

**UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA**  
**Faculté des sciences de la nature et de la vie**  
**Département d'agronomie**

**MEMOIRE DE MASTER**

*Spécialité : Biotechnologie végétale*

*Thème :*

**Effet de l'alternance d'une solution nutritive de Base  
dans le cycle des irrigations pour la production des  
plants de Concombre Cucumis sativus L. variété  
Supermarketer cultivés sous serre**

*Réalisé par :*

**CHAIBI Bendahmane**

*Devant le jury composé de:*

- |                           |                              |                  |
|---------------------------|------------------------------|------------------|
| • Mr <b>ZOUAOUI A.</b>    | Maître assistant, USD. Blida | <b>Président</b> |
| • Mr. <b>SNOUSSI S.A.</b> | Professeur, USD. Blida       | <b>Promoteur</b> |
| • Mr <b>ABBAD M.</b>      | Maître assistant, USD. Blida | <b>Examineur</b> |

**Blida, Octobre 2013**

## **Dédicace**

*A la mémoire de mon père et de mon frère Moubarek.*

*A la bougie de ma vie ; très chère mère el-hadja Aida.*

*A ma petite famille ; ma chère femme et mes chères  
enfants bien aimés.*

*A tous mes frères et sœurs et leurs petites familles.*

*A tous mes beaux frères et mes belles sœurs.*

*Je dédie ce modeste travail.*

**Abderrahmane CHAIBI.**

# **Remerciements**

*Tout d'abord je remercie **Dieu** le tout puissant qui m'a donné la volonté, la santé et le courage de pouvoir réaliser ce modeste travail.*

*En premier lieu, je tiens à exprimer ma profonde gratitude au **professeur S.A SNOUSSI**, mon promoteur, pour avoir accepté, avec une grande patience, la direction de ce travail. Je le remercie également pour ses précieux conseils et ses encouragements.*

*J'exprime mes vifs remerciements à **Mr ZOUAOUI A.** de m'avoir fait l'honneur de présider le jury.*

*Mes sincères remerciements vont à **Mr ABBAD M.** qui m'a fait l'honneur d'examiner ce travail.*

*Ainsi, je tien à remercier toutes et tous qui m'ont aidé de près ou de loin à réaliser ce travail.*

*Merci.*

## Résumé

Notre travail à porter sur l'étude de l'impact de différents modes d'apport de solution nutritive sur la croissance et le développement des plants de Concombre *Cucumis sativis* L. variété *Supermarketer* cultivés sous serre, a fin de déterminer le meilleur mode d'apport comparativement à une irrigation à l'eau courante de Blida.

L'étude des paramètres mesurés au cours de différents stades de culture, à savoir les paramètres de croissance tels que la vitesse de croissance, la hauteur finale des plantes, le diamètre final des tiges, le poids frais et le poids sec des feuilles et des tiges, le taux de matière sèche ... etc, et les paramètres de production tels que la quantité de chlorophylle, le nombre de fleurs et de fruits et les paramètres de qualité tels que la longueur et le calibre des fruits... etc, nous a permis de constater que l'irrigation des plants de Concombre par des solutions nutritives équilibrés apportées tous les trois jours (**T2**) et tous les six jours (**T3**), avec des fréquences et des doses bien précis, selon le stade végétatif des plantes testées, donnent les meilleurs résultats de croissance et de production de point de vue quantité et qualité, et ce par apport aux plantes irrigués avec de l'eau courante de Blida comme témoin (**T1**), qui peut enduit à des chutes de production considérable allant jusqu'à **66,25** % et ce à cause des carences induites résultant le plus souvent par une indisponibilité plus ou moins sévère en éléments fertilisants, et qui a entraîné des troubles physiologiques apparus essentiellement par des développements ralentis, des malformations des organes végétatifs ou reproducteurs, des nécroses sur les tiges et les bourgeons et des décolorations ou colorations anormales du feuillage.

**Mots clé:** Concombre, irrigation, nécrose, carence induite, chlorophylle, décoloration.

## ملخص

تعتبر زراعة الخضروات أحد الفروع الأساسية في ميدان الزراعة من وجهة نظر القيمة الإنتاجية، حيث تشكل الجزء الأكبر من غذاء الإنسان في أماكن عديدة من العالم، وفي هذا السياق يأتي موضوع دراستنا المتمحور أساساً حول دراسة تأثير دفعات متناوبة من محلول مغذي على نمو وإنتاج نبات الخيار *Cucumis sativus L* من العائلة القرعية **Cucurbitaceae** نوع *Supermarketer* المزروع في بيت زجاجي، وذلك بهدف تحديد أفضل الدفعات من حيث الكمية وكيفية تقديمها من أجل الحصول على أفضل النتائج كما ونوعاً.

لقد مكّنت دراسة مختلف المعايير المتعلقة بالنمو كقياس سرعة النمو وقطر جذع النباتات ووزن المجموع الخضري وعدد الأوراق... وغيرها، أو المعايير المتعلقة بالإنتاج كتعداد الأزهار ووزن الثمار وتقدير كمية اليخضور chlorophyll المنتج خلال مختلف مراحل حياة النبات، إضافة لمعايير جودة المنتج مثل طول وقطر الثمار ونوعية المستخلص الجاف للثمار... وغيرها من المعايير التي سمحت لنا بتقرير النتيجة الآتية؛ وهي أنّ سقي نباتات الخيار بمحلول مغذي كل ثلاثة أيام (T2) أو كل ستة أيام (T3) بكميات متصاعدة ومتناوبة حسب احتياجات مرحلة النمو مع السقي دورياً بالماء العادي أعطت نتائج جيدة بالنسبة لنمو النبات أو منتوجه النهائي ونوعيته المشروطة عادة في الأسواق المحلية أو العالمية، وهذا مقارنة بنباتات الخيار المسقية بالماء العادي للبلدية فقط (T1)، والذي تسبب في ضعف عام وشديد في النمو والإنتاج، مع تسجيل نسبة كبيرة في تساقط الأزهار بلغت حدود 66%، وهذا راجع إلى افتقار الماء العادي للعناصر المغذية الأساسية وبالكميات المطلوبة في الظروف العادية.

### الكلمات الأساسية:

الخيار، المجموع الخضري، محلول مغذي، عناصر أساسية، دفعات، اليخضور، السقي.

## Liste des tableaux

<b>Tableau 01</b>	Teneur en eau des différents organes végétaux du Concombre	<b>14</b>
<b>Tableau02</b>	Etapes et conséquences du stress hydrique sur le Concombre	<b>16</b>
<b>Tableau03</b>	Solution nutritive préconisé pour le Concombre	<b>35</b>
<b>Tableau04</b>	Répartition des engrais dans deux bacs de solution-mère et un bac d'acide	<b>38</b>
<b>Tableau05</b>	Moyennes de températures enregistrées par semaine sous serre en °C	<b>41</b>
<b>Tableau06</b>	Teneur des différents éléments minéraux dans l'eau de robinet de Blida (pH=7,8)	<b>45</b>
<b>Tableau07</b>	Les besoins et l'apport réalisé des cations essentiels (K, Ca, et Mg)	<b>48</b>
<b>Tableau08</b>	Composition chimique de l'eau de robinet de Blida (pH=7,3)	<b>49</b>
<b>Tableau09</b>	Eau de Blida transformé en solution nutritive de base à pH=5,8	<b>49</b>
<b>Tableau10</b>	Programme de traitement phytosanitaire réalisé en alternance	<b>50</b>
<b>Tableau11</b>	Doses et fréquences apportées pour la culture du Concombre durant tout le cycle de l'expérimentation	<b>51</b>
<b>Tableau12</b>	Hauteur des plantes en cours de culture	<b>55</b>
<b>Tableau13</b>	Hauteur final des plantes	<b>58</b>
<b>Tableau14</b>	Moyen des diamètres finals des tiges	<b>59</b>
<b>Tableau15</b>	Moyenne du nombre finale des feuilles	<b>60</b>
<b>Tableau16</b>	Poids frais total des feuilles et des tiges	<b>61</b>
<b>Tableau17</b>	Poids sec total (feuilles et tiges)	<b>62</b>
<b>Tableau18</b>	Taux de matière sèche	<b>64</b>
<b>Tableau19</b>	Quantité de chlorophylle « A »	<b>65</b>
<b>Tableau 20</b>	Quantité de chlorophylle « B »	<b>65</b>
<b>Tableau 21</b>	Quantité de chlorophylle « C »	<b>65</b>

<b>Tableau 22</b>	Moyenne des fleurs mâles et femelles durant le stade floraison	<b>67</b>
<b>Tableau23</b>	Effet des traitements sur la production du Concombre	<b>68</b>
<b>Tableau24</b>	Moyennes des longueurs des fruits	<b>68</b>
<b>Tableau25</b>	Moyennes des diamètres des fruits	<b>68</b>
<b>Tableau26</b>	Extrait sec des fruits de Concombre	<b>69</b>

## Liste des figures

<b>Figure 01</b>	Effet de concentration croissante	<b>21</b>
<b>Figure 02</b>	Vue du site expérimental	<b>40</b>
<b>Figure 03</b>	Essai de germination des graines du Concombre dans l'étuve à 25°C	<b>42</b>
<b>Figure 04</b>	aspect général des jeunes plantules du Concombre var. SuperMarketer après repiquage	<b>43</b>
<b>Figure 05</b>	Aspect général de plantules au début des traitements (10 jours après repiquage)	<b>43</b>
<b>Figure 06</b>	Schéma du dispositif expérimental en randomisation totale	<b>44</b>
<b>Figure 07</b>	Maintien des plantes par les tuteurs	<b>51</b>
<b>Figure 08</b>	Aspect général des plantes du Concombre testés	<b>55</b>
<b>Figure 09</b>	Effet des différents traitements sur la croissance et le développement des plantes de Concombre	<b>56</b>
<b>Figure 10</b>	Comportement des plantes de Concombre irrigués par différents traitements T1, T2 et T3	<b>57</b>
<b>Figure 11</b>	Effet de l'alimentation hydrominérale sur le poids sec des feuilles, des tiges et total des plantes	<b>63</b>

## Table des matières

Dédicace	01
Remerciement	
Résumé	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction.....	01
<i>Première partie : Recherche Bibliographique</i>	
<b>Chapitre 01 : Généralités sur la culture de concombre</b>	<b>03</b>
<b>1.1 Origine et historique.....</b>	<b>03</b>
<b>1.2 Morphologie du concombre.....</b>	<b>03</b>
1.2.1 Tiges.....	04
1.2.2 Feuilles.....	04
1.2.3 Système racinaire.....	04
1.2.4 Ramification de la plante .....	04
1.2.5 Fleurs.....	04
1.2.6 Fruits.....	05
<b>1.3 Variétés.....</b>	<b>06</b>
1.3.1 Différents types variétaux .....	06
1.3.1.1 Concombres à fruit courts .....	06
a- Variétés monoïques.....	06
b- Variétés gynoïques non parthénocarpiques.....	06
c- Variétés parthénocarpiques gynoïques.....	06
1.3.1.2 Concombre à fruits courts appelés Mini-Concombre.....	06
1.3.1.3 Concombre à fruits longs.....	07
1.3.1.4 Midi-Concombre.....	07
1.3.2 Amélioration variétale.....	07
1.3.3 Critères de choix des variétés à fruits longs.....	08
<b>1.4 Culture de concombre.....</b>	<b>08</b>
1.4.1 Semis, travail de sol et plantation.....	08
1.4.2 Irrigation.....	09
<b>1.5 Maladies et ennemis du concombre.....</b>	<b>09</b>
<b>Chapitre 02 : Les exigences du Concombre</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Exigences pédoclimatiques.....</b>	<b>11</b>
2.1.1 Température.....	11
2.1.2 Humidité.....	11
2.1.3 Lumière.....	11
2.1.4 Sol .....	12
<b>2.2 Exigences hydrominérales.....</b>	<b>12</b>
2.2.1 L'eau.....	12

2.2.1.1 Rôle de l'eau.....	12
2.2.1.2 Conditions d'absorptions de l'eau.....	13
a. Couverture quantitative de l'évapotranspiration .....	13
b. Maintien de la plante en conditions transpirantes .....	14
c. Contrôle de la pression osmotique de l'environnement racinaire.....	15
2.2.1.3 Besoins quantitatifs et qualitatifs en eau.....	15
2.2.1.4 Stress hydrique.....	15
2.2.2 Eléments minéraux.....	17
2.2.2.1 Rôle des éléments minéraux nécessaires au concombre .....	18
a. Fonctions électrochimiques .....	18
b. Fonctions plastiques, structurales et métaboliques.....	19
c. Fonctions catalytiques .....	20
2.2.2.2 Effets des éléments minéraux sur la qualité de la production .....	20
2.2.2.3 Conditions et mécanismes d'absorption des éléments minéraux .....	22
a. Conditions d'absorption des éléments minéraux .....	22
b. Mécanismes d'absorption .....	23
1° Mécanismes passifs .....	23
2° Mécanismes actifs .....	24
<b>2.3 Carences, déficiences et toxicité .....</b>	<b>25</b>
2.3.1 Carence et déficience .....	25
2.3.1.1 Carence en azote .....	27
2.3.1.2 Carence en phosphore .....	27
2.3.1.3 Carence en potassium .....	28
2.3.1.4 Carence en calcium .....	28
2.3.1.5 Carence en magnésium .....	29
2.3.1.6 Carence en soufre .....	30
2.3.1.7 Carence en fer .....	30
2.3.1.8 Carence en manganèse .....	31
2.3.1.9 Carence en zinc .....	31
2.3.1.10 Carence en cuivre .....	31
2.3.1.11 Carence en bore .....	32
2.3.1.12 Carence en molybdène .....	32
2.3.2 Toxicité .....	33
<b>Chapitre 03 : Confection de la solution nutritive .....</b>	<b>34</b>
<b>3.1 Définition .....</b>	<b>34</b>
<b>3.2 Confection de la solution nutritive .....</b>	<b>34</b>
a. Analyse chimique .....	34
b. Choix d'une formulation adaptée à la culture envisagée .....	35
c. Calcul des quantités d'engrais à apporter dans les bacs de solution-mère.....	35
<b>3.3 préparation des bacs de solution-mère .....</b>	<b>36</b>
• Notion d'engrais complets .....	36

3.3.1 Solution prepares à partir de deux bacs d'engrais.....	37
3.3.2 Solution prepares à partir de bac d'engrais simples .....	38
<b>3.4 Controle de la composition de la solution-fille .....</b>	<b>38</b>
<i>Deuxième partie : Expérimentation</i>	
<b>Chapitre 04 : Matériels et méthodes</b>	<b>40</b>
<b>4.1 Objectif d'expérimentation .....</b>	<b>40</b>
<b>4.2 Matériel végétal utilisé .....</b>	<b>40</b>
<b>4.3 Conditions expérimentales .....</b>	<b>40</b>
4.3.1 Lieu de l'expérience .....	40
4.3.2 Sol et conteneurs .....	41
a. Sol .....	41
b. Conteneur .....	42
4.3.3 Essai de germination.....	42
4.3.4 Repiquage des germes .....	43
<b>4.4 Dispositif expérimental .....</b>	<b>44</b>
<b>4.5 Les traitements utilisés .....</b>	<b>45</b>
<b>4.6 Elaboration de la solution nutritive .....</b>	<b>46</b>
<b>4.7 Entretien de la culture .....</b>	<b>50</b>
4.7.1 Traitements phytosanitaires .....	50
4.7.2 Irrigation .....	50
4.7.3 Tuteurage .....	51
4.7.4 Ebourgeonnage .....	51
<b>4.8 Paramètres biométriques étudiés .....</b>	<b>52</b>
4.8.1 Vitesse de croissance .....	52
4.8.2 Hauteur finale des plantes .....	52
4.8.3 Diamètre final des tiges .....	52
4.8.4 Biomasse fraîche produite .....	53
4.8.5 Biomasse sèche produite .....	53
4.8.6 Taux de matière sèche .....	53
4.8.7 Nombre des fleurs.....	53
4.8.8 Nombre des fleurs noués .....	54
4.8.9 Estimation du rendement .....	54
<b>4.9 Dosage de la chlorophylle.....</b>	<b>54</b>
<b>4.10 Détermination de l'extrais sec .....</b>	<b>54</b>
<b>Chapitre 05 : Résultats et discussions</b>	<b>55</b>
<b>5.1 Paramètres de croissance .....</b>	<b>55</b>
5.1.1 Aspect général .....	55
5.1.2 Vitesse de croissance.....	56
5.1.3 Hauteur finale des plantes.....	58
5.1.4 Diamètre des tiges.....	59

5.1.5	Nombre final des feuilles.....	60
5.1.6	Poids frais total (feuilles et tiges) .....	61
5.1.7	Poids sec total.....	62
5.1.8	Taux de matière sèche totale.....	63
<b>5.2</b>	<b>Paramètres de production</b> .....	<b>65</b>
5.2.1	Quantité de chlorophylle.....	65
5.2.2	Nombre de fleurs et de fruits .....	66
5.2.3	Qualité des fruits.....	68
5.2.4	Extrait sec des fruits.....	69
	<b>Conclusion générale</b> .....	<b>70</b>
	<b>Références bibliographiques</b>	
	<b>Annexe</b>	

## **Introduction**

Les nouvelles politiques des économies modernes consistent à diversifier les sources de leurs richesses surtout pour l'agriculture productiviste qui recherche systématiquement l'amélioration de la productivité afin de préserver leur sécurité alimentaire et atteindre l'autosuffisance vis-à-vis des besoins de leur société. En règle générale, chaque pays cherche à produire ce qu'il consomme et pour atteindre ce but, selon **Lajili** (2009), il est possible d'agir sur deux leviers: l'augmentation du rendement à l'hectare et la baisse des coûts de production, ces deux leviers peuvent être actionnés ensemble.

L'agriculture a profondément changé au cours du XX<sup>e</sup> siècle. Les rendements à l'hectare et la productivité du travail ont considérablement augmenté. L'augmentation des rendements et de la productivité a été rendue possible par des progrès dans différents secteurs, tel que la chimie (engrais, pesticides), l'irrigation, la sélection (amélioration des plantes et des animaux) et le machinisme agricole. La consommation mondiale d'engrais a plus que doublé au cours des trente dernières années. Elle explique l'accroissement des rendements à l'hectare depuis 1950. L'irrigation permet de doubler ou tripler le rendement si elle est combinée à l'utilisation d'engrais. (Anonyme, 2005)

La nutrition minérale des plantes a comme objectif d'identifier les besoins des plantes vertes en sels minéraux, de connaître les effets de la carence ou de l'excès de certains éléments minéraux et de s'informer sur les techniques d'amélioration des cultures. Aussi, il faut être conscient des risques liés à l'utilisation excessive des engrais chimiques et des pesticides et être capable d'adopter des attitudes et des comportements positifs pour préserver les ressources en eau. **Lajili** (2009) note que " l'utilisation excessive des engrais diminue le rendement des cultures et peut à la limite tuer les plantes. Quand aux pesticides, les applications répétées et excessives augmentent les doses dans les sols, surtout celles des pesticides à dégradation lente. Il en résulte des accumulations dans les plantes et des excès dans les eaux superficielles et souterraines. Les animaux et les aliments peuvent alors contenir des doses dangereuses pour la santé". Pour

cela, **Lajili** (2009) précise que : les éléments minéraux doivent être fournis à la plante à des doses bien déterminées pour assurer une croissance optimale et éviter les maladies par carence ou par excès. La quantité et la qualité des sels minéraux fournis à la plante dépendent de son état de développement. Les solutions nutritives dépendent de l'espèce et sont fournies pour que le développement et la croissance de la plante soient optimisés.

