine bêtaïne (DJERROUDI et al, 2010).

#### 9.1. Adaptation phénologique

Le stress salin a un accent ionique aussi bien qu'osmotique sur les plantes, il peut être distingué à plusieurs niveaux (TESTER et al, 2003). La racine et l'augmentation de la pousse sont réduites abruptement chez les plantes sensibles au sel et cet effet ne paraît pas dépendre de la concentration des ions dans les tissus en croissance, mais c'est plutôt une réponse à

l'osmolarité de la solution externe. Les contraintes dues à l'accumulation spécifique de Na<sup>+</sup> dans les tissus des feuilles se caractérisent par la nécrose des feuilles les plus anciennes, en commençant par le bout de celles-ci et en progressant vers marges puis continue vers la partie basale de la feuille (MUNNS, 2002).

### 9.2. Adaptation morphologique

La succulence, qui se traduit par une accumulation d'eau dans les cellules constitutives des tissus des organes aériens. La succulence des cellules foliaires, se traduisant par une augmentation de l'épaisseur des feuilles, est l'une des modifications qui apparaît de façon plus importante chez les espèces les plus tolérantes. On note de plus, la réduction de la surface foliaire, la présence d'une cuticule épaisse et l'apparition plus précoce de la lignification de quelques organes à la fin de leur cycle de vie (POLJAKOFF-MAYBER, 1975 ; RAACHEL et KARBOUSSA, 2004).

### 9.3. Adaptation physiologique

La plante empêche le sel de remonter jusqu'aux feuilles. Une première barrière existe au niveau de l'endoderme, couche interne de cellules de la racine. Cependant, cette barrière peut être interrompue, en particulier lors de l'émergence des ramifications de la racine. D'autres mécanismes limitent le passage de sel des racines vers les feuilles mais les gènes qui les gouvernent sont encore largement inconnus (SENTENAC et BERTHOMIEU, 2003).

### 9.4. Adaptation biochimique

Ces solutés ont des propriétés physiques et biologiques compatibles, même à forte concentration, avec les fonctions métaboliques. L'un des principaux caractères physiologiques de tolérance aux contraintes du milieu est l'ajustement osmotique. Celui-ci est réalisé grâce à une accumulation de composés osmorégulateurs conduisant à une réduction du potentiel osmotique permettant ainsi le maintien du potentiel de turgescence. L'accumulation de ces composés a été mise en évidence chez plusieurs espèces végétales soumises à la contrainte saline. Cette accumulation varie dans de larges proportions suivant l'espèce, le stade de développement et le niveau de la salinité. Les différences d'accumulation des solutés (Acides aminés libres, proline et sucres solubles totaux) entre les plantes témoins et les plantes soumises au stress salin sont très importantes (El MIDAOUI et al., 2007).

## 10. salinité dans le monde et en Algérie

### 10.1. Salinité dans le monde

La salinisation des terres est un problème majeur à l'échelle du globe. Elle affecte déjà au moins 400 millions d'hectares et en menace gravement une surface équivalente. Elle est donc très importante quantitativement puisque, encore une fois, nous n'avons qu'un milliard et demi d'ha cultivés sur la Terre (**MARLET et JOB, 2006**).

Il a été estimé que 20% des 275 millions d'hectares des terres irriguées (**FLOWERS et FLOWERS, 2005**) et 15% (227 millions d'hectares) des terres cultivables sont affectées par la salinité (**MUNNS, 2002**).

Région	Superficie (millions d'hectares)
Afrique	80,5
Europe	50,8
Amérique du nord	15,7
Amérique du sud	129,2
Australie	357,3
Mexique et Amérique Centre	2
Asie du Sud Est	20
Asie du Centre et du Nord	211,7
Asie du Sud	87,6
Total	954,8

**Tableau N°01** : Superficie affectée par la salinité dans le monde (**FAO, 2008**).

## 10.2. Salinité en Algérie

D'après **SZABLOCS** en **1994**, 3,2 millions d'hectares subissent à des degrés de sévérité variable, le phénomène de salinisation dont une bonne partie se trouve localisée dans les régions steppiques où le processus de salinisation est plus marqué du fait des températures élevées durant presque toute année, du manque d'exutoire et de l'absence de drainage efficient. Ce phénomène est observé dans les plaines et vallées de l'ouest du pays (Mina, Cheliff, Habra Sig, Maghnia) dans les hautes plaines de l'est (Constantine, Sétif, Bordj Bou Arreridj, Oum El Bouagui), aux abords des chotts et de Sebkhas (Chott Chergui, Chott gharbi, Chott Hodna, Chott melghir, Sebkha d'Oran, de Benziane, Zemmoul, Zazher Gharbi et Chergui, etc...) et dans le grand sud (dans les Oasis, le long des oueds, etc...).

L'Algérie, dont une grande partie des régions agricoles se caractérise par un climat aride et semi-aride, est touchée par le processus de salinité. Actuellement, près de 3,2 millions d'hectares sont menacés de salinisation dans ce pays. En Algérie, les sols salés sont très répandus en essentiellement dans les zones arides et semi-arides (qui couvrent près de 95% du territoire (**BENKHELIFA et al., 1999**)).

## 1. Généralités sur la culture hydroponique ou culture hors-sol

La culture hors-sol est une nouvelle technique alternative de culture des végétaux qui peut être mise en place, dans des exploitations horticoles de toutes tailles (**ZIEGLER, 2008**).

C'est un système qui peut constituer, semble-t-il, une réponse aux problèmes d'eau et de pollution que connaît notre planète. Il peut être au service des chercheurs qui utilisent cette technologie pour faire des recherches sur les végétaux (**ZIEGLER, 2008**).

La culture hydroponique ou culture hors sol relève des nouvelles technologies de production agricole où le sol naturel est remplacé par un substrat de culture artificiel (**KOUASSI, 2009**).

La culture hydroponique est très présente en horticulture et dans la culture forcée de certains fruits et légumes. Elle permet d'accélérer le processus de maturation des fruits grâce à un rythme nyctéméral plus rapide et permet plusieurs récoltes par an (**DANUMAH, 2009**).

L'utilisation de la culture hors sol marque une étape significative de progrès. La baisse de productivité et de qualité, due à un ensemble de problèmes agronomiques, physiologiques et pathologiques mal identifiés et regroupés sous le terme de « fatigue des sols », a été le premier moteur initiant l'utilisation de la culture hors sol (**BRUN ET MARY, 2003**).

C'est l'une des technologies modernes utilisées aujourd'hui en horticulture pour valoriser les terrains qui souffrent de certaines contraintes telles que : sols hydromorphes, sols salés (**AIT HOUSSA et al., 2005**).

### 1.1. Historique

Selon les historiens, la culture de plantes sur l'eau était pratiquée à l'époque des Aztèques et était utilisée pour les jardins suspendus de Babylone. Il faut attendre l'année 1860 pour voir deux chercheurs allemands réussir à faire pousser des plantes sur un milieu composé uniquement d'eau et de sels minéraux (**THIAULT, 2004**).

Le véritable développement commercial des cultures hors sol date de 1980. Depuis, ce système de culture s'est répandu, en horticulture sous serre et abris. Ainsi, près de 120 ans auront été nécessaires pour transférer une technique de laboratoire en un système de culture opérationnel et rentable (**MARTINEZ et MORARD, 2000**).

## 1.2. Définition

L'hydroponie est une technique très efficace pour cultiver des plantes et cela est dû au fait de la disponibilité permanente des bonnes proportions d'air, d'eau et d'engrais aux racines (**BONTE, 2010**).

Il existe cependant des cas de cultures hors-sol n'utilisant pas de substrats : cultures sur film d'eau ou hydroponiques (**VITRE, 2003**).

## 2. Composantes de l'hydroponie

### 2.1. Substrat

**VITRE (2003)**, souligne que le substrat doit présenter les propriétés suivantes :

- ✓ 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 éléments nutritifs.
- ✓ Etre facile à mettre en œuvre et à recycler.
- ✓ Avoir un coût faible.

Par ailleurs, tous substrat doit être bien entendu, indemne de germes pathogènes ou de substances toxiques.

Les travaux de **MICHAUD et BOUDREAU (2001)**, rapportent que les substrats utilisés en hors sol peuvent être du gravier, sable, vermiculite, laine, roche, brique concassé, et même du polystyrène.

### 2.2. Conteneurs

Les conteneurs sont des récipients contenant la plante et le substrat. Le choix des conteneurs doit se faire en fonction de l'espèce cultivée et de son système racinaire. Ils doivent être de forme et de dimensions adéquates avec la culture et le substrat, chimiquement inertes, résistants, faciles à mettre en œuvre, à désinfecter et à un prix réduit (**MOSTEFAOUI, 2003**).

Selon **ZUANG et MUSARD in ZOUAOUI, (2002)** en général, les conteneurs sont en matière plastique, étanches, durable, chimiquement inerte, et de mise en œuvre facile.

### 2.3. Solution nutritive

La préparation de la solution nutritive se fait à partir d'engrais solubles. Pour composer une solution équilibrée, la quantité de chaque engrais doit être calculée de manière convenable. Des formules complètes peuvent aussi être utilisées. Il convient toutefois de vérifier au préalable que les équilibres entre les éléments correspondent bien à ceux que l'on recherche (**PIVOT D, GILLI C, CARLEN C ,2005**).

La solution nutritive doit être équilibrée et adaptée aux besoins évolutifs des cultures sur substrat. Sa composition minérale joue un rôle capital dans la réussite des cultures sur substrat, surtout en système recyclé (**PIVOT D, GILLI C, CARLEN C ,2005**).

#### ➤ Le pH

Le pH mesure l'acidité d'un liquide. Sa valeur s'exprime sur une échelle graduée de 0 à 14 où 1 désigne une substance fortement acide, 7, une substance neutre, et 14, une substance fortement basique. Ainsi, les substances ayant un pH inférieur à 7 sont acides tandis que les substances ayant un pH supérieur à 7 sont basiques (**HADE, 2003**).

Selon **DINON et GERSTMANS (2008)**, les plantes peuvent être réparties en trois catégories en fonction du pH du milieu dans lequel elles poussent :

- Les plantes acidophiles : le pH du sol est compris entre 4,0 et 6,5.
- Les plantes neutrophiles : le pH du sol est compris entre 6,5 et 7,5.
- Les plantes basophiles : le pH du sol est compris entre 7,5 et 9,0.

En effet, les travaux de **DINON et GERSTMANS (2008)**, montrent que dans un milieu acide, le phosphore, le potassium, le calcium, le magnésium, le soufre et le molybdène sont moins facilement assimilables par la plante tandis que le fer, le manganèse, le bore, le cuivre et le zinc le sont moins dans un milieu basique.

Le support hydroponique est inerte et ne contient aucun nutriment. Les nutriments sont entièrement apportés par la solution nutritive, ce qui fait que le pH de cette dernière joue un rôle déterminant dans la solubilité et l'absorption des nutriments par les plantes (**ANONYME, 2007**).

#### ➤ Conductivité électrique

Une conductivité électrique élevée limite l'absorption du  $\text{Ca}^{2+}$ , la production de la matière fraîche et la capacité d'échange des ions (**THIAULT, 2004**).

Une forte valeur de conductivité électrique correspond à une charge élevée en sels minéraux dissous. Inversement, une faible valeur de conductivité reflète à coup sûr une eau douce. Cependant, il faut attirer l'attention sur le fait que le caractère acide ou basique d'une solution peut aussi être responsable d'une grande conductivité électrique (**HADE, 2003**).

#### ➤ **Equilibre ionique**

Pour l'alimentation hydrique et minérale les équilibres ioniques ne sont pas indifférents et pourront être modulés en fonction des stades de développement (**CHAUX et FOURY, 1994**).

Il existe, entre les éléments minéraux, des interactions qui font que d'un élément est Modifiée par la présence d'un autre (**HELLER, 1998**), il peut y avoir :

- ✓ Synergie : La pénétration d'un ion amplifié par la présence d'un autre (**HELLER et al., 1998**).
- ✓ Antagonisme : Au contraire la présence d'un ion inhibe l'absorption d'un autre (**HELLER et al., 1998**).

### **3. Principales cultures cultivées en hors sol**

Pratiquement, toutes les plantes peuvent être conduites en hors sol, mais sont principalement concernés les légumes et petits fruits. L'espèce majeure est les tomates suivies de la fraise, du concombre, du poivron et de l'aubergine. Depuis quelques années, sont développés le melon, la courgette et la framboise. Cette technique est utilisée en culture florale pour la rose, l'œillet et le gerbera. Dans un but expérimental, les arbres fruitiers sont conduits de cette manière pour étudier leurs besoins en éléments nutritifs (**THIAULT, 2004**).

### **4. Différents systèmes de culture hors sol**

D'après **URBAN (1997)**, on distingue trois systèmes de culture hors-sol :

#### **4.1. Culture aéroponique**

Dans laquelle les racines sont placées dans un brouillard nutritif.

#### **4.2. Culture hydroponique**

Dans laquelle les racines baignent dans un liquide nutritif, On distingue deux

Autres types :

- L'aquaculture, dans laquelle les racines sont émergées dans une solution non circulante.
- La NFT (Nutrient Film Technic) qui est un système de culture sur film de solution nutritive circulante.

### 4.3. Culture sur substrat inerte

Qui désigne les cultures hors sol faisant appel à des supports de cultures placées dans des conteneurs tels que des pots, des sacs, des tranches ou des bacs.

## 5. Les avantages et inconvénients du procédé hors sol

### 5.1. Avantages

Selon **MOREL (2005)**, et (**DANUMAH, 2009**), l'intérêt de la culture hors sol :

- Elimination des contraintes liées au sol :
  - ✓ Sol inadapté ou de mauvaise qualité agronomique.
  - ✓ Présence d'agents pathogènes, de polluants.
  - ✓ Salinité.
- Simplification des techniques culturales :
  - ✓ Pas de préparation de sol.
  - ✓ rotations culturelles rapides et mise en œuvre facile.
- Meilleure qualité du produit :
  - ✓ Aspect esthétique
  - ✓ Réduction de l'utilisation de produits phytosanitaires.
- Meilleure productivité de la plante :
  - ✓ Optimisation du potentiel de la plante.
  - ✓ Réduction des pertes en culture.
  - ✓ Les avantages de la production hydroponique dans la région méditerranéenne restent globalement l'économie d'eau et l'augmentation des rendements (dans certaines régions où les sols ne sont pas très favorables aux cultures) (**PADILLA, 2006**).
  - ✓ Croissance contrôlée et rapide.

**5.2. Inconvénients**

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

- La culture hydroponique nécessite l'utilisation d'une haute technologie et d'un haut niveau de technicité car toute erreur a une répercussion sur la culture.
- En culture hors sol la maîtrise des déchets est incomplète, cela induit des rejets polluants de solution nutritive et de certains substrats non recyclables.
- Le coût d'installation et d'entretien demande des investissements assez élevés.

## 1. Acide salicylique

L'acide salicylique est un régulateur de croissance endogène de nature phénolique, qui participe à la régulation des différents processus physiologiques chez les plantes (RASKIN, 1992).

L'acide salicylique fait partie des acides hydroxy benzoïques, qui sont dérivés de l'acide benzoïque et ont une formule de base de type C6- C1 (HARBONE, 1980 et MACHEIX et al., 1990).

L'acide salicylique est un constituant de l'aspirine (acide acétylsalicylique), en moindres quantités. Il est utilisé comme conservateur alimentaire et comme antiseptique, s'il est ingéré en grandes quantités, il peut être toxique pour les êtres vivants (RASKIN et al., 1987).

