

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



**UNIVERSITE DE BLIDA 1**

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

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

**Filière : biotechnologie.**

**Option : Biotechnologies végétales.**

**Thème :**

**Amélioration de la germination des semences de haricot**  
**(*Phaseolus vulgaris L.*) variété Djadida par la technique de**  
**priming en hors sol.**

**Réalisé par:**

 **KHALDOUN Kenza.**

 **BERKANE Chiraz.**

**Devant le jury composé de :**

**Mr. BENMOUSSA M.**

**Professeur.**

**U. Blida 1**

**Président**

**Mr. SNOUSSI S.A**

**Professeur.**

**U. Blida 1**

**Promoteur**

**Mr. ABBAD M.**

**M.C.B**

**U. Blida 1**

**Examineur**

**Année Universitaire 2018-2019**

# *Remerciements*

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

En préambule à ce mémoire, on souhaiterait adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apportés leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire, surtout notre promoteur **Pr. SNOUSSI SID AHMED** pour ses conseils et on lui souhaite une bonne réussite dans ses projets.

On tient à remercier sincèrement **Pr. BENMOUSSA M.**, qui, en tant que président des membres de jury, pour le temps qu'il a bien voulu nous consacrer pour ce mémoire.

Nos remerciements s'adressent également au **DR. ABBAD M.** pour nous avoir fait L'honneur d'examiner ce modeste mémoire.

On tient aussi nos sincères remerciements à nôtres Co-promoteurs les doctorants **Mr. et Mm. HAMIDI** pour leurs aides, leurs poursuites et surtout leurs conseils qui nos a aidé à continuer notre travail

Nos sincères remerciements s'adressent aussi à l'Ingénieur du laboratoire des cultures maraichères **MR BENMALLEM A.R** ainsi que l'ingénieur de laboratoire physiologie végétale **Melle. FLITA KARIMA** pour leurs aides

Nous exprimons notre gratitude à tous les enseignants rencontrés lors de notre cycle universitaire.

## ***Dédicace***

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

*Je dédie ce projet.*

### ***À mon père***

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

### ***À ma mère***

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

### ***À mon adorable frère Abderraouf***

*Pour dévouement, pour ton écoute et ton soutien.*

*Qui sait toujours comment procurer la joie et le bonheur pour toute la famille. Reçois ici ma profonde gratitude.*

### ***À mes chères sœurs : Zineb, Roufida et Sana***

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

### ***À mon beau frère***

*Chaoki Mechri pour qu'il été mon ancien ami*

### ***À tous les cousins, les voisins et les amis spécialement***

*Nano, Karima, Houria. Ratiba, Nacira, ELkhansaa, Sarah, Sonia, Kahina, Sihem, Houta, Lactosa, Aicha, Khaled, Hamza*

*Merci pour leurs amours, aidé, supporté et leurs encouragements dans les moments difficiles.*

### ***À ma binôme Chiraz***

*Pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.*

*Je te souhaite une merveilleuse vie pleine de succès.*

*Sans oublier mes camarades de la promotion BTV 2018/2019.*





## ***Dédicace***

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

### ***A mes parents***

*A mes très chers parents Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Rien au monde ne vaut tous les sacrifices et les efforts fournis jour et nuit pour mon bien être et ma réussite. Votre présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour attendre à cet objectif*

### ***A mon mari***

*Le bonheur et l'amour de ma vie pour ton amour, ton encouragement, tes sacrifices Votre compréhension qui ma toujours donner le courage et l'envie pour continuer*

### ***A ma MERIEM***

*Ma petite princesse mon joie de la vie et mon bonheur*

### ***À mes frère Zaki et Sami et ma sœur Lina***

*Pour dévouement, votre écoute et votre soutien et vos sacrifices*

### ***À ma belle mère***

*Pour ta patience et votre compréhension et tes sacrifices pour moi  
Merci énormément*

### ***A tous ma belle famille***

*Mon beau père «Ami Mouloud »  
Mes sœur Asma, Rahma, Zineb, et Nadjet  
Mes frères Walid et Mohamed  
Le petit Noussaib*

### ***A tous mes tentes***

***À tous les cousins, les voisins et les amis spécialement***

### ***À ma binôme Kenza***

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

*Sans oublier mes camarades de la promotion BTV 2018/2019.*





## ***Résumé***

La salinisation des sols et de l'eau, constitue l'une des principaux facteurs abiotiques qui limitent la productivité végétale, et le rendement agricole. Notre étude a pour but essentiel l'amélioration de la première phase végétative de la vie d'une plante qu'est la germination des graines de haricot (*Phaseolus vulgaris* L) variété El Djadida dans un milieu salin et non salin par la technique de priming par le procédé hors sol.

Les graines ont été traitées par (l'eau distillée, KCl à 2%, CaCl<sub>2</sub> à 1%, ZnSo<sub>4</sub> à 1.46%, Auxine) à différents intervalles de temps (6H, 9H, 12H, et 24H).

A travers les résultats obtenus de l'application des différents techniques d'amorçage (Hydropriming, Osmopriming, et Hormopriming) d'une part sur la faculté germinative des graines et d'autre part sur les paramètres biométriques, physiologiques et biochimiques observés et mesurés sur les plants de haricot issus de deux séries d'alimentation à savoir solution saline et solution nutritive .

Les principaux résultats obtenus à travers notre expérimentation montrent que l'amorçage des graines par le CaCl<sub>2</sub> et eau distillée manifestent significativement les surfaces foliaires les plus importantes par rapport aux autres traitements testés. A l'inverse, la technique d'amorçage à base de ZnSo<sub>4</sub> (Osmopriming) ne favorise le développement foliaire des plantes, ainsi que tous les autres paramètres mesurés. Et aussi nous constatons que les graines amorcées par l'auxine (T5), CaCl<sub>2</sub> (T3) et KCl (T2) dans la série (sans stress) au stade végétatif, présentent les moyennes les plus élevées d'anthocyanine

**Mots clés** : Germination, Priming, Culture hors sol, Amorçage, haricot (*Phaseolus vulgaris* L).

## Abstract

The salinization of soil and water is one of the main abiotic factors limiting plant productivity and agricultural yield. The main objective of our study is to improve the first vegetative phase of a plant's life, namely the germination of El Djadida bean seeds (*Phaseolus vulgaris* L) in a saline and non-saline environment using the priming technique using the above-ground process.

The seeds were treated with (distilled water, kCl, CaCl<sub>2</sub>, ZnSo<sub>4</sub>, Auxin) at different time intervals (6H, 9H, 12H, and 24H).

Through the results obtained from the application of the various priming techniques (Hydropriming, Osmopriming, and Hormopriming) on the one hand on the germination capacity of the seeds and on the other hand on the biometric, physiological and biochemical parameters observed and measured on bean plants from two feeding series, namely saline solution and nutrient solution.

The main results obtained through our experiment show that seed priming with Cacl<sub>2</sub> and distilled water significantly show the largest leaf areas compared to the other treatments tested with values of 45.56 cm<sup>2</sup> and 34.36 cm<sup>2</sup> respectively. On the other hand, the ZnSo<sub>4</sub>-based priming technique (Osmopriming) does not promote foliar development of plants, as well as all other measured parameters.

Keywords : Germination, Priming, Above-ground cultivation, Priming, Bean (*Phaseolus vulgaris* L).



## ملخص

تعد ملوحة التربة والمياه أحد العوامل غير الحيوية الرئيسية التي تحد من إنتاجية النبات والإنتاج الزراعي. الهدف الرئيسي من دراستنا هو تحسين المرحلة الأولى من حياة نبات وهو إنتاش بذور الفاصولياء (*Phaseolus vulgaris* L) والتي تعرف تجاريا بنوعية (الجديدة) في وسط ملحي وغير ملحي باستخدام تقنية التخصيب المائي بدون استخدام التربة (الزراعة المائية).

تمت معالجة البذور باستخدام (الماء المقطر،  $KCl$ ،  $CaCl_2$ ،  $ZnSO_4$ ،  $Auxine$ ) على فترات زمنية مختلفة ( $H_6$ ،  $9H$ ،  $12H$ ، و  $H_{24}$ ).

من خلال النتائج التي تم الحصول عليها من تطبيق تقنيات التخصيب المائي المختلفة (*Hydropriming* و *Osmoprimering* و *Hormoprimering*) من ناحية على قدرة البذور الإنباتية او متوسط حياتها ومن ناحية أخرى على المعايير الحيوية والفيزيولوجية والكيميائية الحيوية التي تمت ملاحظتها وقياسها على نباتات الفاصولياء من مجموعتين من محاليل الري وهي المحلول الملحي والمغذي.

أظهرت النتائج الرئيسية التي تم الحصول عليها من خلال تجربتنا أن البذور المعالجة التي ب  $CaCl_2$  والماء المقطر تظهر بشكل كبير نباتات تحتوي على أكبر مساحة ورقية مقارنة بالمعالجات الأخرى التي تم اختبارها بقيم 45.56 سم<sup>2</sup> و 34.36 سم<sup>2</sup> على التوالي. على العكس من ذلك، فإن تقنية الأخصاب المائي بالملح  $ZnSO_4$  (*Osmoprimering*) لا تطور المساحة الورقية للنباتات، وكذلك جميع المعايير الأخرى المقاسة.

**الكلمات الرئيسية:** إنتاش، التخصيب المائي، الزراعة خارج التربة، فاصولياء (*Phaseolus vulgaris* L).

## Liste des figures

<b>Figure 1</b>	Modèle expliquant les mécanismes impliqués dans le phénomène du priming des semences induit par hydropriming et osmopriming.....	6
<b>Figure 2</b>	Répartition mondiale des zones de culture du haricot commun. (Zone hachurée).....	8
<b>Figure 3</b>	Plante cultivée en hors sol.....	27
<b>Figure 4</b>	Schéma de culture aéroponique.....	28
<b>Figure 5</b>	Schéma de culture N.F.T.....	29
<b>Figure 6</b>	Eléments essentiel à la croissance des plantes.....	32
<b>Figure 7</b>	Localisation du lieu de l'expérimentation.....	34
<b>Figure 8</b>	Lavage de gravier.....	35
<b>Figure 9</b>	Remplissage des pots avec du gravier roulé 3-8mm.....	35
<b>Figure 10</b>	Lavage abondant à l'eau.....	35
<b>Figure 11</b>	Aspect général des conteneurs.....	36
<b>Figure 12</b>	Schéma explicatif d'application du priming.....	37
<b>Figure 13</b>	Vue générale de l'application du priming.....	37
<b>Figure 14</b>	Séchage des graines ayant perdu la longévité.....	38
<b>Figure 15</b>	Séchage des graines récentes.....	38
<b>Figure 16</b>	Mise en germination.....	39
<b>Figure 17</b>	Jour de germination.....	39
<b>Figure 18</b>	Aspect de graines après 3 jours de germination.....	39
<b>Figure 19</b>	Aspect des graines ayant dépassé leur longévité après 4 jours de germination .....	40
<b>Figure 20</b>	Mesure de longueur racinaire par Digimizer.....	40
<b>Figure 21</b>	Mise en germination définitive dans l'étuve à 25°C.....	41
<b>Figure 22</b>	Germination des graines au 6 <sup>ème</sup> jour.....	42
<b>Figure 23</b>	Repiquage et levée des plantules du haricot.....	43
<b>Figure 24</b>	Contrôle de pH, de la conductivité électrique est obligatoire avant chaque utilisation.....	44
<b>Figure 25</b>	Vue générale du dispositif expérimentale.....	45