L'amélioration du rendement des cultures nécessite en plus du choix des semences et des plants à cultiver, une irrigation et une fertilisation rationnelle des sols tout en évitant l'excès. Cela ne peut être possible que si on maîtrise la gestion de l'eau, des fertilisants et des autres intrants.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail portant sur l'impact de différents modes d'apport de solution nutritive sur la croissance et le développement des plants de concombre variété SuperMarketer cultivés sous serre. Afin de déterminer le meilleur mode d'apport comparativement à une irrigation à l'eau courante.

## Chapitre premier

### **Généralités sur la culture de concombre**

*(Cucumis sativus, L.)*

#### **1.1 Origine et historique.**

Des arguments botaniques et historiques donnent pour origine à l'espèce **Cucumis sativus** les contreforts de l'Himalaya, au Nord- Ouest de l'Inde. Cultivé par les peuples de Chine. On en retrouve également des traces au niveau des dynasties Égyptiennes et dans la Grèce Antique. Son introduction en Amérique et les premières descriptions botaniques datent de la Renaissance. Elles font déjà état de cultivars à fruit courts et à fruit longs, très répandus en Europe dès le 17<sup>e</sup> siècle. Le concombre est cultivé sous châssis ou en plein champ dans l'ensemble des secteurs maraichers jusqu'à la première moitié du 20<sup>e</sup> siècle. (*Brajeul, 2001*)

Cette espèce est cultivée depuis l'Antiquité, **Plin** a décrit le Concombre et souligne que l'empereur Tibère affectionnait particulièrement ce légume fruit. Il est connu en France depuis le IX<sup>e</sup> siècle et devint d'une culture courante en Angleterre depuis 1350. On connaît 27 types de *Cucumis*, tous originaires de l'Afrique ou de l'Asie. (*Laumonnier, 1979*)

#### **1.2 Morphologie de la plante.**

Le **Cucumis sativus** appartient à la famille botanique des **Cucurbitacées**. C'est une plante annuelle, rampante. La partie consommée est le fruit avant maturité. Plante à fleurs unisexuées. Les fleurs mâles, apparaissent le premier, sont séparées des fleurs femelles mais portées par un même pied. La plante est dite monoïque. Certaines variétés sont gynodiques (fleurs uniquement femelles) ou parthénocarpiques (ne nécessitant pas de pollinisation). Pour les variétés classiques (monoïques), la pollinisation est assurée par les insectes. Le légume est de faible valeur nutritive; il est rafraîchissant et laxatif, pauvre en vitamines et en éléments nutritifs, (*Laumonnier, 1979 et Skiredj, 2002*)

Selon **Brajeul** (2001); Le Concombre est cultivée sous deux formes:

- A petits fruits, à épicarpe plus ou moins velu et verruqueux, utilisés comme condiment: le cornichon.
- à fruits beaucoup plus volumineux demi-longs à longs, à épicarpe lisse ou épineux, à laquelle est réservé le terme de Concombre.

### **1.2.1 Tiges**

Le *Cucumis sativus* présente des tiges herbacées, rampantes, flexibles, rêches au toucher, fibreuses, anguleuses et hirsutes munie de vrilles qui lui permettant de se fixer à un support. Il n'y a production que d'une seule feuille par nœud. (*Laumonnier, 1979 et Brajeul, 2001*)

### **1.2.2 Feuilles**

Elles sont grandes pentagonales ou rarement tri-lobées, à sommet acuminé, molles et le plus souvent poilues. (*Brajeul, 2001*)

### **1.2.3 Système racinaire**

Il est dense, plutôt superficiel et plus ou moins ramifiée. En pleine terre, les racines pivotantes et certaines racines latérales peuvent atteindre plus d'un mètre. (*Brajeul, 2001*)

### **1.2.4 Ramification de la plante.**

- **L'axe primaire:** La plante s'édifie préférentiellement autour de la tige principale ou axe primaire. Sa dominance ne s'exerce que sur les derniers nœuds sous-jacents au bourgeon terminal. (*Brajeul, 2001*)
- **Les ramifications:** Les ramifications ou formations axillaires se développent précocement bien que la basitonie soit moins marquée chez le concombre. (*Brajeul, 2001*)

### **1.2.5 Fleurs**

Les fleurs sont assez semblables à celles du melon. Elles présentent néanmoins un pédoncule plus court et un ovaire effilé. On trouve surtout des fleurs femelles, plus rarement des pièces mâles. Les sépales sont partiellement

soudés, ligules dans leur partie libre. Le périanthe est formé de cinq(5) pétales jaunes soudés à leur base qui font du concombre une espèce partiellement gamopétale. L'ovaire à 3 loges est infère et très allongé. Le style, entouré d'un nectaire annuaire à sa base, porte 3 stigmates bilobés globuleux. (*Brajeul, 2001*)

Les fleurs apparaissent très tôt des le 3<sup>e</sup> ou le 4<sup>e</sup> nœud à l'aisselle des feuilles. Les pièces mâles se développent les premières sur la tige principale. Elles éclosent successivement, en petites inflorescences contractée, puis alternent régulièrement avec les fleurs femelles. A de très rares exceptions près, la plupart des variétés actuellement cultivées sont issues d'hybrides F1. En effet, ce type de semences:

- Augmente sensiblement la vigueur, la longévité et la productivité.
- Améliore l'homogénéité des plantes et de la production.
- Facilite le contrôle génétique des caractères favorables et une relative protection des obtentions.

Les variétés modernes cultivées en serre (toutes des hybrides F1-hybrides simples) ne portent que des fleurs femelles. (*Mazoyer, 2002*)

### **1.2.6 Fruits**

Ils sont allongés, plus ou moins cylindriques, lisses ou légèrement épineux selon les variétés. Leur longueur est de l'ordre de 14 à 25cm pour les types «**mini**» où court épieux et de 30 à 40cm pour les types longs de serre. De coloration vert foncé devenant vert claire à jaune vif où blanc-crème à maturité physiologique. Leurs chair aqueuse est blanche ou verdâtre. L'épicarpe est lisse finement cannelé où grossièrement côtelée selon le type végétal. (*Laumonnier, 1979*)

Les variétés modernes produisent des fruits à développement parthénocarpique (sans fécondation), dépourvus de graines, très longs, sans épines, légèrement cannelés dans le sens de la longueur. (*Mazoyer, 2002*)

Le fruit est récolté manuellement 14 à 16 jours après la floraison. Il pèse entre 400 et 900g. Le rendement est de 30 à 40kg /m<sup>2</sup> pour une culture de printemps et de 10 à 20 kg/m<sup>2</sup> pour une culture d'automne. (*Mazoyer, 2002*)

## **1.3 Variétés**

### **1.3.1 Différents types de variétés**

Le concombre se distingue de toutes les autres espèces du genre Cucumis par sa formule chromosomique  $2n = 14$

Selon **Brajeul** (2001); la variabilité entre les différentes types cultivés se manifeste principalement par la forme et l'aspect des fruits, quatre grands types peuvent être présentes:

- Les concombres courts épineux où mini-concombre
- Les concombres à fruits courts
- Les concombres à fruits longs
- Les midi-concombres.

Sur le marché, différentes variétés sont en vente: Flamingo et Optima tolèrent le mildiou, Corona, Sandra et Fidelio tolèrent l'oïdium. (*Skiredj, 2002*)

#### **1.3.1.1 Les Concombres à fruits courts.**

Le concombre peut être subdivisé selon son expression florale, pour cela on distingue:

##### **a) Les variétés monoïques**

Ce sont des variétés dont les fleurs mâles et femelles sont présentes sur la même plante. La fructification se réalise sur les axillaires. La productivité de ces variétés est en général assez faible. Son mode de floraison et de taille spécifique nécessite une main d'œuvre assez importante. (*Brajeul, 2001*)

##### **b) Les variétés gynoiques mais non parthénocarpiques**

Ce sont des variétés qui nécessitent l'emploi des plantes pollinisatrices à fleurs mâles. Les floraisons mâles et femelles doivent être les plus synchronisées possibles. (*Brajeul, 2001*)

##### **c) Les variétés parthénocarpiques gynoiques**

D'après **Brajeul** (2010), ces variétés récentes présentent de nombreux avantages:

- Tige principale fructifère permet une conduite de plante de type parapluie similaire à variétés à fruits longs.
- Charge de main d'œuvre concernant la taille est plus faible.
- Absence de fleurs mâles dans la culture permet une cohabitation avec des concombres à fruits long classiques dont ils ne diffèrent que par les besoins en température.

### **1.3.1.2 Les Concombres à fruits courts appelés Mini-Concombres.**

Ils sont plus souvent parthénocarpiques gynoïques très utilisés au Moyen-orient. Ces fruits sont courts, à épiderme lisse et brillant ou Betalpa, poids moyen peut varier entre 60 et 180g. Ces variétés sont bien adaptées à la culture sur substrats et ont les mêmes exigences en température et en hygrométrie que celle des concombres à fruits longs. (*Brajeul, 2001*)

### **1.3.1.3 Les Concombres à fruits longs**

Parfois appelés "**Concombres de serre**" où "**Concombres Nord Européens**" toutes les variétés, le plus souvent des hybrides F1, sont désormais Parthénocarpiques gynoïques .

### **1.3.1.4 Les Midi-Concombres**

Les midi-concombres sont des hybrides F1, produisant des fruits de longueur intermédiaire (environ 18 à 25cm) entre le concombre court et le concombre longs. Les variétés sont parthénocarpiques gynoïque. (*Brajeul, 2001*)

## **1.3.2 Amélioration variétale**

Les enjeux de la sélection variétale sont nombreux et concernent tous les stades de la filière. C'est pour cela que le sélectionneur devra donc anticiper les évolutions concernant les contraintes de la production les besoins et les goûts des consommateurs.

La variété cultivée doit posséder une bonne adaptation agronomique au système et au calendrier de culture. Elle doit économiquement rentable avec

un rendement satisfaisant, des fruits de bonne qualité, un niveau correct de résistance aux maladies /virus et des charges liées à la conduite des plants les plus réduits possibles. L'échelle de temps pour créer une nouvelle variété et de l'ordre d'une dizaine d'années, durant les quelles les croisements seront affinés. (Brajeul, 2001)

### **1.3.3 Critères de choix des variétés à fruits longs.**

Le producteur recherchant le plus souvent une variété génétiquement propice à l'auto-équilibre de la balance végétative/générative. Aux extrémités de l'échelle, on trouve:

- Des variétés très génératives avec un potentiel de production de fleurs très élevé.
- Des variétés très végétatives sur les quelles il faudra pratiquer un contrôle de végétation par la taille, accompagné le plus souvent de stress thermiques et/on hygrométrique pour obtenir une mise à fruits correcte. (Brajeul, 2001)

Le potentiel de production de la plante peut être subdivisé en rendement précoce et en rendement global .il s'évalue en nombre de fruit par plante ou par unité de surface.

D'après **Brajeul** (2001), les travaux actuellement conduits sur la génétique du concombre répondent à deux objectifs:

- 1) L'évolution des caractères phénotypiques de la plante et des fruits.
- 2) La recherche de résistances aux maladies et aux insectes.

## **1.4 Culture de Concombre**

### **1.4.1 Semis, travail de sol et plantation**

Le semis peut être direct par poquet où effectué en pépinière (semis de précision). La protection contre les rats et les semis doivent être plus accentués pour les cucurbitacées. Le nombre de graines par gramme de semence est de 35 – 40 selon les variétés. En ce qui concerne les calendriers des semis, pour la culture de saison et d'arrière-saison, le semis est effectué,

en général, directement en poquets de 2 – 3 graines, en plein champ, à partir du mois de Mars jusqu'en Juin. Des trous de 10cm de profondeur sont confectionnés, on les remplit de fumier bien décomposé. On mélange sol et fumier et on place 2 – 3 graines par trou. Pour les sols froids et fissurés on ajoute le fumier (40 – 50 T/ha). En pépinière, le semis en pot peut avoir lieu en Novembre – Décembre dans le cas de culture de primeur, avec une densité de 12000 à 16000 pieds/ha. (Skiredj, 2002)

#### **1.4.2 Irrigation**

Le sol doit toujours être à sa capacité au champ. Les besoins en eau de la culture se situent aux environ de 500 mm pour une culture d'arrière saison (80 T/ha de rendement sous tunnel nantais et 40 – 50 T/ha en plein champ en conditions favorables). Moins d'eau est nécessaire en plein champ en période pluvieuse : 300 – 350 mm (végétation en Avril – Mai). En période post florale, il faut exposer la culture à la pluie où à l'aspersion (asperseurs où pivot); la culture sera rapidement détruite par les maladies cryptogamiques. (Skiredj A. et All., 2002)

### **1.5 Maladies et enemies du Concombre**

Les principaux ennemis de la culture de concombre sont la nuile, l'oïdium, l'araignée rouge, les pucerons, les thrips, les taupins et le vers gris.

Il est conseillé de traiter contre ces ennemis d'une manière préventive. Les traitements se limitent généralement aux insecticides. Une attention particulière doit d'être donnée aux virus. Un plant virosé doit être éliminé immédiatement du champ. (Skiredj, 2002)

## Chapitre 02

### **Les exigences du concombre**

Les plantes supérieures sont des êtres autotrophes, car elles peuvent utiliser l'énergie lumineuse en la transformant en énergie chimique qui permet la synthèse des substances organiques à partir de substances aussi simple que le gaz carbonique (CO<sub>2</sub>), l'eau et un certain nombre d'éléments minéraux. (*Lesaint et Coïc, 1983*)

Outre que les caractères génétiques, pour qu'une plante accomplisse sa croissance et donne un bon rendement, elle doit pousser dans des conditions d'environnements favorables (température, humidité, lumière, eau, ... etc).Lorsqu'un ou plusieurs de ces facteurs s'écartent suffisamment de l'optimum, de façon que la croissance et le rendement sont réduits, la plante est considérée comme «stressée». (*Felidj, 2005*)

Selon **Lemaire** (1989), la croissance et le développement d'une plante sont normalement assurés si l'équilibre est satisfait à tout moment entre la demande et l'offre en éléments nécessaires au processus de l'absorption. Dans le milieu racinaire, outre l'eau et l'oxygène, doivent être présents, les éléments minéraux sous des formes qui sont assimilables. (*Snoussi et Chikhi, 2012*)

L'optimisation de la production en culture de concombre passe par une alimentation hydrique et minérale adapté aux besoins qualitatifs et quantitatifs de la plante, et dans des conditions pédoclimatiques convenables.

Environ 95% de la matière sèche de la plupart des plantes est composée de quatre éléments: le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote. Ces composés du carbone constituent la matière organique. Une autre partie, 4% environ, est faite de potassium, phosphore, calcium, magnésium, silicium, aluminium, soufre, chlore, sodium, certains de ces éléments n'étant pas indispensables ni même utiles. Le reste, 1% ou moins du poids sec, est constitué de micro-éléments minéraux dont certains peuvent aussi ne pas être indispensables ou utiles à la plante. On comprend donc qu'en horticulture

comme en agriculture la nutrition minérale est destinée avant tout à permettre la synthèse, la production de matières organiques. (Lesaint et Coïc, 1983)

## **2.1. Exigences pédoclimatiques.**

Le climat est parmi les facteurs les plus importants pour déterminer les zones de production des cultures maraichères, dont la température, la pluviométrie et l'humidité de l'air sont les facteurs climatiques les plus importants. (Thompson et All., 1985)

### **2.1.1 Température.**

L'optimum de croissance racinaire est de 22 -25°C. Un minimum de 12°C est exigé pour le développement racinaire. L'optimum de croissance végétative est de 20-22°C le jour et de 17-18°C la nuit. En période de production, la culture exige 20-25°C le jour et 17-20°C la nuit. (Ait Ouazzou, 2011)

### **2.1.2 Humidité.**

Ce facteur joue un rôle très important dans les niveaux de production. Le rendement final étant très étroitement corrélé avec une hygrométrie élevée de jour : 35% d'augmentation de rendement pour une hygrométrie passant de 60 à 80%. Certains auteurs soulignent que l'hygrométrie excessive (au dessus de 90%) est très défavorable, surtout durant le jour, car elle bloque le transit de la sève brute, avec une perturbation de l'alimentation minérale de la plante. (Ait Ouazzou, 2011)

### **2.1.3 Lumière.**

Le Concombre réagit positivement jusqu'à des niveaux d'intensité lumineuse très élevée. Les plantes cultivées sous de faibles niveaux d'éclairement en durée et intensité sont grêles, à entre-nœuds longs, feuilles plus petites et ramifications très réduites. A l'inverse, sous forte insolation et surtout en jour long, la plante adopte un port à tendance plus buissonnante : entre-nœuds courts et ramifications abondantes. (Ait Ouazzou, 2011)

### **2.1.4 Sol.**

Les exigences en sol ne sont pas grandes. Le pH optimal du sol est de 5,5 à 6,8. Le sol ne doit pas être asphyxiant ni trop frais au printemps. Il est recommandé d'éviter les sols pauvres, trop lourds ou compacts. Un sol trop froid provoque la fonte des jeunes plantules. (*Skiredj et All., 2002*)

## **2.2 Exigences hydrominérales.**

La Connaissance des éléments impliqués dans la croissance et le développement du concombre, leurs rôles et mécanismes d'absorption permettent d'optimiser la gestion de l'alimentation hydrominérale qui doit couvrir en permanence les besoins de la plante en eau et en éléments minéraux et en oxygène durant tout le cycle de développement des plantes. (*Snoussi, 2001 et Brajeul, 2001*) )

### **2.2.1 L'eau**

L'eau est un aliment essentiel. C'est un constituant fondamental des tissus végétaux, en particulier des tissus ayant une vie active. Dans une plante en végétation, les feuilles en contiennent environ 85%, les tiges et pétioles 90%, les racines 94%. Les organes de réserve en contiennent des quantités variables: les tubercules 75% environ, les racines (betterave à sucre par exemple) 75%; les graines en contiennent des quantités beaucoup plus faibles, par exemple 15%.

Le milieu aqueux de la plante est le siège des réactions enzymatiques et la présence d'eau en proportion déterminée est une condition du maintien de la structure et du fonctionnement des sites fonctionnels de la plante. L'eau est aussi le véhicule des ions minéraux et des produits organiques synthétisés par la plante (sève ascendante, sève descendante). (*Lesaint et Coïc, 1983*)

#### **2.2.1.1 Rôle de l'eau**

D'après **Brajeul** (2001), l'eau présente un certain nombre de propriétés mécaniques et physico-chimiques qui lui confèrent des rôles physiologiques nombreux et complexes dont les principaux sont:

- Le maintien de la turgescence et de l'élongation cellulaire, qui assurent la croissance des plantes. Par contre, en conditions de stress, les cellules perdent de l'eau, ce qui conduit à l'arrêt de la croissance, au flétrissement et à la perte du port érigé.
- Le maintien des structures chimiques et biochimiques par la dissociation des sels absorbés sous forme ionique par le végétal.
- La participation à des réactions biochimiques (hydrolyse, synthèse). Parmielles, la formation de macromolécules (amidon, protéines...) où leur fractionnement en éléments simples (glucose, acidesaminés..).
- Le transport et l'apport d'éléments essentiels, des racines vers les organes transpirants (sève brute), et celui des assimilats carbonés des organes photosynthétiques vers les autres parties du végétal (sève élaborée). L'eau est également une source en oxygène, en proton, en électrons et en ions hydroxydes. Ces composés étant indispensables au métabolisme végétal.
- Le refroidissement des parois végétales.  
Du fait de sa haute chaleur spécifique, l'eau permet aux végétaux d'absorber une grande quantité de rayonnement solaire sans subir les effets destructeurs liés à une augmentation de la température. Sa chaleur latente de vaporisation<sup>(1)</sup> permet d'autre part la dissipation de la chaleur accumulée par transpiration.

### **2.2.1.2 Conditions d'absorption de l'eau.**

Selon **Brajeul** (2001), l'absorption de l'eau par la plante est liée au respect de trois grands principes:

- La couverture quantitative de l'évapo-transpiration
- Le maintien de la plante en conditions transpirantes
- Le contrôle de la pression osmotique de l'environnement racinaire.