### 1.1. Historique

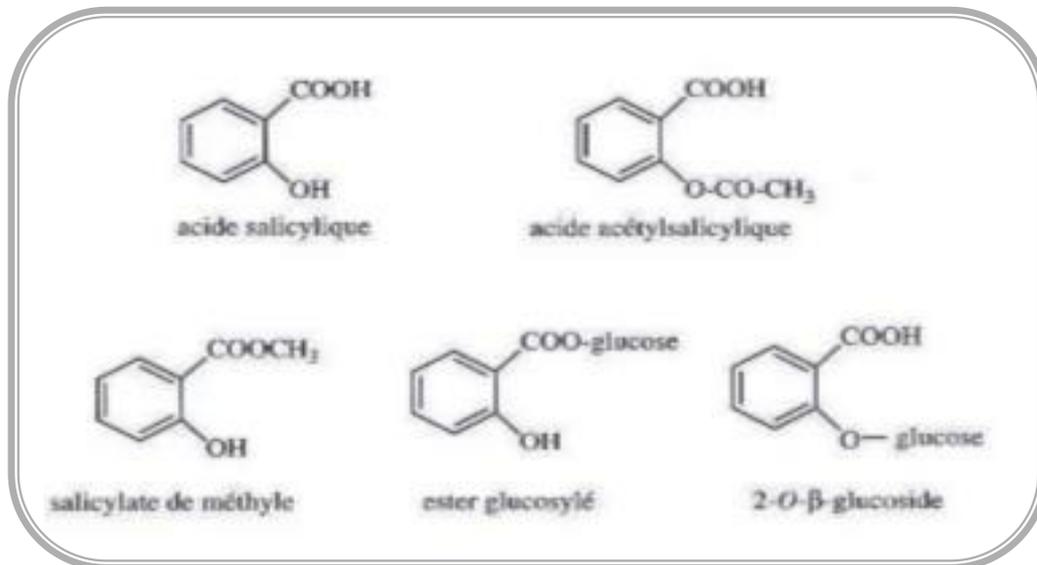
L'histoire de l'acide salicylique remonte à l'antiquité avec la découverte des vertus curatives de l'écorce de saule (*Salix alba*). C'est au début du XIXe siècle qu'un pharmacien français, obtient des cristaux solubles d'une substance qu'il baptise, salicyline, après avoir fait bouillir de la poudre d'écorce de saule blanc dans de l'eau et en avoir concentré la décoction. En 1828, des scientifiques allemands extraient et purifient cette substance active, d'abord appelé salicyline, puis acide salicylique. En 1874, on produisait le premier composé synthétique, appelé aspirine, à partir de la formule de l'acide salicylique (BENHAMOU, 2009).

L'acide salicylique était utilisé par les indiens d'Amérique, depuis longtemps, pour traiter les migraines. Ils plaçaient pour cela des écorces de saule autour de leur tête (HOPKINS, 2003).

### 1.2. Propriétés physico-chimiques

L'acide salicylique (acide o- hydroxy benzoïque (C<sub>7</sub>H<sub>4</sub>O<sub>3</sub>), M<sub>m</sub> = 138,12 g/mol), point de fusion 195°C, point d'ébullition 211 °C à 2666 Pa, pK<sub>a</sub> = 3, est un métabolite secondaire appartient au composés phénoliques naturellement synthétisé par certains végétaux. Elle est modérément soluble dans l'eau mais hautement soluble dans des solvants polaires organiques.

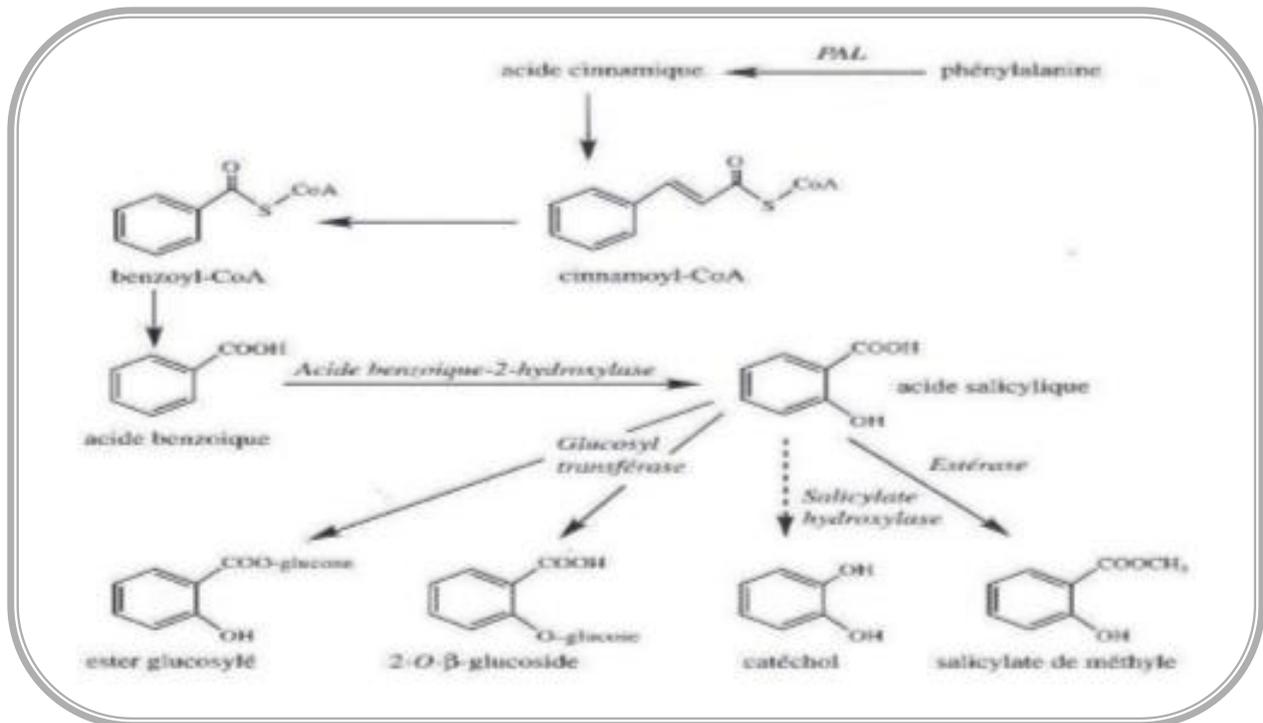
Cet acide est présent en abondance dans l'écorce et les feuilles de saule *Salix alba*, notamment, dans les fruits, sous forme estérifiée de salicylate de méthyle (HELLER, 1998 ; YALPANI et al., 1991).



**Figure N°02 :** L'acide salicylique et ses principaux dérivés naturels (salicylate de méthyle, ester glucosylé, glucoside). L'acide acétylsalicylique, principe actif de l'aspirine, est également représenté.

## 2. Biosynthèse de l'acide salicylique

L'acide salicylique, dont le rôle dans la signalisation cellulaire est important chez les végétaux, dérive de la phénylalanine via le cinnamoyl-CoA, le benzoyl-CoA et l'acide benzoïque. Il est ensuite glucosylé ou méthylé pour donner les formes combinées classiques de l'acide salicylique (LEE, 1995).



**Figure N°03 :** Voie de biosynthèse de l'acide salicylique et de ses principaux dérivés. Le salicylate hydroxylase est une enzyme codée par le gène bactérien nahG qui peut être introduit dans une plante par transformation génétique.

### 3. Rôle de l'acide salicylique

Dans les mécanismes de défense de la plante : parmi tous les composés phénoliques pouvant être impliqués dans la résistance des végétaux aux parasites, l'acide salicylique peut être présent sous plusieurs formes dans la plante : d'abord l'acide lui-même, plus ou moins dissocié selon le pH du milieu, ensuite sous forme d'un  $\beta$ -glucoside qui est probablement une forme de stockage, enfin le salicylate de méthyle qui pourrait être un signal volatil relâché dans l'air ambiant. Bien qu'il puisse intervenir directement, au même titre que les autres composés phénoliques, dans la résistance des plantes aux microorganismes, l'acide salicylique joue simultanément un rôle important comme messager intracellulaire déclenchant l'induction de l'ensemble des mécanismes qui permettent à la plante de se défendre vis-à-vis (cas du tabac), des champignons ou des bactéries (**KUNKEL et BROOKS, 2002**).

L'acide salicylique est nécessaire pour activer la plupart des réactions de défense de la plante et on observe souvent une rapide augmentation de sa concentration suite à l'attaque par des agents pathogènes (**SMITH et al., 1998**) ou en réponse à divers stress (UV, ozone, blessure...). Par ailleurs, il existe généralement une bonne corrélation entre la capacité de résistance de la plante et sa teneur en acide salicylique (**GOZZO, 2003**).

L'acide salicylique joue un rôle primaire pour induire l'expression de nombreux gènes, qu'il s'agisse ou non de gènes du métabolisme phénolique. La conséquence en est l'activation des systèmes de défense de la plante, se traduisant par l'accumulation de composés phénoliques et la mise en place des protéines PR (DELANEY et al. 1994 ; RYALS et al, 1996).

#### 4. Mode d'action de l'acide salicylique

Les mécanismes moléculaires par lesquels l'acide salicylique agit sur l'induction des gènes de résistance ont pu être en partie appréhendés grâce à l'utilisation d'analogues fonctionnels, en particulier l'acide 2,6- dichloroisonicotinique qui mine son action comme messenger intracellulaire. L'acide salicylique apparaît donc comme un signal qui est à l'origine d'une cascade de transduction intracellulaire aboutissant à l'expression de nombreux gènes (KLESSIG et al., 2000).

Dans la plupart des cas étudiés, la présence d'acide salicylique reste indispensable aux endroits où s'exprime la SAR, qu'il provienne du transport phloémien ou d'une biosynthèse directe au niveau de ces organes cibles. Par opposition, certains exemples montrent cependant l'existence de voies de transduction indépendantes de l'acide salicylique, dans lesquelles l'éthylène et l'acide jasmonique joueraient le rôle essentiel pour l'expression des mécanismes biochimiques de résistance (KUNKEL et al., 2002 ; PIETERSE et al., 1999).

#### 5. L'acide salicylique et la résistance abiotique

La corrélation observée entre la concentration d'acide salicylique et la résistance de la plante laisse supposer aux auteurs que l'acide salicylique est une molécule de signal commune à la plante, et responsable d'inciter sa tolérance à un certain nombre de stress biotiques et abiotiques (NICOLE et al., 1998).

L'application exogène de l'acide salicylique à un effet sur une large gamme de processus physiologique en condition défavorables externe, il a été prouvé dans plusieurs recherches que l'acide salicylique participe à la régulation de plusieurs voies métaboliques et physiologiques, mais son mécanisme d'action n'est pas encore bien clair et est toujours en cours d'étude (SHAKIROVA et al., 2003).

En l'additionnant aux milieux d'irrigation ou par pulvérisation foliaire, l'acide salicylique joue chez certaines plantes, et sous différentes conditions climatiques, un rôle de molécule signal pour induire la résistance ou la tolérance chez ces plantes aux différents stress abiotiques (KORKMAZ et al., 2007).

## 1. Botanique de la courgette

### 1.1. Systématique de la courgette

La courgette est une dicotylédone légumière de la famille des cucurbitacées. Sa position systématique selon le patrimoine naturel (2009) est :

Règne : Végétal.

Embranchement : Spermatophytes.

Classe : Dicotylédone.

Ordre : Cucurbitales.

Famille : Cucurbitaceae.

Genre : Cucurbita.

Espèce : Cucurbita pepo (Linné).

### 1.2. Morphologie de la courgette

La courgette est une plante herbacée annuelle, grimpant par des vrilles latérales à trois-quatre branches, fortement ramifiée ou à port buissonnant et dans ce cas souvent sans vrilles (FAO, 1988 ; MESSIAEN et FAGBAYIDE, 2004 ; ANONYME, 2014).

Chez les espèces ramifiées, l'axe principal se développe rapidement, la tige et les branches sont relativement courtes (FAO, 1988). Les feuilles sont profondément lobées de marges argentées, les tiges à poils piquants et des pédoncules durs à section pentagonale (MESSIAEN et FAGBAYIDE, 2004). Le système racinaire, presque totalement concentré dans la première partie de 60 cm est développé avec une solide racine pivotante (FAO, 1988).

### 1.3. Vie de la courgette

#### ➤ Germination

Les graines de courgette germent 5 à 7 jours après les semis ou plutôt si l'on fend soigneusement le tégument (MESSIAEN et FAGBAYIDE, 2004). La germination peut se faire en quatre jours sous une température optimale (FAO, 1988).

#### ➤ Floraison

Elle débute 30 à 40 jours après la levée de la plantule et plus ou moins continue (MESSIAEN et FAGBAYIDE, 2004).

### ➤ Fructification

Les premiers fruits immatures peuvent être récoltés 50-60 jours après la germination. Les fruits murs se récoltent au bout de 90-100 jours. Les fruits parthénocarpiques peuvent se former à des températures fraîches de 10°C la nuit et 20°C le jour (MESSIAEN et FAGBAYIDE, 2004).



Figure N°04 : Plante de Cucurbita pepo (MESSIAEN et FAGBAYIDE, 2004).

## 2. Origine et distribution de la courgette

Le centre d'origine de la courgette serait du Mexique où elle a été domestiquée il y a des milliers d'années. Certains pensent que sa domestication s'est faite plusieurs fois au Mexique et aux Etats-Unis, parce que des données archéologiques et moléculaires suggèrent qu'il existe deux lignées de taxons domestiqués pour *C. pepo*. Il a été introduit en Europe en même temps que d'autres espèces de *Cucurbita* au cours du 19<sup>ème</sup> siècle. Elle a plus d'importance dans les pays francophones qu'anglophones et on le cultive principalement près des villes, en particulier pour une clientèle européenne et libanaise (MESSIAEN et FAGBAYIDE, 2004). La culture de la courgette est largement répandue dans les régions méditerranéennes (FAO, 1988).

## 3. Importance de la courgette

La courgette, du même genre que les courges et les potirons est la seule espèce dont le fruit est récolté et consommé à un stade immature (MATHIEU et al., 2009). La courgette est

principalement cultivée pour l'alimentation. Elle peut être consommée comme légumes, soit cuite à l'eau ou grillée (MESSIAEN et FAGBAYIDE, 2004; ANONYME, 2014). Les graines sont prisées pour leurs propriétés médicinales (LEPORI et ODONE, 1968 ; MESSIAEN et FAGBAYIDE, 2004).

La composition nutritionnelle des fruits de *C. pepo* varie quelque peu selon le type de degré de maturité. La composition de 100 g de courgette est : 95,3 g d'eau ; 59 KJ d'énergie ; 1,2 g de protéines; 0,14 g de lipides; 2,9 g de glucides; 1,2 g de fibres alimentaires; 15 mg de calcium; 22 mg de magnésium; 32 mg de phosphore; 0,4 mg de fer; 0,2 mg de zinc; 340 UI de vitamine A ; 0,07 mg de thiamine ; 0,03 mg de riboflavine ; 0,4 mg de niacine ; 22 µg de folate; 90 mg d'acide ascorbique (MESSIAEN et FAGBAYIDE, 2004).

#### 4. Ecologie de la courgette

##### 4.1. Température

La courgette au même titre que d'autres Cucurbitacées, exige des conditions de chaleur pour se développer. Cependant elle exige des températures moins élevées que les autres cucurbitacées et légumes de saison chaude. Le niveau de température optimale pour assurer une bonne germination est de l'ordre de **20- 25°C** bien que **14-15°C** suffisent. La germination se fait en quatre jours sous une température optimale. Les températures de croissance optimale sont de **20-25°C** le jour et **16-18°C** la nuit, la température optimale du sol est de **15-20°C** (FAO, 1988). La fructification se fait à des températures optimales de **16-24°C** .Au-delà de **30-35°C** et selon les conditions d'alimentation hydrique, la plante peut faner de manière plus ou moins irréversible (ABATZIAN et al., 2003).

##### 4.2. Pluviosité

La grande rapidité de croissance de la plante de courgette exige la présence d'une quantité d'eau optimale dans les différents organes et dans le sol (FAO, 1988). La courgette craint L'excès d'humidité, elle a besoin d'environ 2,5 cm d'eau par semaine pour produire correctement (MESSIAEN et FAGBAYIDE, 2004).

##### 4.3. Sol

Le sol doit être riche en humus, neutre ou légèrement alcalin et bien drainé. Les sols légers avancent la maturité, tandis que les sols lourds favorisent la production (FAO, 1988).

## 5. Techniques culturales de la courgette

### 5.1. Préparation du terrain

La courgette exige un labour profond de 20 à 25 cm. Le pulvérisage, le nettoyage, et le planage soignés sont faits afin de pouvoir semer sur le sol bien ameubli, ce qui permet une bonne germination et un bon enracinement (ANONYME, 2014).

### 5.2. Semis

Le semis direct en pleine terre est préférable (FAO, 1988). Un terrain frais pendant le semis est nécessaire car un manque d'eau provoquerait une levée irrégulière (ABATZIAN et al., 2003). La reproduction se fait par les graines. Les semences grosses, bien constituées et sèches sont sélectionnées pour un meilleur développement de la plante (ANONYME, 2014).

En semis direct, il faut 4 à 5 kg de semences par hectare. On met 2 ou 3 semences par poquet de façon à être certain de disposer un beau plant par poquet, les plants sont disposés en lignes distantes de 100 à 120 cm et 60 cm séparant les plants dans la ligne (FAO, 1988). Le semis se fait aussi sur des buttes ou sillons (MESSIAEN et FAGBAYIDE, 2004).

Le repiquage est possible au stade cotylédon étalé. Le planting peut se faire jusqu'au stade 3 à 4 feuilles, en profondeur de la terre favorisant l'enracinement et protégeant les jeunes plants des ravageurs (les oiseaux notamment) (MATHIEU et al., 2009).

### 5.3. Entretien

Le binage (2 à 3 interventions) sont nécessaires jusqu'à couverture suffisante (MATHIEU et al., 2009). Les différents herbicides tels que le caramben et le benslide sont utilisés avant la période de semis (FAO, 1988), le chortal et le fluazifol-p-butyl sont respectivement utilisés avant et après la levée de la courgette (FERRIER, 2005).