<b>Figure 26</b>	Présentation du dispositif expérimental.....	<b>46</b>
<b>Figure 27</b>	Fleur du haricot.....	<b>46</b>
<b>Figure 28</b>	Gousses du haricot (stade final des plantules).....	<b>47</b>
<b>Figure 29</b>	Photos d'une coupe effectuée.....	<b>47</b>
<b>Figure 30</b>	Mesure de la surface foliaire par logiciel Digimizer.....	<b>48</b>
<b>Figure 31</b>	Tubes Du contenu relatif en eau RWC.....	<b>50</b>
<b>Figure 32</b>	Flacons de fuite d'électrolytes.....	<b>51</b>
<b>Figure 33</b>	Agitateur rotatif.....	<b>51</b>
<b>Figure 34</b>	Détermination de la solution L1 par un conductimètre.....	<b>51</b>
<b>Figure 35</b>	Tubes de I% dans le bain marie.....	<b>52</b>
<b>Figure 36</b>	Aspect général des plants du haricot de la série « solution nutritive »...	<b>53</b>
<b>Figure 37</b>	Aspect général des plants du haricot de la série de solution saline.....	<b>54</b>
<b>Figure 38</b>	Taux d'anthocyanine total stade 1 chez les plantes de haricot (%).....	<b>55</b>
<b>Figure 39</b>	fuite des électrolytes chez les plantes de haricot (%).....	<b>56</b>
<b>Figure 40</b>	Teneur relative en eau chez les plantes de haricot (%).....	<b>58</b>
<b>Figure 41</b>	Quantité de proline chez les plantes de haricot en ( $\mu\text{g/gMF}$ ).....	<b>60</b>
<b>Figure 42</b>	Surface foliaire des plants du haricot en (cm).....	<b>62</b>
<b>Figure 43</b>	Longueur foliaire des plants du haricot en (cm).....	<b>63</b>
<b>Figure 44</b>	Longueur moyenne des racines du haricot en (cm).....	<b>64</b>
<b>Figure 45</b>	Biomasse fraîche moyenne des racines du haricot en (g).....	<b>65</b>
<b>Figure 46</b>	Longueur des tiges du haricot en (cm).....	<b>66</b>
<b>Figure 47</b>	Biomasse fraîche des tiges des plantes du haricot en (g).....	<b>68</b>
<b>Figure 48</b>	Biomasse fraîche des feuilles des plantes du haricot en (g).....	<b>69</b>
<b>Figure 49</b>	Biomasse sèche des racines des plantes du haricot(g).....	<b>70</b>
<b>Figure 50</b>	Biomasse sèche des tiges des plantes du haricot (g).....	<b>71</b>
<b>Figure 51</b>	Biomasse sèche des feuilles des plantes du haricot(g).....	<b>72</b>
<b>Figure 52</b>	Biomasse fraîche des gousses des plantes du haricot en (g).....	<b>74</b>
<b>Figure 53</b>	Biomasse sèche des gousses des plantes du haricot en (g).....	<b>75</b>
<b>Figure 54</b>	Nombre de gousses des plantes du haricot.....	<b>76</b>
<b>Figure 55</b>	Nombre de fleurs des plantes du haricot.....	<b>77</b>
<b>Figure 56</b>	Nombre des feuilles des plantes du haricot.....	<b>78</b>
<b>Figure 57</b>	Diamètre moyen des tiges des plantes du haricot en (mm).....	<b>79</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableau I :</b>	Répartition des sols salés dans le monde.....	<b>18</b>
<b>Tableau II :</b>	Les différents traitements appliqués de priming.....	<b>36</b>
<b>Tableau III :</b>	Etapes de déroulement du 2ème priming.....	<b>41</b>
<b>Tableau IV :</b>	Composition de l'eau de Blida en éléments minéraux (meq/l) (pH= 7,6).....	<b>43</b>
<b>Tableau V :</b>	Les différents éléments utilisés pour la préparation de la solution nutritive.....	<b>43</b>
<b>Tableau VI :</b>	Les différents sels utilisés pour la préparation de la solution saline (mg /l), ayant un pH(7,5) et une conductivité électrique de CE (3,7mmhos/cm).....	<b>44</b>

## Liste des abréviations :

**ABA** : acide abscissique.

**ADN**: acide désoxyribonucléique.

**AS** : avec stress.

**ANOVA** : analyse de la variance

**CE** : conductivité électrique.

**Chl**: chlorophylle.

**DDL**: degré de liberté.

**DO**: densité optique.

**EL**: electrolyte leakage (la fuite d'électrolytes).

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

**GA3** : acide gibbérellique.

**NFT** : Nutrition Film technique.

**PAL**: phénylanine ammonialyase.

**PF** : poids frais.

**pH** : potentiel hydrique.

**Pro**: Proline.

**PS** : poids sec.

**RWC**: Relative Water Content (contenue relative en eau).

**SS** : sans stress.

**T** : traitement.

## Table des matières

Remercîments	
Dédicace	
Résumé	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction .....	1

### Partie bibliographique

<b>Chapitre I : Technique de priming..... ..</b>	<b>2</b>
1. Notion du priming.....	2
2. Définition du priming.....	2
3. Notion et nature de la dormance des graines.....	3
4. Différents types de priming.....	3
4.1 Priming chimique .....	3
4.1.1. Hydropriming.....	3
4.1.2. Osmopriming.....	3
4.1.3. Hormopriming.....	3
4.2. Biopriming.....	4
5. Intérêt du priming .....	4
6. Mécanismes du priming.....	5
7. Risque du priming.....	6
<b>Chapitre II : Généralités sur le haricot.....</b>	<b>7</b>
1. Définition.....	7
2. Origine et répartition géographique.....	7
3. Classification systématique.....	8
4. Caractéristiques de la plante.....	8
4.1. Racines.....	8
4.2. Tiges.....	9
4.3. Feuilles.....	9
4.4. Inflorescences.....	9

4.5. Fleurs.....	9
4.6. Fruits.....	9
4.7. Graines.....	10
5. Cycle de développement du haricot.....	10
5.1. Phase de germination.....	10
5.2. Phase de croissance.....	10
5.3. Phase de floraison.....	10
5.4. Phase de maturation.....	10
6. Classification variétale.....	10
7. Valeur alimentaire.....	11
8. Intérêt agronomique .....	11
9. Aspect économique .....	11
10. Exigences du haricot.....	12
10.1. Exigences climatiques.....	12
10.1.1. Besoins en chaleur.....	12
10.1.2. Besoins en eau.....	12
10.1.3. Besoins en lumière .....	12
10.1.4. Besoins en altitude.....	12
10.2. Exigences édaphiques.....	13
11. Culture du haricot .....	13
12. Maladies et accident physiologique.....	14
12.1. Maladies.....	14
12.2. Accidents physiologiques.....	14
<b>Chapitre III : Stress salin</b> .....	15
1. Définition Et historique du stress.....	15
2. Types de stress.....	15
2.1. Stress biotique.....	15
2.2. Stress abiotique.....	15
2.2.1. Stress Hydrique.....	15
2.2.2. Stress Thermique.....	16
2.2.3. Stress Salin.....	17
3. Stress salin.....	17
3.1. Salinisation.....	17

3.2. Salinité.....	18
3.2.1. Salinité dans le monde et en Algérie.....	18
4. Impact de salinité sur les plantes.....	19
4.1. Effet de la salinité sur la germination et la levée.....	19
4.2. Effet de la salinité sur la morphologie de la plante.....	20
4.2.1. Effet de la salinité sur l'architecture de la plante.....	20
4.2.2. Effet de la salinité sur la partie aérienne.....	20
4.2.3. Effet de la salinité sur la partie racinaire.....	20
4.3. Effet de la salinité sur les paramètres physiologiques de la plante.....	20
4.3.1. Effet sur les sucres totaux.....	20
4.3.2. Effet sur la proline.....	21
4.3.3. Effet sur les bêtaïnes.....	21
4.3.4. Effet sur la chlorophylle totale.....	21
5. Effet de la salinité sur le rendement.....	21
6. Réponses des plantes aux stress salin.....	22
6.1. Mécanismes de résistance aux stress salin.....	22
6.1.1. Résistance par exclusion (stress avoidance).....	22
6.1.2. Résistance par inclusion (stress tolérance).....	22
6.1.3. Résistance par recirculation.....	22
7. Stratégie d'adaptation aux stress salin.....	22
7.1. Réponse de croissance.....	22
7.2. Ajustement osmotique.....	23
7.3. Compartimentation.....	24
7.4. Contrôle membranaire.....	24
7.5. Fonctionnement cellulaire.....	25
<b>Chapitre IV : Culture hors sol.....</b>	<b>26</b>
1. Définition et historique.....	26
2. Comparaison entre la culture de terre et la culture hydroponique.....	27
3. Systèmes de la culture hors sol.....	28
3.1. Culture aéroponique .....	28
3.2. Cultures en N.F.T. (Nutrient Film Technique).....	28
3.3. Culture sur substrat .....	29
4. Composants de système hydroponie.....	29



4.1.Substrat et propriétés.....	29
4.1.1.Types de substrats.....	30
4.2.Solution nutritive et sa gestion.....	31
<b>Partie expérimentale</b>	
<b>Chapitre I : Matériel et méthodes.....</b>	<b>34</b>
1. Objectif de l'expérimentation.....	34
2. Matériel végétale utilisé.....	34
3. Conditions expérimentales.....	34
3.1. Lieu de l'expérimentation .....	34
3.2. Substrat .....	34
3.3. Les conteneurs.....	36
4. Application de l'essai de priming.....	36
5. Mise en germination.....	38
6. Paramètres mesurées.....	40
6.1. Taux de germination .....	40
6.2.Paramètres morphologiques.....	40
6.2.1. Longueur des racines .....	40
6.2.2. Biomasse fraîche.....	41
6.2.3. Biomasse sèche .....	41
7. Analyse statistiques relatives aux meilleurs temps de priming.....	41
8. Repiquage.....	42
9. Entretien de la culture .....	43
9.1. Irrigation.....	43
9.2. Description de la solution d'irrigation .....	43
9.3. Lessivage .....	45
10. Dispositif expérimental .....	45
11. Paramètres mesurées .....	48
11.1. Paramètres biométriques mesurés.....	48
11.1.1. Hauteur de la plante.....	48
11.1.2. Longueur des tiges .....	48
11.1.3. Longueur des racines.....	48
11.1.4. Nombre de feuilles .....	48
11.1.5. Surface et longueur foliaire.....	48

11.1.6. Biomasse fraîche.....	49
11.1.7. Biomasse sèche .....	49
11.1.8. Diamètre des tiges.....	49
11.2. Paramètres physiologiques effectués .....	49
11.2.1. Teneur relative en eau (RXC).....	49
11.2.2. Dosage d'anthocyanine .....	50
11.2.3. Fuite d'électrolyte (EL) .....	50
11.3. Paramètres biochimiques effectués .....	52
11.3.1. Dosage de proline .....	52
<b>Chapitre II : Résultats et discussions</b> .....	<b>53</b>
1. Aspect général des plants .....	53
2. Paramètres physiologiques mesurés au stade végétatif.....	55
2.1 Taux d'Anthocyanine dans les feuilles de haricot en % .....	55
2.2. Mesure de la fuite des électrolytes.....	56
2.3. Teneur relative en eau en %.....	58
3. Paramètres biochimiques au stade végétatif .....	60
3.1. Quantité de proline dans la plante en ( $\mu\text{g/gMF}$ ).....	60
4. Paramètres morphologiques mesurés.....	62
4.1. Stade végétatif.....	62
4.1.1. Surface foliaire .....	62
4.1.2. Longueurs des feuilles .....	63
4.1.3. Longueur moyenne des racines .....	64
4.1.4. Biomasse fraîche moyenne des racines .....	65
4.1.5. Longueur des tiges .....	66
4.1.6. Biomasse fraîche des tiges en (g) .....	67
4.1.7. Biomasse fraîche des feuilles des plantes .....	68
4.1.8. Biomasse sèche des racines en (g) .....	70
4.1.9. Biomasse sèche des tiges en (g) .....	71
4.1.10. Biomasse sèche des feuilles en (g) .....	72
4.3. Stade Final .....	74
4.2.1. Biomasse fraîche des gousses des plantes .....	74
4.2.2. Biomasse sèche des gousses en (g) .....	75
4.2.3. Nombre de gousses des plantes .....	76

4.2.4. Nombre de fleur des plantes .....	77
4.2.5. Nombre des feuilles des plantes .....	78
4.2.6. Diamètre moyen des tiges (mm) .....	79
Conclusion .....	80
Références bibliographiques .....	
Annexes.....	