#### **a) Couverture quantitative de l'évapo-transpiration**

L'eau représente en moyenne 85 à 90% de la matière fraîche du végétal. Il existe néanmoins des disparités importantes entre les différents organes de la plante (voir tableau N°01)

---

(1)- Quantité d'énergie nécessaire pour vaporiser 1kg d'eau

**Tableau N°01: Teneur en eau des différents organes végétaux du concombre**

	Teneur eau (en % de matière fraîche)
Racines	<b>97.4</b>
Tiges	<b>85.4</b>
Feuilles	<b>73.8</b>
Fruits	<b>95.6</b>

Source: Morard(1995)

Paradoxalement, l'eau effectivement présenté au niveau du végétal ne correspond qu'à environ 1% de ce qui est absorbé par les racines. D'après **Morard** (1995), Le coefficient de transpiration<sup>(1)</sup> serait compris entre 700 et 800 kg en culture de concombre.

L'évapotranspiration est liée au rayonnement solaire globale (**RG**) et dans une moindre mesure au déficit hydrique (**DH**) où déficit de saturation (**DS**).

#### **b) Maintien de la plante en conditions transpirantes**

L'eau et les éléments minéraux sont en effet véhiculés dans la plante grâce au flux xylémien<sup>(2)</sup> (sève brute) qui s'effectue des racines vers les organes transpirants. Ce flux est manœuvré par la différence de potentiel hydrique existant entre le milieu racinaire et l'atmosphère qui possède un potentiel d'évaporation très élevé lié au rayonnement solaire <sup>(2)</sup>et au **DH** (demande évaporative de l'air). En conditions de rayonnement solaire et de **DH** élevé, l'ouverture stomatique favorise la transpiration. Une température racinaire inférieure au zéro végétatif (16°C) limite l'absorption de l'eau. Celle-ci est conditionnée par le développement racinaire. La transpiration est très liée à la surface foliaire qui augmente de manière continue entre la plantation et la période de végétation établie. (*Brajeul, 2001*)

(1) -Quantité d'eau nécessaire pour l'élaboration d'un kilogramme de matière sèche.

(2)- Changement de phase de l'eau liquide en eau vapeur.

### **c) Control de la pression osmotique de l'environnement racinaire**

Une pression osmotique trop faible entraîne une augmentation de la pression racinaire qui conduit, en conditions peu transpirantes, à des nécroses apicales humides où à des éclatements de tige pouvant servir de voie d'entrée pour les champignons pathogènes. Une pression osmotique trop élevée réduit l'absorption de l'eau par la plante. (*Brajeul, 2001*)

Le maintien d'une pression osmotique correcte passe par la gestion de:

- La conductivité électrique (**EC**) du milieu racinaire
- La dynamique des apports en eau, de manière à éviter une concentration où un lessivage d'éléments qui conduirait à leur absorption non optimale par le végétal.

#### **2.2.1.3 Besoins quantitatifs et qualitatifs en eau.**

Les besoins en eau de la culture se situent aux environs de 500mm pour une culture d'arrière saison. Pour une culture de plain champ en période pluvieuse 300 à 500mm. En période post-florale, il ne faut pas exposer la culture à la pluie ou à l'aspersion, car elle sera rapidement détruite par les maladies cryptogamiques. Le meilleur système d'irrigation est la goutte à goutte. (*Ait Ouazou, 2011*)

Le sol ne doit pas être asphyxiant ni trop frais au printemps. Il est recommandé d'éviter les sols pauvres trop lourds ou compacts. Un sol trop froid provoque la fonte des jeunes plantules. (*Skiredj et All., 2002*)

**Janson**(1998), rapporte qu'une culture de concombre hors sol consomme environ 20 fois moins d'eau qu'une culture en plein champ, les cultures hors sol doivent donc être recommandées pour les régions où l'eau est un facteur limitant de la production. (*Urban, 2010*)

#### **2.2.1.4 Stress hydrique**

Les manques d'eau affectent l'état hydrique des plantes. L'objectif premier de l'arrosage est d'éviter que l'état hydrique des plantes ne soit

affecté par les déficits hydriques au point de pénaliser la production. (Urban, 2010)

La plante subit un stress hydrique à partir du moment où elle ne parvient plus à compenser la quantité d'eau perdue par transpiration. Les conséquences du stress hydrique apparaissent graduellement en fonction de son intensité. (Brajeul, 2001)

Le tableau suivant (N°02) schématise les étapes et les conséquences du stress hydrique sur le Concombre.

**Tableau N°02: Etapes et conséquences du stress hydrique sur le Concombre.**

<b>Etapes du stress hydrique</b>	<b>Conséquences du stress hydrique</b>
1. Diminution puis arrêt de la croissance	- Manifestation physiologiques et <u>morphologiques</u> - Impact sur le rendement.
2. Disfonctionnement métabolique	- Perturbation de la synthèse protéique. - Perturbation de l'activité de certains enzymes
3. Flétrissement temporaire réversible	Régulation stomatique - Diminution de la transpiration - Perte temporaire de la rigidité et du port érigé.
4. Flétrissement irréversible.	Point de flétrissement permanent - Dégradation définitive de la structure de la cellule - Mort du végétal lorsque les jeunes feuilles et les méristèmes sont touchés.

Les réactions des plantes à la sécheresse dépendent de la vitesse d'évaporation de l'eau, de la durée du déficit en eau et de l'espèce végétale concernée. Au niveau cellulaire, les réactions varient en fonction de l'organe considérée, du type de cellule et du stade de développement de la plante. (Jabnour, 2007/2008)

Pour savoir arroser, il est utile de connaître les composantes de l'état hydrique, de comprendre le déterminisme de leurs variations et les conséquences de ces variations sur la physiologie des plantes et l'élaboration du rendement et de la qualité. (*Urban, 2010*)

### **2.2.2 Les éléments minéraux**

La plante a besoin d'un certain nombre d'éléments minéraux pour accomplir ses différentes fonctions. Ils sont classés en macroéléments, ceux dont la plante a besoin en grande quantité, et microéléments, appelés parfois oligoéléments<sup>(1)</sup>, ceux dont la plante a besoin en grande quantité. (*Lesaint et Coïc, 1983*)

A partir de CO<sub>2</sub>, d'eau et d'éléments minéraux, les plantes (sauf les champignons) synthétisent les produits carbonés nécessaires à leurs croissances et à leur développement. Deux processus fondamentaux interviennent dans leur nutrition: la photosynthèse et l'absorption d'eau et d'éléments minéraux par les racines, le sol fournissant la quasi-totalité des substances minérales. (*Mazoyer, 2002*)

Les plantes parviennent à satisfaire leurs besoins minéraux essentiellement par absorption radiculaire, soit par transport passif (passage avec l'eau, diffusion, échange et adsorption). Soit par transport actif par des processus métaboliques, espace libre. (*Ait Ouazzou, 2011*)

Dans les cultures hors sol, les besoins en éléments minéraux sont apportés sous forme d'une solution nutritive dans des substrats souvent inertes, suivant leur stade de développement. Cela s'est traduit par des pourcentages respectifs bien définis d'azote, de phosphore, de potassium et d'autres éléments majeurs. (*Ouazzoug, 2006*)

D'après **Urban** (2010), douze éléments minéraux sont reconnus indispensables à la nutrition des végétaux. Ces éléments minéraux sont classés en deux groupes en fonction de leur teneur dans la plante.

---

(1) – Nom donné par le savant Gabriel BERTRAND.

Le premier groupe contient les macroéléments, leur teneur est de l'ordre de 1% de la matière sèche. Il s'agit de l'azote (N), du phosphore (P), du soufre (S), du potassium (K), du calcium (Ca) et du magnésium (Mg).

Le deuxième groupe est celui des micro-éléments, encore appelés Oligoéléments. Leur teneur est très faible, elle s'exprime en partie par million (ppm). On trouve dans ce groupe le bore (Bo), le cuivre (Cu), le fer (Fe), le manganèse (Mn), le molybdène (Mo) et le zinc (Zn).

Certains auteurs considèrent que le chlore (Cl) fait partie des micro-éléments indispensables. Il jouerait un rôle essentiel dans certaines réactions de la photosynthèse. Le sodium (Na) n'est pas indispensable, mais il pourrait jouer un rôle favorable dans la croissance des végétaux.

### **2.2.2.1 Rôle des éléments minéraux nécessaires au Concombre**

Les éléments minéraux interviennent au niveau de trois fonctions principales:

#### **a) Les fonctions électrochimiques.**

Certains éléments, absorbés à l'état d'ions par les racines, peuvent rester sous cette forme et contribuer au maintien de la neutralité électrique de la cellule. C'est le cas notamment des oligoéléments cationiques qui participent à l'équilibre acido-basique vis-à-vis des molécules organiques biosynthétisées. (*Brajeul, 2001*)

Un excès relatif d'anions entraîne une acidification du milieu cellulaire, alors qu'un excès relatif de cations conduit, au contraire, à une augmentation de son Ph. (*Urban, 2010*)

**Urban** (2010), note qu'une alimentation correcte en potassium favorise une bonne efficacité de l'eau... le potassium contribue également à la migration des produits de la synthèse des feuilles vers les organes dans lesquels ils sont utilisés.

Le calcium joue un rôle de protecteur des plantes vis-à-vis des autres cations lorsqu'ils sont en excès, en diminuant la perméabilité cellulaire. En particulier, une bonne alimentation en calcium est indispensable à certains

végétaux placés en milieu salé pour qu'ils puissent lutter contre l'intoxication due à l'excès d'ions sodium.

Un élément de magnésium  $Mg^{++}$  servent à neutraliser les anions organiques produits au cours du métabolisme, qui menacent l'équilibre acido-basique du milieu cellulaire.

Le fer se trouve principalement stocké dans la protéine de phytoferritine.

### **b) Fonctions plastiques, structurales et métaboliques**

Elles concernent les macroéléments qui interviennent dans la constitution de la matière végétale ainsi que dans la composition d'une molécule où d'un complexe présentant une fonction anabolique, catabolique où de réserve. Il s'agit par exemple de l'ion magnésium, qui joue un rôle majeur dans l'assimilation carbonée photosynthétique, puisqu'il intervient dans la composition de la molécule de chlorophylle. (*Brajeul, 2001*)

D'après **Urbain** (2010), les éléments minéraux participent à l'édifice cellulaire, par exemple:

L'azote représente 1 à 5% de la matière sèche des végétaux. Les teneurs les plus fortes se retrouvent dans les tissus en cours de croissance. Cet élément est le constituant essentiel des acides aminés et des protéines que l'on retrouve à la fois comme protéines de structure au niveau des membranes. On trouve également l'azote dans de nombreuses molécules importantes au niveau physiologique, comme les amines et polyamines qui apparaissent lors de la sénescence des tissus, la betaine qui stabilise les structures cellulaires et intervient dans l'adaptation des plantes à la salinité, où les alcaloïdes (morphine, nicotine, caféine, ...) qui participent aux mécanismes de défense des plantes.

Le phosphore se retrouve dans les phospholipides qui sont des constituants essentiels des membranes cellulaires. Dans les graines et les organes de réserve, le phosphore est stocké sous forme de phytine.

Le calcium est un constituant de la lamelle moyenne de la paroi pecto-cellulosique des cellules végétales, où il forme des sels insolubles avec des acides pectiques. Il joue un rôle essentiel dans la rigidité des tissus végétaux.

On trouve le magnésium au centre du noyau tétrapyrrolique de la chlorophylle où il est impliqué dans l'assimilation du CO<sub>2</sub>.

Le soufre entre dans la composition de certaines molécules organiques aromatiques, ainsi que dans celle de certains acides aminés, qui jouent un rôle très important dans la stabilité de la structure de certains protéiques.

Le fer entre dans la composition de la ferrédoxine, une protéine de structure jouant un rôle fondamental dans les réactions d'oxydoréduction de la photosynthèse et dans celles de la réduction des nitrates et des sulfates.

### **c) Fonctions catalytiques**

Les réactions enzymatiques sont influencées directement par la présence d'éléments en très faibles quantités. La plupart des ions impliqués au niveau d'une fonction catalytique sont des oligoéléments, dont il s'agit par ailleurs de l'unique fonction. (*Brajeul, 2001*)

La plupart des éléments minéraux et en particulier les oligoéléments, exercent une ou plusieurs fonctions catalytiques, soit en tant que constituant d'enzymes ou de coenzymes, soit en tant qu'activateurs d'enzymes.

Le calcium joue un rôle de messenger en cas d'agression ou de modification de l'environnement de la plante afin que celle-ci puisse déclencher une réponse appropriée. (*Urbain, 2010*)

#### **2.2.2.2 Effets des éléments minéraux sur la qualité de production**

De nombreuses observations ont été faites sur l'effet de l'alimentation minérale sur la qualité des légumes, et en particulier des légumes-fruits.

L'effet négatif des carences en azote, en potassium et en magnésium sur la qualité des "légumes" est désormais bien connu. Chez le concombre, l'augmentation de la teneur de la solution nutritive en potassium ou en ammonium permet d'améliorer nettement la coloration des fruits. Alors que

l'augmentation de la teneur de la solution nutritive en calcium, en revanche, favorise la nécrose interne des fruits. (Urbain, 2010)

La formation de collet jaune (tomate) peut être réduite en abaissant la concentration en phosphore, l'incidence des taches noires (poivron) peut être réduite aussi en limitant les apports de calcium et en augmentant ceux d'ammonium. (Urbain, 2010)

**SnneVeld - Van Mook** (1983), ont observé que la composition de la solution nutritive, et notamment le niveau de concentration en sodium, influençaient les nécroses marginales des feuilles de laitue.

Certains auteurs notent que les rapports entre éléments jouent également un rôle important, par exemple, un rapport potassium sur calcium élevés favorisaient les taches jaunes sur fruits de tomate, au contraire, un rapport K/Ca faible favoriserait l'apparition du phénomène des fruits creux. (Urbain, 2010)

Le gout des fruits est nettement influencé par l'alimentation minérale des plantes. L'augmentation de la concentration en potassium et en ammonium de la solution nutritive à pour conséquence au accroissement de la teneur en sucres et en acides des fruits de tomate et de concombre. La valeur nutritive des légumes peut être augmentée par la présence de NaCl dans la solution nutritive, l'alimentation en potassium influence positivement la qualité de la conservation des tomates et des concombres, mais négativement celle des poivrons et des laitues. (Urbain, 2010)

L'excès d'azote diminue la durée de vie des fleurs coupées. Le potassium et le calcium jouent un rôle positif déterminant dans la tenue en vase des fleurs coupées. Le chlore, au contraire, diminuerait la durée de vie des fleurs coupée lorsqu'il est en excès. Chez certaines espèces, l'excès d'azote pendant la culture peut entraîner la chute des feuilles, la diminution du taux de chlorophylle et la réduction de la longueur des entre nœuds. (Urbain, 2010)

### **2.2.2.3 Conditions et mécanismes d'absorption des éléments minéraux**

L'absorption des éléments minéraux est un phénomène très complexe, dont les racines constituent le principal site d'absorption. Mais ces derniers peuvent également être absorbés, de façon limitée, par les feuilles. (*Urbain, 2010*)

D'après **Letard** et **Patricia** (1995), les plantes absorbent les ions à partir de la solution entourant les racines. Cette absorption doit se faire à l'encontre de l'augmentation de la concentration: la concentration est en effet beaucoup plus élevée à l'intérieur de la cellule que dans la solution du substrat. Entre autre l'équilibre entre les éléments n'est pas non plus le même dans la cellule et à l'extérieur. L'absorption doit donc être sélective. Certains ions devant être plus absorbés que d'autre en fonction des facteurs externes selon **Vilain M.**(1993) et qui peuvent être climatiques où édaphiques (solution nutritive dans le cas des cultures hydroponiques). Le même auteur note que des températures élevées aboutissent généralement à un fort taux de transpiration, cette dépense hydrominérale oblige le végétal à puiser postérieurement dans le sol pour reconstituer ses réserves en eau et en minéraux. (*Snoussi et Chikhi, 2012*)

#### **a) Conditions d'absorption des éléments minéraux**

L'absorption des éléments minéraux est fortement dépendante du flux transpiratoire. Elle est donc étroitement liée au développement de la surface foliaire et à la colonisation du milieu par le système racinaire.

L'absorption ionique est également influencée par des facteurs tels que la disponibilité en eau, la température, le niveau d'oxygène, certains inhibiteurs et activateurs intervenant sur le métabolisme végétal.

D'après **Brajeul** (2001), la plante effectue une sélection des éléments au niveau racinaires, en prélevant de préférence les ions indispensables à son croissance et à son développement. Néanmoins la composition du milieu nutritionnel présente un impact important en termes de potentialité d'absorption des éléments minéraux par le végétal.

L'absorption de certains ions est inhibée par d'autres ions appelés ions antagonistes (ig exemple: le  $\text{Ca}^{++}$  inhibe le  $\text{Mg}^{++}$ , ou stimulée par d'autres appelés ions synergistes exemple: l'absorption des ions phosphoriques est facilité par le magnésium. (*Ait Ouazzou, 2011*)

Selon **Mazliak** (1974), l'intensité respiratoire des racines qui est sous l'influence de l'aération du milieu, de la température du substrat, ainsi que les sécrétions radiculaires, fait varier l'absorption des éléments minéraux. (*Snoussi et Chikhi, 2012*)

L'absorption racinaire est liée à un excès de charges anioniques au niveau de la membrane cellulaire qui fournit à la plante une capacité d'échange cationique. Un échange d'élément se crée alors librement entre l'extérieur du végétal et les méats intercellulaire. Un phénomène d'exsorption racinaire, c'est-à-dire un flux d'éléments minéraux excrètes des racines et concomitant à l'absorption. La quantité d'ions effectivement absorbes correspond donc à la différence entre les éléments qui pénètrent dans les racines et ceux qui en sortent. Après leur passage au niveau du cylindre central, les ions migrent vers les parties aériennes par **translocation** en empruntant la voie xylemiéne . (*Brajeul, 2001*)

### **b) Mécanismes d'absorption**

Les mécanismes d'absorption peuvent être classés suivant leur déterminisme et l'énergie nécessaire à leur mise en œuvre. (*Brajeul, 2001*)

On peut distinguer les mécanismes passifs des mécanismes actifs.

#### **1° Mécanisme passifs**

Il s'agit de ceux qui ne requièrent pas d'énergie de l'absorption minérale au niveau racinaire. Selon **Urban** (2001), les molécules neutres diffusent spontanément du milieu le plus concentré (intérieur des cellules) vers le milieu le moins concentré (extérieur des cellules). L'absorption des éléments minéraux par les racines doit donc se faire le plus souvent contre le gradient de concentration ionique.