Pour la fertilisation, la courgette exige un apport d'azote et d'oxyde de potassium (FAO, 1988).

### 5.4. Récolte

La récolte commence deux mois après le semis et peut s'échelonner sur un mois, trois à quatre fois par semaine (ANONYME, 2014). Elle se fait lorsque les fruits atteignent la taille commerciale de 20 à 25 cm, avant que les graines ne se distinguent de la chair (MESSIAEN et FAGBAYIDE, 2004).

Les fruits peuvent être conservés pendant 2 à 3 semaines après la récolte pour autant que la température se situe entre 0 et 4 °C et que le taux d'humidité atteigne 90-95% (FAO, 1988). Les fruits murs récoltés 70 jours après la pollinisation, peuvent se conserver deux mois avant d'en extraire la graine qui sera séchée. Le séchage est une étape importante pour les semences (ABATZIAN et al., 2003).

## 6. Pathologies et ennemis de la courgette

### 6.1. Pathologies

Selon MESSIAEN et FAGBAYIDE, (2004), les champignons qui s'attaquent à la courgette sont :

- ✓ Eysiphe cichoracearum et Sphaerotheca fuliginea sont responsables de la maladie foliaire.
- ✓ Alternaria ou Ulocladium spp sont responsables des taches foliaires
- ✓ Pseudoperonospora cubensis provoque des tâches foliaires sur des pétioles sénescents.
- ✓ Colletotrichum /aragenarium, s'attaque aux feuilles et aux fruits.

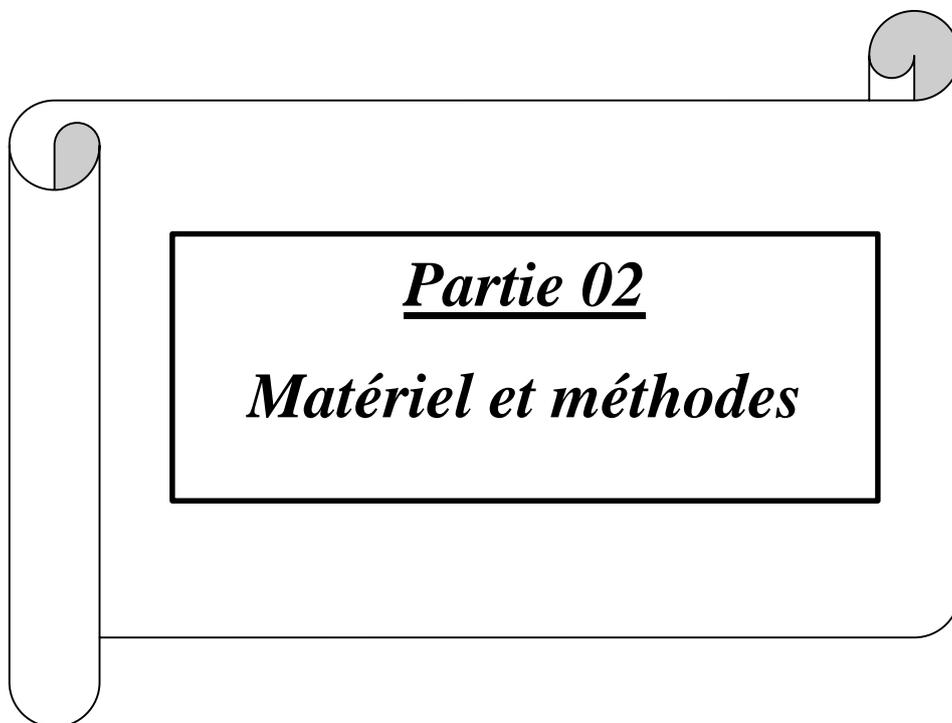
En outre, les virus qui s'attaquent à la courgette sont :

- ✓ La mosaïque du concombre.
- ✓ La mosaïque jaune de la courgette.

### 6.2. Ennemis

Les maladies des racines les plus importantes sont provoquées par des nématodes à galles (ANONYME, 2014).

Au niveau des ravageurs animaux de la courgette, on peut citer les oiseaux qui déracinent le jeune plant en le pinçant pendant les jours qui suivent les semis ou la plantation (MATHIEU et al., 2009).



## 1. Objectif de l'expérimentation

Le but de l'expérimentation est de voir l'impact de l'acide salicylique dans l'eau naturel saline d'Oued Chleff enrichie de  $\text{CaCl}_2$  et  $\text{MgCl}_2$  sur la nutrition minérale de la courgette (Cucurbita pepo) variété (NEJDMA) cultivée par le procédé hors sol.

## 2. Matériel végétal testé

La courgette constitue la plante test. C'est une plante annuelle dont la durée du cycle de production est courte, mais qui est sensible à la salinité. La variété testée est NEDJMA. C'est une variété cultivée en Algérie qui possèdent les caractéristiques suivantes :

- ❖ Bonne vigueur.
- ❖ Cycle végétative court.
- ❖ Glycophyte.

## 3. Conditions expérimentales

### 3.1. Lieu de l'expérience

Notre expérimentation s'est déroulée au niveau de la station expérimentale du département de Biotechnologies de l'Université Blida1 située dans la plaine de la Mitidja, dans une serre en polycarbonate 382,5 m<sup>2</sup> de surface dont l'orientation est nord-sud. L'aération est assurée par des fenêtres placées latéralement de part et d'autres de la serre.



**Figure N°05** : Situation du site expérimental.

Pour stimuler la croissance, on a créé un microclimat par l'utilisation d'un abri plastique sous forme de tunnel afin d'augmenter la température autour des plantes durant l'expérimentation, et ce compte tenu la défaillance du chauffage dans la serre.

### **3.2. Substrat utilisé**

Le substrat utilisé dans notre expérimentation est le gravier de rivière dont le diamètre est de 3 à 8mm provenant de la carrière de CHEBLI située à 25 Km d'Alger. Ce substrat constitue un milieu défavorable pour le développement de micro-organismes. Grâce à sa porosité, il assure une meilleure aération pour les racines des plantes. Afin d'éliminer tous les risques de contamination par les maladies parasitaires une procédure de désinfection de substrat a été effectuée comme suit :

- ❖ Nettoyage des pots.
- ❖ Elimination des particules terreuses et les débris végétaux par un lavage abondant et répété du gravier à l'eau courante.
- ❖ Remplissage des pots avec le substrat lavé.
- ❖ Désinfection du substrat avec une solution d'hypochlorite de sodium diluée.
- ❖ Rinçage abondant des pots à l'eau de robinet au moment du semis pour éliminer toute trace d'hypochlorite de sodium fortement nocive pour les racines des jeunes plantules de courgette.



**Figure N°06** : Rinçage du gravier à l'eau.

### **3.3. Conteneurs utilisés**

Les containers utilisés sont des pots en polyéthylène de couleur sombre ayant une capacité de 3,5litres et présentant des orifices de drainage à leur base afin de permettre l'évacuation de la solution nutritive excédentaire.



Figure N°07 : Aspect général des conteneurs.

#### 4. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental adopté est un plan sans contrôle d'hétérogénéité (randomisation totale), dont l'affectation des traitements s'est faite d'une manière aléatoire selon la table des permutations des nombres aléatoires de 01 à 10.

Le dispositif expérimental est un dispositif à un facteur : facteur solution à 04 niveaux). Chaque traitement comporte 07 observations, soit 28 unités expérimentales au total.

	T4	T1	T2	T3	(Traitement)
<b>P01 = Plante</b>					
<b>P02</b>					
<b>P03</b>					
<b>P04</b>					
<b>P05</b>					
<b>P06</b>					
<b>P07</b>					

Figure N°08 : Schéma du dispositif expérimental adapté.

 : Les observations.

T1, T2, T3, T4 : les traitements étudiés.



Figure N°09 : Vue du dispositif expérimental utilisé.

## 5. Pré-germination et repiquage

### 5.1. Pré-germination

La pré-germination a été réalisée au laboratoire le : 20/01/2020 dans une étuve à une température de 25C°. Les graines sont mises dans des boîtes de pétri contenant chacune 15 graines sur du papier buvard imbibé d'eau distillée. Après huit jours de mise en germination, la faculté germinative était de 85%.



Figure N°10 : Essai de germination des graines de courgette.

### 5.2. Repiquage des jeunes plants de courgette

Le repiquage des plants en place définitive a été réalisé le 28/01/2020 à raison de un germe par pot, soit huit jours après germination.



**Figure N°11** : Levée des plantules de courgette.

Les jeunes plantules ont été arrosées de manière homogène avec l'eau de robinet de Blida tiède, jusqu'à l'apparition des feuilles cotylédonaires et ce pour une durée de treize jours ; à savoir période comprise entre le 28/01/2020 et le 09/02/2020.

A la date du 10/02/2020, nous avons procédé à l'application des quatre différents traitements (T1, T2, T3, T4), et ceci jusqu'au 26/04/2020 à raison de deux dose de 100ml/jour.

## **6. Description des différents traitements**

Les différents traitements ayant constitués notre expérimentation sont :

**T1** : Eau d'Oued Chleff partiellement reconstituée de  $\text{CaCl}_2$  et  $\text{MgCl}_2$  + 0,5 mM d'acide salicylique.

**T2** : Eau d'Oued Chleff partiellement reconstituée de  $\text{CaCl}_2$  et  $\text{MgCl}_2$  + 1 mM d'acide salicylique.

**T3** : Eau d'Oued Chleff partiellement reconstituée de  $\text{CaCl}_2$  et  $\text{MgCl}_2$ .

**T4** : Eau de Blida.

Pour la préparation des traitements, nous avons reconstitué partiellement l'eau de Oued Chleff avec l'eau de Blida, compte tenu sa disponibilité dans le site expérimental, et des besoins en eau croissants des plantes de courgette.

**Tableau N°02 :** Teneurs des différents éléments minéraux contenus dans l'eau de Blida (mg/l) et (meq/l) :

Eléments	Teneur en mg/l	Teneur en meq /l
K+	00.00	00.00
Ca ++	56.00	2.80
Na +	29.90	1.30
Mg ++	21.60	1.80
NO 3 -	21.70	0.35
SO 4 - -	38.40	0.80
CL -	21.30	0.60
HCO 3 -	245.00	4.08
Total	433.90	11.73

## 7. Différents traitements testés

### 7.1. Reconstitution de l'eau d'Oued Chleff enrichie de CaCl<sub>2</sub> et MgCl<sub>2</sub> avec l'eau de Blida

Nous avons réalisé la reconstitution de l'eau de Oued Chleff avec l'eau de Blida, en prenant compte des éléments minéraux déjà présents dans l'eau de Blida, et en apportant le CaCl<sub>2</sub> et le MgCl<sub>2</sub> aux concentrations requises de l'eau de Oued Chleff.

**Tableau N°03 :** Composition partielle de l'eau d'Oued Chleff et de l'eau de Blida en meq/l :

Eau de Blida	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3--</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	Cl <sup>-</sup>	Total Oued Chleff
0,35	0,35	00	0,80	0,60	0,35
1,3					9,90
2,80					<b>9,25</b>
1,80					<b>9,20</b>
00					00
6,51					6,51
Total	0,35	00	0,8	<b>13,50</b>	

Les différents traitements sont élaborés à base de solutions mères de macroéléments puis diluées au moment de la préparation de la solution prête à l'utilisation.

**Tableau N°04 :** Reconstitution partielle de l'eau de l'oued Chleff avec l'eau de Blida, en meq/l :

Eau de Blida	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 0,35	PO <sub>4</sub> <sup>3--</sup> 00	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> 0,80	Cl <sup>-</sup> 0,60	Total Oued Chleff
K <sup>+</sup> 00	0,10				0,35
Na <sup>+</sup> 1,30					1,30
Ca <sup>++</sup> 2,80				6,45	<b>9,25</b>
Mg <sup>2++</sup> 1,80				7,40	<b>9,20</b>
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 00					00
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 4,08					4,08
Total	0,10	00	0,80	<b>14,45</b>	

## 7.2. Calcul des concentrations de MgCl<sub>2</sub> et de CaCl<sub>2</sub> :

**7.2.1. Cas du CaCl<sub>2</sub> :**  $6,45 \text{ meq/l} \times \text{masse molaire de 1 équivalent de CaCl}_2 (73,5) = 474,07 \text{ mg/l.}$

**7.2.2. Cas du MgCl<sub>2</sub> :**  $7,40 \text{ meq/l} \times \text{masse molaire de 1 équivalent de MgCl}_2 (101,65) = 752,21 \text{ mg/l.}$

## 7.3. Calcul des concentrations de l'acide salicylique à 0,5 mM et 1 mM :

### 7.3.1. Cas de la concentration de 0,5 mMole

La molarité de l'acide salicylique =  $138,12 \text{ g/mol}$  soit  $138,12/1000 = 0,13812 \text{ mg/mol}$  ou  $0,13812 \text{ mg/l.}$

Soit  $0,13812 \times 0,5 = 0,07 \text{ mg/l.}$

### 7.3.2. Cas de la concentration de 1 mMole

La molarité de l'acide salicylique =  $138,12 \text{ g/mol}$  soit  $138,12/1000 = 0,13812 \text{ mg/mol}$  ou  $0,13812 \text{ mg/l.}$

Soit  $0,13812 \times 1 = 0,138 \text{ mg/l.}$

#### 7.4. Calcul des solutions mères concentrées

##### 7.4.1 : préparation de la solution mère concentrée de MgCl<sub>2</sub>

- Dose préconisée dans l'eau de Oued Chleff : 7,40 meq/l soit 7,40 x M. atomique (101,65) = 752,21 mg/l.
  - Concentration X100 me donne : 752,21 X100= 75221 mg/l = 75,221 g/l.
  - Dans 1000 ml d'eau → **75221** mg de MgCl<sub>2</sub>
- X ml [100] ← Je cherche à quoi correspondent 752,21 mg/l de MgCl<sub>2</sub> dans la solution de MgCl<sub>2</sub> concentrée 100 fois

$$X = 10 \text{ ml de MgCl}_2 \text{ concentré [100] fois.}$$

##### 7.4.2 : préparation de la solution mère concentrée de CaCl<sub>2</sub>

- Dose préconisée dans l'eau d'Oued Chleff : 6,45meq/l de CaCl<sub>2</sub> soit 6,45x masse molaire de 1équivalent (73,50) mg/l = 474,075mg/l.
  - Concentration x [100] me donne : 474,075 X100= 47407,5 mg/l = 47,40 g/l.
  - Dans 1000 ml d'eau → **47407,5** mg de CaCl<sub>2</sub>
- x ml [100] ← Je cherche à quoi correspondent 474,075mg/l de CaCl<sub>2</sub> dans la solution de CaCl<sub>2</sub> concentrée 100 fois

$$X = 10 \text{ ml de CaCl}_2 \text{ concentré [100] fois.}$$

##### 7.4.3 : préparation de la solution mère concentrée de l'acide salicylique

- Molarité de l'acide salicylique : C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>(OH) COOH =138,12g/mol.
- Molarité de l'acide salicylique : 138,12/1000 = 0,13812mg/mol.
- Concentration X [200] me donne : 0, 13812 X 200 = 27,624 mg/l.
- Concentration 1 (0,5 mmol d'acide salicylique) → 0,13812×0,5=0,06906 mg/l.
- Concentration 2 (1mmol d'acide salicylique) → 0,13812×1= 0,13812 mg/l.

↓

##### 7.4.3.1. Pour la concentration 1 : à savoir 0,5 mM d'acide salicylique

Dans 1000 ml d'eau → **27,624** mg d'acide salicylique

X ml [100] ← Je cherche à quoi correspondent 0,06906 mg d'acide salicylique dans la solution d'acide salicylique concentrée 200 fois

$$X = 2,5 \text{ ml/l d'eau de l'Oued Chleff.}$$

**7.4.3.2. Pour la concentration 2 : à savoir 1 Mm d'acide salicylique**

- Dans 1000 ml d'eau → **27,624** mg d'acide salicylique
- X ml [100] ← Je cherche à quoi correspondent 0,13812 mg d'acide salicylique dans la solution d'acide salicylique concentrée 200 fois
- $X = 5 \text{ ml/l d'eau de l'Oued Chleff.}$

Un conteneur de 40 litres a été réservé à chaque traitement, et ce afin d'éviter la synthèse répétée des milieux nutritifs.

**Tableau N°05 :** Les différents traitements utilisés.

Traitement	Volume préparé en litres H2O Blida	Volume de MgCl <sub>2</sub> et CaCl <sub>2</sub> Versé	Volume d'acide salicylique administré
T1	40l	400ml + 400 ml	100ml
T2	40l	400ml + 400 ml	200ml
T3	40l	400ml + 400 ml	-
T4	40l	-	-

**8. Entretien de la culture**

**8.1. Irrigation**

Le système d'irrigation adopté est celui de la percolation à circuit ouvert permettant l'évacuation de la solution d'irrigation excédentaire.