# *Introduction*

## Introduction

---

Les plantes se trouvent rarement dans des conditions environnementales optimales, mais elles se trouvent souvent dans des conditions défavorables extrêmes notamment par manque de potentiel hydrique, de température favorable, présence de salinité ainsi que d'autres facteurs qui entraînent les végétaux à la limite de la survie.

Aussi, la production végétale et l'établissement de bonnes cultures agricoles dépendent étroitement de la germination des semences qui est une étape cruciale dans le cycle de vie des végétaux supérieurs (**Cheng and Bradford, 1999**). Or, la germination peut être hétérogène vu que les semences ne germent pas toutes de la même manière ni en même temps. Afin de résoudre ces problèmes et d'améliorer le développement et le rendement des espèces végétales, plusieurs approches ont été utilisées depuis plusieurs années (**Basra et al., 2003**). La technique la plus fréquente et la plus commune est l'amorçage, connu sous le nom de "priming". C'est une méthode physiologique qui améliore la production végétale en modulant les activités métaboliques de la germination avant l'émergence de la radicule (**Bradford, 1986; Taylor and Harman, 1990**). Pendant cette phase la semence peut être redéshydratée tout en gardant sa capacité à germer (**Mazliak, 1998**).

Beaucoup d'auteurs ont montré, chez différentes espèces de grandes cultures telles que le haricot, la lentille, le blé, le maïs, le riz, le pastèque, le melon, la tomate, la carotte et l'amarante, que le priming des semences permet la levée de la dormance, l'accélération et la synchronisation de la germination (**Heydekker et al., 1973; Welbaum et al., 1998; McDonald, 2000**) ainsi qu'une meilleure croissance, une floraison plus précoce, une plus grande tolérance aux stress abiotique et un rendement plus élevé (**Harris et al., 2002; Ashraf et Foolad, 2005; Basra et al., 2006; Moosavi, 2009 ; Boucelha et Djebbar, 2015**).

L'objectif de notre travail est de tester l'effet de la technique de priming par trois techniques à savoir le trempage des graines dans de l'eau distillée (Hydropriming), dans des solutions de sel autrement dit technique osmopriming (KCl : 2% ; CaCl<sub>2</sub> : 1% ; ZnSO<sub>4</sub> : 1.46% ), et enfin par la technique d'hormopriming ,à savoir le trempage des graines dans l'auxine sur la germination et la croissance des graines du haricot « *Phaseolus vulgaris L. variété, Djadida* » sur la capacité de germination des graines, sous deux conditions saline et non saline, par le procédé hydroponique . Il y a lieu de rappeler que l'espèce haricot constitue l'une des principales légumineuses alimentaires en Afrique (**NKOUANNESSI, 2005**).

*Partie  
bibliographique*

*Chapitre I :*  
*Technique de*  
*priming*

## 1. Notion sur le priming

Généralement dans la plante, les réponses de défenses cellulaires impliquées dans la résistance induite peuvent ne pas être activées directement mais seulement mises en alerte pour augmenter leur expression lors de l'infection subséquente par un agent pathogène. Ce phénomène dénommé « priming » a été démontré dans différentes espèces de plantes dans le cadre de la résistance contre les agents pathogènes, les insectes et les stress abiotiques (**Conrath et al. 2002 ; Engelberth et al. 2004 ; Ton et al. 2006 ; Kishimoto et al. 2006a**).

## 2. Définition du priming

L'amorçage (priming) ou durcissement est une technique de traitement prégerminatif. Elle consiste à faire subir aux semences un traitement osmotique (Osmopriming) ou hormonal (Hormopriming) et/ou une déshydratation (Hydropriming) qui permettent la levée de la dormance, l'homogénéisation (la synchronisation) de la germination, une meilleure croissance, une floraison plus précoce et, dans certains cas, une tolérance aux stress abiotiques tels que la sécheresse et la salinité. Ces prétraitements consistent à imbiber la semence, puis à la déshydrater avant la percée de la radicule, c'est-à-dire au cours de la phase réversible de la germination. Ainsi, la graine peut revenir à son état initial déshydraté sans que l'embryon ne subisse de dommages.

La production végétale et l'établissement de bonnes cultures agricoles dépendent étroitement de la germination des semences qui est une étape cruciale dans le cycle de vie des végétaux supérieurs (**Cheng et al., 1999**). Or, la germination peut être hétérogène vu que les semences ne germent pas toutes de la même manière ni en même temps. Afin de résoudre ces problèmes et d'améliorer le développement et le rendement des espèces végétales, plusieurs approches ont été utilisées depuis plusieurs années (**Basra et al., 2003**). La technique la plus fréquente et la plus commune est l'amorçage ou l'endurcissement connue sous le nom de « *priming* ». C'est une méthode physiologique qui améliore la production végétale en modulant les activités métaboliques de la germination avant l'émergence de la radicule (**Bradford, 1986 ; Taylor et al., 1990**).

Pendant cette phase, la semence peut être redéshydratée tout en gardant sa capacité à germer (**Mazliak, 1998**). Au cours de l'amorçage, les semences sont hydratées partiellement à un niveau d'humidité suffisant pour permettre le déroulement des processus métaboliques, mais insuffisant pour assurer la percée de la radicule (**McDonald, 2000 ; Ghassemi-Golezani et al., 2010**).

Pour les agriculteurs pauvres en ressources des pays en développement qui cultivent des cultures annuelles à partir de semences, il est primordial d'établir de bons peuplements, car des



peuplements inégaux entraînent de faibles rendements et, souvent, des mauvaises récoltes. (Harris, 1992 ; 1996).

### 3. Notion et nature de la dormance des graines

Selon Côme (1989), la dormance qu'elle provienne de l'embryon (dormance embryonnaire) ou des enveloppes (inhibition tégumentaire), elle peut être considérée comme un système régulateur de la germination. C'est un phénomène relatif qui ne se manifeste qu'à des températures fraîches (espèces de climat chaud) ou relativement élevées (espèces de climat tempéré), ou bien dans des conditions particulières d'oxygénation. L'élimination de la dormance se traduit par un élargissement des conditions qui permettent la germination. Ainsi un certain nombre de graines d'essences forestières telles que le Hêtre, le frêne, le merisier et l'érable qui, lorsqu'elles sont dans un état dormant, ne peuvent pas germer à 20 ou 25 °C et ne germent que très lentement à 3°- 4 °C. Les grains deviennent capables, après levée de dormance, de germer dans une gamme de températures beaucoup plus étendue (3° à 25 °C) (Côme, 1989).

### 4. Différents types de priming : il existe différents types de priming qui sont :

#### 4.1. Priming chimique :

##### 4.1.1. Hydropriming (eau, vapeur d'eau) :

L'Hydropriming ou la redéshydratation est la technique d'amorçage la plus simple qui consiste à imbiber avec de l'eau les semences puis à les déshydrater avant de les semer (Tarquis et al., 1992). Cette technique est peu coûteuse et évite l'utilisation de produits chimiques qui peuvent être indésirables pour l'environnement et la santé humaine (Harris et al., 1999 ; McDonald, 2000 ; Harris et al., 2001 ; Ghassemi-Golezani et al., 2008).

##### 4.1.2. Osmopriming (PEG, NaCl...)

L'Osmopriming est le type d'amorçage des semences le plus communément utilisé. Il consiste à faire subir aux graines un prétraitement osmotique seul ou suivi d'une redéshydratation. Cette hydratation contrôlée des semences est réalisée grâce à des agents osmotiques tels que le polyéthylène glycol (PEG), les sels (KNO<sub>3</sub>, NaCl, KCl) ou les polyols (mannitol) (Bradford, 1986 ; Yari et al., 2010). Plusieurs auteurs ont montré que les plantes issues de graines osmoconditionnées avaient une émergence accélérée, conduisant à un taux final d'implantation accru, et même des effets favorisants sur le rendement ont également été observés (Bradford, 1986).

##### 4.1.3. Hormopriming (AG, SA, Auxines...)

C'est l'utilisation des solutions hormonales pour le trempage des graines.

## 4.2. Biopriming

La bio-amorçage est une nouvelle technique de traitement des semences qui intègre les aspects biologiques (inoculation des semences avec un organisme bénéfique pour la protéger) et physiologique (hydratation des semences) du contrôle des maladies. Il a récemment été utilisé comme méthode alternative pour lutter contre de nombreux agents pathogènes transmis par les semences et le sol. C'est une approche écologique qui utilise des antagonistes fongiques sélectionnés contre les agents pathogènes du sol et des semences. Les traitements biologiques des semences peuvent constituer une alternative à la lutte chimique. L'amorçage des semences, l'osmo-amorçage et l'amorçage à la matrice solide ont été utilisés commercialement dans de nombreuses cultures horticoles, en tant qu'outil pour augmenter la vitesse et l'uniformité de la germination et améliorer le peuplement final. Toutefois, si les semences sont infectées ou contaminées par des agents pathogènes, la croissance fongique peut être accélérée lors de l'amorçage, ce qui entraîne des effets indésirables sur les plantes. **(Reddy, 2012)**. Le potentiel des micro-organismes importants en agriculture à réduire ou à remplacer les produits agrochimiques a été évalué jusqu'à présent. Microorganismes bénéfiques, y compris agents de lutte biologique (BCA), Les rhizobactéries promotrices de la croissance des plantes (PGPR), les champignons (PGPF) et les endophytes jouent un rôle crucial dans la production de cultures durables. L'application directe de ces micro-organismes favorise la croissance, protège les cultures et atténue les stress abiotiques. Au cours des dernières décennies, différents genres de PGPR ont été identifiés et leur application en tant que biofertilisant et agent de bio contrôle a connu un essor considérable **(Singh, 2016)**.

## 5. Intérêt du priming

Il a été bien montré que les effets positifs de l'endurcissement sont associés à diverses modifications physiologiques, biochimiques, cellulaires, moléculaires et génétiques telles que la mobilisation des réserves, la dégradation de l'albumen, l'activation des systèmes anti-oxydatifs, la stimulation de la synthèse des osmolytes et l'activation du cycle cellulaire et de certains gènes de tolérance aux stress abiotiques **(Bray et al., 1989 ; Dell'Aquila et al., 1989; Davison et al., 1991; De Castro et al., 2000; Varier et al., 2010)**.

Aussi, selon les mêmes auteurs, il a été noté que l'amorçage des semences à la ferme s'est révélé efficace pour augmenter les rendements au niveau de toutes les cultures, avec des augmentations moyennes de rendement atteignant plus de 30%.

Il est rappelé que le priming induit le métabolisme prégerminatif qui se met en place durant les premiers stades de l'imbibition. C'est un mécanisme de répartition (ADN, mitochondrie) et de défense antioxidative, ce qui augmente le potentiel germinatif des Graines prétraitées.

Le priming agit sur l'augmentation et la production de métabolites secondaires, où il a été observé sur le priming des graines de *Vigna radiata* associées à la mélatonine (50 micromètres par L) une accumulation de phénols comme conséquence de la stimulation de l'activité de la phénylalanine ammonialyase (PAL) (Szafranskai *et al.*, 2014). L'indication de flavonols (90%) a été observée suite au priming par KCL des graines de choux blanc (89%) (Hassini *et al.*, 2016). Enfin, des effets du priming par le KCL (50 M L<sup>-1</sup>) sur le contenu en phénols, anthocyanes et flavonol de Plantules (10j) sur deux variétés de choux (rouge et blanc) (Hassini *et al.*, 2016)

Enfin, les travaux de Musa *et al.*, (2001) ont rapporté que l'amorçage des semences de pois chiches avait considérablement réduit les dégâts causés par la pourriture du col (*Sclerotium rolfsii*) au Bangladesh au cours de deux saisons contrastées. Des travaux récents au Pakistan ont montré que le haricot mungo (*Vigna radiata*) cultivé à partir de semences apprêtées dans l'eau pendant 8 heures avant le semis, présentait nettement moins de symptômes graves d'infection par le virus de la mosaïque jaune de mangetouts (MYMV) (Rashid *et al.*, 2004).