On distingue d'une part les **mécanismes passifs** de diffusion, dont le déterminisme correspond à un potentiel chimique ou électrochimique entre l'extérieur du végétal et la cellule, d'autre part il existe des mécanismes passifs de diffusion facilitée, soit par des transporteurs qui assurent le passage des éléments minéraux à travers la membrane avec la combinaison des ions, soit par des canaux ioniques qui assurent un rôle identique mais avec des vitesses de transport bien supérieures. (*Brajeul, 2001 et Urban, 2010*)

Le potentiel électrochimique responsable de l'absorption passive de diffusion et appelé « **équilibre de Donan** ». Cet équilibre s'exprime par des pôles électro-négatifs, au niveau des membranes qui vont ensuite par une force d'attraction sur les cations et des répulsions sur les anions. Cette force est appelée « **la capacité d'échange cationique** ». (*Ouazzoug, 2006*)

## **2° Mécanismes actifs.**

Les végétaux sont capables d'absorber et de retenir des ions à partir d'une solution beaucoup moins concentrée que dans les racines. Les mécanismes passifs ne rendent donc pas compte de l'ensemble des phénomènes d'absorption des éléments minéraux par les racines. Les mécanismes actifs permettent l'absorption à contre courant du gradient de potentiel électrochimique. (*Urban, 2010*)

Il s'agit donc des mécanismes dépendant de l'activité racinaire, utilisant l'énergie liée à l'assimilation carbonée photosynthétique des parties aériennes (*Brajeul, 2001*)

Ce mécanisme fait appel à des transporteurs spécifiques à chaque élément. Le fonctionnement de ces transporteurs nécessite de l'énergie et de l'oxygène lié directement à la température et à l'aération du milieu. En effet, le manque d'oxygène apporté aux racines, peut causer des nécroses apicales. (*Ouazzoug, 2006*)

La respiration, qui est le principal processus métabolique produisant de l'énergie, requiert la présence d'oxygène. En conditions asphyxiantes, l'absor-

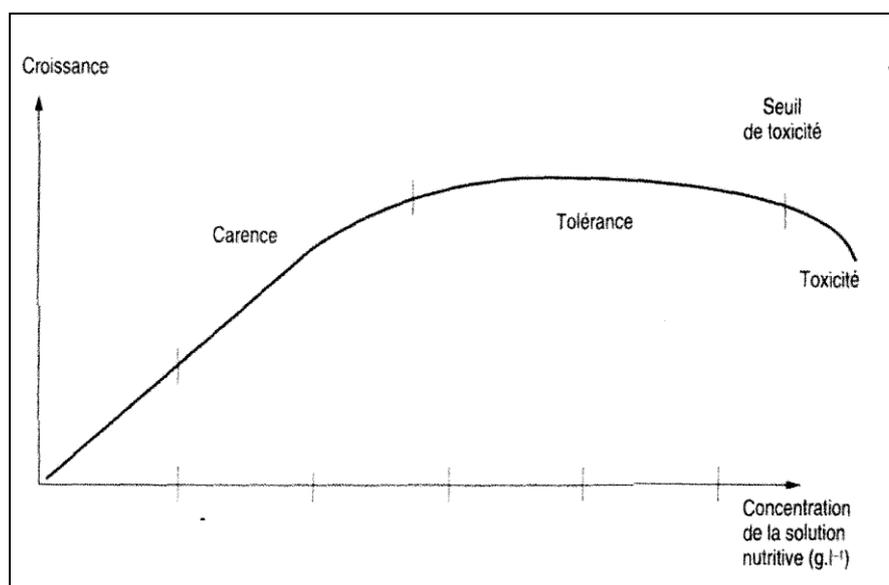
ption des éléments qui sont absorbés de manière active est réduite, voire totalement inhibée. (Urbain, 2010)

Les pompes à protons contribuent à acidifier le milieu, induisant ainsi deux différences de potentiel; l'une électrique, qui favorise la pénétration des cations, l'autre appelée "gradient de protons", qui serait utilisée pour l'absorption des anions, par échange avec les (H<sup>+</sup>) dirigés vers le cytoplasme cellulaire. Les variations du pH racinaires correspondent à l'évolution repérable de ce phénomène. (Brajeul, 2001)

## 2.3 Carences, déficiences et toxicités.

### 2.3.1 Carences<sup>(1)</sup> et déficiences

On appelle déficience le manque d'un élément minéral indispensable à la croissance et au développement. Les déficiences affectent la production de manière pernicieuse car elles ne se manifestent pas visuellement. Lorsque le manque d'un élément s'aggrave, des symptômes visuels finissent par apparaître. On parle plus simplement de déficience alors, mais de carence. Au-delà d'un certain seuil, la carence entraîne la mort de la plante (figure 01).



Source: Urban (2010)

**Figure 01: Effet de concentration croissante d'éléments indispensables.**

(1)- Absence, apport insuffisant, indisponibilité ou défaut d'assimilation d'une substance nécessaire à la croissance et au développement d'une plante. (Larousse agricole, 2002)

Les carences végétales peuvent résulter d'une trop faible concentration de l'élément dans le sol: ce sont les carences primaires. Mais, le plus souvent, la carence se développe à la suite d'une indisponibilité plus ou moins sévère de l'élément: il s'agit alors d'une carence induite. Ces carences entraînent des troubles physiologiques qui se manifestent par un développement ralenti, une malformation des organes végétatifs ou reproducteurs, des nécroses de la tige des bourgeons ou des racines, une décoloration ou coloration anormale du feuillage. (Mazoyer, 2002)

Les carences induites sont le souvent occasionnées par une valeur de pH non adaptée ou un déséquilibre minéral <sup>(1)</sup>. Dans les sols à pH élevé (sols calcaires) on observe fréquemment des carences relatives au Fer, Zinc, Cuivre, Manganèse et Bore. La carence en Molybdène apparaît dans les sols acides. Dans les sols bien cultivés, les carences en éléments majeurs (Azote, Phosphore, Potassium) s'observent rarement; elles proviennent le plus souvent d'une fertilisation mal conduite, problème auquel il est aisé de remédier. Pour les carences primaires en oligoéléments, on réalise des apports sous forme de pulvérisation foliaire, très rapidement efficaces car l'élément est absorbé par la feuille. Certaines carences sont plus difficiles à corriger, la correction passe par une modification du pH (chaulage) où des apports sous forme organique de l'élément. Dans les cas les plus délicats (chlorose ferrique sur les arbres fruitiers), on utilise des porte greffe résistants (Mazoyer, 2002)

Les manifestations de carence les plus courantes sont les chloroses <sup>(2)</sup> et les nécroses <sup>(3)</sup>. Mais peuvent également se manifester par des flétrissements et/ou des rougissements. Ces symptômes ne sont pas spécifiques des situations de carence. Ils peuvent résulter d'accidents physiologiques, de mauvaises façons culturales, ou encore d'attaques de ravageurs ou de développements de maladies, ce qui rend leur interprétation difficile et qui doit

---

(1) – Déséquilibre minéral: la présence d'un élément en trop grande quantité gêne l'assimilation d'un autre (Larousse agricole, 2002).

(2) - Les chloroses se traduisent par des jaunissements où des décolorations des feuilles, dues à la destruction de la chlorophylle, ou au blocage de sa synthèse. Les chloroses peuvent être générale où ne porter que sur les espaces internervaires.

(3) - Les nécroses se traduisent par le dessèchement et la mort de certaines parties des feuilles. Elles peuvent apparaître directement ou à la suite des symptômes de chlorose.

en tenir compte. Il faut savoir aussi que les symptômes de carence varient d'une espèce à une autre. C'est pour cela qu'il est essentiel d'effectuer un diagnostic précoce afin de pouvoir mettre rapidement fin à la situation de carence. (Urban, 2010)

Lorsque le diagnostic a été établi, il faut corriger le manque de l'élément incriminé en tenant compte des éléments suivants:

- La carence d'un élément peut résulter d'un antagonisme <sup>(1)</sup>.
- La carence d'un élément peut être la conséquence d'un défaut d'absorption dû, par exemple, à un manque d'oxygénation des racines.

Dans ces deux derniers cas, on peut envisager des pulvérisations foliaires.

### **2.3.1.1 Carence en azote**

L'azote est indispensable à la croissance végétative des parties aériennes et des concentrations élevées en cet élément ont pour effet de retarder l'apparition des fleurs et des fruits. **SOLTNER** (1988), indique que l'azote en excès entraîne un retard de maturité due à l'allongement excessif de la période végétative, une sensibilité plus grande aux maladies cryptogamiques, aux parasites, au gel et à la verse. La carence en azote provoque un retard de croissance des organes végétatifs, une diminution de taux des protéines et une baisse des rendements.

Une carence en azote, selon **Urban** (2010), provoque donc un ralentissement, voire un arrêt, de la croissance des plantes. Le symptôme de la carence azotée est la chlorose sur les feuilles âgées, à la base des plantes.

### **2.3.1.2 Carence en phosphore**

Le phosphore est un constituant essentiel des plantes. Il intervient dans la plupart des processus physiologiques (respiration, photosynthèse, etc) et favorise la croissance, la précocité, la résistance au froid. Il confère un haut pouvoir énergétique à certaines molécules par la formation de liaisons riches

---

(1) – Voir la page 16 (conditions d'absorption des éléments minéraux) du chapitre 02.

en énergie, exemple ATP, nécessaires pour la floraison, la nouaison et la précocité de la production. (Mazoyer, 2002 et Ait Ouazzou, 2011)

Chez les plantes carencées en phosphore, les feuilles ont une couleur verte intense, sont éventuellement déformées et peuvent porter des taches nécrotiques. Les végétaux présentent un port svelte. Cependant les jeunes plants apparaissent rabougris. (Urban, 2010)

Sa carence provoque la coloration violacée ou rouge intense des feuilles, la réduction de la croissance des plants, le retard de la floraison et la perturbation de la fécondation et de la maturité. (Ait Ouazzou, 2011)

### **2.3.1.3 Carence en potassium**

Le potassium intervient dans les processus de la photosynthèse, favorise la synthèse des glucides et leur transport vers les organes de réserves. Il participe également aux transferts d'eau (réduction de la transpiration) et à la synthèse des protéines. (Mazoyer, 2002)

La carence en cet élément se traduit d'abord par une chlorose, c'est-à-dire un jaunissement qui se présente sous forme de taches ou qui semble confiné au bord des feuilles. Les symptômes de carence apparaissent en principe sur les feuilles adultes de la base de la plante. On peut aussi observer un aspect froissé, des enroulements de feuilles mais aussi des déformations de fruits. Enfin, les tiges des plantes carencées peuvent paraître minces et faibles, avec des entre-nœuds anormalement courts. (Urban et al., 2010)

Le potassium en excès exprime rarement des symptômes de toxicités mais provoque des troubles dans l'assimilation des nitrates. (Ait Ouazzou, 2011)

### **2.3.1.4 Carence en calcium**

Le calcium figure surtout dans les roches sédimentaires, en premier lieu à l'état de carbonate dans les calcaires mais également sous forme de sulfate (gypse) ou de phosphate (apatite). Il intervient sur les propriétés physiques des sols et a un rôle physiologique important chez les végétaux et les animaux (constitution du squelette). Cependant, présent en trop grande quantité, le calcium peut entraîner le blocage des phosphates et de certains oligoélé-

ments, provoquant des carences induites; il peut également ralentir fortement la minéralisation de la matière organique. Chez les végétaux, le calcium intervient dans la constitution des parois cellulaires des plantes, c'est un stimulant de la croissance des jeunes racines et un ion équilibrant antitoxique: il intervient notamment en neutralisant et en précipitant certains acides organiques en excès, en équilibrant l'action du potassium dans l'absorption racinaire et la transpiration, et en contrant la toxicité du sodium. (*Mazoyer, 2002 et Ait Ouazzou, 2011*)

La carence en calcium se manifeste au niveau des zones méristématiques, où deux processus fortement dépendants de cet élément, les divisions cellulaires et la formation des parois cellulaires, sont particulièrement actifs. Elle se traduit par des nécroses, un gaufrage voire un déchirement des jeunes feuilles. (*Urban, 2010*)

En période de croissance, la carence en calcium peut provoquer, en plus, une augmentation de la sensibilité aux maladies vasculaires (fusariose par exemple), en cours de maturation, et la nécrose apicale des fruits. A ce même stade l'excès en calcium favorise l'apparition des tâches immatures et l'évolution des collets verts. (*Ait Ouazzou, 2011*)

### **2.3.1.5 Carence en magnésium**

Pour les plantes, le magnésium est un élément nutritif d'une grande importance; il est surtout présent dans les grains et les tubercules, et intervient dans la formation des composés phosphatés, de la chlorophylle, des glucides, des protides et certaines vitamines (carotène, xanthophylle). Dans les sols, une faible quantité du magnésium est échangeable, donc utilisable pour l'alimentation des plantes. Les insuffisances en magnésium apparaissent surtout dans les sols légers et acides. (*Mazoyer, 2002*)

Selon leur importance et la sensibilité du végétal, une déficience en magnésium se traduit par une chlorose. Le symptôme affecte les espaces des limbes des feuilles situés entre les nervures, qui restent vertes. Les effets de la carence se font-ils d'abord sentir sur les feuilles âgées. En cas de carence

prolongée, les feuilles peuvent devenir complètement jaunes, voire blanches, et même tomber. (Urban, 2010)

Son excès crée un déséquilibre, une absorption insuffisante du potassium, une croissance excessive des racines et des tiges, une diminution de la floraison et de la fructification. (Ait Ouazzou, 2011)

#### **2.3.1.6 Carence en soufre**

Les plantes utilisent deux sources pour s'alimenter en soufre: les sulfates du sol absorbés par les racines, et le gaz sulfureux (SO<sub>3</sub>) présent dans l'atmosphère, que les plantes peuvent utiliser directement, comme le gaz carbonique. Il n'existe pas de graves problèmes de fertilisation par cet élément. (Mazoyer, 2002)

Le soufre est un constituant des acides aminés soufrés (méthionines et cystéine) d'où son rôle primordial dans la synthèse des protéines et le métabolisme des vitamines. Il est responsable des odeurs et saveurs de certaines plantes comme l'ail, l'oignon, le chou et le haricot. (Ait Ouazzou, 2011)

La déficience en soufre se traduit par une chlorose. Du fait de la faible mobilité de cet élément, le symptôme s'observe en priorité chez les feuilles jeunes. (Urban, 2010)

La carence en soufre induit une réduction de croissance, les jeunes feuilles deviennent vert pâle à jaunes, les tiges deviennent rigides et cassantes. Alors qu'un excès se traduit par une couleur verte brunâtre, les tiges sont dures, les feuilles se courbent vers l'intérieur et les bords brunissent. (Ait Ouazzou, 2011)

#### **2.3.1.7 Carence en fer.**

Le fer est un oligoélément qui intervient dans la synthèse de la chlorophylle et entre dans la composition de plusieurs enzymes, notamment celle qui intervient dans l'assimilation de l'azote et dans la respiration. En cas d'une carence conditionnée, les organes verts prennent alors une teinte jaunâtre; c'est la chlorose ferrique. (Mazoyer, 2002)

La carence en fer, qui se manifeste par une chlorose, affecte d'abord les feuilles jeunes. En cas de carence prolongée, les feuilles peuvent blanchir complètement. (Urban, 2010)

#### **2.3.1.8 Carence en manganèse**

Le manganèse est un oligoélément qui participe à l'activité de diverses enzymes et qui, en liaison avec le fer, intervient dans les processus de synthèse de la chlorophylle.

Plusieurs exemples de carence en manganèse ont été signalés au cours des dernières décennies, en particulier dans les sols bretons riches en matière organique et soumis à des chaulages massifs. (Mazoyer, 2002)

La chlorose est le symptôme qui signe la carence en cet élément et qui affecte d'abord les feuilles âgées et se produit dans les espaces situés entre les nervures des feuilles. Elle est également associée au développement de petites tâches nécrotiques. (Urban, 2010)

#### **2.3.1.9 Carence en zinc**

Le zinc a un rôle dans la biosynthèse des glucides et des protéines et plus particulièrement de l'auxine et dans le métabolisme du soufre. Il intervient dans la formation des sucres et dans certains mécanismes de la croissance. (Brajeul et Letard, 1997)

Chez les plantes carencées en Zinc, on observe une réduction de la longueur des entre-nœuds et la formation d'une rosette due au fait que les points d'apparitions des feuilles sont très proches les uns des autres. Les feuilles sont petites et contournées avec des bords foncés. Une chlorose peut également apparaître chez les jeunes feuilles, entre les nervures. (Urban, 2010)

#### **2.3.1.10 Carence en cuivre**

Le cuivre intervient dans de nombreuses réactions biologiques. Il agit comme cofacteur d'enzymes, notamment celles qui interviennent dans la synthèse des lignines (les polyphénols oxydases), et celle qui protège les

tissus végétaux contre les effets destructeurs des radicaux libres de l'oxygène (le superoxyde dismutase), c'est un catalyseur de la formation des hormones de croissance et présente un rôle essentiel dans la nitrification. (Ait Ouazzou, 2011 et Mazoyer, 2002)

Les carences en cuivre se manifestent par des chloroses avec, éventuellement, des taches nécrotiques. Ces dernières apparaissent d'abord à la pointe des feuilles jeunes, celle-ci peuvent aussi tordus où déformées. (Urban, 2010)

L'excès en cuivre provoque les mêmes symptômes que la chlorose ferrique, la croissance est réduite plus particulièrement celle des racines. (Ait Ouazzou, 2011)

#### **2.3.1.11 Carence en bore**

Le Bore est indispensable à la physiologie des plantes. Il intervient dans la synthèse des membranes cellulaires et participe aux phénomènes respiratoires. La carence en Bore est l'une des plus fréquentes que l'on rencontre en agriculture. (Mazoyer, 2002)

Les symptômes les plus caractéristiques de la carence en bore consistent en une nécrose des jeunes feuilles et des bourgeons terminaux. Les tiges peuvent apparaître anormalement raides et cassantes. L'inhibition des divisions cellulaires dans les apex terminaux se traduisent rapidement par des nécroses. Celles-ci apparaissent aussi sur les fruits. (Urban, 2010)

#### **2.3.1.12 Carence en molybdène**

Les besoins des cultures sont très modestes (10g/ha/an). Mais ces faibles quantités sont indispensables à la réduction des nitrates et au métabolisme de l'azote. (Mazoyer, 2002)

La carence en molybdène est caractérisée par une chlorose qui apparaît chez les feuilles les plus âgées. Le molybdène étant impliqué dans l'assimilation et la fixation de l'azote. Une carence en cet élément peut induire une carence en azote. (Urban, 2010)

Le molybdène est le seul oligoélément dont la carence est favorisée par l'acidité du sol; un chaulage fait donc disparaître cette carence. (*Mazoyer, 2002*)

### **2.3.2 Toxicité**

Pour éviter les déficiences en éléments minéraux, on pratique en général des apports en excès. Cette pratique favorise ce qu'on a appelé une «consommation de luxe». Mais les apports en excès ne conduisent pas seulement à un gaspillage d'éléments minéraux. Ils favorisent également le risque de chocs salins, les carences induites par effet d'antagonismes et l'apparition de phénomène de toxicité. (*Urban, 2010*)

## Chapitre 03

### **Confection de la solution nutritive**

#### **3.1. Définition**

La solution nutritive est un milieu nutritif artificiel obtenu par mise en solution dans l'eau d'engrais ou de sels très solubles, permettant la totalité des prélèvements d'une culture en éléments fertilisants. (*Mazoyer, 2002*)

Dans un système de culture hors sol idéal, il n'y a pas d'apports d'éléments minéraux par le substrat. Ces dernières doivent donc être fournies par la solution nutritive, en mêmes temps que l'eau. (*Urban, 2010*)

#### **3.2. Confection de la solution nutritive**

L'objectif c'est d'expliquer concrètement comment confectionner et apporter les solutions nutritives. Les différentes étapes de la préparation d'une solution nutritive sont les suivantes:

##### **a) Analyse chimique de l'eau utilisable**

La première étape de la préparation d'une solution nutritive consiste à analyser l'eau disponible. Cette analyse doit permettre de déterminer si l'eau effectivement utilisable pour l'irrigation et de connaître les quantités d'éléments déjà apportées. Ces dernières sont à déduire dans le calcul des quantités d'engrais à apporter. (*Urban, 2010*)

Aussi, d'après **SNOUCI** (2001), il est à noter que si la concentration en sels totaux dépasse 0,2 g/l, une analyse complète des différents éléments qui constituent cette eau est indispensable afin d'en tenir compte lors de la préparation de la solution nutritive (**Penamjferd et Kinzman, 1969**). Selon le dernier auteur, si la concentration ne dépasse pas 0,2 g/l, l'analyse complète n'est pas nécessaire

Le tableau 03 ci-dessous contient la solution nutritive préconisée pour le concombre (d'après **Lefebvre, 1987**), les chiffres présentés correspondent

à une EC de 1,8 mS.cm<sup>-1</sup>. L'EC doit être modulée en fonction du stade de développement.