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

La dose des arrosages est de 200 ml/jour, et ce à raison de deux fréquences journalière.

**8.2. Palissage**

En cours de l'expérimentation, nous avons remarqué que les plants de courgette avaient tendance à se recourber, ce qui nous a permis de confectionner des tuteurs à base de ficelles, permettant de maintenir les plantes dressées.

### **8.3. Aération**

L'excès de la chaleur peut avoir des conséquences néfastes sur notre culture. A chaque fois que la température dépassait les 30°C, nous avons procédé à l'aération de la serre assez tôt le matin par l'ouverture des fenêtres et des portes et ce afin de renouveler l'air ambiant.

## **9. Paramètres biométriques mesurés**

### **9.1. Vitesse de croissance [cm/j]**

Afin d'évaluer la vitesse de la croissance, nous avons mesuré périodiquement les hauteurs des plantes en centimètre du collet jusqu'à l'apex.

### **9.2. Hauteur finale des plantes [cm]**

Cette mesure a été effectuée au moment de la coupe à l'aide d'une règle graduée pour chacune des plantes et par traitement.

### **9.3. Nombre des feuilles**

Ce paramètre a été réalisé au moment de la coupe. Le principe consiste à faire un comptage des feuilles pour chaque plante et pour chacun des traitements.

### **9.4. Biomasse fraîche produite [g]**

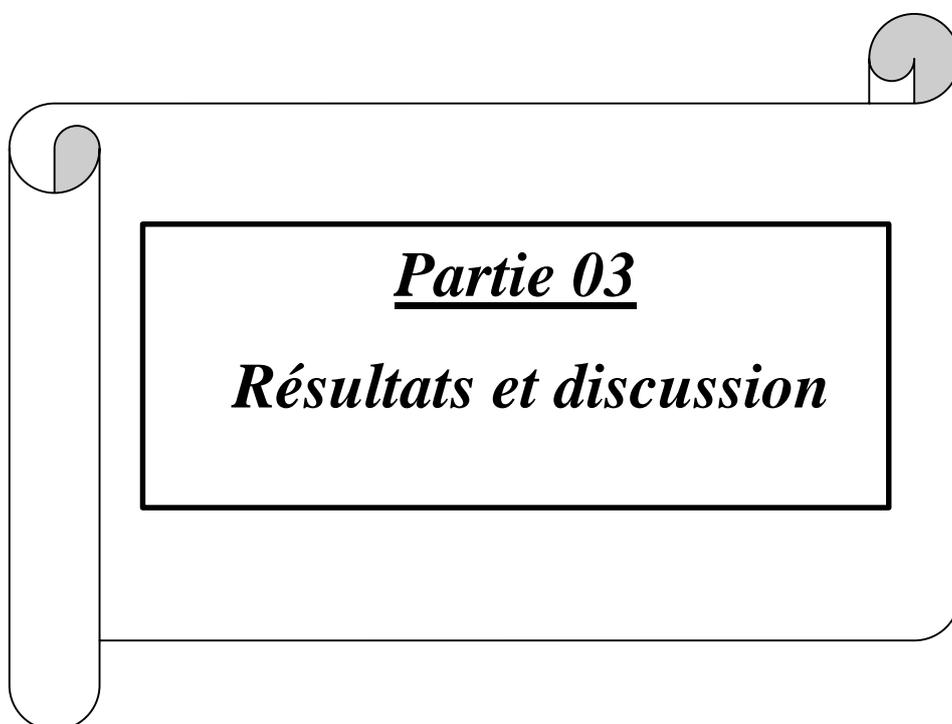
Au moment de la coupe, nous avons pesé les différents organes de la plante (feuilles, tiges, racines) en gramme à l'aide d'une balance. L'opération a été réalisée comme suite :

- Poids frais total (feuilles + tiges) de chaque plante et pour chacun des traitements.
- Poids frais des feuilles de chaque plante et pour chacun des traitements.
- Poids frais de la tige de chaque plante et pour chacun des traitements.
- Poids frais de la racine de chaque plante et pour chacun des traitements.
- Poids frais d'un échantillon moyen des feuilles par traitement.
- Poids frais d'un échantillon moyen des tiges et par traitement.
- Poids frais d'un échantillon moyen des racines et par traitement.

### **9.5. Biomasse sèche produite [g]**

La matière sèche a été mesurée après le séchage de la matière fraîche dans une étuve à 70C° jusqu'à stabilité du poids sec, nous avons pesé :

- Poids sec de l'échantillon moyen des feuilles par traitement.
- Poids sec de l'échantillon moyen des tiges par traitement.
- Poids de l'échantillon moyen des racines par traitement.



### 1. Paramètres de croissance

#### 1.1. Aspect général des plantes

L'effet des traitements est bien apparu durant toute notre expérimentation. La différence de comportement des plantes de courgette vis-à-vis des différents traitements testés s'est distinguée dès l'attribution des traitements aux plantes.



**Figure N°12** : Aspect général des plantes de courgette en cours de culture.

Après une observation globale des plantes on peut noter ce qui suit au niveau des différents traitements testés :

T1 : Les plantes irriguées par ce traitement sont vigoureuses, de couleur vert avec un nombre élevé de feuilles et de fleurs.

T2 : Un aspect végétatif appréciable est observé, avec un nombre de fleurs moins réduits par rapport au T1, néanmoins le feuillage basal présente une couleur jaunâtre.

T3 : Une faible vigueur végétative est remarquée, avec croissance chétive, présence de tiges minces avec un nombre réduit de feuilles de couleur jaunâtre.

T4 : Présence d'une biomasse de densité moyenne et de couleur verte avec un nombre de fleurs élevé par rapport au T2.

#### 1.2. Vitesse de croissance des plantes

La courbe suivante montre l'évolution de la vitesse de croissance des plantes de courgette pendant une période de quarante jours, Les mesures ont été faites par décades.

D'après la figure N°13, on peut noter que dès le 23/02/2020 soit treize jours après l'application des traitements, la vitesse de croissance s'accélère particulièrement pour les plantes issues des deux traitements T1 et T2, où il y a eu adjonction de l'acide salicylique.

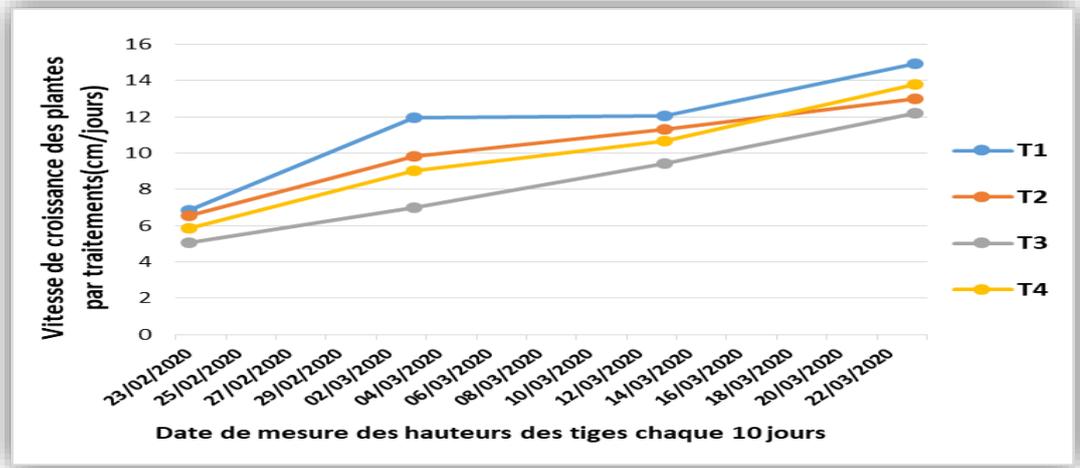


Figure N°13 : Vitesse de croissance des plantes de courgette en (cm/jours).

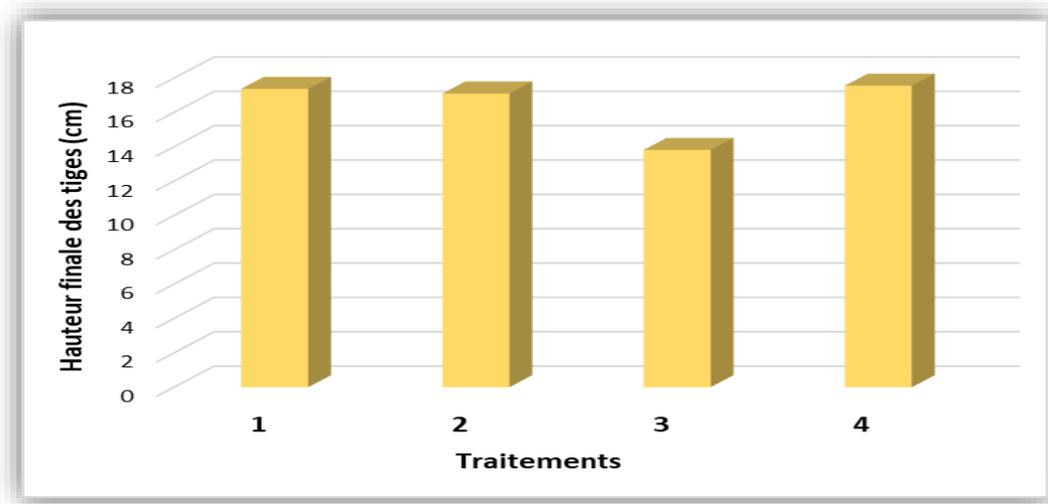
A l'inverse, les plantes alimentées par le traitement T4 et T3, à savoir l'irrigation par l'eau de Blida, et l'irrigation par l'eau de Oued Chleff reconstituée par l'eau de Blida et renfermant deux sels le  $\text{CaCl}_2$  et le  $\text{MgCl}_2$  respectivement, manifestent des vitesses de croissance plus lentes, notamment au niveau du T3.

### 1.3. Effet du traitement sur la hauteur finale des plantes

Les résultats relatifs à la hauteur finale des plantes sont présentés dans la figure N°14. Cette mesure a été faite sur la totalité des plantes par traitement.

Selon l'analyse de la variance, le facteur traitement exerce une action significative au seuil 5% sur le paramètre mesuré (**Annexe01, tableau01**). Le test de Newman et Keuls ( $\alpha = 5\%$ ) fait ressortir deux groupes homogènes (a) et (b).

A travers les résultats de la figure N°14, nous remarquons que les hauteurs les plus importantes sont enregistrées au niveau des plantes issues des traitements T1, T2 par rapport au T3, ceci en raison de la présence de l'acide salicylique dans les deux milieux nutritifs, permettant une régularisation de l'absorption hydrominérale au niveau des plantes de courgette.



**Figure N°14** : Hauteur finale des plantes de courgette en (cm).

Les hauteurs de plantes les plus faibles sont mesurées au niveau des plantes irriguées par le traitement T3, chargé de sels nuisibles à savoir le MgCl<sub>2</sub> et le CaCl<sub>2</sub> et dont la composition du milieu nutritif est déséquilibrée affectant ainsi le paramètre mesuré.

#### 1.4. Effet du traitement sur la date de l'apparition de la première feuille

Lors de notre expérimentation, nous avons suivi les dates d'apparition de la première feuille des plantes de courgette, ceci pourrait nous renseigner sur l'efficacité du traitement pour une croissance favorable ou défavorable des plantes testées. Cette mesure a été faite sur la totalité des plantes par traitement. Tableau N°06

**Tableau N°06** : Date d'apparition de la 1<sup>ère</sup> feuille des plantes de courgette par traitements.

Traitements / répétitions	T1	T2	T3	T4
<b>P1</b>	10/02/2020	11/02/2020	<b><u>10/02/2020</u></b>	12/02/2020
<b>P2</b>	<b><u>09/02/2020</u></b>	09/02/2020	13/02/2020	10/02/2020
<b>P3</b>	13/02/2020	10/02/2020	12/02/2020	11/02/2020
<b>P4</b>	14/02/2020	<b><u>08/02/2020</u></b>	12/02/2020	<b><u>08/02/2020</u></b>
<b>P5</b>	10/02/2020	15/02/2020	13/02/2020	15/02/2020
<b>P6</b>	12/02/2020	12/02/2020	11/02/2020	10/02/2020
<b>P7</b>	13/02/2020	14/02/2020	14/02/2020	12/02/2020

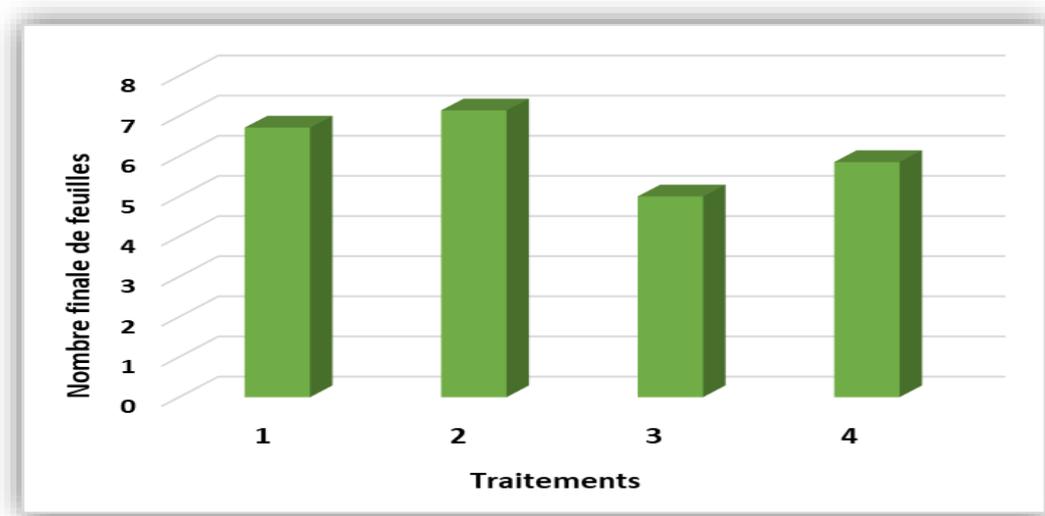
Nous avons estimé le début d'apparition de la première feuille par traitement, lorsqu'il y avait 10% des plantes d'un même traitement qui émettaient la première feuille, tandis que la pleine apparition lorsqu'on avait 75% des plantes qui formaient la feuille étudiée.

D'après le tableau ci-dessus, on remarque que 75% des plantules alimentées par les traitements T2 et T4 manifestent précocement l'apparition de leurs premières feuilles, et ce par rapport aux autres traitements. La concentration d'acide salicylique de 0,5 mMole semble favoriser l'apparition de la première feuille comparativement à la concentration de 1 mMole.

### 1.5. Effet du traitement sur le nombre de feuilles :

Le dénombrement des feuilles s'est réalisé au moment de la coupe finale au niveau de chaque plant et pour chacun des traitements. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure N°15.

L'analyse de la variance a révélé une différence significative au seuil de 5% du facteur traitement sur le nombre de feuille (**Annexe01, Tableau02**). Le test de Newman et Keuls ( $\alpha = 5\%$ ) fait ressortir deux groupes homogènes (a) et (b).



**Figure N°15 :** Nombre finale des feuilles par plante de courgette.

Les meilleures performances ont été enregistrées au niveau des traitements T2 et T1 avec un nombre moyen de feuilles de 7,9 et 6,5 respectivement, ceci peut s'expliquer inévitablement par la présence de l'acide salicylique qui a induit un effet stimulant sur la production du feuillage.

Le traitement T3 manifeste le nombre de feuilles par plante le plus faible ceci en raison du déséquilibre nutritionnel du milieu alimentaire et notamment la présence des deux sels à savoir le  $\text{CaCl}_2$  et le  $\text{MgCl}_2$  à des concentrations beaucoup plus élevées par rapport au besoin de l'espèce cultivée, inhibant ainsi donc d'autres éléments utiles à l'absorption hydrominérale de la plante cultivée.

### 1.6. Effet du traitement sur la floraison et la nouaison des plantes

Les observations et comptages du nombre de fleurs et de fleurs nouées par plante et par traitement ont été réalisés en cours de culture. Il y a lieu de rappeler que l'estimation du début floraison et début nouaison par traitement, lorsqu'il y avait 10% des plantes d'un même traitement qui émettaient la première fleur ou la première fleur nouée respectivement, tandis que la pleine floraison ou la pleine nouaison lorsqu'on avait 75% des plantes qui formaient des fleurs ou des fleurs nouées.

Les résultats des différentes observations et notations sont présentés dans les tableaux N°07 et N°08.