## 6. Mécanismes du priming

Il a été bien montré que les effets positifs du priming sont associés à diverses modifications physiologiques, biochimiques, cellulaires, moléculaires et génétiques. Certaines conséquences du priming sont peut-être dues à la méthylation de l'ADN ou à la conformation spatiale de la chromatine (Boucelha *et al.*, 2019). Ainsi, les phénomènes épigénétiques sont d'une importance capitale pour la compréhension de nombreux phénomènes en biologie des plantes ; ils jouent un rôle déterminant dans l'adaptation des plantes à leur environnement (Hebrard, 2012). Ces changements épigénétiques sont modulés lors du développement et de l'exposition au stress, résultant en un mécanisme de défense plus efficace (Bruce *et al.*, 2007 ; Tanou *et al.*, 2012).

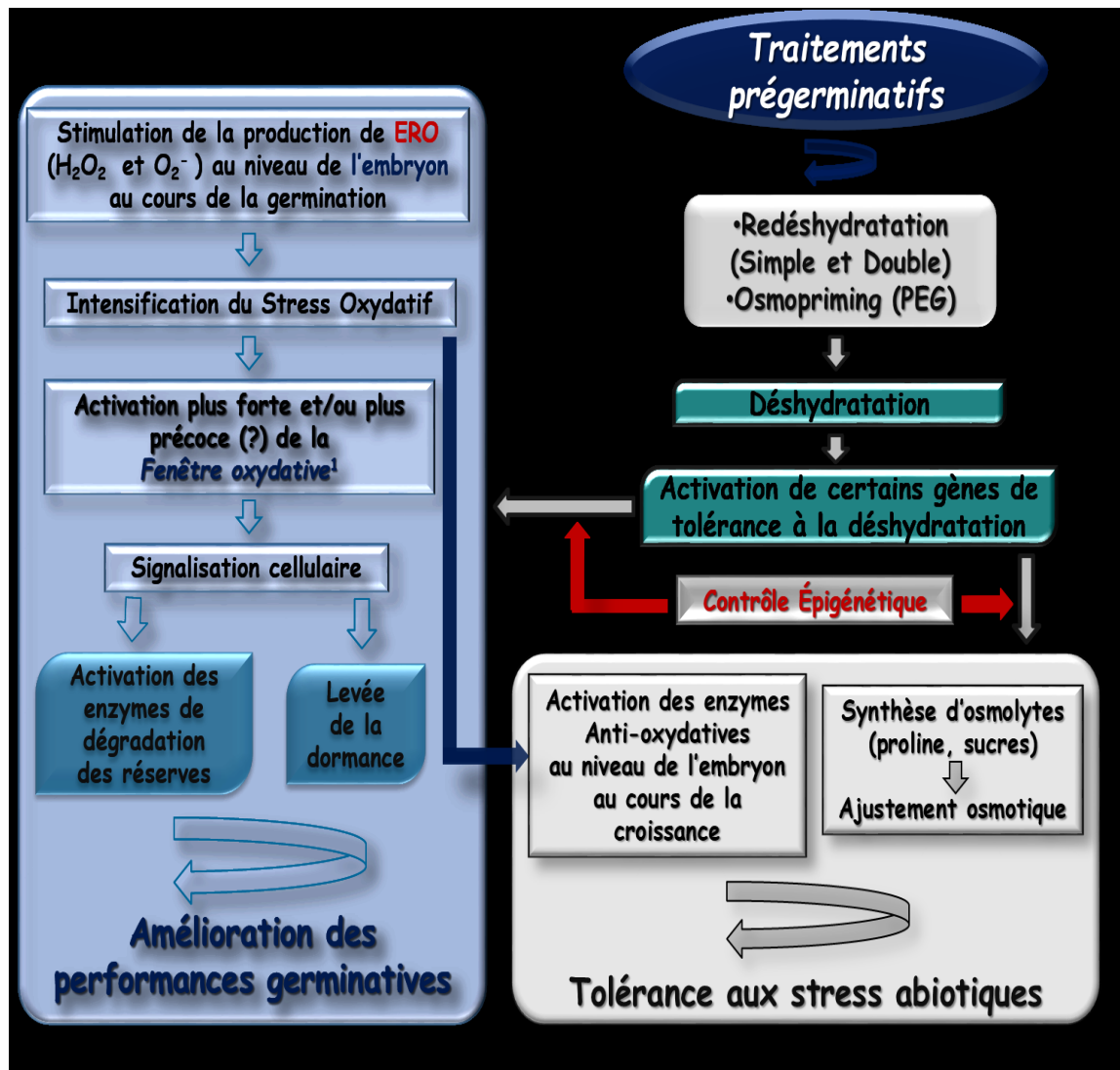


Figure n°1 : Modèle expliquant les mécanismes impliqués dans le phénomène du priming des semences induit par hydropriming et osmoprimering (Boucelha, 2015).

## 7. Risque du priming :

Il y a lieu de noter que lorsqu'on conduit un grand nombre d'essais chez les agriculteurs ceci permettra d'évaluer le risque d'échec lors de la préparation des semences. Le risque d'une conséquence négative de l'amorçage des semences était inférieur à 2%, ce qui suggère que l'amorçage des semences est une pratique très sûre (Harris, 2002 ; 2003).

*Chapitre II :*  
*Généralités sur*  
*le haricot*

## 1. Définition

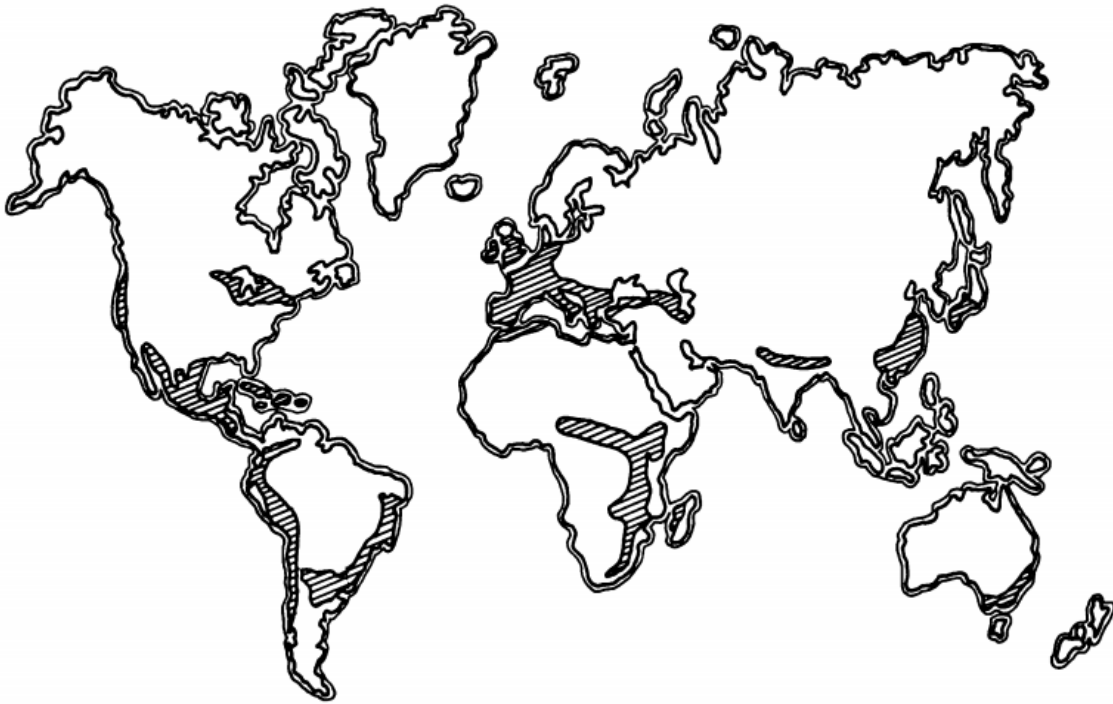
Le haricot commun «*Phaseolus vulgaris L.*» appartient à la famille des Légumineuses. Le haricot commun est largement cultivé et représente l'une des composantes les plus importantes de l'alimentation en Amérique latine et en Afrique, du fait de sa teneur élevée en protéines et en micronutriments tels que le fer et l'acide folique. Il constitue l'une des cultures les plus importantes sur le plan économique en Amérique latine et procure une source de revenu aux petits fermiers **(Pachico 1989)**.

## 2. Origine et répartition géographique

Le *haricot* est un fruit d'une plante originaire d'Amérique centrale et d'Amérique du Sud. Le mot « *haricot* » désigne à la fois le fruit, la graine, la plante qui les produit. Il y a environ 7000 ans, le haricot était cultivé par les tribus indiennes ainsi qu'au Pérou. Graduellement, la plante s'est répandue à travers l'Amérique au fil des migrations des Indiens, de sorte que par la suite les explorateurs espagnols du XVIème siècle retrouvèrent cette plante dans toute l'Amérique latine, et les colons anglais la retrouvèrent sur la côte américaine au XVIIème siècle. Les haricots et leur culture se sont répandus en Afrique, en Asie et en Europe au début du XVIIème siècle grâce aux explorateurs espagnols et portugais. En Europe, cette plante fut d'abord cultivée pour ces grains ; le haricot frais ne fut consommé qu'à partir de la fin du XIXème siècle en Italie **(Randrianarisoa, 1995)**.

Actuellement, il existe plus de 100 espèces de haricots de forme, de couleur, de saveur et de valeur nutritive diverses. Les gousses de la plupart des variétés peuvent être consommées fraîches, avant leur maturité, comme les haricots beurre verts ou jaunes. A maturité, les gousses ne sont plus comestibles ; on les écosse et les graines peuvent être utilisées fraîches ou séchées, et toujours cuites ; ce sont celles qu'on nomme légumineuses. Le haricot frais provient généralement d'espèces naines cultivées dans toutes les régions du monde, notamment en Chine, en Turquie, en Espagne, en Italie, en France, en Egypte, aux Etats-Unis, en Roumanie et au Japon. Considérations générales de l'étude des techniques agro-écologiques et la filière haricot **(Randrianarisoa, 1995)**.

Aujourd'hui, les grands producteurs de haricots secs sont l'Inde, le Brésil, la Chine, les Etats-Unis, le Mexique et l'Indonésie. L'histoire de l'introduction du haricot à Madagascar est encore inconnue. Seul le discours du Roi Andriana mpoinimerina, vers 1787, mentionne la pratique de sa culture à cette époque **(Randrianarisoa, 1995)**.



**Figure n°2 :** Répartition mondiale des zones de culture du haricot commun (**Zone hachurée**).

### 3. Classification systématique

Le haricot, *P. vulgaris* L., appartient à la tribu des Phaseolus dont le nombre chromosomique est  $2n = 22$  (Chaux et Foury, 1994).

Selon Guignard (1998), la position systématique du haricot est la suivante :

- Règne :..... Végétal.
- Embranchement :..... Spermaphytes.
- Sous embranchement :..... Angiospermes.
- Classe :.....Dicotylédones.
- Ordre :.....Fabales.
- Famille :..... Fabacées.
- Genre :.....Phaseolus.
- Espèce :.....Phaseolus vulgarisL.

### 4. Caractéristiques de la plante

#### 4.1. Racines

Le système racinaire est pivotant et profond, est peut descendre jusqu'à 1,20m. On trouve le plus grand nombre de racines entre 0,20 m et 0,25 m de profondeur, sur un diamètre de 0,50 m autour de la tige. Des nodosités peuvent se former sur les radicelles, mais on ne peut pas considérer

le haricot comme une plante enrichissant du sol en azote car il demeure trop peu de temps en terre (**Barreto, 1983**).

#### 4.2.Tiges

Elles sont plus ou moins longues suivant les variétés. Les grandes tiges peuvent atteindre 2 à 3 m de long, c'est le "haricot à rames". Les tiges courtes ne dépassent guère 30 à 40 cm de longueur et le haricot ayant de telles tiges est appelé "haricot nain" (**Dupont et Guignard, 1989**).