**Tableau 03: Solution nutritive préconisé pour le Concombre**  
(d'après Lefebvre, 1987).

Ion	Concentration ionique en meq. <sup>-1</sup>		
	Jusqu'à 75 cm de hauteur	De 75 cm au Premier fruit	Du premier fruit A la fin
K <sup>+</sup>	3,3	3,85	5,65
Ca <sup>++</sup>	6	6	6
Mg <sup>++</sup>	3,35	3,35	3,8
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1,8	2,15	1,8
NO <sub>3</sub>	10,7	14,3	11,4
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1,6	1,45	1,3

#### **b) Choix d'une formulation adaptée à la culture envisagée**

Il existe de nombreuses formules de solutions nutritives, parmi lesquelles on peut choisir celle qui parait la mieux adaptée à la culture envisagée. Il faut garder à l'esprit qu'une formule ne constitue habituellement que le point de départ du programme de fertilisation. Elle est souvent destinée à être modifiée en cours de culture en fonction des analyses effectuées dans les eaux de drainage, à proximité des racines ou sur les plantes. (Urban, 2010)

#### **c) Calcul des quantités d'engrais à apporter dans les bacs de solution-mère.**

Le calcul des quantités d'engrais à apporter dans les bacs de solution-mère doit tenir compte de la disponibilité et du coût des engrais utilisables, des résultats de l'analyse de l'eau de départ, et de la concentration recherchée dans les bacs de solution-mère. Celle-ci est habituellement 200 à 500 fois plus forte que celle de la solution fille. (Urban, 2010)

### 3.3 Préparation des bacs de solution-mère

Selon **Urban** (2010), la solution-mère est une solution nutritive concentrée destinée à être diluée pour constituer la "**solution fille**" apportée directement aux plantes.

On distingue quatre cas de figure:

- **1 bac** contenant une solution commerciale concentrée prête à l'emploi, plus, éventuellement, un bac d'acide.
- **2 bacs** d'engrais appelés traditionnellement bacs **A** et **B**, dont l'un contient toute la quantité d'acide destinée à corriger le pH de la solution-fille
- **3 bacs**, dont 2 bacs d'engrais appelés traditionnellement **A** et **B**, et un bac contenant uniquement l'acide.
- **Plusieurs bacs** contenant des solutions simples ultra-pures et concentrées, destinées à réaliser des cocktails contrôlés par ordinateur.

Dans les cas des solutions nutritives préparées à partir de 2 ou 3 bacs, il faut tenir compte de la compatibilité des engrais.

#### Notion d'engrais complets

Beaucoup de formulation d'engrais complets existant dans le commerce, ont une concentration en azote suboptimale. Le complément d'azote est fourni par l'acide nitrique nécessaire à la correction du pH et éventuellement par l'adjonction de nitrate de calcium, dont la plupart de ces engrais complets prêts à l'emploi contiennent du magnésium. (*Urban .2010*)

Les engrais solubles ou liquides complets ont généralement une grande pureté, réduisant les risques de bouchage du système d'arrosage par goutte à goutte. (*Urban.2010*)

En fin, les engrais complets prêts à l'emploi sont à recommander aux producteurs qui disposent d'une eau stable en composition, d'un système hors sol peu performant, et à ceux n'ayant la capacité de calculer eux-mêmes les quantités d'engrais nécessaires à la préparation de leurs solutions

nutritives où ne bénéficiant pas d'un appui technique de proximité. (Urban, 2010)

### **3.3.1 Solution préparées à partir de deux bacs d'engrais**

Le bac **A** contient tout l'acide nitrique nécessaire à la correction du pH de l'eau d'irrigation les phosphates et les sulfates ainsi que les oligoéléments à exception du fer (généralement). Le bac **A** peut recevoir du nitrate de potasse et du nitrate ou du sulfate de magnésie. Il ne faut jamais apporter de sel de calcium dans le bac **A** pour éviter les précipités.

Le bac **B** peut recevoir de l'acide nitrique pour corriger le pH de la solution- mère il reçoit obligatoirement le nitrate de chaux et tout ou partie du nitrate de potasse. Le bac **B** ne doit jamais recevoir de sulfate et de phosphate. Les chélates de fer sont classiquement apportés dans le bac **B**. (Urban, 2010)

Le bac d'acide reçoit habituellement de l'acide nitrique, mais il est possible aussi d'utiliser de l'acide sulfurique ou de l'acide phosphorique

L'inconvénient du bac d'acide est qu'il apporte de quantité incontrôlable d'azote, de phosphore ou de soufre, selon le cas, lorsqu'il est sollicité pour corriger le pH d'une solution. C'est la raison pour laquelle nous recommandons:

- De diversifier les formes d'apport d'acide.
- De faire analyser fréquemment la composition de la solution-Fille pour pouvoir recalculer les apports de nitrates, de phosphate ou de sulfate à effectuer. (Urban, 2010)

**N.B:** Le système à trois bacs est certainement celui qui est le plus répandu chez les producteurs hors sol. (Urban, 2010)

**Tableau N°04 : Répartition des engrais dans deux bacs de solution-mère et un bac d'acide.**

Bac A	Bac B	Bac d'acide
Eau	Eau	Eau
Acide	Acide	Acide
Nitrate de potassium	Nitrate de calcium	
Phosphate mono potassique	Nitrate de potassium	
Sulfate de magnésium	Nitrate de magnésium	
Oligoéléments	Chélates de fer	
<u>Jamais de calcium</u>	<u>Jamais de sulfates</u>	
	<u>nide phosphates</u>	

(Source : Urban, 2010)

### 3.3.2. Solution préparées à partir de bac d'engrais simples

Les engrais liquides simples concentrés peuvent être mélangés pour confectionner des solutions nutritives à la carte. Leur grande pureté permet de supprimer les apports d'éléments indésirables, à l'instar des engrais liquides ou solubles complets. Ils sont recommandés pour les systèmes en circuit fermé <sup>(1)</sup>.

En effet, l'utilisation conjointe d'engrais très purs et d'eau pure, obtenue par récupération des eaux de pluie ou par déminéralisation, permet d'éliminer totalement le risque de bouchage des goutteurs, en admettant que la solution nutritive soit bien préparée. (Urban, 2010)

### 3.4. Contrôle de la composition de la solution-fille

La moindre erreur dans la confection des bacs de solutions-mères, le moindre dysfonctionnement des pompes d'injection ou des systèmes de contrôle du pH ou de l'électroconductivité <sup>(2)</sup> (EC) peuvent mettre en danger la culture, c'est pour cela que la dernière étape consiste à vérifier par analyse la composition de la solution-fille.

1- Dans lesquels il faut éviter d'apporter des éléments indésirables, car ces derniers tendent à s'accumuler au cours des recyclages successifs.

2 - EC: c'est la conductivité électrique.

Selon **Urban** (2010), il est recommandé de suivre l'EC, pH et la composition des solutions apportées, drainées et baignant les racines, non seulement afin de pouvoir détecter les dysfonctionnements éventuels, mais également afin de pouvoir procéder à des corrections au niveau des apports.

## Chapitre 04

### Matériel et méthodes

#### 4.1 Objectif d'expérimentation.

Le but de notre étude consiste à étudier l'impact des alternances de deux fréquences d'irrigation (3 jours et 6 jours) d'une solution nutritive de base dans le cycle de l'irrigation du concombre sur la croissance et la production du concombre.

#### 4.2 Matériel végétal utilisé.

Le matériel végétal utilisé dans notre expérimentation est le concombre : *Cucumis sativis L.*, variété **Supermarketer** (NOA), dont les semences proviennent de l'institut technique de cultures maraichères et industrielles (**ITCMI**) de Staouali. Les semences sont récoltées en 2010 avec une pureté spécifique de 99%.

#### 4.3 Conditions expérimentales

##### 4.3.1 Lieu de l'expérience

Notre expérimentation s'est déroulée au niveau de la station expérimentale du département d'agronomie de Blida située dans la plaine de Mitidja, dans une serre en polycarbonate à une superficie de 382.5 m<sup>2</sup> et dont l'orientation est nord-sud. L'aération est assurée par des fenêtres placées latéralement de part et d'autres de la serre. Le chauffage de la serre en période froide est assuré à l'aide d'un radiateur à eau chaude, néanmoins ce dernier était en panne lors de notre expérimentation. (Figure 02)



**Figure 02:** Vue du site expérimental (Anonyme, 2012).

La température à l'intérieur de la serre a été contrôlée par un thermomètre positionné au centre de la serre. Des relevés de températures à trois moments de la journée (09h, 12h et 16h) ont été réalisés afin d'indiquer les températures moyennes hebdomadaires présentées dans le tableau N°05 ci-dessous:

**Tableau N°05: Moyennes des températures par semaine enregistrées sous Serre en C°.**

Périodes	Températures C°			
	09 <sup>h</sup> :00	12 <sup>h</sup> :00	16 <sup>h</sup> :00	Moy./jrs
02 Jan. au 09 Jan. 2013	13,85	24,45	22,05	<b>20,12</b>
10 Jan. au 17 Jan. 2013	16,10	26,60	25,60	<b>22,77</b>
18 Jan. au 25 Jan. 2013	15,50	23,15	21,10	<b>22,77</b>
26 Jan. au 03 Fev. 2013	14,86	23,3 0	22.00	<b>20,05</b>
04 Fev. au 11 Fev. 2013	14.50	25,60	24,70	<b>21,60</b>
12 Fev. au 19 Fev. 2013	13,96	26,30	25.00	<b>21,75</b>
20 Fev. au 27 Fev. 2013	12,50	20,40	17,40	<b>16,77</b>
28 Fev. au 07 Mars 2013	10.66	17.00	16,40	<b>14,69</b>
08 Mars au 15 Mars 2013	10,50	23,60	22,20	<b>18,77</b>
16 Mars au 23 Mars 2013	11,33	27,67	24,89	<b>21,30</b>
24 Mars au 01 Avr. 2013	11.42	26.32	24.52	<b>20,75</b>
02 Avr. au 09 Avr. 2013	16.50	30.00	29.50	<b>25,33</b>
<b>10 Avr. au 17 Avr. 2013</b>	17.50	32.00	30.00	<b>26,50</b>

Durant toute notre expérimentation, les températures enregistrées pendant le cycle végétatif répondaient, d'une manière générale, aux besoins climatiques des plantes, à l'exception des périodes froides (Moyenne de 14,69 °C entre fin Février et début Mars) où on a eu des chutes de température mais sans aucuns dégâts physiologiques remarquables sur les plantes.

#### 4.3.2 Sol et conteneurs

##### a. sol :

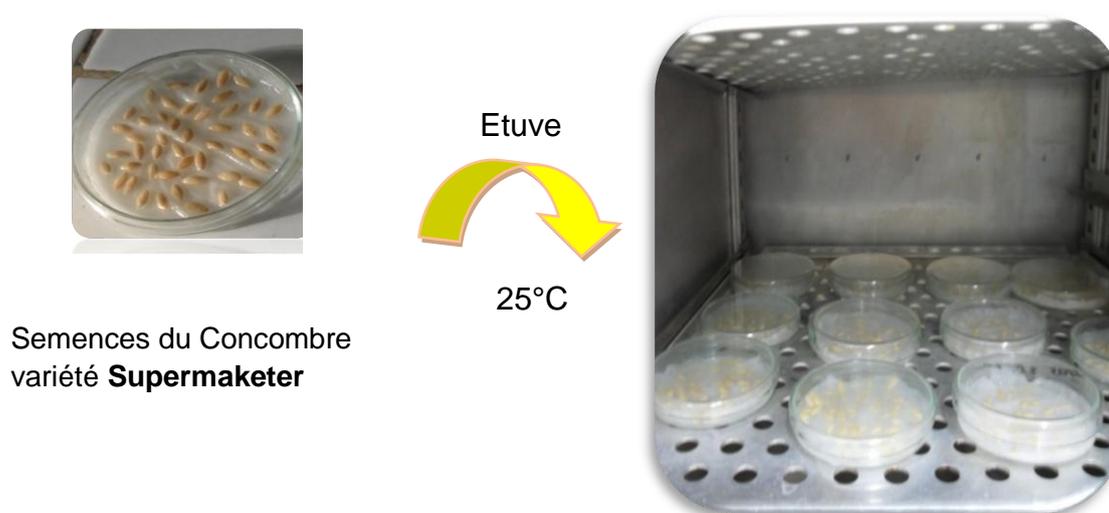
Le sol utilisé dans notre expérimentation est celui de la station expérimentale du département d'Agronomie de Blida. Les résultats des analyses obtenus, et selon le triangle de texture, notre sol est caractérisé par une texture limono-argilo-sableuse, ce qui correspond aux exigences édaphiques du concombre.

**b. conteneurs :**

Les conteneurs utilisés sont des pots en plastique de couleur marron, ayant une capacité de 1L et présentant des orifices de drainage à leur base permettant l'évacuation des eaux de drainage.

**4.3.3 Essai de germination**

Les semences utilisées proviennent de l'institut technique des cultures maraichères et industrielles (ITCMI) de Staouali. Il s'agit des semences de concombre, variété Supermarketer. La germination des graines a été effectuée dans des boîtes de pétri contenant du papier filtre imbibé d'eau et qui sont déposées dans une étuve réglée à 25°C pendant 4 jours jusqu'à la germination complète. L'eau distillée est ajoutée en cas de dessèchement du papier filtre. La faculté germinative était 95%.



**Figure 03 :** Essai de germination des graines du concombre variété SuperMarketer dans l'étuve à 25°C en date de 30 Décembre 2012

#### 4.3.4 Repiquage des germes

Après la germination des graines, un repiquage des jeunes germes en place définitive a été réalisé le 02/01/2013, soit 4 jours après le semis.



**Figure 04:** Aspect général des jeunes plantules du concombre Var. Supermarketer après repiquage.



**Figure 05 :** Aspect général des plantules au début des traitements (10 jours après repiquage).

Les jeunes plantules sont irriguées jusqu'à l'apparition des deux feuilles cotylédonaires avec l'eau courant tiède pour favoriser la reprise des jeunes plantules jusqu'à la date de **12.01.2013**, où on a procédé à l'application des différents traitements, soit **10** jours après le repiquage où les plantes semblaient être homogènes (*Figure 05*).

#### 4.4 Dispositif expérimental.

L'affectation des traitements s'est faite d'une manière aléatoire selon la table des permutations des nombres aléatoires de (01) à (10), selon un plan sans contrôle d'hétérogénéité (randomisation totale) comportant 3 traitements (T1, T2 et T3). Pour chaque traitement, on avait 10 observations soit 30 observations en total.

T1	T2	T3
P1	P1	P1
P2	P2	P2
P3	P3	P3
P4	P4	P4
P5	P5	P5
P6	P6	P6
P7	P7	P7
P8	P8	P8
P9	P9	P9
P10	P10	P10



**Figure 06 :** Schéma du dispositif expérimental en randomisation totale

**T1:** Plantules irriguées avec de l'eau de robinet.

**T2:** Plantules irriguées tous les 3 jours par une solution nutritive.

**T3:** Plantules irriguées tous les 6 jours par une solution nutritive.

#### 4.5 Les traitements utilisés.

La solution nutritive utilisés pour réaliser les traitements (T2 et T3) est constituée à base de l'eau de Blida ayant une concentration globale en sels environ 0.49g/l (norme indiquée par **Penneingsfeld** et **Kurzman**(1969) in Mallen (**1997**), où l'analyse complète de l'eau de Blida est jugée nécessaire avant la préparation de la solution nutritive afin d'en tenir compte lors de sa préparation (Tableau N°06 ci-dessous).

**Tableau N°06: Teneurs des différents éléments minéraux contenus dans l'eau de robinet de Blida.(pH =7,8)**

Element	Teneur en mg/L	Teneur en meq/L
K <sup>+</sup>	00,00	00,00
Ca <sup>++</sup>	56,00	2,80
Na <sup>+</sup>	29,90	1,30
Mg <sup>++</sup>	21,60	1,80
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	21,70	0,35
SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	38,40	0,80
CL <sup>-</sup>	21,30	0,60
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	24,,00	4,08
Total	43,,90	11,73

*Source: Snoussi, 2001*

Il est rappelé que les traitements pratiqués sont les suivants:

- **T1** : plantules irriguées avec de l'eau de Blida durant tout le cycle de développement
- **T2** : plantules irriguées tous les 3 jours (N/3) par une solution nutritive intercalée entre les irrigations durant tout le cycle de développement.
- **T3** : plantules irriguées tous les 6 jours (N/6) par une solution nutritive intercalée entre les irrigations durant tout le cycle de développement.

L'analyse de l'eau de Blida présentée dans le tableau ci-dessus révèle une quantité assez élevée en ions bicarbonates (4.08 méq/l), ce qui rend le milieu plus basique (pH = 7,8), nécessitant une correction de pH du milieu nutritif favorable pour le développement de l'espèce étudiée.

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

Deux types d'acides ont été utilisés à savoir, l'acide nitrique ( $\text{HNO}_3$ ) et l'acide phosphorique ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ). Ces deux acides permettent d'une part l'abaissement du pH et, d'autre part, l'apport des éléments utiles tels que les nitrates et les phosphates.

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

$$Q \text{ (meq/l)} = (\text{quantité d'HCO}_3 \text{ dans l'eau en méq/l}) \times 0,833$$

$$Q = 4,08 \times 0,833 = 3,39 \text{ méq /l d'eau}$$

Cette quantité d'acide sera partagée entre:

- $\text{H}_3\text{PO}_4 = 1,1 \text{ méq/l}$  (correspondant aux besoins des végétaux qui sont de 3.3 méq/l de phosphore) compte tenu que  $\text{H}_3\text{PO}_4$  est trivalent.
- $\text{HNO}_3 = 3.3 - 1,1 = 2,2 \text{ méq/l}$  (besoins partiels en nitrates).

#### 4.6 Elaboration de la solution nutritive pour une eau naturelle peu chargée en ions.

(cas de l'eau de Blida transformée en solution nutritive).

Pour ce type de solution nutritive, l'eau renferme des teneurs insuffisantes en certains éléments utiles tels que les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) et le potassium ( $\text{K}^+$ ). Parfois des éléments tels que le sodium, le calcium et les sulfates peuvent se trouver à des concentrations supérieures aux besoins des plantes.

Généralement, pour corriger les déficits et équilibrer la balance ionique d'une eau peu chargée en sels, on peut rajouter certains éléments selon la formule correspond à la solution nutritive de base synthétisée avec l'eau de Blida selon les normes définies par **Coic** et **Lesaint** (Warrence et Auder; 2002).