**Tableau N°07 :** Début et pleine floraison des plantes de courgette en nombre de jours.

Traitements	T1	T2	T3	T4
<b>Début floraison</b> 1 plant/7 a fleuri	<b>15 mars 2020</b> 48 jours après repiquage	<b>14 mars 2020</b> 47 jours après repiquage	<b>14mars 2020</b> 47jours après repiquage	<b>18 mars 2020</b> <u>51 jours après</u> <u>repiquage</u>
<b>Pleine floraison</b> 5 plants /7 ont fleuri	<b>16 mars 2020</b> <u>49 jours après</u> <u>repiquage</u>	<b>18 mars 2020</b> <u>51 jours après</u> <u>repiquage</u>	<b>18 mars 2020</b> 51 jours après repiquage	<b>21 mars 2020</b> 54 jours après repiquage

Selon le Tableau N°07, nous pouvons noter que les plantes alimentées par le traitement T4 à savoir l'irrigation des plantes de courgette par l'eau de Blida manifestent une pleine floraison la plus tardive comparativement aux autres traitements. L'adjonction de l'acide salicylique aux traitements salins T1 et T2 semble améliorer la précocité de la floraison des plantes de courgette.

**Tableau N° 08** : Début et pleine nouaison des plantes de courgette en nombre de jours.

Traitements	T1	T2	T3	T4
<b>Début nouaison</b>	<b>11 mars 2020</b> 44 jours après repiquage	<b>11mars 2020</b> 44 jours après repiquage	<b>12 mars 2020</b> 45 jours après repiquage	<b>9 mars 2020</b> 42 jours après repiquage
<b>Pleine nouaison</b>	<b>12 mars 2020</b> 45 jours après repiquage	<b>14 mars 2020</b> 47 jours après repiquage	<b>14 mars 2020</b> 47 jours après repiquage	<b>16 mars 2020</b> <u>49 jours après repiquage</u>

Selon les observations du Tableau N°08, nous constatons que les plantes alimentées par le traitement T4 à savoir l'irrigation des plantes de courgette par l'eau de Blida présentent une pleine nouaison la plus tardive et qui est de 49 jours après repiquage comparativement aux autres traitements. Aussi, il y a lieu de mentionner que l'adjonction de l'acide salicylique à la concentration de 0,5 mMole additionnée au traitement salin T1 améliore la précocité de la floraison des plantes de courgette.

## 2. Effet du traitement sur la biomasse fraîche produite en (g)

### 2.1. Biomasse aérienne fraîche produite (g)

Les pesées des différents organes végétaux sont effectuées durant la coupe finale.

L'analyse de la variance a révélé une différence significative au seuil de 5% du facteur traitement sur la biomasse fraîche de la partie aérienne (**Annexe01, Tableau03**). Le test de Newman et Keuls ( $\alpha = 5\%$ ) fait ressortir un deux groupes homogènes (a) et (b).

Selon les résultats de la figure N° 16, on remarque que les plantes irriguées avec les traitements T1 et T4 représentent des biomasses fraîches aériennes les plus importantes comparativement à celles irriguées avec les traitements T2 et T3. Ceci pourrait toujours être expliqué par l'efficacité de la concentration de l'acide salicylique à 0,5 mMole favorisant ainsi une production de biomasse aérienne importante.

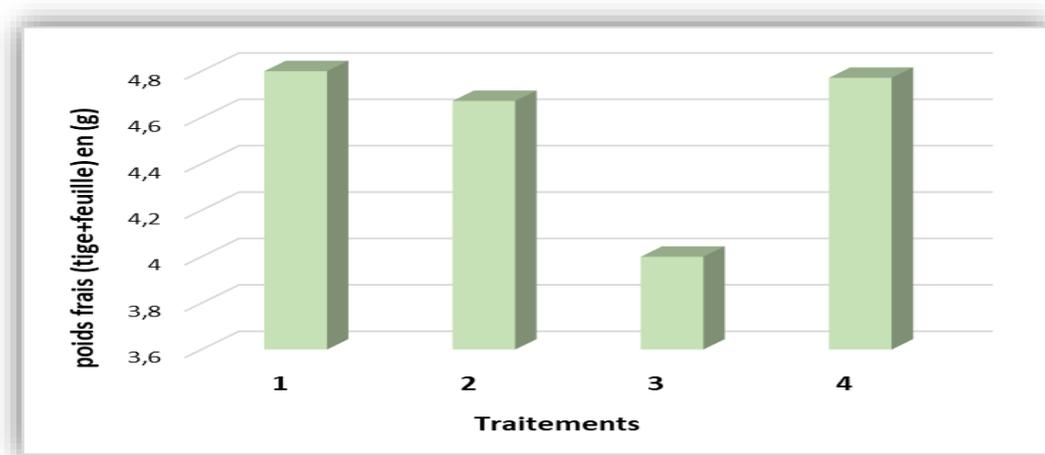


Figure N°16 : Biomasse fraîche de la partie aérienne de courgette en (g).

Des résultats insuffisants sont notés au niveau des plantes alimentées par le traitement T3, qui est naturellement chargé en sels défavorables à la nutrition minérale des plantes à savoir le  $\text{CaCl}_2$  et le  $\text{MgCl}_2$  en concentrations élevées, se traduisant par un jaunissement du feuillage et une diminution de la croissance des plantes.

## 2.2. Poids frais des feuilles de courgette (g)

Les résultats relatifs au paramètre mesuré sont mentionnés dans la figure N°17.

L'analyse de la variance a révélé une différence non significative au seuil de 5% du facteur traitement sur le poids frais des feuilles (**Annexe01, Tableau04**). Le test de Newman et Keuls ( $\alpha = 5\%$ ) fait ressortir un seul groupe homogène (a).

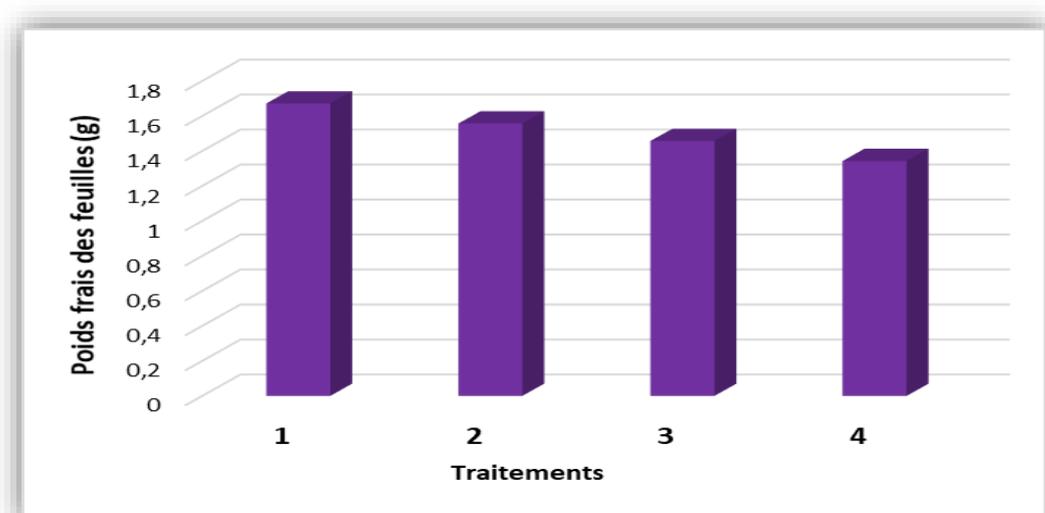


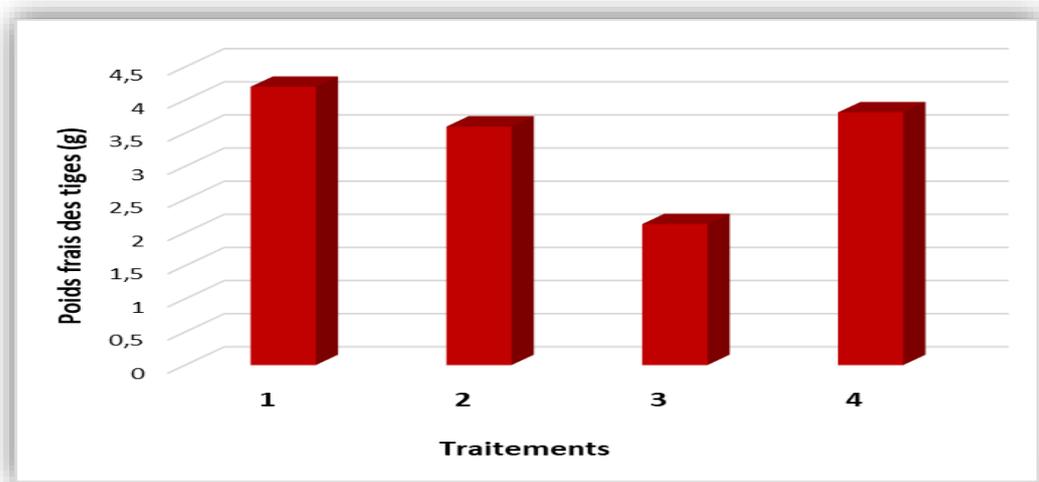
Figure N°17 : Biomasse fraîche des feuilles de courgette en (g).

D'après la figure N°17, il semblerait que le poids frais des feuilles le plus élevé est observé chez les traitements T1 et T2. Les plantes irriguées avec de l'eau T4 présentent une biomasse fraîche faible. Ceci peut s'expliquer par le manque des éléments essentiels pour la croissance et le développement des plantes. Cette réduction de biomasse de feuilles a pour origine une diminution de la photosynthèse et un dessèchement précoce des plantes.

### 2.3. Poids frais des tiges de courgette (g)

L'analyse de la variance a révélé une différence significative au seuil de 5% du facteur traitement sur le poids frais des tiges (**Annexe01, Tableau05**). Le test de Newman et Keuls ( $\alpha = 5\%$ ) fait ressortir trois groupes homogènes (a), (b) et (ab).

A travers les résultats de la figure N°18, il semblerait que les plantes traitées par le traitement T3 présentent un aspect chétif par rapport à celles issues des traitements T1 et T2 à cause de sa composition en sels et à l'absence de l'acide salicylique donnant un poids frais de tige le plus faible durant tout le cycle de développement des plantes. A l'inverse les plantes alimentées par le traitement T1 et T2 présentent une biomasse fraîche des tiges importante. Ce résultat est dû à la présence de l'acide salicylique dans le milieu permettant une amélioration de l'absorption hydrominérale des plantes.



**Figure N°18 :** Biomasse fraîche des tiges de courgette en (g).

### 2.4. Biomasse fraîche racinaire (g)

L'analyse de la variance a révélé une différence significative au seuil de 5% du facteur traitement sur la biomasse fraîche racinaire (**Annexe01, Tableau06**). Le test de Newman et Keuls ( $\alpha = 5\%$ ) fait ressortir trois groupes homogènes (a), (b) et (ab).

Les résultats obtenus sont présentés dans la figure N°19. Une performance du paramètre mesuré est enregistrée, chez les plantes alimentées par les solutions alimentaires T1 et T2 se traduisant par une biomasse fraîche racinaire importante, Aussi des résultats intéressants sont enregistrés au niveau des plantes traitées par le traitement T4 par rapport aux plantes issues du traitement T3.

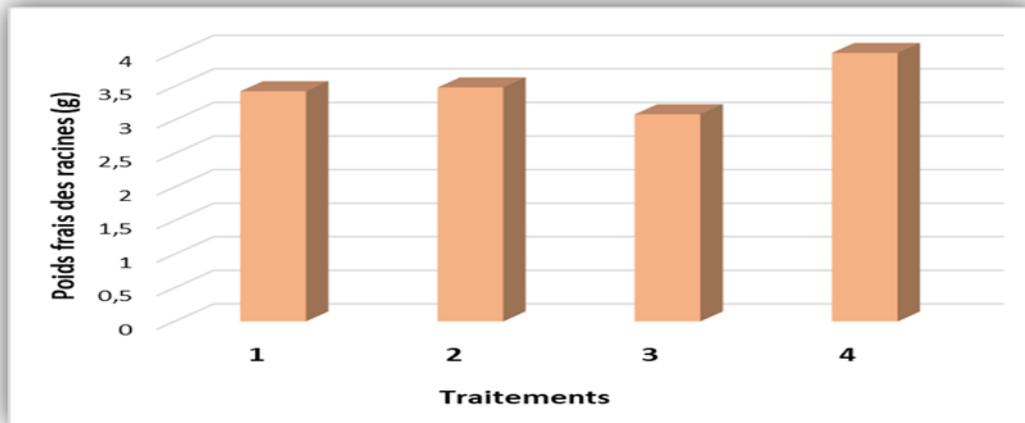


Figure N°19 : Biomasse fraîche des racines de courgette en (g).

## 2.5. Biomasse sèche aérienne (g)

### 2.5.1. Biomasse aérienne sèche totale produite (g)

La biomasse sèche totale produite est représentée dans la figure N°20. Une performance est enregistrée chez les plantes alimentées par le traitement T4 par rapport au T1 et T2.

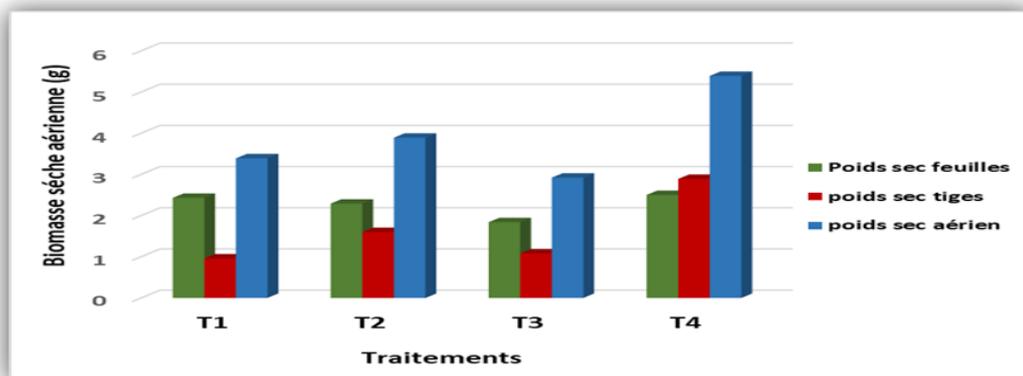
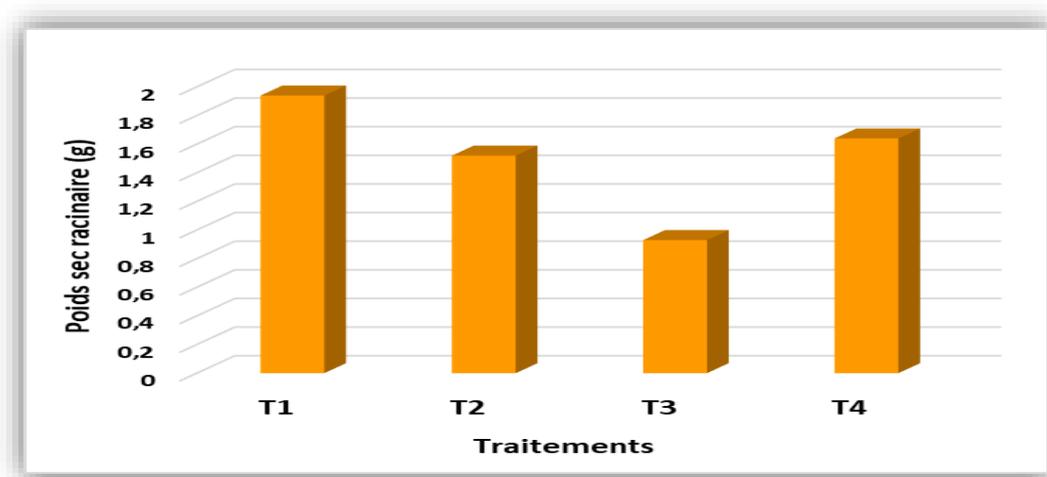


Figure N°20 : Poids sec de la partie aérienne (feuilles + tiges) des plantes de courgette en (g).

Le paramètre mesuré est le moins important au niveau des plantes alimentées par le traitement T3 en raison du déséquilibre nutritionnel du milieu qui inhibe l'absorption de l'eau et donc de la matière sèche de la partie aérienne produite.

### 2.5.2. Biomasse sèche racinaire (g)

La biomasse sèche racinaire produite est représentée dans la figure N°21.



**Figure N°21** : Poids sec de la partie racinaire des plantes de courgette en (g).

Nous avons enregistré des meilleures performances chez les plantes alimentées par le traitement T1 et T4 avec des valeurs de 1,9g et 1,6g, cela est lié à l'accumulation des éléments nutritifs au niveau des racines qui permet l'absorption des éléments minéraux nécessaires pour le développement de la plante.

Au niveau des plantes alimentées par le traitement T3, la présence de  $MgCl_2$  et  $CaCl_2$  avec une valeur de 0,9g qui permet d'enregistrer des faibles valeurs de la biomasse sèche racinaire.