#### 4.3.Feuilles

Les premières feuilles, au nombre de deux, sont simples. Les suivantes sont formées de trois folioles ovales, vertes, de 10 à 12 cm de long environ, terminées chacune par une pointe (**Bell, 1994**). Elles possèdent des nervures bien visibles.

Ces folioles s'insèrent sur un pétiole commun de 12 cm de long environ, par l'intermédiaire de pétiolules de 3 à 4 mm de long. A la base de ces pétiolules, on trouve deux stipelles très courtes. A la base du pétiole, on distingue une petite gaine et deux stipules de forme ovale ayant 4 mm de long environ (**Goust et Seignobos, 1998**).

#### 4.4.Inflorescences

Ce sont des grappes de 5 à 15 fleurs portées par un pédoncule de 5 à 8 cm de long qui prend naissance à l'aisselle des feuilles. Ces fleurs s'insèrent par 1,2 ou 3 à la fois, par l'intermédiaire de pédicelles de 10 à 15 mm de long, sur le pédoncule floral (**Phillips et al., 1994**).

#### 4.5.Fleurs

Selon **Bell (1994)** les fleurs sont du type papilionacé, et comprennent : 5 sépales, 2 pétales, 9 étamines soudées par leur base et une étamine libre, un ovaire, une loge renfermant 4 à 8 ovules, surmonté par un style portant un stigmate (**Prevost, 1999**). Le taux de fécondation croisée varie avec l'importance de l'activité des insectes compris entre 2 et 80%. La fécondation s'effectue surtout la nuit. Chaque fleur a 2 cm de long environ et de couleur très variée, blanche, rose, rouge, violette, jaunâtre ou même bicolore (**Bell, 1994**).

#### 4.6.Fruits

Ce sont des gousses allongées, généralement droites, plus ou moins longues et terminées par une pointe. Leur largeur varie de 8 à 25 mm. Elles renferment en moyenne 4 à 8 graines (**Tirilly et Bourgeois, 1999**). Dans les parois de la gousse, appelée cosse, les faisceaux libéro-ligneux sont plus ou moins développés. S'ils sont très développés, on les appelle les fils, et les gousses sont



alors impropres à la consommation en vert. Les cosses représentent 40 à 45% du poids des gousses. Les jeunes gousses sont vertes mais leur couleur va se modifier au cours de la maturation (**Goust et Seignobos, 1998**).

#### 4.7. Graines

Elles sont soit sphériques, soit cylindriques selon les variétés, et sont très diversement colorées, en blanc, vert, rouge, violet, noir, bruns ou même bicolores ou tachetés. Elles sont plus ou moins grosses selon les variétés (**Peron, 2006**). La faculté germinative dure de 3 à 5 ans (**Monnet et al., 1999**).

### 5. Cycle de développement du haricot

#### 5.1. Phase de germination

Les graines lèvent en 4 à 8 jours suivant la température. Elles doivent toutes être sorties de terre au bout de 8 jours. Les cotylédons sortis du sol, se sont ouverts et la première paire de feuilles apparaît (**Hubert, 1978**).

#### 5.2. Phase de croissance

Trois à quatre jours après la levée, les cotylédons commencent à se faner (**Pitrat et Foury, 2003**), après cinq à six jours de la levée apparaît la première feuille trifoliolée. Ensuite après cinq à six jours de l'apparition de la première feuille trifoliolée apparaît la deuxième, Au bout d'un mois, le pied de haricot possède une dizaine de feuilles trifoliolées et il a atteint sa hauteur définitive de 30 à 40 cm pour les variétés naines (**Dupont et Guignard, 1989**).

#### 5.3. Phase de floraison

La phase de floraison débute 3 semaines à 1 mois environ après le semis. Elle dure 1 mois à 1 mois et demi suivant les conditions climatiques. La jeune gousse met une douzaine de jours environ pour atteindre sa taille définitive (**Lecomte, 1997**).

#### 5.4. Phase de maturation

Une fois la taille définitive atteinte, les graines se forment en 15-20 jours. Il faut attendre encore 20 à 30 jours pour que les gousses s'ouvrent d'elles-mêmes, les graines étant mûres. Le cycle végétatif complet du haricot varie entre 75 et 130 jours (**Lecomte, 1997**).

### 6. Classification variétale

Les travaux d'amélioration et de création variétale exploitent la variabilité intra et interspécifique (**Chaux et Foury, 1994**).

A l'intérieur de l'espèce, la variabilité génétique est extrêmement importante et se révèle par l'autogamie. Elle caractérise le port des plantes, la forme, les couleurs des fleurs, des graines, des gousses et bien d'autres traits morphologiques ou physiologiques. Les croisements interspécifiques avec les autres espèces sont difficiles à réaliser et n'ont été que peu utilisés en sélection (**Gallais et Bennfort, 1992**).

### 7. Valeur alimentaire

La culture des légumineuses vivrières, source de protéines végétales, a été reconnue comme étant l'une des meilleures et des moins coûteuses des solutions pour l'alimentation des populations des pays en voie de développement.

En effet, les protéines végétales coûtent deux fois moins chères que les protéines animales.

Les haricots secs ont une teneur en protéine élevée et sont une excellente source de fibres solubles et insolubles, de glucides complexes, de vitamines (B9) et de minéraux en particulier le potassium, le phosphore, le calcium, le magnésium, le cuivre, le fer et le zinc (**Gordon et al., 2004**).

### 8. Intérêt agronomique

La fertilisation, fondée sur le principe « nourrir le sol pour nourrir la plante », repose sur la fumure organique en utilisant le fumier, les déchets organiques divers le plus souvent compostés et les engrais verts (plantes cultivées puis enfouies dans le sol). Les cultures de Légumineuses (plantes capables de fixer l'azote de l'air) permettent d'enrichir le sol en azote. Le haricot fait partie du groupe des cultures capables de fixer et d'utiliser l'azote atmosphérique grâce au *Rhizobium* situé dans les nodosités (**Balon et Kimon, 1985 ; Doucet, 1992 et Roland, 2002**).

Les éléments nutritifs sont rendus disponibles pour les plantes par la minéralisation des matières organiques dans le sol, ce qui explique l'importance accordée par les cultures de légumineuses à la vie biologique dans les sols (micro-organismes, vers de terre, racines).

Dans les sols très pauvres en azote, telles que les zones tropicales, les Légumineuses peuvent être efficaces comme alternative à la fertilisation notamment dans les pays en voie de développement (**Roland, 2002**).

### 9. Aspect économique

*Phaseolus vulgaris* est une Légumineuse alimentaire fondamentale dans de nombreux pays d'Afrique. Il s'agit, pour les familles de cette région, d'une source importante de protéines, de fer, de zinc et de fibres. En tant que Légumineuse, sa culture améliore la fertilité des sols, ainsi que

l'approvisionnement alimentaire et les revenus des ménages. Les agriculteurs l'apprécient particulièrement car elle pousse vite et peut facilement s'associer à d'autres cultures. Le haricot représente une source de revenus importante pour des millions de personnes notamment dans les milieux ruraux. Il constitue la principale Légumineuse alimentaire de plus de 300 millions de personnes en Amérique latine, en Afrique centrale et en Afrique de l'Est (**Silue et al., 2010**).

Durant la période allant de 1994 à 2004 la production mondiale de haricot sec a connu des fluctuations mais la tendance est légèrement à la hausse. Pendant cette période, la production a varié d'un plancher de 15,5 millions de tonnes à un sommet de 18,9 millions de tonnes (**FAO, 2004 in Kassemi, 2006**).

D'après le ministère de l'agriculture et du développement rural (MADR), l'Algérie a mis en œuvre, un plan d'action visant l'augmentation de la production agricole et ceci par l'intensification de la culture des céréales et des Légumineuses. La production moyenne pour l'Algérie a été estimée à 0,72 t/ha avec une surface totale d'environ 1616 hectares en 2009.

## 10. Exigences du haricot

### 10.1. Exigences climatiques

#### 10.1.1. Besoins en chaleur

La germination est comprise entre 10 et 40°C, mais elle est optimum entre 15 et 30°C. Cette plante est sensible au froid, gèlent à 0°C et la croissance s'arrête vers 5°C. Ce sont des plantes tolérantes en ce qui concerne les températures et peuvent être cultivées en saison chaude ou saison froide à condition d'avoir suffisamment d'eau dans le sol (**Goust et Seignobos, 1998**).

#### 10.1.2. Besoins en eau

Le haricot demande 300 à 400 mm d'eau pendant la durée de sa végétation. Ces pluies doivent être régulières, non violentes et bien réparties. L'excès d'humidité nuit à la plante chloroses généralisées, apparition de maladies cryptogamiques ou coulure des fleurs. Un manque d'eau accompagné d'un excès de chaleur provoque le flétrissement des fleurs et leur couleur (**Goust et Seignobos, 1998**).

#### 10.1.3. Besoins en lumière

Le haricot est une plante de lumière. Lorsque le haricot est Cultivé à l'ombre, il s'allonge beaucoup et ne donne pratiquement aucune récolte (**Tirilly et Bourgeois, 1999**).

#### 10.1.4. Besoins en altitude

D'après **Guillaume, (2004)**, le haricot est indifférent à l'altitude, il pousse aussi bien sur les Hauts-Plateaux qu'au niveau de la mer. A Madagascar, on trouve le haricot surtout sur les hauts-plateaux et sur la côte sud-ouest, le haricot supporte très mal les pluies au cours de végétation. Son cycle court et sa relative tolérance aux déficits hydriques permettent d'envisager sa culture en premières pluies (Avril) et sa récolte en (Juillet).

Selon **Adams et al., (1985)**, dans les zones tropicales de basses altitudes, le haricot commun se développe à une température comprise entre 18°C et 20°C. La température du sol pour la germination doit être supérieure à 15°C. La plante est sensible à des températures supérieures à 30°C surtout pendant la floraison mais aussi au froid. Les fleurs sont affectées à 5°C. Les précipitations totales doivent être comprises entre 400-500 mm pendant le cycle de croissance. Les cultivars insensibles à la photopériode sont ceux originaire des latitudes extrêmes et d'habitus de croissance du type I et II. Cependant, il existe des cultivars spécifiquement adaptés aux températures aussi basses que 13°C, mais ils sont tous sensibles à la photopériode et beaucoup d'entre-deux sont des variétés grimpantes. D'autres sont spécifiques aux régions chaudes (**Adams et al., 1985**)

#### 10.2. Exigences édaphiques

Le haricot préfère les terres légères et saines. Dans les terres compactes, la levée est difficile tandis que dans les terres battantes, les graines pourrissent dans le sol. Choisir de préférence des limons ou des sols silico-argileux. Dans les sols calcaires, on obtient des graines de haricot qui cuisent mal. Dans les terres riches en argile, on conseille de semer le haricot sur des billons pour améliorer le drainage du sol. Le haricot est très tolérant en ce qui concerne le pH (6 à 7,5) mais préfère les sols légèrement acides (6,5) (**Howeler, 1980**).

Les travaux de **Mas (1983)** suggèrent que la culture peut se développer sur plusieurs types de sol. Un sol aère avec un bon drainage est mieux pour une fixation optimale d'azote par les nodules des racines.

### 11. Culture du haricot

La culture du haricot pose moins de problèmes liés aux restrictions environnementales que la culture du riz dont l'essentiel du système de culture repose sur la défriche brûlis, sur des parcelles étendues et au sol fertile. La production du haricot demande tout d'abord moins d'espace car elle contribue dans une moindre mesure à la satisfaction des besoins alimentaires des familles. De plus, les critères de choix de la parcelle sont moins stricts en ce qui concerne la qualité du sol

et l'humidité. Aussi, il est plus commun de trouver des champs de haricot en plaine, même si la population préfère trouver des parcelles bénéficiant de friches pins longues, situées sur des versants peu élevés (**Peron, 2006**).