Les différentes étapes adoptées pour l'élaboration de cette solution nutritive sont les suivantes:

- 1) Sur les tableaux 07 et 08 suivants, on rapporte chaque anion et cation selon les quantités contenues dans l'eau exprimées en méq/l.
- 2) L'apport d'azote est fixé à 12 méq/l, soit:

$$\left\{ \begin{array}{l} 10,2 \text{ méq/l NO}_3^-, \text{ représentant } 85\% \\ 1,8 \text{ méq/l NH}_4^+, \text{ représentant } 15\% \end{array} \right.$$

- 3) L'apport de chlorure et de sodium étant au-delà des besoins normaux des plantes (0,2 meq/l) aucun apport complémentaire n'est pas nécessaire.
- 4) L'apport du phosphore est fixé à 3.3 méq/l de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. En comptant de façon théorique, le phosphore (P) présent sous la forme trivalent PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>, 1,1 méq/l de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> satisfait les besoins en phosphore. La quantité d'acide nécessaire pour ajuster le pH de l'eau à 5,8 est de 3,3 méq/l, ceci permet de satisfaire la totalité des besoins en phosphore en apportant 1,1 méq/l de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, et un apport partiel de 2.2 méq/l de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.
- 5) A ce niveau, on fait le bilan des anions restant à introduire dans la solution nutritive:

• **Nitrates:**

- Besoins: **10,2 méq/l.**
- Quantités disponibles: **0,35 méq/l.(eau)+2,2 méq/l**  
(correction pH est de **2,55 méq/l**)
- Quantité à apporter: **10,2 méq/l - 2,55 méq/l = 7,65 méq/l.**

• **Sulfate :**

- Besoins : **1,5 meq/l**
- Quantités disponibles: **0,8 méq/l.**
- Quantités à apporter: **1,5 méq/l – 0,8 méq/l = 0,7 méq/l.**

- 6) L'apport d'ammonium (**1,8 méq/l de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>**) est assuré par la quantité de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> et de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> qui assurera en même temps l'apport de 1,8 méq/L de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Les anions disponibles pour apporter un complément de K, Ca et Mg sont désormais les suivants:

- **Nitrates = (7,65 – 1,8) NO<sub>3</sub>NH<sub>4</sub> = 5,85 méq/l**
  - **Sulfates = 0,7 méq/l**
- } **Total = 6,55 méq/l**

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

$$\text{Total} = (0 + 2,8 + 1,8) + 6,55 = \mathbf{11,15 \text{ méq/l.}}$$

Selon les normes définies par **COIC** et **LESAIN**, les proportions relatives de ces 3 éléments doivent apporter selon les proportions suivantes:

$$\mathbf{K = 39,6\% \quad Ca = 47,6\%; \quad Mg = 12,8\%}$$

$$K = \frac{11,15 \times 39,6}{100} = \mathbf{4,41 \text{ meq/l}} \quad Ca = \frac{11,15 \times 47,6}{100} = \mathbf{5,31 \text{ meq/l}} \quad Mg = \frac{11,15 \times 12,8}{100} = \mathbf{1,43 \text{ meq/l}}$$

Dans ce cas là; les besoins apportés sont:

$$\mathbf{4,41 \text{ méq/l}(k) + 5,31 \text{ méq/l} (Ca) + 1,43 \text{ méq/l} (Mg) = 11,15 \text{ méq/l.}}$$

Il est important de noter que les besoins en Mg sont inférieurs à ce qu'est existe déjà dans l'eau.

Le tableau **N°07** suivant exprime l'apport quand devront le réaliser, sous déduction de ce qui est déjà présent dans l'eau :

**Tableau N°07: Les besoins et l'apport réalisé des cations essentiels (K, Ca et Mg)**

Cations essentiels	Quantité existante dans l'eau	Besoins exigés	Apport à réalisé
K	0.00	4.41	<b>4.41</b>
Ca	2.80	5.31	<b>2.51</b>
Mg	1.80	1.43	<b>Excédent</b>

On aura donc un total des cations de:  $\mathbf{11,15 \text{ méq/l} - 1,8 \text{ méq/l.}(Mg) = 9,35 \text{ méq/l}}$  d'anions qui seront partager entre **K** et **Ca** uniquement et en respectant les proportions  $K + Ca = \mathbf{87,2 \%}$ , soit:

$$k = 9,35 \times \frac{39,6}{39,6 + 47,6} = \mathbf{4,25 \text{ méq/l}}$$

$$Ca = 9,35 \times \frac{47,6}{39,6 + 47,6} = \mathbf{5,10 \text{ méq/l}}$$

La solution nutritive utilisée pour l'irrigation des différentes plantes testés, à été élaborée à la base d'une solution mère constitué essentiellement des macroéléments et microéléments, puis diluée au moment de la préparation de la solution-fille (prête à l'utilisation). Un certain ordre de dissolution est respecté afin d'éviter toute précipitation et ceci en commençant par les produits à fonction acide et les plus solubles, ensuite on rajoute au fur et à mesure les autres produits.

En dernier lieu, nous avons rajouté une solution d'oligoéléments composée des deux solutions complémentaires d'oligoéléments préconisées par **COIC** et **LESANT** (AUDER et WARRENCE, 2002), à savoir une solution **A** et une solution **B**.

Les deux tableaux N°08 et N°09 ci-dessous représentent, respectivement, la composition de l'eau de Blida et la solution nutritive élaborée à base de cet eau.

**Tableau N°08 : Composition chimique de l'eau de Blida en méq/l, Ph =7,3**

Eau de Blida	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> / 0.35	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> / 00	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> / 0.80	Cl <sup>-</sup> / 0.60	<b>Total</b>
K <sup>+</sup> / 00					<b>0</b>
Na <sup>+</sup> / 1.30					<b>1.30</b>
Ca <sup>++</sup> / 2.80					<b>2.80</b>
Mg <sup>++</sup> / 1.80					<b>1.80</b>
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> / 00					<b>00</b>
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> / 4.08					<b>4.08</b>
<b>Total</b>	<b>0.35</b>	<b>00</b>	<b>0.80</b>	<b>0.60</b>	

**Tableau09: Eau de Blida transformée en solution nutritive de base à pH = 5,8**

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	<b>Total</b>
K <sup>+</sup> / 00	3,55		0,70		<b>4,25</b>
Na <sup>+</sup> / 1.30					<b>1,30</b>
Ca <sup>++</sup> / 2.80	2,30				<b>5,10</b>
Mg <sup>2++</sup> / 1.8					<b>1.80</b>
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> / 00	1,80				<b>1,80</b>
H <sup>+</sup> /	2,20	1,10			<b>3,30</b>
<b>Total</b>	<b>10,20</b>	<b>3,30</b>	<b>1,50</b>	<b>0.60</b>	

La solution nutritive de base renferme aussi des oligoéléments. Le fer est apporté à raison de 5 ml/l d'une solution concentré à 2 g/l de séquestrée de Fer. Les autres oligoéléments contenant le Molybdate d'ammonium (0,5 g/l), l'acide borique (15 g/l), le sulfate de manganèse (20 g/l) et le sulfate de cuivre (2,5 g/l) en plus le sulfate de zinc (10 g/l) sont apportés à raison de 0,1 ml/l.

Le contrôle de pH et de la conductivité électrique est obligatoire avant chaque utilisation afin de déceler les éventuelles erreurs de manipulation.

## 4.7 Entretien de la culture

### 4.7.1 Traitements phytosanitaires

Au cours de l'expérimentation, nous avons effectué des traitements préventifs pour écarter toute attaque cryptogamique ou d'insectes nuisibles contre les plantes selon le programme suivant (Tableau N°10 ci-dessous) :

**Tableau N°10:** Programme de traitement phytosanitaire réalisé en alternance.

Dates	Produit	Matière active	Désignation	Dose	Fréquence
06.02.2013	<b>Duresban</b>	Chorpyriphos-éthyle (50g/kg)	Traitement préventif contre les insectes	3 g/l	1 fois par semaine
09.02.2013	<b>Medomyl</b>	Mancozeb 64% Metaloxyl 8%	Traitement préventif contre les maladies cryptogamiques	3 g/l	1 fois par semaine

### 4.7.2 Irrigation

Le système d'irrigation adopté est celui de la percolation à circuit ouvert permettant l'évacuation de l'éventuel excès d'eau.

Il est important de noter qu'il est recommandé de connaître les besoins journaliers en eau de la culture, afin de pouvoir rationaliser les apports d'eau et de solution nutritive selon les stades de développement du végétal et ce pour éviter les déficits et les éventuels excès de solution nutritive.

Le tableau **N°11** ci-dessous montre les doses et les fréquences apportées pendant tout le cycle de l'expérimentation.

**Tableau N°11: Doses et fréquences apportées pour la culture du Concombre**  
**durant tout le cycle de l'expérimentation.**

Intervalle/Temps	Stade végétatif	Dose d'irrigation par pot	Fréquence
12.01.2013 au 17.03.2013	Germination au début floraison	20ml	1fois / jour
17.03.2013 jusqu'à La coupe	Début floraison au plein floraison	70 ml	2 fois / jour
	Plein floraison à la nouaison	120 ml	
	Nouaison à la récolte	160 ml	

### 4.7.3 Tuteurage

Nous avons remarqué au moment de l'expérimentation que les plantes avaient tendance à se courber. La mise en place des tuteurs était nécessaire pour maintenir les plants dressés.



**Figure 07 : Maintien des plantes par les tuteurs**

### 4.7.4 Ebourgeonnage

En culture légumière, on pratique l'ébourgeonnage pour éliminer les jeunes pousses qui prennent naissance à l'aisselle des feuilles afin de ne conserver qu'un seul axe de pousse. Donc cette opération consiste à supprimer les bourgeons axillaires.

L'ébourgeonnage a été, régulièrement, effectué au cours de la croissance et du développement végétatif des plantes, enfin de préconiser une conduite à un seul bras.

## **4.8 Paramètres biométriques étudiés**

Pour avoir des résultats fiables et pour mieux déterminer l'impact réel de l'alternance des différentes irrigations apportés et leurs effets sur la croissance et le développement des plantes de Concombre; des mesures et des prélèvements biométriques ont été réalisées au moment de la coupe finale. L'étude de ces paramètres et, également, d'autres paramètres, est effectué le 21 Avril 2013 au cours de la culture, soit 110 jours après le repiquage.

### **4.8.1 Vitesse de croissance**

L'étude de la vitesse de croissance de plantes testées nous a permis de savoir, d'une manière plus précise, qu'elle sera la meilleure fréquence de traitement par la solution nutritive de base pour un bon comportement physiologique de la plante. Le principe consiste à diviser la hauteur des plants de chaque traitement par le nombre de jours correspondant à chaque mesure. Elle est exprimée en cm/jour.

### **4.8.2 Hauteur finale des plantes**

Les hauteurs des plantes sont mesurées périodiquement une fois par semaine. Elles sont exprimées en centimètre du collet jusqu'à l'apex. Les valeurs des hauteurs finales sont mesurées au moment de la coupe à l'aide d'une règle graduée.

### **4.8.3 Diamètre des tiges**

Exprimé en centimètre, la mesure du diamètre des tiges est considérée comme un indice sur le bon développement dû à la bonne alimentation équilibré en eau et en éléments minéraux des plantes étudiées. À l'aide d'un pied à coulisse, les mesures des diamètres des tiges se font au niveau de tous les plants à deux centimètres du collet.

#### 4.8.4 Biomasse fraîche produite

Le paramètre consiste à peser les différents organes de la plante en gramme, à l'aide d'une balance de précision et ce au niveau de tous les plants. Les pesées ont porté sur:

- Poids frais des feuilles en g.
- Poids frais des tiges en g.
- Poids frais total : (tiges + feuilles) en g.

#### 4.8.5 Biomasse sèche produite

La biomasse sèche a été mesurée après le dessèchement des poids frais des tiges, des feuilles, des racines et des fruits, de chaque traitement et pour chacun des plants et ce dans une étuve à 75°C jusqu'à la stabilité du poids sec. Les pesées ont porté sur:

- Poids sec des feuilles en g.
- Poids sec des tiges en g.
- Poids sec total (tiges + feuilles) en g.

#### 4.8.6 Taux de matière sèche des feuilles et des tiges.

Le taux de matière sèche est exprimé en pourcentage (%) selon la formule suivante:

$$MS \% = (\text{poids sec} / \text{poids frais}) \times 100 =$$

- Taux de matière sèche des feuilles.
- Taux de matière sèche des tiges.
- Taux de matière sèche total  
(feuilles+tiges).

#### 4.8.7 Nombre des fleurs

Ce comptage est réalisé au niveau de chaque plant au moment du prélèvement et ce par traitement, afin de déterminer le taux de floraison.

#### 4.8.8 Nombre de fleurs nouées

Ce comptage est réalisé au niveau de chaque plant à chaque traitement au moment du prélèvement et ce par traitement afin de déterminer le taux de nouaison.

#### 4.8.9 Estimation de la production

Le rendement est la somme cumulée de la production de Concombre pesée au cours de la saison, pour chaque traitement. La mesure du rendement permet de vérifier s'il existe une certaine relation entre le rendement et le stade végétatif des plantes. Cette mesure sert aussi à comparer le rendement des différents traitements. La récolte a été faite au moment de la coupe par traitement et par plant.

#### 4.9 Dosage de la chlorophylle

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

$$\text{➤ Chl.A } (\mu\text{g/g MF}) = 12,7 \times \text{DO}_{(663)} - 2,59 \times \text{DO}_{(645)} \times V / (1000 \times W).$$

$$\text{➤ Chl.B } (\mu\text{g/g MF}) = 22,9 \times \text{DO}_{(645)} - 4,68 \times \text{DO}_{(663)} \times V / (1000 \times W).$$

$$\text{➤ Chl.C } (\mu\text{g/g MF}) = [1000 \times \text{DO}_{(470)} - 1,7 \times \text{Chl.A} - 63,14 \times \text{Chl.B}] / 214$$

**V** : volume solution extraite

**W**: le poids de matière fraîche de l'échantillon

#### 4.10 Détermination de l'extrait sec

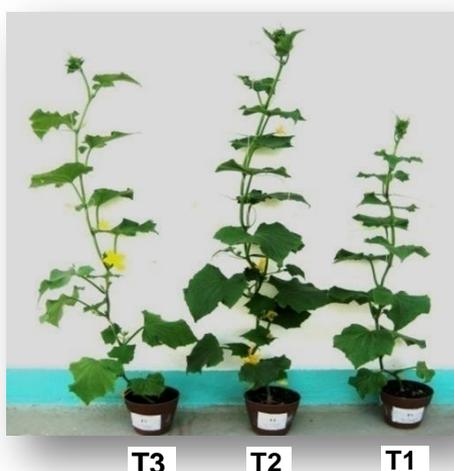
On opérant cette dessiccation à 70°C jusqu'à la stabilité du poids sec. On obtient des produits en apparence secs, ramener la valeur obtenue à celle du produit totalement desséché, ce qui revient à la réduire de 1/10<sup>ème</sup> de la valeur.

## Chapitre 05 : Résultats et discussions

### 5.1 Paramètres de croissance

#### 5.1.1 Aspect général

L'impact des traitements est très remarquable sur l'aspect général des plantes de Concombre variété «Supermarketer » irriguées par l'eau de robinet de Blida comme témoin(T1), une solution nutritive apporté tous les trois jours(T2) et la même solution nutritive apporté tous les six jours(T3), et qui est représenté dans la figure 08 ci-dessous:



**Figure N°08 :** Aspect général des plantes du Concombre variété «Supermarketer» irriguées en différents traitements : **T1** ; eau de robinet, **T2** : alternance d'une solution nutritive tous les trois jours, **T3** : alternance d'une solution nutritive tous les six jours.

L'application des traitements est bien apparue durant les différents stades du cycle de vie des plantes. Les plantes irriguées par l'eau de robinet du Blida (T1) se manifestent par une couleur jaunâtre, une taille chétive et avec un nombre réduit de feuilles et de fleurs en fin de cycle de développement. Par contre les plantes irriguées par la solution nutritive quel que soit la période d'apport, manifestent par une croissance et un développement convenable.



T1 : eau courante de Blida



T2: Solution nutritive N/3



T2: Solution nutritive N/3

**Figure N°09: Effet des différents traitements sur la croissance et le développement des plantes de Concombre variété SuperMarketer.**

### 5.1.2 Vitesse de croissance des plantes

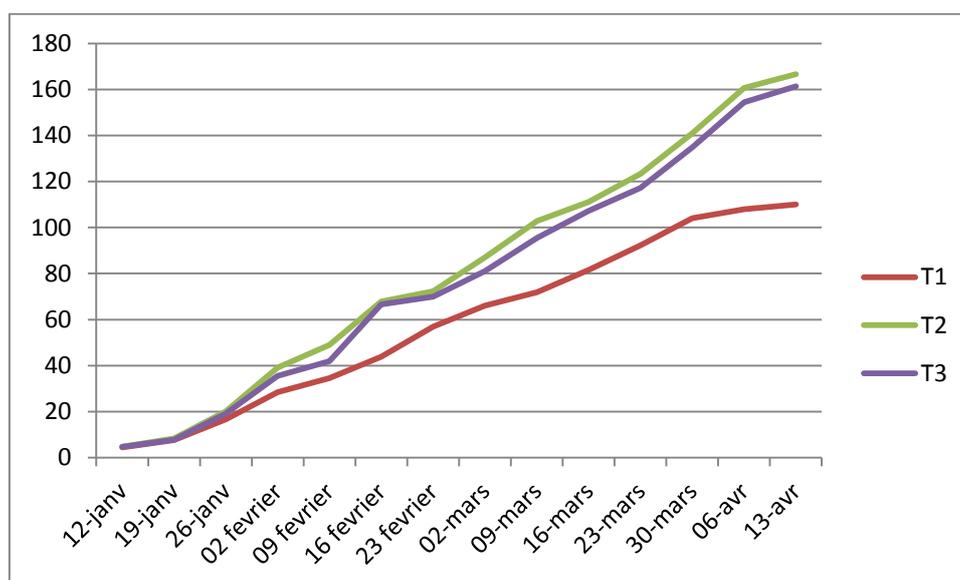
Les résultats de l'analyse de variance du facteur traitements sur le paramètre mesuré sont présentés dans le tableau N°12 ci-dessous:

**Tableau N°12: Hauteur des plantes en cours de culture (cm)**

Moyennes Trait/jours	Traitements			Proba. (F.obs.)	CV (%) F.t (α =5%)
	T1	T2	T3		
12 Janvier	4,50	4,70	4,70	<b>0,0000</b> (T.H.S)	<b>1,3 %</b>
19 Janvier	7,70	8,30	7,80		
26 Janvier	16,60	20,20	19,10		
02 Février	28,50	39,20	35,60		
09 Février	34,60	49,00	41,90		
16 Février	43,90	67,80	66,60		
23 Février	56,90	72,30	70,00		
02 Mars	66,10	87,00	81,00		
09 Mars	71,90	102,80	95,50		
16 Mars	81,60	111,10	107,30		
23 Mars	92,30	123,40	117,30		
30 Mars	104,00	141,00	134,90		
06 Avril	108,00	160,60	154,40		
13 Avril	110,00	<b>166,60</b>	161,30		

Ces résultats sont représentés sous forme de courbe (figure 10) afin de mieux observer l'effet très hautement significative entre les différents traitements apportés durant le cycle de développement du Concombre variété Supermarketer.

Les courbes de l'évolution de la croissance des plantes irriguées par l'eau courante (T1) et la solution nutritive apportée tous les trois jours (T2) où tous les six jours (T3) exposent bien l'évolution de la croissance des plantes après l'application des différents traitements. Les mesures ont été prélevées chaque semaine.



**Figure N10:** Vitesse de croissance des plantes de Concombre irrigués  
Par les différents traitements T1, T2 et T3

La figure N°10 montre que la vitesse de croissance des plantes irriguées par les différents traitements passe par trois phases. La première phase débute du 12/01/2013 jusqu'au 20/01/2013 pour l'ensemble des traitements. Cette phase se traduit par un ralentissement de la croissance qui peut être expliquée par la période d'adaptation des jeunes plantules dans les différents milieux nutritifs. La deuxième phase se situe du 20/01/2013 au 30/03/2013 pour les plantules irriguées par l'eau de robinet (T1) et au 13/04/2013 pour les plantes irriguées par les deux autres traitements à savoir le T2 et le T3 où on constate des vitesses de croissance très importantes. Ceci en raison de l'alimentation hydrominérale apportant des éléments nutritifs essentiels à la croissance des plantes. À l'inverse, les plantes irriguées par l'eau de

robinet (T1) manifestent une vitesse de croissance relativement faible, car le milieu s'appauvrit au fur et à mesure de l'augmentation des besoins en éléments nutritifs essentiels en fonction des différentes phases de développement des plantes et ce jusqu'à la fin du mois de Mars (30/03/2013). Une troisième phase apparaît à la senescence des plantes avec une vitesse de croissance ralentie car les besoins en éléments nutritifs ne sont pas satisfaisants. Par ailleurs, les courbes relatives aux traitements T2 et T3 présentent le début de la troisième phase qui coïncide avec la fin du cycle végétatif, et cela à partir du 13/04/2013 se traduit par une baisse remarquable de la vitesse de croissance des plantes de Concombre.