### 3. Taux de matière sèche totale (%)

Le taux de matières sèches aériennes est calculé par la règle suivante :

$$\text{La matière sèche totale (\%)} = (\text{poids sec aérien} / \text{poids frais aérien}) \times 100.$$

Le taux de matière sèche totale le plus élevé est représenté par les traitements T4, T2, T1 par rapport aux autres plantes irrigués par le traitement T3.

Les résultats de taux de la matière sèche totale sont présentés dans la figure suivante :

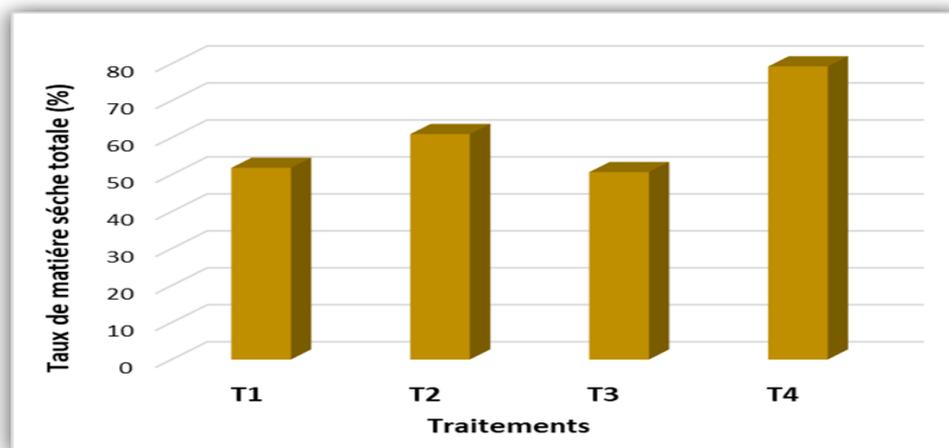


Figure N°22 : Taux de matière sèche totale (partie aérienne) de courgette en (%).

#### 4. Paramètres de rendement

##### 4.1. Nombre de fleurs par plant

L'estimation de la floraison a été faite durant l'expérimentation tous les jours au niveau des plantes traitées. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure N°23.

L'analyse de la variance a révélé une différence significative au seuil de 5% du facteur traitement sur le nombre de fleurs par plant (**Annexe 01, Tableau 07**). Le test de Newman et Keuls ( $\alpha = 5\%$ ) fait ressortir trois groupes homogènes (a), (b) et (ab).

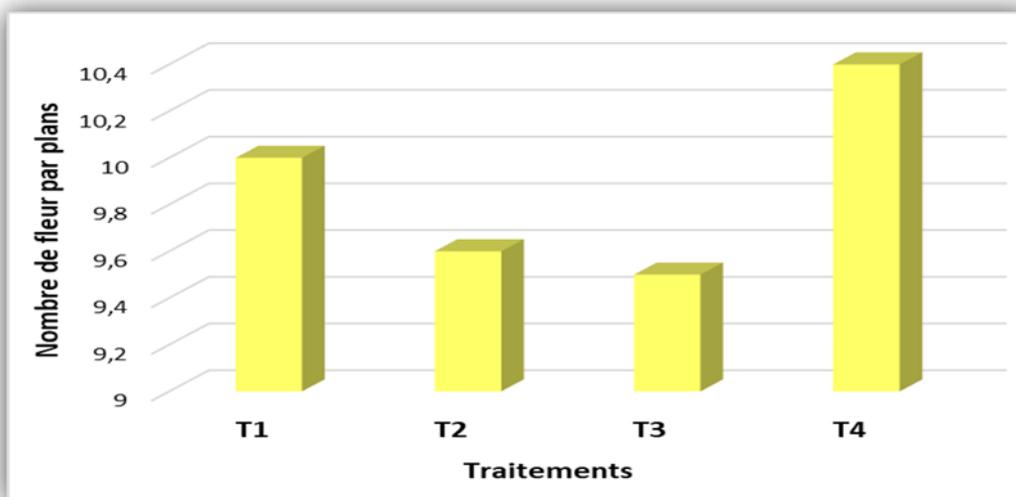


Figure N°23 : Nombre de fleur de courgette par plante.

Les plantes irrigués avec le traitement T1 et T4 manifestent le nombre de fleurs le plus important. Ceci est probablement expliqué par l'équilibre parfait des milieux nutritifs et sa richesse en éléments minéraux.

Contrairement aux plantes irriguées par les traitements T3, T2 ou nous avons enregistré des faibles valeurs, ceci peut s'expliquer par la sensibilité de la courgette à l'absence des éléments fertilisants.

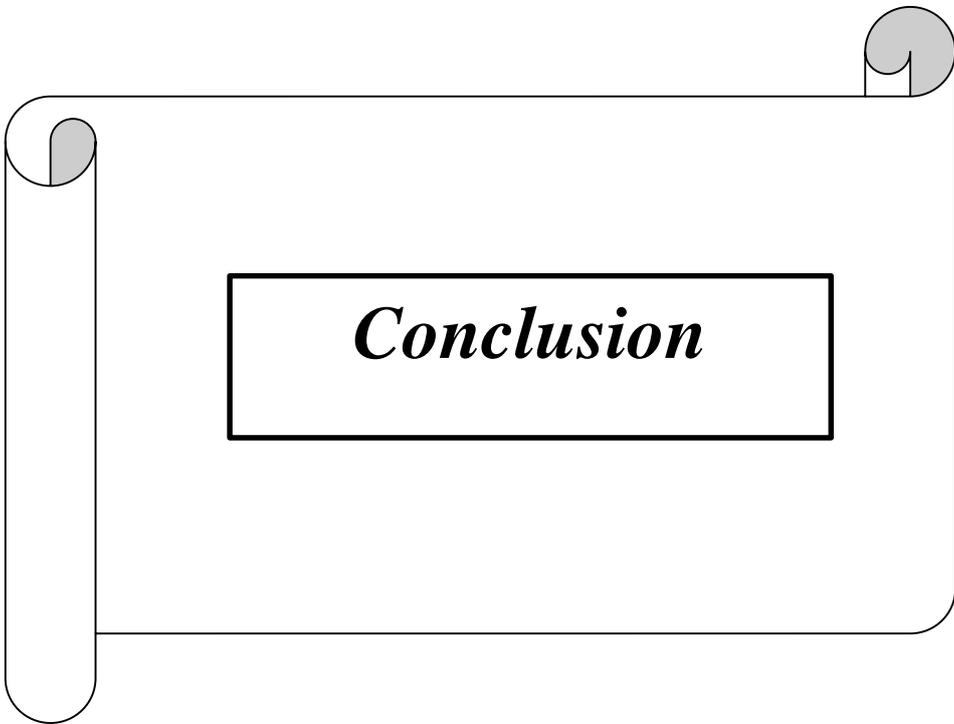
Nous avons donc jugé utile de synthétiser les résultats obtenus selon les potentialités de chaque traitement afin d'identifier le ou les traitements les plus performants d'après les Critères biométriques mesurés en cours de l'expérimentation.

**Tableau N°09** : Classements des traitements selon les paramètres biométriques mesurés.

Traitements	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>
Hauteur finale des tiges en cm	1	3	4	2
Nombre finale des feuilles	2	1	4	3
Biomasse fraîche aérienne en g	1	3	4	2
Poids frais des feuilles en g	1	2	3	4
Poids frais des tiges en g	1	3	4	2
Poids frais des racines en g	3	2	4	1
Biomasse sèche aérienne en g	3	2	4	1
Biomasse sèche racinaire en g	1	3	4	2
Taux de matière sèche totale %	3	2	4	1
Nombre de fleurs	1	4	2	3
Classement en nombre de fois premier	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>3</b>

Selon les résultats présentés dans le tableau N°09, nous remarquons que les traitements T1 correspondant aux plantes alimentées par l'eau de Chleff enrichie en MgCl<sub>2</sub> et CaCl<sub>2</sub> + 0,5 mMole d'Acide salicylique et le traitement T4 témoin à savoir l'eau de Blida respectivement, manifestent les meilleures performances biométriques par rapport aux traitements T2 eau naturelle de Chleff enrichie en MgCl<sub>2</sub> et CaCl<sub>2</sub> + 1 mMole d'Acide salicylique, et le traitement T3 eau de Chleff enrichie de MgCl<sub>2</sub> et CaCl<sub>2</sub>.

La faiblesse des résultats issus des plantes du traitement T3 renfermant des sels nuisibles à la croissance et au développement des plantes des espèces cultivées, notamment la présence du MgCl<sub>2</sub> et du CaCl<sub>2</sub>, inhibant ainsi la vitesse de croissance, et par conséquent la croissance est limitée d'où incidence direct sur les paramètres biométriques mesurés.



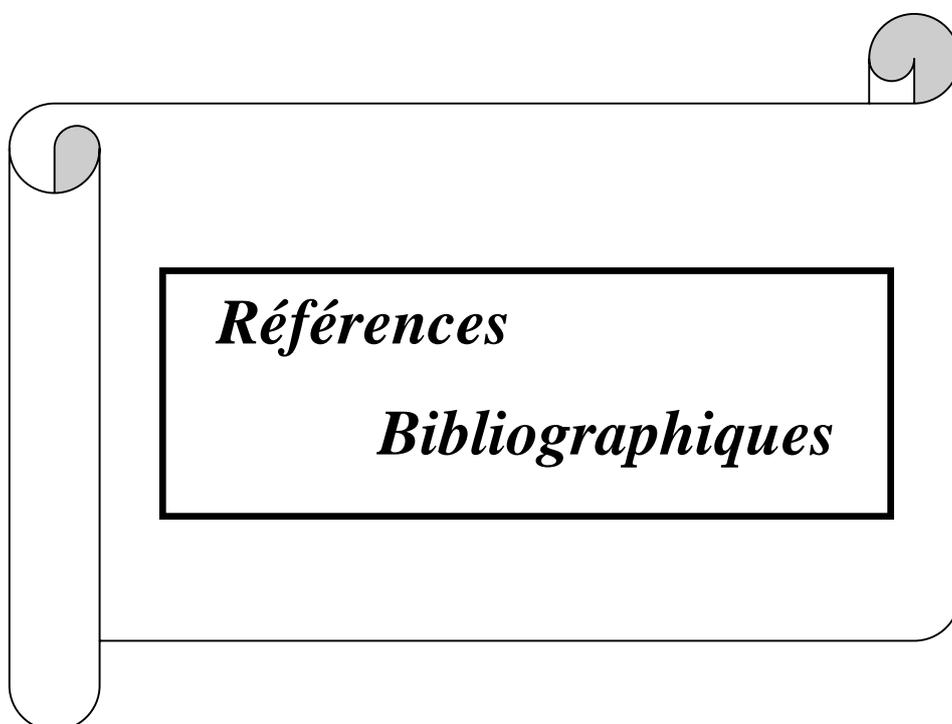
***Conclusion***

Les résultats obtenus durant notre expérimentation ont montré que l'utilisation en irrigation de l'eau naturelle limite considérablement la croissance des plantes tant sur l'aspect des paramètres biométriques mesurés (hauteur finale, diamètre des tiges, nombre de feuilles) que sur les paramètres de production tels que le nombre de fleurs apparues et nombre de fleurs nouées. Ceci est dû essentiellement à l'absence de certains éléments nutritifs indispensables aux plantes en cours de leur croissance et leur développement.

Le traitement T1 à savoir eau saline de Chleff reconstituée avec l'eau de Blida additionnée à 0,5 mMole d'acide salicylique a fortement amélioré les paramètres biométriques étudiés. On déduit donc que l'addition à l'eau saline de l'acide salicylique a eu un rôle bénéfique sur le comportement physiologique des plantes de courgette.

Le traitement T2 a montré que la présence de l'acide salicylique à la concentration de 1 mMole exerce une action inhibitrice et opposée à la concentration de 0,5 mMole testée au niveau du traitement T1. On peut conclure que l'utilisation de l'acide salicylique à une concentration bien étudiée pourrait être une solution favorable à l'amélioration des productions légumières en milieu salin naturel.

Compte tenu de l'importance de la culture de courgette en Algérie et des résultats encourageants obtenus dans notre expérimentation, il est souhaitable d'approfondir cette recherche concernant l'enrichissement des eaux salines naturelles qui représentent un sérieux problème dans notre pays. Ces résultats contribueront ainsi à une meilleure gestion des eaux impropres à l'irrigation dans les régions arides et semi-arides où la qualité des eaux disponibles est non conventionnelle.



***Références***

***Bibliographiques***

- **ABATZIAN V., LIZOT J.F., COLLIN F. et BRUN L., 2003**- Produire des semences de Courgette dans itinéraire Agrobiologique. IT AB 149, rue de Bercy 75595 Paris Cedex 12 et FNAMS 74, rue J. J. Rousseau 75001 Paris, pp 1-4.
- **AGASTIAN P. ; KINGSLEY S.J. ; VIVEKANANDAN M., 2000** - Effet of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes .Phtosynthtica 38, 287-290.
- **AHMAD, I ; HELLEBUST, J.A. 1988**- The Relationship between inorganic nitrogen metabolism and proline accumulation in osmoregulatory responses of two euryhaline microalgae. Plant Physiol. 88(2) : 348-354.
- **ARFAN M., ATHAR H.R., ASHRAF M., 2006**- Exogenously application of salicylic acid on the modulation of photosynthetic in heat in salt stress.
- **AÏT HOUSSA., NOUGA EL., OUALILI H., CHTAIBAT Y., CHADDAD A. 2005**- Fertigation de la tomate hors sol dans la région de Douiet (Maroc). Ecole Nationale d'Agriculture de Meknès Domaine Agricole de Douie. 1-15p.
- **ALEM. C., et AMRI. A., 2005**- Importance de la stabilité des membranes cellulaires dans la tolérance à la salinité chez l'orge. Vol 4 Maroc, PP 20-32.
- **ANONYME., 2007** : Cultures hydroponiques et horticoles 3e Edition. Catalogue Hanna instruments. France. 9p.
- **ANONYME. 2014**. Courge et courgette, consulté en décembre 2014  
<http://www.agricultu.re.gov.mg/wpcontent/uploads/2014/pdf/Courgesetcourgettes.pdf>
- **ASHRAF, M ; Foolad, M.R. (2007)**. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environ. Exp. Bot. 59(2) : 206-216.

- **BAJJI M. 1999.** « Étude des mécanismes de résistance au stress hydrique chez le blé dur : caractérisation de cultivars différant par leurs niveaux de résistance à la sécheresse et de variants somaclonaux sélectionnés In vitro ». Thèse de doctorat. Univ-Louvain.
- **BENKHELIFA M., ARBAOUI M., BELKHODJA M., 1999** – Effets combinés de la salinité et de la bentonite sur la densité racinaire d'une culture de tomate cultivée sur un substrat sableux. Séminaire National sur la salinité des terres Agricoles en Algérie, Chlef : 101-108.
- **BENHAMOU N. 2009-** La résistance chez les plantes : principes de la stratégie défensive et applications agronomiques. Lavoisier, France. 376 p.
- **BERTHOMIEU P ; CONEJERO G ; NUBLAT A ; BRACKENBURY W.J ; LABERT C ; SAVIO C ; UOZUMI N ; OIKI S ; YAMADA K ; CELLIER F ; GOSTI F ; SIMONNEAU T ; ESSAH P.A ; TESTER M ; VERY A.A ; SENTENAC H et CASSE F. ,2003** –functional analysis of AtHKT1 in Arabidopsis shows that Na<sup>+</sup> recirculation by the phloem is crucial for salt tolerance.Embo Journal 22 :2004-2014. Biotechnology. 16 :123-132.
- **BLUMWALD, E ; GROVER, A ; GOOD, A.G. (2004).** Breeding for abiotic stress resistance: challenges and opportunities. 2004 « New directions for a diverse planet ». In Proceedings of the 4th International Crop Science Congress, 26 September – 1 October 2004, Brisbane, Australia. Web site [www.cropscience.org.au](http://www.cropscience.org.au).
- **BONTE L-H., 2010.** Réaliser et entretenir un mur végétal. Ed. Eyrolles. Paris.
- **BOUCHOUKH I., 2010.** Comportement éco physiologique de deux chénopodiacées des genres Atriplex et Spinacia soumises au stress salin. These magistère en biologie végétale. Université Mentouri de Constantine, 7-10-30p.
- **BOUALLA N., BENZIANE A., DERRICH Z., 2012.** Origine de la salinisation des sols de la plaine de M'léta (bordure sud du bassin sebkha Oran). Journal of Applied Biosciences, vol. 53, pp 3787-3796.