Le cycle du haricot est de 90 à 100 jours. La culture peut être bisannuelle, avec des semis en mars et en août et des récoltes en juin et en novembre. Cependant, plus de la moitié des agriculteurs réalisent une seule culture par an et privilégie celle qui va d'août à novembre car elle est plus productive (**Monnet et al., 1999**).

## 12. Maladies et Accidents physiologiques

### 12.1. Maladies et ennemies

- ✓ **Fonte de semis** : elle est due à des champignons microscopiques (Botrytis, Pythium, Fusarium). Traitement : Cuprosan 30g/10 L d'eau.
- ✓ **Flétrissement bactérien** : il est dû à des bactéries qui provoquent le flétrissement soudain de toute la plante anthracnose, due à un champignon qui cause sur les feuilles et surtout sur les gousses des taches grisâtres à contours rougeâtres.
- ✓ **Alternariose**, elle est due à un champignon qui provoque des taches brunes sur les feuilles et les gousses pourriture molle des tiges : due à un champignon qui fait pourrir les tiges.
- ✓ **Rouille** : elle est due à un champignon qui provoque des taches pulvérulentes brunes sur les feuilles et même les gousses. Traitement : Mancozèbe 20 à 25g/10 L d'eau ou Benlate.
- ✓ **Maladies à selérose**: elles sont dues à un champignon qui provoque l'apparition de protubérances sur le système racinaire puis la pourriture de ce dernier.
- ✓ **Maladies mineures** : on peut citer la cercosporiose, la graisse des gousses, ... (**Santalla et al., 1998**).

### 12.2. Accidents physiologiques

Elles sont dues à un excès ou manque d'eau dans le sol, à une trop forte concentration du sol en chlorure de sodium et à un manque d'oligo-éléments dans le sol. Ces accidents se traduisent par un arrêt de croissance et un jaunissement complet de la plante qui finit par mourir (**Ortega et al., 2004**).

## 1. Définition

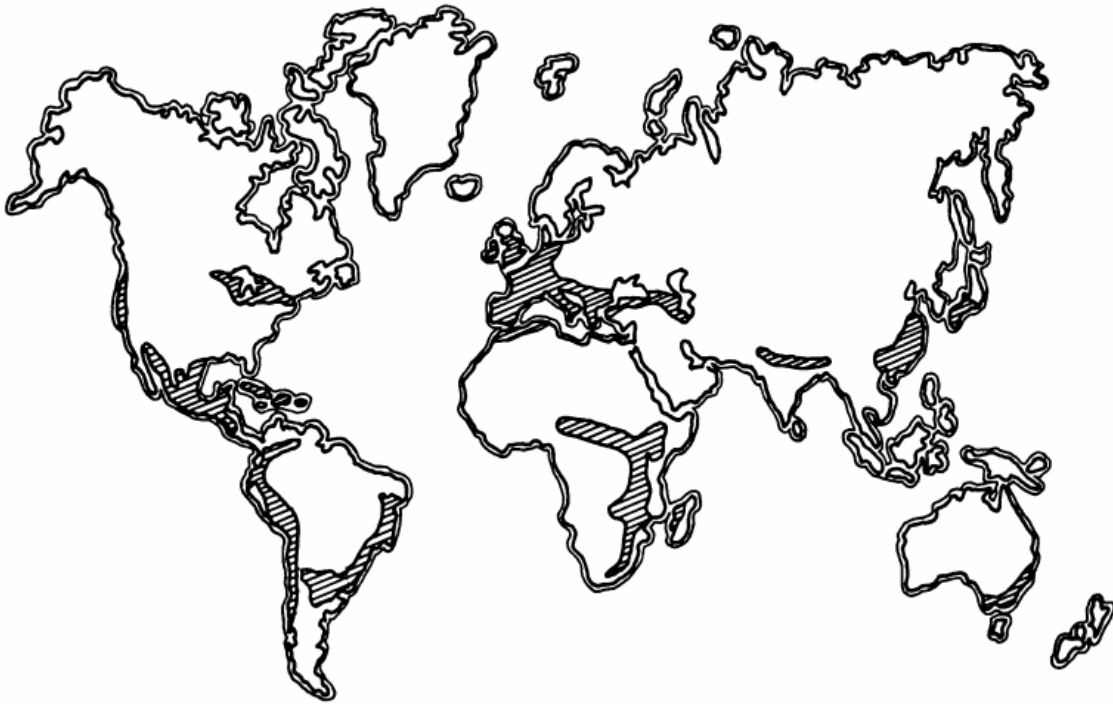
Le haricot commun «*Phaseolus vulgaris L.*» appartient à la famille des Légumineuses. Le haricot commun est largement cultivé et représente l'une des composantes les plus importantes de l'alimentation en Amérique latine et en Afrique, du fait de sa teneur élevée en protéines et en micronutriments tels que le fer et l'acide folique. Il constitue l'une des cultures les plus importantes sur le plan économique en Amérique latine et procure une source de revenu aux petits fermiers **(Pachico 1989)**.

## 2. Origine et répartition géographique

Le haricot est un fruit d'une plante originaire d'Amérique centrale et d'Amérique du Sud. Le mot « haricot » désigne à la fois le fruit, la graine, la plante qui les produit. Il y a environ 7000 ans, le haricot était cultivé par les tribus indiennes ainsi qu'au Pérou. Graduellement, la plante s'est répandue à travers l'Amérique au fil des migrations des Indiens, de sorte que par la suite les explorateurs espagnols du XVIème siècle retrouvèrent cette plante dans toute l'Amérique latine, et les colons anglais la retrouvèrent sur la côte américaine au XVIIème siècle. Les haricots et leur culture se sont répandus en Afrique, en Asie et en Europe au début du XVIIème siècle grâce aux explorateurs espagnols et portugais. En Europe, cette plante fut d'abord cultivée pour ces grains ; le haricot frais ne fut consommé qu'à partir de la fin du XIXème siècle en Italie **(Randrianarisoa, 1995)**.

Actuellement, il existe plus de 100 espèces de haricots de forme, de couleur, de saveur et de valeur nutritive diverses. Les gousses de la plupart des variétés peuvent être consommées fraîches, avant leur maturité, comme les haricots beurre verts ou jaunes. A maturité, les gousses ne sont plus comestibles ; on les écosse et les graines peuvent être utilisées fraîches ou séchées, et toujours cuites ; ce sont celles qu'on nomme légumineuses. Le haricot frais provient généralement d'espèces naines cultivées dans toutes les régions du monde, notamment en Chine, en Turquie, en Espagne, en Italie, en France, en Egypte, aux Etats-Unis, en Roumanie et au Japon. Considérations générales de l'étude des techniques agro-écologiques et la filière haricot **(Randrianarisoa, 1995)**.

Aujourd'hui, les grands producteurs de haricots secs sont l'Inde, le Brésil, la Chine, les Etats-Unis, le Mexique et l'Indonésie. L'histoire de l'introduction du haricot à Madagascar est encore inconnue. Seul le discours du Roi Andriana mpoinimerina, vers 1787, mentionne la pratique de sa culture à cette époque **(Randrianarisoa, 1995)**.



**Figure n°2 :** Répartition mondiale des zones de culture du haricot commun (**Zone hachurée**).

### 3. Classification systématique

Le haricot, *P. vulgaris* L., appartient à la tribu des Phaseolus dont le nombre chromosomique est  $2n = 22$  (Chaux et Foury, 1994).

Selon Guignard (1998), la position systématique du haricot est la suivante :

- Règne :..... Végétal.
- Embranchement :..... Spermaphytes.
- Sous embranchement :..... Angiospermes.
- Classe :.....Dicotylédones.
- Ordre :.....Fabales.
- Famille :..... Fabacées.
- Genre :.....Phaseolus.
- Espèce :.....Phaseolus vulgarisL.

### 4. Caractéristiques de la plante

#### 4.1. Racines

Le système racinaire est pivotant et profond, est peut descendre jusqu'à 1,20m. On trouve le plus grand nombre de racines entre 0,20 m et 0,25 m de profondeur, sur un diamètre de 0,50 m autour de la tige. Des nodosités peuvent se former sur les radicelles, mais on ne peut pas considérer

le haricot comme une plante enrichissant du sol en azote car il demeure trop peu de temps en terre **(Barreto, 1983)**.

#### 4.2.Tiges

Elles sont plus ou moins longues suivant les variétés. Les grandes tiges peuvent atteindre 2 à 3 m de long, c'est le "haricot à rames". Les tiges courtes ne dépassent guère 30 à 40 cm de longueur et le haricot ayant de telles tiges est appelé "haricot nain" **(Dupont et Guignard, 1989)**.

#### 4.3.Feuilles

Les premières feuilles, au nombre de deux, sont simples. Les suivantes sont formées de trois folioles ovales, vertes, de 10 à 12 cm de long environ, terminées chacune par une pointe **(Bell, 1994)**. Elles possèdent des nervures bien visibles.

Ces folioles s'insèrent sur un pétiole commun de 12 cm de long environ, par l'intermédiaire de pétiolules de 3 à 4 mm de long. A la base de ces pétiolules, on trouve deux stipelles très courtes. A la base du pétiole, on distingue une petite gaine et deux stipules de forme ovale ayant 4 mm de long environ **(Goust et Seignobos, 1998)**.

#### 4.4.Inflorescences

Ce sont des grappes de 5 à 15 fleurs portées par un pédoncule de 5 à 8 cm de long qui prend naissance à l'aisselle des feuilles. Ces fleurs s'insèrent par 1,2 ou 3 à la fois, par l'intermédiaire de pédicelles de 10 à 15 mm de long, sur le pédoncule floral **(Phillips et al., 1994)**.

#### 4.5.Fleurs

Selon **Bell (1994)** les fleurs sont du type papilionacé, et comprennent : 5 sépales, 2 pétales, 9 étamines soudées par leur base et une étamine libre, un ovaire, une loge renfermant 4 à 8 ovules, surmonté par un style portant un stigmate **(Prevost, 1999)**. Le taux de fécondation croisée varie avec l'importance de l'activité des insectes compris entre 2 et 80%. La fécondation s'effectue surtout la nuit. Chaque fleur a 2 cm de long environ et de couleur très variée, blanche, rose, rouge, violette, jaunâtre ou même bicolore **(Bell, 1994)**.

#### 4.6.Fruits

Ce sont des gousses allongées, généralement droites, plus ou moins longues et terminées par une pointe. Leur largeur varie de 8 à 25 mm. Elles renferment en moyenne 4 à 8 graines **(Tirilly et Bourgeois, 1999)**. Dans les parois de la gousse, appelée cosse, les faisceaux libéro-ligneux sont plus ou moins développés. S'ils sont très développés, on les appelle les fils, et les gousses sont



alors impropres à la consommation en vert. Les cosses représentent 40 à 45% du poids des gousses. Les jeunes gousses sont vertes mais leur couleur va se modifier au cours de la maturation (**Goust et Seignobos, 1998**).

#### 4.7. Graines

Elles sont soit sphériques, soit cylindriques selon les variétés, et sont très diversement colorées, en blanc, vert, rouge, violet, noir, bruns ou même bicolores ou tachetés. Elles sont plus ou moins grosses selon les variétés (**Peron, 2006**). La faculté germinative dure de 3 à 5 ans (**Monnet et al., 1999**).

### 5. Cycle de développement du haricot

#### 5.1. Phase de germination

Les graines lèvent en 4 à 8 jours suivant la température. Elles doivent toutes être sorties de terre au bout de 8 jours. Les cotylédons sortis du sol, se sont ouverts et la première paire de feuilles apparaît (**Hubert, 1978**).

#### 5.2. Phase de croissance

Trois à quatre jours après la levée, les cotylédons commencent à se faner (**Pitrat et Foury, 2003**), après cinq à six jours de la levée apparaît la première feuille trifoliolée. Ensuite après cinq à six jours de l'apparition de la première feuille trifoliolée apparaît la deuxième, Au bout d'un mois, le pied de haricot possède une dizaine de feuilles trifoliolées et il a atteint sa hauteur définitive de 30 à 40 cm pour les variétés naines (**Dupont et Guignard, 1989**).