### 5.1.3 Hauteur finale des plantes (cm)

Les hauteurs finales des plantes ont été prélevées au moment de la coupe finale. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau 13:** Hauteur finale des plantes en (cm)

TRAITEMENT			Probabilité (F.obs.)	CV % F.t( $\alpha = 5\%$ )
T1	T2	T3		
110,00	<b>166,60</b>	161,30	<b>0,0000</b> <b>(T.H.S)</b>	1,7 %
±	±	±		
1,41	3,57	2,16		
<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>		

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative du facteur traitement sur la hauteur des plantes (**P<0,001**).

Les résultats obtenus montrent qu'il y a une augmentation de la hauteur des plantes irriguées par les traitements T2 et T3 et ce par rapport aux plantes irriguées par l'eau courante à savoir le traitement T1.

La hauteur finale la plus élevée est enregistrée au niveau du traitement T2, suivi par le T3. Ceci peut s'expliquer par la richesse des milieux T2 et T3 en éléments fertilisants apportés par la solution nutritive au moment des irrigations tels que l'azote, le phosphore, le potassium et les oligo-éléments sous forme soluble ainsi que par leur équilibre ionique parfait.

Le test de Newman et Keuls au seuil  $\alpha = 5\%$  fait ressortir trois groupes homogènes (**tableau 13**).

Au contraire des plantes irrigués par la solution nutritive (T2 et T3), les plantes irriguées par l'eau de robinet donnent les hauteurs les plus faibles, et ce en raison du déficit en éléments majeurs utiles et en oligo-éléments, qui provoquent l'arrêt de la croissance des tissus jeunes en premier lieu, puis les différents organes, ce qui entraîne des troubles physiologiques et métaboliques synchronisent essentiellement par un ralentissement de croissance avec des symptômes de nanisme et de rabougrissement des plantes.

Des résultats similaires ont été confirmés par **Lajili** (2009) où il a montré que les éléments minéraux doivent être fournis à la plante à des doses bien déterminées pour assurer une croissance optimale et éviter les maladies par carence ou par excès.

#### 5.1.4 Diamètre des tiges (cm).

Les diamètres des tiges ont été prélevés au moment de la coupe finale. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau N°14:** Moyen des diamètres finals des tiges (mm)

TRAITEMENT			Probabilité (F.obs.)	CV % F.t( $\alpha = 5\%$ )
T1	T2	T3		
5,70	<b>7,30</b>	6,40	<b>0,0001</b> (H.S)	10,6 %
±	±	±		
0,67	0,67	0,70		
C	<b>A</b>	B		

L'analyse de la variance a révélé une différence hautement significative avec (**P<0,001**) au niveau du facteur doses d'irrigation. Les résultats obtenus durant la coupe finale révèlent qu'il y a une augmentation du diamètre des tiges pour les deux traitements T2 et T3 et ce par rapport au traitement T1.

La meilleure performance a été enregistrée au niveau du traitement T2 avec une valeur de **7,30 mm** suivi par le traitement T3 (**6,40 mm**). Ceci peut s'expliquer

par l'équilibre ionique parfait dans la solution nutritive apportée. Par contre, le diamètre le plus faible est celui du traitement T1, avec une valeur de **5,70 mm**.

Le test de Newman et Keuls au seuil  $\alpha = 5\%$  fait ressortir trois groupes homogènes (**tableau 14**).

L'accroissement des tiges est sous l'influence de l'azote et du potassium, qui agissent sur les cellules méristématiques notamment sur les méristèmes secondaires. Les carences en éléments essentiels entraînent inévitablement un ralentissement et un retard de croissance avec apparition de phénomène de plasmolyse aboutissant ainsi à la formation des tiges moins rigides et donc peu développées.

### 5.1.5 Nombre final des feuilles.

Durant l'expérimentation, les feuilles sont dénombrées pour chaque traitement afin de calculer la moyenne. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous:

**Tableau N°15: Moyennes du nombre final des feuilles.**

TRAITEMENT			Proba. (F.obs.)	CV % F.t.( $\alpha=5\%$ )
T1	T2	T3		
22,30	<b>31,70</b>	26,70	<b>0,0000</b> (T.H.S)	4,8 %
±	±	±		
1,49	0,95	1,34		
<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>		

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative ( $P < 0,001$ ) du facteur traitement sur le paramètre étudié. Les résultats obtenus durant la coupe finale révèlent qu'il y a une augmentation du nombre final des feuilles pour les deux traitements **T2** et **T3** et ce par rapport au traitement **T1**.

La meilleure performance a été enregistrée au niveau du traitement **T2** avec une moyenne de **31,70** suivis par le traitement **T3** d'une moyenne de **26,70**. Ceci peut s'expliquer par l'équilibre ionique parfait dans la solution nutritive apportée. Par contre, le nombre des feuilles le plus faible est enregistré au niveau du traitement **T1** avec une moyenne de **22,30** et ce car le milieu s'appauvrit au fur et à mesure de l'augmentation des besoins en éléments nutritifs essentiels en fonction des différentes phases de développement des plantes.

Le test de Newman et Keuls au seuil  $\alpha = 5\%$  fait ressortir trois groupes homogènes (**tableau 15**).

Des résultats similaires ont été confirmés par **Lajili** (2009) où il a montré que l'azote, le phosphore, le soufre et le potassium sont nécessaires à la plante à des doses variant. Ce sont des macroéléments qui entrent dans la composition des organes de la plante et dans le fonctionnement des cellules.

### 5.1.6 Poids frais total (feuille + tige) en (g)

Les pesées des organes végétaux sont effectuées au même temps que la coupe finale. Elles ont été pratiquées par plante et par traitement.

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau ci-dessous:

**Tableau N°16:** Poids frais total des feuilles et des tiges (g).

	Traitements			Prob. F.obs.	CV % F.t(5%)
	T1	T2	T3		
Poids frais des feuilles	32,65 ± 2,15 C	<b>78,10</b> ± 2,65 <b>A</b>	66,09 ± 1,45 B	<b>0,0000</b> (T.H.S)	3,6 %
Poids frais des tiges	44,77 ± 2,87 C	<b>60,21</b> ± 1,58 <b>A</b>	53,86 ±1,71 B	<b>0,0000</b> (T.H.S)	4,0 %
Poids frais total	77,41 ± 4,17 C	<b>138,31</b> ± 3,60 <b>A</b>	119,90 ± 2,55 B	<b>0,0000</b> (T.H.S)	3,1 %

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative du facteur traitement sur le paramètre étudié (**P<0,001**). Les résultats obtenus durant la coupe finale révèlent qu'il y a une augmentation du poids frais total pour les deux traitements **T2** et **T3** et ce par rapport au traitement **T1**.

Le test de Newman et keuls au seuil  $\alpha = 5\%$  fait ressortir trois groupes homogènes (**tableau 16**); le groupe **A** dominant est représenté par T2. Le groupe **B** présenté par le traitement T3 qui manifeste de la même manière que T2, mais on peut dire que l'irrigation des plantes par la solution nutritive tous les trois jours est

plus bénéfique que celles irrigués par la même solution nutritive tous les six jours. Ceci peut s'expliquer par l'équilibre ionique parfait dans la solution nutritive et sa richesse en éléments fertilisants notamment la présence d'azote, du phosphore, du potassium et la présence des oligoéléments. A l'inverse, le groupe **C** qui est représenté par une régression du paramètre mesuré.

### 5.1.7 Poids sec total en(g)

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

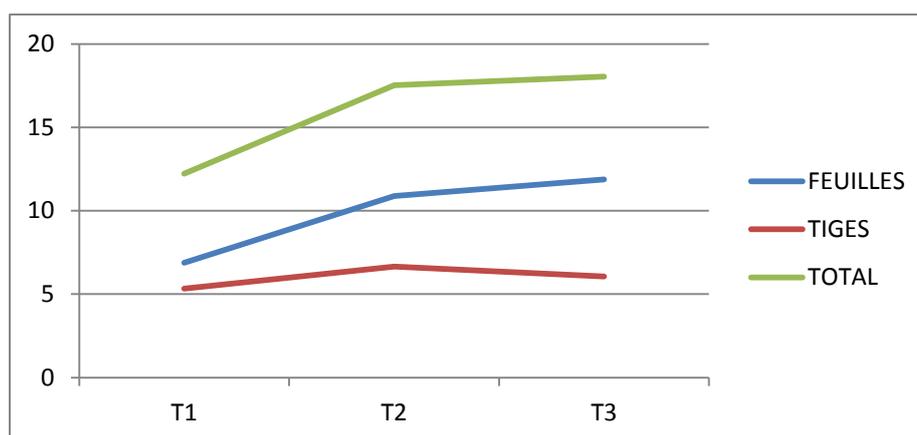
Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau ci-dessous:

**Tableau N°17: Poids sec total (feuilles et tiges) en (g)**

	Traitements			Proba.	CV %
	T1	T2	T3		
<b>Poids sec des feuilles</b>	6,88 ± 0,45 C	10,88 ± 0,35 B	<b>11,88</b> ± 0,21 <b>A</b>	<b>0,0000</b> (T.H.S)	3,6 %
<b>Poids sec des tiges</b>	5,34 ± 0,34 C	<b>6,65</b> ± 0,17 <b>A</b>	6,06 ± 0,19 B	<b>0,0000</b> (T.H.S)	4,1 %
<b>Poids sec total</b>	12,22 ± 0,66 C	17,53 ± 0,47 B	<b>18,04</b> ± 0,37 <b>A</b>	<b>0,0000</b> (T.H.S)	3,2 %

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative du facteur traitement sur le paramètre étudié ( $P < 0,001$ ). Les résultats obtenus montrent qu'il y a une augmentation du poids sec total pour les plantes irriguées par le traitement T3 suivi par T2 et ce par rapport au traitement T1.

La figure **10** (ci-dessous) montre que les plantes irriguées par les traitements T3 et T2 enregistrent une croissance très importantes qui se manifestent par des poids secs totaux élevés et ceci en raison de l'alimentation hydrominérale apportant en éléments nutritifs essentiels à la croissance des plantes. A l'inverse, les plantes irriguées par l'eau courante (T1) manifestent une croissance relativement faible, car le milieu s'appauvrit au fur et à mesure de l'augmentation des besoins en éléments nutritifs essentiels en fonction des différentes phases de développement des plantes.



**Figure 11 :** Effet de l'alimentation hydrominérale sur le poids sec des feuilles, des tiges et le poids sec total des plantes.

Le test de Newman et keuls au seuil  $\alpha = 5\%$  fait ressortir trois groupes homogènes (**tableau 17**). Le groupe (**A**) représenté par le traitement T3 à savoir le poids sec total, qui est influencé par le poids sec important des feuilles (**11,88g**) par apport a ce des tiges (**6,06g**). Cela peut être expliqué par le phénomène de stress dû au déficit en élément nutritifs au niveau du T3 (solution nutritive apportée tous les six jours) par apport au T2 (solution nutritive apportée tous les six jours ) consistant à stoker les éléments minéraux au niveau des feuilles comme un moyen de réponse physiologique vis-à-vis le stress.

### 5.1.8 Taux de matière sèche totale, feuille et tige en %

Le taux de la matière sèche totale est calculé selon la méthode suivante:

$$MSt \text{ (matière sèche totale)} = \frac{PSt(\text{poids sec total})}{PFt(\text{poids frais totale})} \times 100$$

Les résultats de ce paramètre sont présentés dans le tableau18 ci-dessous.

L'analyse de variance a révélé une différence très hautement significative avec **P<0,001** du facteur traitement sur le paramètre étudié.

**Tableau N°18:** Taux de matière sèche (feuilles et tiges).

	Traitements			Proba. Fobs.	CV % Ft (5%)
	T1	T2	T3		
Taux de matière sèche des feuilles	21,07 ± 0,47 <b>A</b>	13,93 ± 0,00 C	18,12 ± 0,00 B	<b>0,0000</b> (T.H.S)	1,5 %
Taux de matière sèche des tiges	11,93 ± 0,47 <b>A</b>	11,04 ± 0,00 B	11,25 ± 0,00 B	<b>0,0000</b> (T.H.S)	2,4 %
Taux de matière sèche total	15,79 ± 0,16 <b>A</b>	12,68 ± 0,02 C	15,04 ± 0,05 B	<b>0,0000</b> (T.H.S)	0,7 %

Les résultats obtenus montre qu'il y a une augmentation du taux de matière sèche au niveau du traitement T1 et ce par apport aux deux autres traitements en solution nutritive (T2 et T3). Ceci peut s'expliquer par la sécheresse précoce et la dessiccation prématurée des feuilles à cause du déficit en éléments nutritifs au niveau de T1. A l'inverse, les plantes irriguées par la solution nutritive apportée tous les trois jours et tous les six jours manifestent un taux de matière sèche totale moins car ces milieux sont plus riche en eau ce qui donne une rigidité importante aux tissus aériennes.

En effet, le test de Newman et keuls au seuil  $\alpha = 5\%$  fait ressortir trois groupes homogènes (**tableau18**). Le groupe **A** représenté les moyennes mesurées chez les plantes irrigués par l'eau courante de Blida (T1) suivit par les plantes irriguées par la solution nutritive apportée tous les six jours (T3), et enfin le traitement (T2) est classé dans le groupe (C).

Il est également important à noter que la présence des ions sodique ( $\text{Na}^+$ ) liés aux chlorures ( $\text{Cl}^-$ ) et aux sulfates ( $\text{SO}_4^{-2}$ ) dans la solution diminue le taux de la matière sèche des feuilles.

## 5.2 Paramètres de production

### 5.2.1 Quantité de la chlorophylle ( $\mu\text{g/g MF}$ )

Les résultats du dosage de la chlorophylle des feuilles sont présentés dans les tableaux 19, 20 et 21 suivants :

**Tableau 19** : Quantité de la chlorophylle «A » en  $\mu\text{g/g MF}$

TRAITEMENT			PROBA.	CV %
T1	T2	T3		
0,93	1,16	0,99	0,0510	3,8 %
±	±	±	N.S	
0,01	0,04	0,03		

**Tableau 20** : Quantité de la chlorophylle «B » en  $\mu\text{g/g MF}$

TRAITEMENT			PROBA.	CV %
T1	T2	T3		
0,32	0,50	0,37	0,2227	18,0 %
±	±	±	N.S	
0,08	0,01	0,06		

**Tableau 21** : Quantité de la chlorophylle «C » en  $\mu\text{g/g MF}$

TRAITEMENT			PROBA.	CV %
T1	T2	T3		
3,52	4,52	3,85	0,0325	3,4 %
±	±	±	S	
0,02	0,14	0,12		
B	A	B		

L'analyse de la variance a révélé une différence non significative pour  $P > 0,05$  du facteur solution sur le paramètre mesuré (quantité de chlorophylle « A » et « B ») [voir tableaux 19 et 20 ci-dessus], et une différence significative pour  $P < 0,05$  du facteur solution sur le paramètre mesuré (quantité de chlorophylle « C ») [voir le tableau 21], et ce par rapport aux coupes réalisés dans les deux stades; début floraison et plein floraison.

Les résultats obtenus révèlent qu'il n'y a pas une diminution significative des teneurs en chlorophylle « A » et « B » au cours de la culture pour les trois

traitements. Au contraire, il y a une diminution significative des teneurs en chlorophylle « C », à cet effet, le test de Newman et Keuls au seuil  $\alpha = 5\%$  fait ressortir deux groupes homogènes (**tableau 21**).

La meilleure performance a été enregistrée au niveau de l'interaction du traitement T2 et la coupe «C» avec **4,52  $\mu\text{g/gMF}$**  de chlorophylle, suivi par le traitement T3 et T1. Ceci peut s'expliquer par la richesse des milieux en éléments fertilisants et à leur équilibre ionique parfait.

Ainsi que la baisse remarquable de la quantité de la chlorophylle au cours de la culture peut être expliquée par l'augmentation des besoins en éléments nutritifs essentiels en fonction des différentes phases de développement des plantes

Les travaux de **PARIDA** et **DAS** ont montré que la diminution de la vitesse photosynthétique des plantes est due aux plusieurs facteurs :

- La déshydratation des membranes cellulaires réduisant la perméabilité au  $\text{CO}_2$ ,
- La réduction de l'approvisionnement en  $\text{CO}_2$  à cause de la fermeture hydro-active des stomates,
- Le changement dans l'activité enzymatique dû au changement dans la structure cytoplasmique des cellules.

### 5.2.2 Nombres de fleurs et de fruits

Le tableau N°22 ci-dessous représente le nombre des fleurs mâles et femelles compté durant tout le stade de floraison (22 Mars au 21 Avril 2013). Et pour mieux comprendre l'effet des traitements sur la floraison, la production et le rendement du concombre sous l'influence de la carence ou d'excès d'éléments nutritifs on a calculé le nombre des fleurs nouées et donc le taux d'avortement ainsi que l'estimation du rendement. Les résultats sont présentés dans le tableau N°23 ci-dessous.

La floraison des plantes a débuté le 23/03/2013 soit 78 jours après le semis et la pleine floraison après une semaine.

L'analyse de la variance a révélé une différence hautement significative du facteur solution sur le paramètre étudié pour  **$P < 0,001$** . À cet effet, le test de Newman et Keuls au seuil  $\alpha = 5\%$  fait ressortir trois groupes homogènes ; le groupe **A** représenté par le traitement T2 où on a enregistré les valeurs les plus performantes dans l'ensemble des paramètres testés, suivi par le groupe **B** représenté par le

traitement T3 où on a enregistré aussi des valeurs approximatives à celles du T2, par contre le traitement T1 présente des valeurs faibles dans l'ensemble des paramètres testés.

Les résultats présentés dans le tableau N°22 nous ont permis de savoir que le nombre de fleurs le plus élevé est enregistré au niveau du traitement T2 et que les premières fleurs qui sont apparues étaient observées au niveau des traitements T2 et T3. Ceci peut être expliqué par la présence de l'élément phosphore à une teneur maximale, sachant que le phosphore, d'après **VILAIN** (1987), régularise la mise à fleurs ainsi que la mise à fruits étant un facteur de précocité et de qualité.

**Tableau N° 22 : Moyennes des fleurs mâles et femelles durant le stade de Floraison**

Date de comptage	T1		T2		T3	
	F.F <sup>lle</sup>	F.M <sup>le</sup>	F.F <sup>lle</sup>	F.M <sup>le</sup>	F.F <sup>lle</sup>	F.M <sup>le</sup>
22 Mars	0	0,2	0,4	0,4	0,1	0,3
25 Mars	0,1	0,2	0,6	0,5	0,2	0,5
27 Mars	0,1	0,4	0,7	0,7	0,4	0,6
29 Mars	0,4	0,6	0,8	1,5	0,6	0,9
01 Avril	0,7	1	1,7	2,6	1,3	1,3
03 Avril	0,9	1,1	3,3	4	1,1	1,6
05 Avril	1,3	1,5	5,1	5,6	4,2	2,8
07 Avril	2,3	2,7	3,2	5,9	2,3	4
09 Avril	3,1	3,5	4,9	7,3	3,3	4,9
11 Avril	4,4	4,1	5,4	8,5	4,6	7
13 Avril	5,6	5,3	6,9	9,7	6	8,5
15 Avril	6,5	6,8	9,7	11,4	8	10
17 Avril	7,8	7,9	11,5	12,5	10,5	11,5
21 Avril	8	9,4	12,4	13,6	11,6	12,5

La production est influencée par l'alternance des traitements, les rendements les plus performants sont enregistrés au niveau du traitement T2. A l'inverse, la chute de production est remarquable au niveau du traitement T1 (environ 66%).

Le taux d'avortement - qui est élaboré sur la base du comptage du nombre des fleurs totales et du nombre de fruits par plante et par traitement- est très important chez les plantes irriguées par l'eau du robinet (T1) qui est dépourvu d'éléments nutritifs essentiels à la croissance et au développement des plantes surtout le Calcium.