- **BRUN R., ET MARY L., 2003.** La rose sous serre pour la fleur coupée. INRA. Paris. 7p.
- **CARDEN F., (2009)**-Des connaissances aux politiques : tirer le meilleur parti possible de la recherche en développement .Ed IDRC. 336P.
- **CORWIN D.L et LESCH S.M., 2005.** Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. Computers and Electronics in Agriculture 46, pp 11-43.
- **CHAUX C., et FOURY C., 1994** : Productions légumières, Tome III : légumineuses potagères, légumes fruits, technique et documentation.Ed. Lavoisier. Paris. 563p.
- **CHANDRA S., JOSHI H.C., PATHAK H., JAIN M.C. et KALRA N. (2002).** Effect of potassium salts and distillery effluent on carbon mineralization in soil. Bioresource Technology, 83 : 255-257.
- **CHESWORTH W., 2008.** Encyclopedia of Soil Science, Ed. Springer Dordrecht, Berlin, 902p.
- **DANUMAH J., 2009.** L'agriculture hors sol. Une agriculture saine rentable et respectueuse de l'environnement. Coco sol .côte d'Ivoire .63p.
- **DEBEZ A., CHAIBI W. et BOUZID S., 2001.** Effet du NaCl et de régulateurs de croissance sur la germination d'"Atriplex halimus L. Agricultures 10, (2), p.135-138.
- **DELANEY TP., UKNES SJ., VERNOOIJ B., FRIEDRICH L., WEYMANN K., NEGROTTO D., GAFFNEY T., GUT RM., KESSMANN H., WARD E., RYALS J.1994-** A central role of salicylic acid in plant disease resistance. Science 266, pp. 1247 – 1250.

- **DINON E. et GERSTMANS A., 2008.** L'influence du pH sur l'assimilation des éléments nutritifs du sol par les plantes et sur la variété des plantes. Université de Liège, printemps des sciences, France. 1-4p.
- **DJERROUDI Z., MOULAY B., BISSATI S., HADJAJ S., 2010.** Effet du stress salin sur l'accumulation de proline chez deux espèces d'*Atriplexhalimus L* et *Atriplex canescens*, Eurojournales, vol 41, n° 2, 249-260p.
- **DOUAOUI A, 2004.** Infiltrabilité et érodibilité de sols salinisés de la plaine du Bas Chéouli (Algérie). Mesures au laboratoire sous simulation de pluie. EGS, Vol. 11, N°4, 2004, 379-392.
- **El Midaoui M., Benbella M., Aït Houssa A., Ibriz M., et Talouizte A., 2007.** Contribution à l'étude de quelques mécanismes d'adaptation à la salinité chez le tournesol cultivé (*Helianthusannuus L.*) Revue HTE N°136, mars 2007, 29-34p.
- **EL MOUKHTAR M. S., 2010.** Etude des réponses physiologique et métabolique de dix variétés de riz (*Oryzasativa L*) aux premiers stades de développement vis-à-vis du stress salin. Thèse d'études approfondies (DEA) en chimie et biochimie des produits naturels, université Cheikh AntaDiop de Dakar, Senegal, 6p.
- **EL TAYEB MA.2005-** Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regul* 45:215–224.
- **FAO. 1988.** Culture protégée en climat méditerranéen. *Foods and Agriculture Org.*, 317p.
- **FAO (Food and Agricultural Organisation), FAO., 2008** – Annuaire statistique de la FAO.
- **FARISSI M., AZIZ F., BOUIZGAREN A., GHOULAM C., 2014.** La symbiose légumineuse rhizobia sous conditions de salinité : aspect agro-physiologique et biochimiques de la tolérance, *Innovative space of scientific research journal*, vol 11N°,96-104p.

- **FERRIER J. D., 2005.** Courgette protection sanitaire. Chambre d'Agriculture de l'Ain (CAA), 5p.
- **FLOWERS T.J. et FLOWERS S.A., 2005-** Why does salinity pose such a difficult problem for plant breeders. *Agricultural water management*. Vol. 78. N°.1-2 : 15-24p.
- **GOZZO F., 2003-** Systemic acquired resistance in crop protection: from nature to a chemical approach, *J. Agric. Food Chem.* 51, pp. 4487- 4503.
- **GREGORY B, 2005.** Ecophysiologie de semis de conifères ectomycorhizes en milieu salin et sodique. Thèse de doctorat en science forestières 190p.
- **HADÉ A., 2003.** Nos Lacs, les connaître pour mieux les protéger. Ed. Fides. Québec. p230.
- **GUNES A., INAL A., ALPASLAN M., 2005-** Salicylic acid induced changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (*Zea mays L.*) growth under salinity. Department of soil science and plant nutrition. Ankara University. Turkey.
- **HANANA M., HAMROUNI L., CAGNAC O., BLUMWALD E., 2011.** Mécanismes et stratégies cellulaires de tolérance à la salinité (Na Cl) Chez les plantes, *journal translation, CNRC*, vol 09, 121-141p.
- **HARBORNE J.B. 1980-** Plant Phenolics. In : *Secondary Plant Products. Encyclopedia of Plant physiology*, Vol. 8, Bell EA, Charlwood BV, eds, SpringerVerlag, Berlin, pp. 329- 402.
- **HARTANI T., DOUAOUI A., KUPER M., HASSANI F., (2008)-** Stratégies de gestion individuelle de la salinité dans les périmètres irrigués de bas du Chélib cas de périmètre d'Ouarizane. Actes de troisième atelier du projet du sirma, Nabeul, Tunisie. 12p.

- **HASSAN G, PERSAUD N, RENEAU R.B, 2005.** Utility of hydrus-2D in modeling profile soil moisture and salinity dynamics under saline water irrigation of soybean. *Soil sciences*, 170, 1, 28–37.
- **HELLER R., ESNAULT R., LANCE C., (1998)-** *Physiologie végétale 1- nutrition* 6eme Ed, Ed DUNOD, Paris, 323p.
- **HOEKSTRA, F.A ; GOLOVINA, E.A ; BUJTINK, J. (2001).** Mechanisms of plant desiccation tolerance. *Trends Plant Sci.* 6(9): 431-438.
- **HONG, Z ; LAKKINENI, K ; ZHANG, Z ; VERMA, D.P.S. (2000).** REMOVAL of feedback inhibition of D1-pyrroline-5-carboxylate synthetase results in increased proline accumulation and protection of plants from osmotic stress. *Plant Physiol.* 122(4): 1129-1136p.
- **HOPKINS W.G., 2003** –*Physiologie Végétale*. Traduction de la 2ème édition américaine par Serge .R. Ed. de Boeck, p. 66-81.
- **JABNOUNE M, 2008-**« Adaptation des plantes à l’environnement : le stress salin » avec la collaboration de François I (Plan Bleu) pour la cartographie. Directeur de la publication : Guillaume Benoit (Directeur du Plan Bleu) 2008.
- **KINET J.M., BENREBIHA F., BOUZIDA S., LAILHACAR S., DUTUIT P., (1999)-**Le reseau atriplex ou comment allier biotechnologies et écologie pour une sécurité alimentaire accrue en régions semi-aride et aride.IN ESTEM Eds, actualités scientifiques : biotechnologie, amélioration des plantes et sécurité alimentaire .89-93p.
- **KLESSIG D.F., DURNER J., NOAD R., NAVARRE D.A., WENDEHENNE D., KUMAR D., ZHOU J.M., SHAH J., ZHANG S., KACHROO P., TRIFA Y, PONTIER D., LAM E., SILVA H. 2000-** Nitric oxide and salicylic acid signaling in plant defense, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 97, 2000, pp. 8849- 8855.

- **KOCSY, G ; LAURIE, R ; SZALAI, G ; SZILAGYI, V ; SIMON-SARKADI, L ; GALIBA, G ; RONDE, J.A. (2005)**- Genetic manipulation of proline levels affects antioxidants in soybean subjected to simultaneous drought and heat stresses. *Physiol. Plant.* 124(2) : 227-235.
- **KORKMAZ A., UZUNLU M., DEMIRKIRAN AR. 2007** – Treatment with acetyl salicylic acid protects muskmelon seedlings against drought stress. Franciszed Gorski institute of plant physiologie. polish Academy of science. Krakaow.Tyrkey.
- **KOUASSI S., 2009.** Fiche technico –économique : culture hydroponique de la tomate –Maison du génie Agricole .Cote d’Ivoire. 1-11p.
- **KUNKEL B.N., BROOKS D.M. 2002**- Cross talk between signaling pathways in pathogen defense, *Curr. Opin. Plant Biol.* 5, 2002, pp.325-331.
- **LAURA DE FRANCHIS.** « Les menaces sur les sols dans les pays Méditerranéens » (Plan Bleu) Mai 2003 pp 44.
- **LAVELLE P. et SPAIN A.V. (2001).** Soil ecology.Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. 654 p.
- **LEE H.I., RASKIN I.** Biosynthesis and metabolism of salicylic acid, *Proc.Natl.Acad. Sci. USA* 92, 1995, pp.4076- 4079.
- **LEPORI G et ODONE P., 1968.** Essai de culture retardée de la courgette sous. tunnels de plastique C.P.V Acta Hort. (ISHS) 9: 185-188p.
- **LEVIGNERON A., LOPEZ F., VANSUYT G., BERTHOMIEU P., FOURCROY P., CASSE-DELBART F., 1995.** Les plantes face au stress salin .Cahiers Agricultures.4(4).263-273.
- **LORETTI E., DE BELLIS L., ALPI A. & PERATA P. 2001.** « Why and how do plant cells sense sugars” *Ann Bot* 88 : pp 803 – 812.

- **LOZER J., MATHIEU C., (1990)**- Dictionnaire de science du sol. Ed Technique et Documentation – Lavoisier. 384 p.
- **MAILLARD J. 2001.** « Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone aride » : Risques et Recommandations. Handicap International. Novembre 2001 pp 35.
- **MAJUMDER, A.L; SENGUPTA, S; GOSWAMI, L. (2010).** Osmolyte regulation in abiotic stress. Chap. 16. Dans Abiotic stress adaptation in plants: Physiological, molecular and genomic foundation. Sous la direction de Pareek, A ; Sopory, S.K ; Bohnert, H ; Govindjee, J. 349-370.
- **MANSOURr, M.M.F. (1998).** Protection of plasma membrane of onion epidermal cells by glycinebetaine and proline against NaCl stress. Plant Physiol. Biochem. 36(10): 767-772.
- **MARCUM K.B., (2006)**- Use of saline and non-potable water in the turf grass industry :constraints and developments .Agri .water Mang. 80 :132-146.
- **MARTINEZ S., MORARD P., (2000)**-Recyclage des solutions nutritives en culture hors-sol, Forum Graines de Chercheurs, ENSAT, Toulouse.
- **MARLET, S. (2005)** Gestion de l'eau et salinisation des sols dans les systèmes irrigués Synthèse de l'atelier du PCSI sur : Vers une maîtrise des impacts environnementaux de l'irrigation. CIRAD/AMIS, Montpellier, France, n°40, pp. 12-23.
- **MARLET, S. & JOB J.O.** « Processus et gestion de la salinité des sols », seconde édition, Tec & Doc Lavoisier,2006 pp 28.
- **MATHIEU C., GERALD C. et RONAN R, 2009.** Production biologique de courgettes en Bretagne: Plateforme Agrobiologique d'Inter Bio Bretagne à Suscinio pp 1-5.

- **MELONI D A., OLIVA M A., RUIZ H A. et MARTINEZ C.A., 2001.** Contribution of proline and inorganic solutes to osmotic adjustment in cotton under salt stress. *J. Plant Nutr.* 24, 599-612.
- **MERMOUD A., 2006.** Cours de physique du sol (maitrise de la salinité des sols), école polytechnique fédérale de lausanne, 1p.
- **MERMOUD A., 2006 -** Cours de physique du sol : Maitrise de la salinité des sols. Copie des transparents . Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 15p.
- **MERMOUD A., 2006 -** Cours de physique du sol : Maitrise de la salinité des sols. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 23p.
- **MERZOUG S., FALI S., 2011.** Les plantes cultivées face au stress salin, projet de fin d'études, université de M'sila, 2p.
- **MESSIAEN C.-M. et FAGBAYIDE J. A~ 2004.** Cucurbita pepo L. [Internet] Fiche de PROT A4U. Grubben, G.J.H. & Denton, O.A. (Editeurs). PROTA (Plant Resources of Tropical Africa / Ressources végétales de r Afrique tropicale), Wageningen, Pays Bas. <<http://www.prota4u.org/search.asp>>. Consulté le 9 décembre 2014.
- **MICHAUD N., BOUDREAU M E., 2001** : “La culture hydroponique”, Agriculture Canada Publication, Ottawa, 2001, 52p.
- **MOREL., 2005.** L'agriculture hors sol. INRA UMR SAGAH. 17p.
- **MOSTFAOUI R. ; 2003.** Effet d'un engrais liquide le fertiactyle sur le stresse salin en milieu hydroponique sur une culture de tomate thèse ing. INES. Blida. 82 p.
- **MUNNS, R. (2002).** Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* 25(2) : 239–250.

- **MUNNS R., 2002.** Physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypotheses. *Plant Cell Environ.* (16), 15-24.
- **MUNNS, R. (2005).** Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytol.* 167(3) : 645-663.
- **NICOLE.M ; DANIEL.J.F ; BRESSON.E ; MARTINEZ.C ; ELBACHIR.O ; LOPEZ.F ; ASSIGBETSÉ.K ; FERNANDEZ.D ; MONTILLET.J.L et GEIGER.JP. 1998** – The hyper sensitive reaction of cotton to *Xanthomonas campestris* pv. *malvacearum*. *Recent Research Developments in Microbiology*, 2: 641-654.
- **OMAMI E.N., 2005.** Response of Amaranth to salinity stress. These Ph.D Horticulture. Departement of plant production and soil science, Faculty of natural and agricultural sciences, University of Pretoria. p 235.
- **PADILLA., 2006.** Analysis of social performance of the industrial tomatoes food chain in Algeria Ed. CIHEAM–IAMM, Montpellier, France. 60p.
- **PARIDA A., DAS P. 2002** “NaCl stress causes changes in photosynthetic pigments, proteins and other metabolic components in the leaves of a true mangrove, *Bruguiera arviiflora*, in hydroponic cultures”. *Jurnal Plant and Biology*, 2002 pp 28– 36.
- **PARIDA A.K., Das A.B. et MITTRA, B., 2004.** Effects of salt on growth, ion accumulation, photosynthesis and leaf anatomy of the mangrove *Bruguiera parviflora*. *Trees-Struct. Funct.* 18, 167-174.
- **PARIDA A.K., Das A.B. 2005**-“Salt tolerance and salinity effect on plants : review. *Ecotoxicology and Environmental Safety* ». Vol.60, pp 324-349.
- **PENG, Z ; LU, Q ; VERMA, D.P. (1996).** Reciprocal regulation of D1- pyrroline- 5- carboxylate synthetase and proline dehydrogenase genes controls proline levels during and after osmotic stress in plants. *Mol. Gen. Genet.* 253(3) : 334-341.

- **PHILLIPS, J.R; OLIVER, M.J; BARTELS, D. (2002).** Molecular genetics of desiccation and tolerant systems. Dans *Desiccation and survival in plants: Drying without dying*. Sous la direction de M. Black et H. Pritchard. CAB International, Mol. Gen. Genet. 319-341.
- **PIETERSE C.M.J., VAN LOON L.C. 1999-** Salicylic acid-independent plant defense pathways, *Trends Plant Sci.* 4, 1999, pp. 52-58.
- **PIVOT D., GILLI C., CARLEN C., 2005.** données de base pour la fumure des cultures des légumes, de fleurs et de fraisier sur substrat , revue vitic . arboric .hortic. vol.37(2), ED.AMTRA ,8p.
- **POLJAKOFF- MAYBER A., 1975.** Morphological and anatomical changes as a response to salinity stress, in *Plants in Saline Environments. Ecological Studies. Analysis and Synthesis* (POLJAKOFF-MAYBER, A. et GALE, J., Eds). Vol. 15, 97p.
- **RAACHEL., KARBOUSS A-HALOUA R., 2004.** Caractérisation morphologique et anatomique de quelques espèces halophiles dans la cuvette de Ouargla. Mémoire Ingénieur, Université de Ouargla, 67p.
- **RASKIN LA; EHRNANN W; MELANDER R et MEEUSE BJD.1987** – Salicylic acid: A natural inducer of heat production in *Arum lilies*. *Scien.* 237 (4822): 1601-1602p.
- **RASKIN LA., 1992-** Role of salicylic acid in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* Vol. 43: 439-463p.
- **REJILI M, VADEL M.A et NEFFATP M., 2006.** Comportements germinatifs de deux populations de *Lotus creticus* (L.) en présence du NaCl. *Revue des Régions Arides*, 1(17) : 65-78.