#### 5.3. Phase de floraison

La phase de floraison débute 3 semaines à 1 mois environ après le semis. Elle dure 1 mois à 1 mois et demi suivant les conditions climatiques. La jeune gousse met une douzaine de jours environ pour atteindre sa taille définitive (**Lecomte, 1997**).

#### 5.4. Phase de maturation

Une fois la taille définitive atteinte, les graines se forment en 15-20 jours. Il faut attendre encore 20 à 30 jours pour que les gousses s'ouvrent d'elles-mêmes, les graines étant mûres. Le cycle végétatif complet du haricot varie entre 75 et 130 jours (**Lecomte, 1997**).

### 6. Classification variétale

Les travaux d'amélioration et de création variétale exploitent la variabilité intra et interspécifique (**Chaux et Foury, 1994**).

A l'intérieur de l'espèce, la variabilité génétique est extrêmement importante et se révèle par l'autogamie. Elle caractérise le port des plantes, la forme, les couleurs des fleurs, des graines, des gousses et bien d'autres traits morphologiques ou physiologiques. Les croisements interspécifiques avec les autres espèces sont difficiles à réaliser et n'ont été que peu utilisés en sélection (**Gallais et Bennfort, 1992**).

### 7. Valeur alimentaire

La culture des légumineuses vivrières, source de protéines végétales, a été reconnue comme étant l'une des meilleures et des moins coûteuses des solutions pour l'alimentation des populations des pays en voie de développement.

En effet, les protéines végétales coûtent deux fois moins chères que les protéines animales.

Les haricots secs ont une teneur en protéine élevée et sont une excellente source de fibres solubles et insolubles, de glucides complexes, de vitamines (B9) et de minéraux en particulier le potassium, le phosphore, le calcium, le magnésium, le cuivre, le fer et le zinc (**Gordon et al., 2004**).

### 8. Intérêt agronomique

La fertilisation, fondée sur le principe « nourrir le sol pour nourrir la plante », repose sur la fumure organique en utilisant le fumier, les déchets organiques divers le plus souvent compostés et les engrais verts (plantes cultivées puis enfouies dans le sol). Les cultures de Légumineuses (plantes capables de fixer l'azote de l'air) permettent d'enrichir le sol en azote. Le haricot fait partie du groupe des cultures capables de fixer et d'utiliser l'azote atmosphérique grâce au Rhizobium situé dans les nodosités (**Balon et Kimon, 1985 ; Doucet, 1992 et Roland, 2002**).

Les éléments nutritifs sont rendus disponibles pour les plantes par la minéralisation des matières organiques dans le sol, ce qui explique l'importance accordée par les cultures de légumineuses à la vie biologique dans les sols (micro-organismes, vers de terre, racines).

Dans les sols très pauvres en azote, telles que les zones tropicales, les Légumineuses peuvent être efficaces comme alternative à la fertilisation notamment dans les pays en voie de développement (**Roland, 2002**).

### 9. Aspect économique

*Phaseolus vulgaris* est une Légumineuse alimentaire fondamentale dans de nombreux pays d'Afrique. Il s'agit, pour les familles de cette région, d'une source importante de protéines, de fer, de zinc et de fibres. En tant que Légumineuse, sa culture améliore la fertilité des sols, ainsi que

l'approvisionnement alimentaire et les revenus des ménages. Les agriculteurs l'apprécient particulièrement car elle pousse vite et peut facilement s'associer à d'autres cultures. Le haricot représente une source de revenus importante pour des millions de personnes notamment dans les milieux ruraux. Il constitue la principale Légumineuse alimentaire de plus de 300 millions de personnes en Amérique latine, en Afrique centrale et en Afrique de l'Est (**Silue et al., 2010**).

Durant la période allant de 1994 à 2004 la production mondiale de haricot sec a connu des fluctuations mais la tendance est légèrement à la hausse. Pendant cette période, la production a varié d'un plancher de 15,5 millions de tonnes à un sommet de 18,9 millions de tonnes (**FAO, 2004 in Kassemi, 2006**).

D'après le ministère de l'agriculture et du développement rural (MADR), l'Algérie a mis en œuvre, un plan d'action visant l'augmentation de la production agricole et ceci par l'intensification de la culture des céréales et des Légumineuses. La production moyenne pour l'Algérie a été estimée à 0,72 t/ha avec une surface totale d'environ 1616 hectares en 2009.

## 10. Exigences du haricot

### 10.1. Exigences climatiques

#### 10.1.1. Besoins en chaleur

La germination est comprise entre 10 et 40°C, mais elle est optimum entre 15 et 30°C. Cette plante est sensible au froid, gèlent à 0°C et la croissance s'arrête vers 5°C. Ce sont des plantes tolérantes en ce qui concerne les températures et peuvent être cultivées en saison chaude ou saison froide à condition d'avoir suffisamment d'eau dans le sol (**Goust et Seignobos, 1998**).

#### 10.1.2. Besoins en eau

Le haricot demande 300 à 400 mm d'eau pendant la durée de sa végétation. Ces pluies doivent être régulières, non violentes et bien réparties. L'excès d'humidité nuit à la plante chloroses généralisées, apparition de maladies cryptogamiques ou coulure des fleurs. Un manque d'eau accompagné d'un excès de chaleur provoque le flétrissement des fleurs et leur couleur (**Goust et Seignobos, 1998**).

#### 10.1.3. Besoins en lumière

Le haricot est une plante de lumière. Lorsque le haricot est Cultivé à l'ombre, il s'allonge beaucoup et ne donne pratiquement aucune récolte (**Tirilly et Bourgeois, 1999**).

#### 10.1.4. Besoins en altitude

D'après **Guillaume, (2004)**, le haricot est indifférent à l'altitude, il pousse aussi bien sur les Hauts-Plateaux qu'au niveau de la mer. A Madagascar, on trouve le haricot surtout sur les hauts-plateaux et sur la côte sud-ouest, le haricot supporte très mal les pluies au cours de végétation. Son cycle court et sa relative tolérance aux déficits hydriques permettent d'envisager sa culture en premières pluies (Avril) et sa récolte en (Juillet).

Selon **Adams et al., (1985)**, dans les zones tropicales de basses altitudes, le haricot commun se développe à une température comprise entre 18°C et 20°C. La température du sol pour la germination doit être supérieure à 15°C. La plante est sensible à des températures supérieures à 30°C surtout pendant la floraison mais aussi au froid. Les fleurs sont affectées à 5°C. Les précipitations totales doivent être comprises entre 400-500 mm pendant le cycle de croissance. Les cultivars insensibles à la photopériode sont ceux originaire des latitudes extrêmes et d'habitus de croissance du type I et II. Cependant, il existe des cultivars spécifiquement adaptés aux températures aussi basses que 13°C, mais ils sont tous sensibles à la photopériode et beaucoup d'entre-deux sont des variétés grimpantes. D'autres sont spécifiques aux régions chaudes (**Adams et al., 1985**)

### 10.2. Exigences édaphiques

#### 10.2.1. Besoins en sols

Le haricot préfère les terres légères et saines. Dans les terres compactes, la levée est difficile tandis que dans les terres battantes, les graines pourrissent dans le sol. Choisir de préférence des limons ou des sols silico-argileux. Dans les sols calcaires, on obtient des graines de haricot qui cuisent mal. Dans les terres riches en argile, on conseille de semer le haricot sur des billons pour améliorer le drainage du sol. Le haricot est très tolérant en ce qui concerne le pH (6 à 7,5) mais préfère les sols légèrement acides (6,5) (**Howeler, 1980**).

Les travaux de **Mas (1983)** suggèrent que la culture peut se développer sur plusieurs types de sol. Un sol aère avec un bon drainage est mieux pour une fixation optimale d'azote par les nodules des racines.

## 11. Culture du haricot

La culture du haricot pose moins de problèmes liés aux restrictions environnementales que la culture du riz dont l'essentiel du système de culture repose sur la défriche brûlis, sur des parcelles étendues et au sol fertile. La production du haricot demande tout d'abord moins d'espace car elle contribue dans une moindre mesure à la satisfaction des besoins alimentaires des familles. De plus, les critères de choix de la parcelle sont moins stricts en ce qui concerne la qualité du sol

et l'humidité. Aussi, il est plus commun de trouver des champs de haricot en plaine, même si la population préfère trouver des parcelles bénéficiant de friches pins longues, situées sur des versants peu élevés (Peron, 2006).

Le cycle du haricot est de 90 à 100 jours. La culture peut être bisannuelle, avec des semis en mars et en août et des récoltes en juin et en novembre. Cependant, plus de la moitié des agriculteurs réalisent une seule culture par an et privilégie celle qui va d'août à novembre car elle est plus productive (Monnet et al., 1999).

## 12. Maladies et Accidents physiologiques

### 12.1. Maladies et ennemies

- ✓ **Fonte de semis** : elle est due à des champignons microscopiques (Botrytis, Pythium, Fusarium). Traitement : Cuprosan 30g/10 L d'eau.
- ✓ **Flétrissement bactérien** : il est dû à des bactéries qui provoquent le flétrissement soudain de toute la plante anthracnose, due à un champignon qui cause sur les feuilles et surtout sur les gousses des taches grisâtres à contours rougeâtres.
- ✓ **Alternariose**, elle est due à un champignon qui provoque des taches brunes sur les feuilles et les gousses pourriture molle des tiges : due à un champignon qui fait pourrir les tiges.
- ✓ **Rouille** : elle est due à un champignon qui provoque des taches pulvérulentes brunes sur les feuilles et même les gousses. Traitement : Mancozèbe 20 à 25g/10 L d'eau ou Benlate.
- ✓ **Maladies à selérose**: elles sont dues à un champignon qui provoque l'apparition de protubérances sur le système racinaire puis la pourriture de ce dernier.
- ✓ **Maladies mineures** : on peut citer la cercosporiose, la graisse des gousses, ... (Santalla et al., 1998).

### 12.2. Accidents physiologiques

Elles sont dues à un excès ou manque d'eau dans le sol, à une trop forte concentration du sol en chlorure de sodium et à un manque d'oligo-éléments dans le sol. Ces accidents se traduisent par un arrêt de croissance et un jaunissement complet de la plante qui finit par mourir (Ortega et al., 2004).

*Chapitre III :*  
*Stress salin*

## 1. Définition Et historique du stress

Le mot stress est apparu autour de 1940. Il s'agissait d'un mot anglais, employé en mécanique et en physique, qui voulait dire « force, poids, tension, charge ou effort ». Ce n'est qu'en 1963 que Hans Selye utilise ce mot en médecine, où il définit « des tensions faibles ou fortes, éprouvées depuis toujours, et déclenchées par des événements futurs désagréables ou agréables ».

En 1980 Levitt, définit le stress comme une contrainte qui peut se résumer à une ou plusieurs forces de déformation appliquées à un corps. Cette contrainte modifie les dimensions et la forme du corps exposé traduisant sa tension intérieure.

La définition physiologique du stress peut-être simplement considérée comme un ensemble de conditions engendrant des changements aberrant dans le processus physiologique qui se résulte finalement par des lésions (**Erik et Orcutt, 1996**).

## 2. Types de stress :

Il existe deux types de stress

### 2.1. Stress biotique

Est un stress résultant de l'action néfaste d'un organisme vivant sur un autre organisme vivant

### 2.2. Stress abiotique

Les stress abiotiques sont responsables d'une perte de rendement estimé à 50% pour les cultures les plus répandues (**Bray et al., 2000 in Vincent, 2006**). Ils constituent donc des facteurs limitants non négligeables. Ces stress se traduisent par des changements morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui affectent négativement la croissance de la plante et sa productivité (**Ben Naceur et al., 1994, 1997, 1998, 2001 ; Semmadi et Rahmoune, 1995 ; Wang et al., 2001**).

Il est admis que les plantes subissent, comme tous les êtres vivants, l'action de divers stress. La baisse de croissance et de rendement due à ces facteurs peut atteindre 50%. Les stress communément rencontrés sont, l'action des températures extrêmes (DUBOIS, 1991), des régimes hydriques et des concentrations salines (**Levitt, 1980**).