**Tableau N°23 : Effet des traitements sur la production du concombre**

Paramètres de production		T1	T2	T3
Floraison	Nombre de fleurs males	<b>9.40</b> ±0.70 C	<b>13.600</b> ±1.07 A	<b>12.5</b> ±0.94 B
	Nombre de fleurs femelles	<b>8.00</b> ±0.82 C	<b>12.40</b> ±1.77 A	<b>11.60</b> ±1.81 B
Nombre de fruits/plante		<b>2.70</b> ±0.82 C	<b>10.20</b> ±0.63 A	<b>9.10</b> ±0.47 A
Taux d'avortement en %		<b>75.00</b> ±10.29 A	<b>17.70</b> ±5.10 B	<b>21.60</b> ±6.35 B
Estimation du rendement g/plante		<b>169.90</b> ±8.08 C	<b>2385.20</b> ±11.07 A	<b>1965.00</b> ±0.94 B

Les résultats de l'estimation du rendement montrent que l'effet des traitements manifeste une action très remarquable sur le paramètre mesuré. L'estimation du rendement est plus importante au niveau de plantes irriguées par le T2 riche en éléments nutritives, et au contraire, elle est assez faible pour les plantes irriguées par l'eau du robinet dépourvu de toute alimentation minérales suffisante et équilibrée.

### 5.2.3 Qualité des fruits.

Les calibres et les longueurs des fruits de concombre mesurés au sein de la coupe finale sont représentés dans les deux tableaux suivants :

**Tableau N°24 : Les moyennes des longueurs des fruits de concombre**

traitement			Proba.	CV %
T1	T2	T3		
10,92	20,70	18,15	0,0000 (T.H.S)	10,3 %
± 1,31	± 0,67	± 2,57		
<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>		

**Tableau N°25 : Les moyennes des diamètres finaux des fruits de concombre**

traitement			Proba.	CV %
T1	T2	T3		
22,30	31,70	26,70	<b>0,0000</b> (T.H.S)	4,8 %
± 1,49	± 6,95	± 1,34		
<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>		

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative au niveau du facteur solution sur le paramètre étudié ( $P < 0,001$ ). Les résultats obtenus révèlent qu'il y a une augmentation de la longueur et du calibre des fruits récoltés. Ceci nous a permis de déduire que l'alimentation hydrominérale équilibrée apportée aux plantes de concombre tous les trois jours à des doses convenables peut donner des résultats importants en quantité et en qualité, à savoir que les gammes produites au niveau de T2 ont les longueurs et les calibres les plus performantes par rapport aux autres traitements surtout pour T1 qui a enregistré des résultats assez faibles, et cela peut être expliqué par le manque d'éléments nutritifs nécessaires, spécialement le potassium. À cet effet, le test de Newman-Keuls au seuil  $\alpha = 5\%$  fait ressortir trois groupes homogènes (tableaux 24 et 25).

Des observations similaires ont été notées par Yelle (2006) où il rapporte que l'apport de potassium en fertilisation a un impact positif sur la qualité et la quantité des productions des cucurbitacées.

#### 5.2.4 Extrait sec des fruits en %

Les résultats de l'extrait sec des fruits sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau N°26 : Extrait sec des fruits de concombre**

traitement			Proba.	CV %
T1	T2	T3		
5,66	<b>8,51</b>	6,87	<b>0,0000</b> (T.H.S)	2,10 %
±	±	±		
0,03	0,26	0,03		
<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>		

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative entre le facteur solution et le paramètre étudiés ( $P < 0,001$ ). Les résultats obtenus montrent qu'il y a une augmentation de la quantité d'extrait sec des fruits récoltés au niveau du traitement T2. Ceci met en évidence l'influence des éléments nutritifs apportés au sein de la solution nutritive sur la qualité des fruits produits.

Le test de Newman-Keuls au seuil  $\alpha = 5\%$  fait ressortir trois groupes homogènes (tableau 26).

## Conclusion

Notre travail à portée, d'une part, sur l'évaluation des effets de l'alternance d'une solution nutritive de base apportée tous les trois jours (T2) et tous six jours (T3) dans le cycle des irrigations par l'eau courante, et d'autre part étudier leur impacts sur la croissance, le développement et la production du Concombre variété Super-Marketer, cultivé en pots sous serre.

Le but du travail est donc l'étude de comparaison des réponses physiologiques vis-à-vis les différents traitements testés.

L'étude des différents paramètres de croissance et de développement mesurés en cours de culture (cycle de 104 jours) à partir du 02 Janvier jusqu'au 17 Avril 2013, nous a permis de constater que l'apport des solutions nutritives équilibrés selon les fréquences apportées aux plants de concombre donnent les meilleurs résultats en quantité et en qualité. A l'inverse, l'irrigation avec l'eau de robinet de Blida limite considérablement la croissance et le développement des plants de Concombre, ceci est dû essentiellement à l'absence des éléments nutritifs utiles à la croissance notamment l'Azote, le Phosphore, le Potassium et les oligoéléments, ces carences conduisent à des taux d'avortement considérable allant jusqu'à 66,25%. Par contre au niveau des traitements T2 et T3 le taux d'avortement est peut important 17,17% et 21,54%.

Aussi, les résultats obtenus au cours de ce travail montrent que l'incorporation d'une solution nutritive dans le cycle des irrigations par l'eau s'exprime par une amélioration des paramètres de croissance et de production étudiés au cours de tout le cycle végétatif des plants de concombre. A l'inverse, les taux de la matière sèche (feuilles, tiges) présentent des proportions les plus faible par rapport à celles enregistrées chez les plantes irriguées par l'eau de robinet de Blida (T1), où la proportion de la biomasse fraîche était proche de la matière sèche en raison du dessèchement précoce des plantes au niveau du traitement T1.

Les teneurs en chlorophylles « **A** », « **B** » et « **C** » sont des paramètres physiologiques, qui peuvent nous renseigner sur le comportement des plantes du Concombre vis-à-vis les traitements testés. Les plantes irriguées par l'eau de Blida ont montré un taux de réduction de la chlorophylle « **C** » variant de **3,37** µg/g.MF

pour T1 et de 4,52 µg/g.MF pour T2. Aussi, il a été montré que les plantes irriguées par la solution nutritive apportée tous les trois jours (T2) et tous les six jours (T3) présentaient des réductions très faibles en fin du cycle végétatif. En effet, nous avons obtenu des plantes vigoureuses avec une biomasse massive, une bonne précocité et une production en fruits échelonnée et ce au niveau des traitements T2 et T3.

Il est aussi à noter que l'irrigation par la solution nutritive apportée tous les six jours (T3) présenté des résultats proches à ceux apportée tous les trois jours (T2).

Enfin, ces résultats seront d'un apport important pour participer à une meilleure conduite du concombre sous serre et en plein champ. Pour cela, il est souhaitable d'approfondir les recherches dans le domaine de la fertilisation des cultures afin d'améliorer la productivité quantitativement et qualitativement et appliquer ces résultats à grand échelle.

**Rréférences bibliographiques**

1. **Lesaint C. et Coïc Y.**, "cultures hydroponiques", maison Rustique Paris 1983, France, 119p.
2. **Magda H.**, "Cultures associées", Ed. ULMER, 1991, France, 123p.
3. **Brajeul E.** (Ctifl), **Javoy M.** (LCL/CVETMO), **Pelletier B.** (ARELPAL/CDDM), **Letard M.** (Ctifl) : « Le concombre », Ed.Ctifl, Septembre 2001, France. 349p.
4. **Brajeul E., Letard M., 1997.** Maitrise minéral et sanitaire en culture sous serre. Les matériels. Ed. Ctifl. France.
5. **Laumonnier R.**, Cultures légumières et maraichères, Tome III, Ed. J.B. Baillièrre, 1979, Paris, France.
6. **Urban L. et Urban I.**, La production sous serre, Tome 2: L'irrigation fertilisante en culture hors sol, Ed. Lavoisier, 2010, Paris, France.
7. **Letard M.** (Ctifl), **Erard P.** (Ctifl) , **Jeannequin B.** (INRA), « maîtrise de l'irrigation fertilisante », Ctifl, Juin 1995, France, 220p.
8. **Thompson H. et Kelli W.** « Vegetable Crops » الدار العربية للنشر والتوزيع, Egypte, 1985, 830p.
9. **Mazoyer M., Aubineau M., Benmond A., Bougler J. Ney B. et Roger-Estrade J.** « Larousse Agricole »; édition: Mathild Majorel assistée de Nora Scholt, Septembre 2002, France.
10. **Snoussi S.A** ; "Valorisation des eaux salines pour la nutrition des plantes cultivées" , Thèse Doctorat, INA El-Harrach, 2001, 152p.
11. **BABA AISSA K.** " Influence d'une contrainte hydrique sur la croissance et le développement du Haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) survie d'une rehydratation", thèse d'ingénieur d'état, INES Agronomie de Blida, 1991/1992, 80p.
12. **MOUHOUCHE B.** " Essai de rationnement de l'eau sur tomate: recherche de la production optimale et valorisation de l'eau", thèse de magister, INA, El-Harrach, 1983, 154p.

13. **Ait Ouazzou F.** " Effet de l'utilisation d'anti-stress de synthèse et biologique sur la production de plants de concombre (*Cucumis sativus* L.) en hors sol et dans des conditions salines ", thèse de magister, département d'Agronomie, Blida, 2011, 115p.
14. **Benzekkour A.**, "Etude de quelques facteurs nutritifs et agronomiques influençant la croissance et l'alimentation des plantes de tomates", mémoire de magister, Département d'Agronomie, Blida, Novembre 2004, 82p.
15. **Ouazzoug F.** "Interaction génotype-milieu de deux variétés de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) cultivées en hydroponie sous l'effet d'un anti-stress", mémoire de magister, Département d'Agronomie, Blida, 2006,
16. **Felidj M.** "Effet du stress hydrique sur la production des alcaloïdes tropaniques chez *Datura stramonium* cultivée en plein champ" , mémoire de magister, département d'Agronomie, Blida, Juin 2005.
17. **Marok M.A** " Effet du stress hydrique sur le comportement de quelques lignées d'Orge: etude des caractéristiques physiologiques biophysiques et biochimiques chez quelques variétés d'Orge (*hordeum vulgaris*) vis-à-vis du stress hydrique ", mémoire de magister, département d'Agronomie, Blida, Décembre 2005.
18. **Snoussi S.A.** et **Chikhi H.**, « Effet de la salinité sur l'absorption hydrominérale des plantules de tomate dans un environnement salin » *Agrobiologia*, revue scientifique, éd. laboratoire de recherche en Biotechnologie végétale, Département d'Agronomie, Blida, N°02, Janvier 2012. p83-87.
19. **Skiredj A., Elattir H., Elfadl A.** : « Transfer de technologie en agriculture » *MADER/DERD*, bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA, N°99, Décembre 2002, Maroc.
20. **Sonnefeld C.** et **Van Mook**, 1983, Lettuce tipburn as related to the cation content of different plant parts. *Plant and soil*, 75, 29-40.
21. **Letard M.** et **Patricia E.**, 1995 (in *Agrobiologia*, 2012) ; « Maitrise de l'irrigation fertilisante de la tomate », Ctf. , Paris, 220p.
22. **Vilain M.**, 1993 (in *Agrobiologia*, 2012) ; « Production végétale. 2<sup>e</sup> ed., vol.1 : « les composantes de la production « éd. Jb. Ballière. Paris. 428p.

- 23. Mazliak D.**, 1974 (in *Agrobiologia* N°2/2012) ; « Physiologie végétale, nutrition et métabolisme. Ed.Herman, 349p.
- 24. Chaux C., Foury C.**, 1994 : « Production légumière. Tome 3. Légumineuse potagères. Légumes fruits. Agriculture d'aujourd'hui. Sciences techniques applications. 363p.
- 25. Soltner D.** ; « Les bases de la production végétale », Tome II, le sol, coll. Sci.Agro. (1988), 453p.

## Résultats de l'analyse de variance

### Analyse de variance 1: Hauteur finale des plantes

	SCE	DDL	Carres moy	Test .f	Proba	E.t	CV%
Var. totale	15642.92	29	539.41	1196.70	0.0000	2.54	1,7%
Var. Facteur 1	15468.47	2	7734.23				
Var. résiduelle1	174.50	27	5.46				

### Analyse de variance 2: Diamètre final des tiges

	SCE	DDL	Carres moy	Test .f	Proba	E.t	CV %
Var. totale	25.47	29	0.88	13.79	0.0001	0.68	10,6%
Var. Facteur 1	12.87	2	6.43				
Var. résiduelle 1	12.60	27	0.47				

### Analyse de variance 3 : Nombre final des feuilles

	SCE	DDL	Carres moy	Test .f	Proba	E.t	CV%
Var. totale	486.70	29	16.78	134.82	0.0000	1.28	4.8%
Var. Facteur 1	442.40	2	221.20				
Var. résiduelle 1	44.30	27	1.64				

### Analyse de variance 4 : Nombre des fleurs nouées

	SCE	DDL	Carres moy	Test .f	Proba	E.t	CV%
Var. totale	342.67	29	11.82	303.35	0.0000	0.74	10 %
Var. Facteur 1	328.07	2	164.03				
Var. résiduelle 1	14.60	27	0.54				

### Analyse de variance 5 : Taux d'avortement

	SCE	DDL	Carres moy	Test .f	Proba	E.t	CV%
Var. totale	16094.82	29	554.99	126.70	0.0000	7.58	21,5%
Var. Facteur 1	14545.03	2	7272.52				
Var. résiduelle 1	1549.79	27	57.40				

### Analyse de variance 6 : Poids des fruits (g)

	SCE	DDL	Carres moy	Test .f	Proba	E.t	CV%
Var. totale	248715.09	29	8576.38	32.97	0.0000	51.73	30.3%
Var. Facteur 1	176454.06	2	88227.03				
Var. résiduelle 1	72261.03	27	2676.33				

**Analyse de variance 7: Poids frais des feuilles (g)**

	SCE	DDL	Carres moy	Test .f	Proba	E.t	CV%
Var. totale	11220.65	29	386.92	1209.41	0,0000	2.14	3.6%
Var. Facteur 1	11096.78	2	5548.39				
Var. résiduelle 1	123.87	27	4059				

**Analyse de variance 8 : Poids frais des tiges (g)**

	SCE	DDL	Carres moy	Test .f	Proba	E.t	CV%
Var. totale	1327.43	29	45.77	132.44	0.0000	2.13	4.0%
Var. Facteur 1	1204.64	2	602.32				
Var. résiduelle 1	122.79	27	4.55				

**Analyse de variance 9 : Poids frais total (g)**

	SCE	DDL	Carres moy	Test .f	Proba	E.t	CV%
Var. totale	19847.97	29	684.41	794.80	0.0000	3.50	3.1%
Var. Facteur 1	19516.47	2	9758.24				
Var. résiduelle 1	331.49	27	12.28				

**Analyse de variance 10 : Poids sec des feuilles (g)**

	SCE	DDL	Carres moy	Test .f	Proba	E.t	CV%
Var. totale	134.54	29	4.95	542.92	0.0000	0.36	3.6%
Var. Facteur 1	140.06	2	70.03				
Var. résiduelle 1	3.48	27	0.13				

**Analyse de variance 11 : Poids sec des tiges (g)**

	SCE	DDL	Carres moy	Test .f	Proba	E.t	CV%
Var. totale	10.22	29	0.35	69.58	0.0000	0.25	4.1%
Var. Facteur 1	8.56	2	4.28				
Var. résiduelle 1	1.66	27	0.06				

**Analyse de variance 12 : Poids sec total (g)**

	SCE	DDL	Carres moy	Test .f	Proba	E.t	CV%
Var. totale	214.80	29	7.41	394.07	0.0000	0.51	3,2%
Var. Facteur 1	207.69	2	103.84				
Var. résiduelle 1	7.11	27	0.26				

Analyse de variance 13: Taux de matière sèche des feuilles

	SCE	DDL	Carres moy	Test .f	Proba	E.t	CV%
Var. totale	259.47	29	8.95	1737.83	0.0000	0.27	1.5%
Var. Facteur 1	257.47	2	128.73				
Var. résiduelle 1	2.00	27	0.07				

Analyse de variance 14 : Taux de matière sèche des tiges

	SCE	DDL	Carres moy	Test .f	Proba	E.t	CV%
Var. totale	6.33	29	29.22	29.22	0.0000	0.27	2.4%
Var. Facteur 1	4.33	2	2.16				
Var. résiduelle 1	2.00	27	0.07				

Analyse de variance 15 : Taux de matière sèche total

	SCE	DDL	Carres moy	Test .f	Proba	E.t	CV %
Var. totale	53.05	29	1.83	2676.35	0.0000	0.10	0.7%
Var. Facteur 1	52.79	2	26.39				
Var. résiduelle 1	0.27	27	0.01				

Analyse de variance 16 : Diamètre des fruits (cm)

	SCE	DDL	Carres moy	Test .f	Prob	E.t	CV%
Var. totale	2389.87	29	82.41	65.11	0.0000	3.90	10.0%
Var. Facteur 1	1979.47	2	989.73				
Var. résiduelle 1	410.40	27	15.20				

Analyse de variance 17 : Longueur des fruits (cm)

	SCE	DDL	Carres moy	Test .f	Prob	E.t	CV%
Var. totale	593.75	29	20.47	87.96	0.0000	1.71	10.3%
Var. Facteur 1	514.75	2	257.37				
Var. résiduelle 1	79.00	27	2.93				

Analyse de variance 18 : Extrais sec

	SCE	DDL	Carres moy	Test .f	Prob	E.t	CV%
Var. totale	12.47	8	1.56	274.82	0.0000	0.15	2.1%
Var. Facteur 1	12.33	2	6.17				
Var. résiduelle 1	0.13	6	0.02				

Analyse de variance 19 : Quantité chlorophylle « A »

	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA.	E.T.	C.V.
VAR. TOTALE	0,69	5	0,14				
VAR.FACTEUR 1	0,06	2	0,03	18,28	0,0510		
VAR.FACTEUR 2	0,63	1	0,63	415,32	0,0015		
VAR.RESIDUELLE 1	0,00	2	0,00			0,04	3,8%

Analyse de variance 20 : Quantité chlorophylle « B »

	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA.	E.T.	C.V.
VAR. TOTALE	0,13	5	0,03				
VAR.FACTEUR 1	0,04	2	0,02	3,50	0,2227		
VAR.FACTEUR 2	0,09	1	0,09	16,69	0,0527		
VAR.RESIDUELLE 1	0,01	2	0,01			0,07	18,0%

Analyse de variance 21 : Quantité chlorophylle « C »

	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA.	E.T.	C.V.
VAR. TOTALE	10,58	5	2,12				
VAR.FACTEUR 1	1,03	2	0,52	28,28	0,0325		
VAR.FACTEUR 2	9,50	1	9,51	521,29	0,0012		
VAR.RESIDUELLE 1	0,04	2	0,02			0,14	3,4%

Analyse de variance 22 : Vitesse de croissance

	SCE	DDL	Carres moy	Test.f	proba	E.t	CV%
Var. totale	192970.59	83	2324.95				
Var. facteur 1	8748.88	2	4374.44	4536.45			
Var. facteur 2	179177.41	13	13782.88	14893.35	0.0000	0.98	1.3%
Var. inter f1.2	5003.81	26	192.45	199.58			
Var. Residuelle1	040.50	42	0.96				

Analyse de variance 23 : Moyenne des fleurs mâles et femelles.

	SCE	DDL	Carres moy	Test.f	proba	E.t	CV %
Var. totale	1409.71	83	16.98				
Var. facteur 1	111.81	2	55.90	4695.96			
Var. facteur 2	1247.58	13	95.97	8061.31	0.0000	0.11	2.3%
Var. inter f1.2	49.82	26	1.92	160.95			
Var. Residuelle1	0.50	42	0.01				