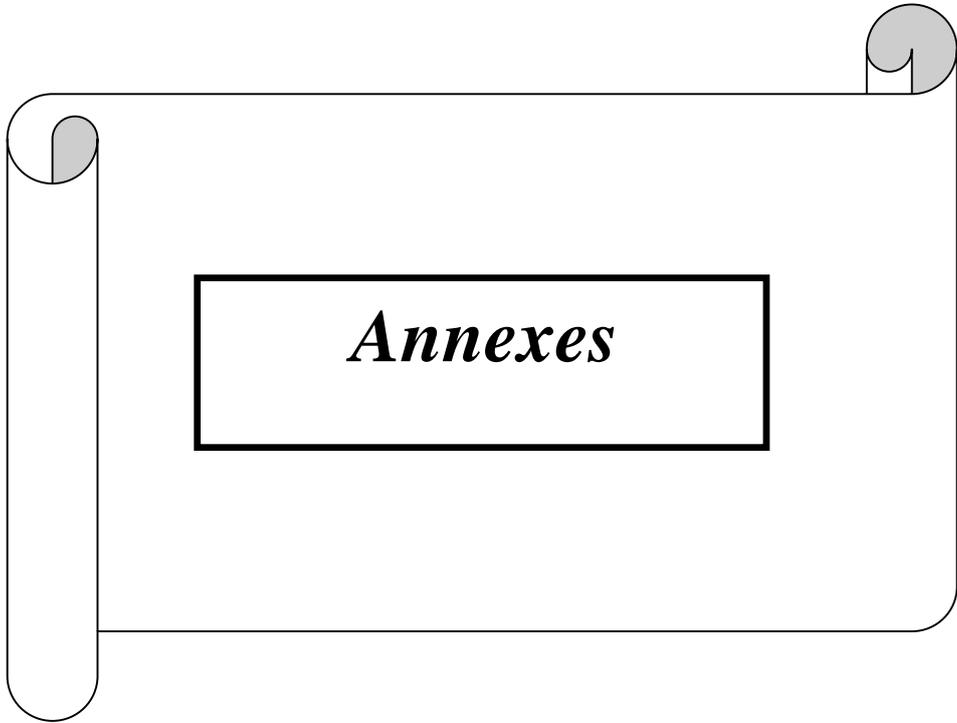
- **RHOADES J.D, 1993.** Electrical conductivity methods for measuring and mapping soil salinity. *Advances in Agronomy*, 49, pp 201-251.
- **RHODES, D; NADLOSKA-ORCZYK, A; RICH, P.J. (2002).** Salinity, osmolytes and compatible solutes. Dans *Salinity: environmentplants- molecules*. Sous la direction de A. Lauchli et U. Luttge. Kluwer, Boston. 181-204p.
- **RIETZ D.N. et HAYNES R.J. (2003).** Effects of irrigation induced salinity and sodicity on soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 35 (6) : 845-854.
- **ROMERO, ARANDA R., SORIA T. et CUARTERO J., 2001.** Tomato plant-water uptake and plant- water relationships under saline growth conditions. *Plant Sciences*.160, 265-272.
- **RYALS J.A., NEUENSCHWANDER U.H., WILLITS M.G., MOLINA A., STEINER H.Y., HUNT M.D. 1996-** Systemic acquired resistance, *Plant Cell* 8, pp. 1809- 1819.
- **SAIRAM, R.K; TYAAGI, A. (2004).** Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. *Curr. Sci.* 86 : 407-421p.
- **SAIDI D., LE BISSONNAIS Y., DUVAL O., DAOUD Y., HALITIM A., 2004.** Effet du sodium échangeable et de la concentration saline sur les propriétés physiques des sols de la plaine du Cheliff (Algérie). *Étude et Gestion des Sols*, Vol. 11, pp 81-92.
- **SARDINHA M., MULLER T., SCHMEISKY H. et JOERGENSEN R.G. (2003).** Microbial performance in soils along a salinity gradient under acidic conditions. *Applied Soil Ecology*, 23 (3) :237-244p.
- **SAXENA N. B., (2006)-**Aride zone ecology. Ed. ParagatiPrakashan, Meerut. 191p.
- **SENTENAC H., et BERTHOMIEU P., 2003.** Découverte d'un nouveau mécanisme de tolérance des plantes au sel. UMR Biochimie et physiologie moléculaire des plantes

(Unité mixte Ecole nationale supérieure agronomique de Montpellier /Université/CNRS/ INRA) Service Presse INRA, 34p.

- **SCHNEIDER S, 2010.** Estimation des paramètres hydrodynamiques des sols à partir d'une modélisation inverse de données d'infiltration et de résistivité électrique. Thèse de doctorat, université Paris-Sud 11, 145 p.
- **SHAKIROVA .F.M, SAKHABUTDINOVA A.R, BEZRUKOVA M.V, FATKHUTDINOVA R.A, FATKHUTDINOVA D.R.2003** - Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. *Plant Science* (164) N° 3, pp. 317-322(6).
- **SILVA-ORTEGA, C.O., OCHOOA-ALFARO, A.E., REYES-AGUERO, J.A., AGUADO-SANTACRUZ, G.A., and JIMENEZ-BREMONT, J.F. 2007.** Salt stress increases the expression of p5cs gene and induces proline accumulation in cactus pear. *Plant Physiol. Biochem.* 46(1) : 82– 92.
- **SMITH-BECKER J., MAROIS E., HUGUET E.J., MIDLAND S.L., SIMS J.J., KEEN N.T. 1998-** Accumulation of salicylic acid and 4-hydroxybenzoic acid in phloem fluids of cucumber during systemic acquired resistance is preceded by a transient increase in phenylalanine ammonia-lyase activity in petioles and stems, *Plant Physiol.* 116, pp. 231- 238.
- **STENGEL, P ; BRUCKLER, L ; BALESSENT, J. (2009).** *Le sol.* Paris, France. 182.
- **SZABOLCS I, 1994.** Soils and salinization. In : M. Pessarakli (ed.), *Handbook of Plant and Crop stress.* Marcel Dekker, New York, pp. 3-11.
- **TESTER M., DAVENPORT R., 2003.** Na<sup>+</sup> tolerance and Na<sup>+</sup> transport in higher plants, *Oxford journals, science &mathématique, Annals of botany,* vol 91(5), 503-527.
- **THIAULT J.F., (2004)-** *Détail fruits et légumes « la maitrise de la culture hors sol ».* Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes, Paris : 1-4p.

- **URBAN L., (1997)**- Introduction à la production sous serre : irrigation fertilisante en Culture hors sol (TOME 2). Ed. Maison Rustique. Paris : 180p.
- **ÜNLÜ H., ALTINDAL N., ÖZDAMAR ÜNLÜ H., ALTINDAL D., et PADEM 2009**- Effect of salicylic acid on salinity stress in Cowpea. In: 1st International Symposium on Sustainable Development, June 9-10, 2009, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina.
- **VITRE A., 2003**. Fondements & principes du hors sol, Doc. Vol 3. N°12. 110-121p.
- **WALPOLA B.C. et ARUNAKUMARA K.K.I.U. (2010)**. Effect of salt stress on decomposition of organic matter and nitrogen mineralization in animal manure amended soils. Journal of Agricultural Science, 5 : 9-18p.
- **WANG et NIL, 2000**- “ Expressed sequence tags from *Thellungiella halophila*, a new model to study plant salt-tolerance”. Plant Science. Vol. 166, N°3, pp 61-71
- **WANG L., SUN X., LI T.S., ZHANG W. et ZHAI P. (2014)**. Application of organic amendments to a coastal saline soil in North China : effects on soil physical and chemical properties and tree growth. PLoS ONE, 9 (2): 185-189p.
- **YANCEY, P.H ; CLARK, M.E ; HAND, S.C ; BOWLUS, R.D ; SOMERO, G.N. (1982)**. Living with water stress : evolution of osmolyte systems. Science, 217(4566): 1214-1222p.
- **YALPANI N, SILVERMAN P, WILSON TM, KLEIER DA, RASKIN I., 1991**- Salicylic acid is a systemic signal and an inducer of pathogenesis-related proteins in virus-infected tobacco. Plant Cell 3: 809-818p.
- **YOSHIBA, Y ; NANJO, T ; MIURA, S ; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K ; (1999)**. Stress responsive and developmental regulation of Delta (1)-pyrroline -5-carboxylate synthetase 1 (P5CS1) gene expression in *Arabidopsis thaliana*. Biochem. Biophys. Res. Commun. 261: 766-772p.

- **ZIEGLER., 2008.** « L'hydroponie ou culture hydroponique » maladies des plantes, agriculture et écologie. 16p.
- **ZHIFANG ; LEOSCHER. (2003).** In **PARIDA, A.K; DAS, A.B. (2005).** Salt tolerance and salinity effects on plants : a review. Ecotoxicol. Environ. Saf. 60: 324-349.
- **ZHU ; MEINZER. (1999).** In **PARIDA, A.K; DAS, A.B. (2005).** Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. Ecotoxicol. Environ. Saf. 60: 324-349.
- **ZOUAOUI A., 2002.** Effet du rapport K/N sur deux variétés de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) cultivées en hydroponie. Thèse Magister. INA. EL-HARRACH.67p.
- **ZUANG L., MUSARD L., 1987.** Les cultures sur substrats. Ed. CTIFL, 276p.



*Annexes*

## Annexe 01

## 1. La hauteur finale des plantes

Tableau 01 : Tableau de l'ANOVA de la hauteur finale des tiges :

Source	Somme des carrés	DDL	Moyenne des carrés	F	Probabilité
Entre Groupes	66,10678571	3	22,03559524	1,597554029	0,216093809
A l'intérieur des groupes	331,04	24	13,79333333		
Total corrigé	397,1467857	27			

Traitements	T1	T2	T3	T4
Moyenne	17,37	17,1	13,81	17,55
Ecart-type	± 2,76	± 1,72	± 6,36	± 2,01
Groupe homogène	a	a	b	a

## 2. Le nombre final des feuilles

Tableau 02 : Tableau de l'ANOVA de nombre final des feuilles par plante :

Source	Somme des carrés	DDL	Moyenne des carrés	F	probabilité
Entre Groupes	18,96428571	3	6,321428571	0,650735294	0,590224483
A l'intérieur des groupes	233,1428571	24	9,714285714		
Total corrigé	252,1071429	27			

Traitements	T1	T2	T3	T4
Moyenne	6,71	7,14	5	5,85
Ecart-type	± 2,98	± 0,89	± 3,46	± 4,14
Groupe homogène	a	a	b	b

### 3. La biomasse fraîche de la partie aérienne produite

**Tableau 03** : Tableau de l'ANOVA de la biomasse fraîche aérienne :

Source	Somme des carrés	DDL	Moyenne des carrés	F	probabilité
Entre Groupes	2,998214286	3	0,999404762	0,100363436	0,959021339
A l'intérieur des groupes	238,9885714	24	9,957857143		
Total corrigé	241,9867857	27			

Traitements	T1	T2	T3	T4
Moyenne	4,8	4,67	4	4,77
Ecart-type	± 3,30	± 3,22	± 2,77	± 3,28
Groupe homogène	a	a	b	a

### 4. La biomasse fraîche des feuilles produite

**Tableau 04** : Tableau de l'ANOVA de la biomasse fraîche des feuilles :

Source	Somme des carrés	DDL	Moyenne des carrés	F	probabilité
Entre Groupes	0,412857143	3	0,137619048	0,105301512	0,956173458
A l'intérieur des groupes	31,36571429	24	1,306904762		
Total corrigé	31,77857143	27			

Traitements	T1	T2	T3	T4
Moyenne	1.67	1.55	1.45	1.34
Ecart-type	± 0.39	± 0.42	± 0.84	± 0.57
Groupe homogène	a	a	a	a

## 5. La biomasse fraîche des tiges par plante

**Tableau 05** : Tableau de l'ANOVA de la biomasse fraîche des tiges :

Source	Somme des carrés	DDL	Moyenne des carrés	F	probabilité
Entre Groupes	17,24142857	3	5,747142857	2,257364631	0,107551907
A l'intérieur des groupes	61,10285714	24	2,545952381		
Total corrigé	78,34428571	27			

Traitements	T1	T2	T3	T4
Moyenne	4,2	3,6	2,12	3,81
Ecart-type	± 0,55	± 1,67	± 2	± 1,74
Groupe homogène	a	ab	b	ab

## 6. La biomasse fraîche racinaire par plante

**Tableau 06** : Tableau de l'ANOVA de la biomasse fraîche racinaire :

Source	Somme des carrés	DDL	Moyenne des carrés	F	probabilité
Entre Groupes	2,988571429	3	0,996190476	0,194455418	0,89913537
A l'intérieur des groupes	122,9514286	24	5,12297619		
Total corrigé	125,94	27			

Traitements	T1	T2	T3	T4
Moyenne	3,42	3,48	3,08	4
Ecart-type	± 0.81	± 1.14	± 1.88	± 1.18
Groupe homogène	b	b	b	a

## 7. Nombre de fleur produite par plant

**Tableau 07** : Tableau de l'ANOVA de nombre de fleur par plant :

Source	Somme des carrés	DDL	Moyenne des carrés	F	probabilité
Entre Groupes	12,10714286	3	4,035714286	0,199646643	0,895589782
A l'intérieur des groupes	485,1428571	24	20,21428571		
Total corrigé	497,25	27			

Traitements	T1	T2	T3	T4
Moyenne	8,57	6,85	8,14	7,42
Ecart-type	± 3,86	± 4,70	± 4,05	± 5,22
Groupe homogène	a	b	a	ab

## Annexe 02

Tableau 01 : La date de nouaison des plantes de courgette en nombre de jours.

Traitements	T1	T2	T3	T4
P1	13/03/2020 14/03/2020 20/03/2020 21/03/2020 23/03/2020	13/03/2020 15/03/2020 20/03/2020	14/03/2020 22/03/2020 24/03/2020	13/03/2020 19/03/2020
P2	13/03/2020 19/03/2020 24/03/2020	14/03/2020 16/03/2020	<b>12/03/2020</b> 14/03/2020 15/03/2020 19/03/2020 22/03/2020	12/03/2020 13/03/2020 16/03/2020 19/03/2020 19/03/2020 20/03/2020 23/03/2020
P3	12/03/2020 16/03/2020 23/03/2020	<b>11/03/2020</b> 14/03/2020 19/03/2020 24/03/2020	13/03/2020 14/03/2020 15/03/2020 15/03/2020	16/03/2020
P4	12/03/2020 14/03/2020	<b>11/03/2020</b> <b>11/03/2020</b> 12/03/2020 13/03/2020	14/03/2020 14/03/2020 15/03/2020 15/03/2020 18/03/2020 18/03/2020 23/03/2020	12/03/2020 16/03/2020 19/03/2020 21/03/2020
P5	13/03/2020 14/03/2020 15/03/2020 18/03/2020	16/03/2020 18/03/2020 20/03/2020	14/03/2020 15/03/2020	24/03/2020
P6	12/03/2020 14/03/2020 15/03/2020 21/03/2020	<b>11/03/2020</b> <b>11/03/2020</b> 13/03/2020	15/03/2020 15/03/2020 25/03/2020	16/03/2020
P7	<b>11/03/2020</b> 17/03/2020 20/03/2020	24/03/2020	19/03/2020	<b>09/03/2020</b> 14/03/2020 19/03/2020 21/03/2020 23/03/2020

**Tableau 02** : La date de floraison des plantes de courgette en nombre de jours.

Traitements	T1	T2	T3	T4
<b>P1</b>	<b>15/03/2020</b> 18/03/2020 19/03/2020 21/03/2020 21/03/2020	15/03/2020 19/03/2020 20/03/2020 24/03/2020	17/03/2020 19/03/2020 21/03/2020	22/03/2020 23/03/2020 24/03/2020
<b>P2</b>	16/03/2020 19/03/2020 20/03/2020 22/03/2020 23/03/2020	15/03/2020 19/03/2020 21/03/2020 23/03/2020 24/03/2020	19/03/2020 20/03/2020 24/03/2020	20/03/2020 24/03/2020
<b>P3</b>	/	22/03/2020 23/03/2020 24/03/2020	<b>14/03/2020</b> 18/03/2020 19/03/2020	21/03/2020 23/03/2020 24/03/2020
<b>P4</b>	20/03/2020 24/03/2020	18/03/2020 20/03/2020 22/03/2020	18/03/2020	<b>18/03/2020</b> 20/03/2020 23/03/2020
<b>P5</b>	<b>15/03/2020</b> 17/03/2020 18/03/2020 19/03/2020 22/03/2020 23/03/2020	/	18/03/2020 21/03/2020 21/03/2020	/
<b>P6</b>	/	<b>14/03/2020</b> 18/03/2020 21/03/2020 24/03/2020	18/03/2020 20/03/2020	20/03/2020 22/03/2020
<b>P7</b>	/	21/03/2020 23/03/2020 24/03/2020	17/03/2020 18/03/2020 22/03/2020 23/03/2020	/