#### 2.2.1. Stress Hydrique

En biologie, et notamment en botanique, le stress hydrique, ou osmotique, correspond à une évapotranspiration qui n'est pas compensée par des apports d'eau douce. Les stress hydriques, surtout chez les plantes, interviennent essentiellement durant les sécheresses, par exemple par un

arrosage ou une irrigation insuffisants en jardinage et culture, ou (le cas est plus rare) une salinisation du milieu. Le froid, avec le gel, peut aussi créer un stress hydrique pour les végétaux.

En botanique, parmi les plantes adaptées au manque d'eau, les sclérophytes, malacophytes, éphémérophytes... disposent de stratégies pour éviter de perdre trop d'eau en son absence. Certaines ont des racines qui plongent profondément dans le sol, jusqu'à 100 mètres de profondeur, pour continuer à s'approvisionner du précieux liquide. Certains autres végétaux favorisent une chute des feuilles prématurée, avec une abscission : la perte totale des feuilles est une abscission foliaire. Les plantes succulentes, incluant les cactus, sont particulièrement bien adaptées à la rareté de l'eau. Le déficit hydrique s'installe dans la plante quand l'absorption ne peut satisfaire la demande de la transpiration (**Gate, 1995**). Selon **Acevedo (1991); Blum (1996)**, il est lié à la réduction d'humidité du sol et à l'augmentation de la demande évaporative. Le déficit hydrique se traduit rapidement par une réduction de la croissance de la plante (**KRAMER, 1980**). L'effet dépressif du déficit hydrique sur la plupart des processus physiologiques et métaboliques se répercute sur le rendement en grains et ses composantes (**Rekika, 1997**). Le stress hydrique se traduit chez la plante par une série de modifications qui touchent les caractères morphologiques, physiologiques et biochimiques, à partir du moment où les besoins en eau de la plante sont supérieurs aux quantités disponibles (**Mefiti et al., 2000**).

### 2.2.2. Stress Thermique

#### Effet du froid sur les plantes

Dans nos régions, les plantes sont soumises, occasionnellement, ou régulièrement de façon saisonnière, à des températures basses. Les plantes qui ne résistent pas au gel meurent dès que la glace se forme dans leurs tissus. C'est le cas du concombre et du haricot qui ne peuvent pas survivre aux premières gelées de l'automne. Le seigle, au contraire, est une plante qui résiste bien au gel sévère (**Guy, 2003**). L'effet du froid s'exprime notamment sur les membranes biologiques constituées de lipides (**Murata et Los, 1997**). Ces derniers forment une bicouche composée d'acides gras insolubles. Une baisse de température diminue la fluidité des lipides et par conséquent celle des membranes. Une augmentation de la rigidité de cette dernière peut freiner le transfert d'électrons (**Berry et Bjorkman, 1980 ; Labate et al., 1990 ; Yamori et al., 2005**).

#### Effet des hautes températures sur les plantes

L'assimilation photosynthétique du CO<sub>2</sub> chez les plantes supérieures s'annule généralement lorsque la température atteint 45 à 50°C. Cependant dans la plupart des cas, il est difficile d'obtenir une valeur stationnaire de l'assimilation photosynthétique à partir de 40°C, ce qui provoque une dégradation progressive des processus liés à la photosynthèse (**Sharkey et Loreto, 1993**).



### ● Effet des hautes températures sur la synthèse de chlorophylle

L'effet de la chaleur sur ce processus a été étudié en examinant le verdissement de plantules étiolées à différentes températures. Il est vite apparu que la synthèse des chlorophylles était inhibée par la chaleur. Ainsi la synthèse de chlorophylle totale (a et b) est inhibée de 70% environ chez des plantules étiolées de concombre mises à la lumière dans une chambre de culture à 42°C (Tewari et Tripathy, 1998).

#### 2.2.3. Stress Salin

Le stress salin est un excès d'ions, en particulier, mais pas exclusivement, aux ions Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> (Hopkins, 2003). Le stress salin est dû à la présence de quantités importantes de sels de potentiels hydriques. Il réduit fortement la disponibilité de l'eau pour les plantes, on parle alors de milieu "physiologiquement sec (Trembun, 2000).

La quantité de sels dans le sol que les plantes peuvent supporter sans grand dommage pour leur culture, varie avec les familles, les genres et les espèces, mais aussi les variétés considérées (Levigneron et al., 1995). Toutes les plantes ne sont pas égales face au stress salin, suivant leur production de biomasse en présence de sel, On peut distinguer selon (Hagemeyer, 1996 cité par Jabnoue, 2008). quatre grandes tendances :

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

### 3. Stress salin

#### 3.1. Salinisation

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

La salinisation des sols est un phénomène qui correspond à l'accumulation excessive de sels, ce qui se traduit par une diminution de la fertilité des sols. En Algérie, les caractères pédoclimatiques favorisent dans de nombreuses régions des processus de salinisation des terres très contraignantes pour les agriculteurs (Kessira, 2002 ; Ziani, 2003).

### 3.2. Salinité

Plusieurs auteurs ont défini la salinité des sols comme étant la présence de concentration excessive de sels solubles, ou lorsque les concentrations en Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> sous formes de chlorures, carbonates, ou sulfates sont présentes en concentrations anormalement élevées (Asloum, 1990). Un sol salé indique la prédominance de NaCl. La salinité des sols, constitue un obstacle majeur sur la croissance des végétaux, dans les régions arides et semi-arides. La salinité est un facteur limitatif majeur de la productivité agricole, ces charges en sels soumettent les plantes à un stress permanent (Gupta et Abrol, 1990 in Bennabi, 2005).

#### 3.2.1. Salinité dans le monde et en Algérie

Les terres émergées représentent 13,5 milliards d'ha. Mais, quand on a retiré les déserts, les hautes montagnes, l'Antarctique, le Groenland, il reste 3 milliards d'ha cultivables, soit 22% du total ; c'est seulement 50 fois la France (Nahon, 2008), et, la moitié de ces trois milliards d'ha cultivables sont déjà cultivés. Comme on prévoit à court terme le doublement des populations humaines, il est plus que temps de se préoccuper de la sauvegarde du capital sol. Or, ce capital est inextensible est menacé.

Les plus vastes étendues des sols affectés par l'excès de sel se trouvent en Australie avec 357 millions d'ha devant l'Asie du nord et du centre et de l'Amérique du Sud (Szablocs, 1994).

**Tableau I** : Répartition des sols salés dans le monde (Szablocs, 1994).

Sols affectés par les sels dans différents continents et sous continents (10 <sup>3</sup> hectares)	
Amérique du nord	15 755
Mexique et Amérique centrale	1 965
Amérique du sud	129 163
Afrique	80 608
Asie du sud	87 608
Asie du nord et du centre	211 686
Asie sud-est	19 983
Europe	50 804
Australie	357 330
<b>Total</b>	<b>954 902</b>

En Algérie plus d'un million d'hectares des sols affectés par la salinité essentiellement localisée le long de la frontière Algéro-marocaine ainsi dans les plaines et vallées d'Oranie, la vallée de la Mina, près de Relizane, sur les hautes plaines au sud de Sétif et de Constantine, aux bords de certains chotts comme le chott Melrhir. Ils ont aussi une grande extension dans les régions sahariennes au sud de Biskra jusqu'à Touggourt, Ouargla et au-delà (**Aubert ; 1983**).

L'Algérie, dont une grande partie des régions agricoles se caractérise par un climat aride et semi-aride, est touchée par le processus de salinité. Actuellement, près de 3,2 millions d'hectares sont menacés de salinisation dans ce pays.

En Algérie, les sols salés sont très répandus en essentiellement dans les zones arides et semi-arides (qui couvrent près de **95%** du territoire (**Benkhelifa et al., 1999**)) représentant environ 25% de la surface (**Halitim, 1988**) soit 3,2 millions d'hectares (**Hamdy, 1999**).

Des travaux effectués par différents auteurs montrent que la majorité des sols agricoles en Algérie sont affectés par les sels (**Durand, 1983 ; Halitim, 1985**). D'après **Szablocs (1989)** le phénomène de salinisation dont une bonne partie se trouve localisée dans les régions steppiques où le processus de salinisation est plus marqué du fait des températures élevées durant presque toute l'année, du manque d'exutoire et de l'absence de drainage efficient.

#### **4. Impact de salinité sur les plantes**

##### **4.1. Effet de la salinité sur la germination et la levée**

Les semences des glycophytes et des halophytes répondent de la même manière au stress salin, en réduisant le nombre total des graines germées et en accusant un retard dans l'initiation du processus de la germination (**Ismail., 1990 in Lachiheb et al., 2004**). Selon l'espèce, l'effet dépressif peut être de nature osmotique ou toxique :

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

## 4.2. Effet de la salinité sur la morphologie de la plante

### 4.2.1. Effet de la salinité sur l'architecture de la plante

Le stress salin entraîne des modifications morphologiques, mais c'est le poids de la matière végétale sèche et la longueur des tiges qui rendent compte du milieu de la tolérance ou de sensibilité des plantes au sel (**Bekhouche, 1992**). Selon **Levigneron et al (1995)**, une augmentation brutale de la salinité du sol se traduit par une réduction immédiate de la croissance foliaire. Un retard de croissance important est signalé chez la plupart des glycophytes dès 50 mM/l de NaCl dans la solution du sol. Par contre chez les halophytes leur croissance ne semble diminuer que pour des concentrations beaucoup plus élevées. Par exemple chez *Atriplex halimus* L. c'est à partir de 480 mM/l de NaCl que sa production diminue (**Brun, 1980**). Parmi les manifestations morphologiques des plantes au stress salin, on distingue :

- ✓ Une faible ramification, une diminution de la longueur de diamètre, du poids sec des tiges et les racines constatés sur les tomates ;
- ✓ Un raccourcissement des entre-nœuds et une diminution du nombre de nœuds ;
- ✓ Une réduction du nombre de feuilles (**Hamza, 1977**) et de la surface foliaire chez le haricot avec une diminution de 20% à 40% (**Larher et al., 1987**).

### 4.2.2. Effet de la salinité sur la partie aérienne

Les travaux de **Nabil et Coudret, (1995)** cités par **Viégas et Silveira (1999)**, montrent que le traitement salin mène aussi à la réduction de la surface foliaire totale, un ralentissement de l'élongation racinaire suivie d'une augmentation de volume. En plus les symptômes de sénescence et de nécrose sont visibles au niveau des feuilles basales c-à-d. les feuilles adultes. Les symptômes peuvent être le résultat d'excès de Na<sup>+</sup> et des Cl<sup>-</sup> qui provoquent la chlorose ensuite la mort des feuilles adultes.

### 4.2.3. Effet de la salinité sur la partie racinaire

Le développement de la partie racinaire au dépend de la partie aérienne est considéré par plusieurs auteurs comme un critère de résistance à la salinité. L'augmentation du rapport racine / tige est la réponse typique des glycophytes à la salinité (**Greenway et Munns, 1980**). D'après les résultats on voit clairement que la croissance des espèces étudiées est perturbée par le stress Salin.

## 4.3. Effet de la salinité sur les paramètres physiologiques de la plante

### 4.3.1. Effet sur les sucres totaux

Ils sont stimulés par un stress salin (**Levigneron et al., 1995**). Produits par le blocage de glucose ou de saccharose (provient de l'hydrolyse de l'amidon). Ces sucres sont abondants dans le cas de concentration fortement salin et déshydratants (**Hubacet, 1972**). Les sucres pourraient

contribuer à plus de 50% à l'ajustement osmotique des glycophytes soumises aux conditions de salinités (Farissi et al., 2014).

#### 4.3.2. Effet sur la proline

Les teneurs en cet acide aminé à l'état libre s'accroissent rapidement chez de nombreuses mono ou dicotylédones soumises à un stress salin. Cette augmentation de la quantité de proline cytoplasmique est consécutive à la stimulation de sa synthèse, résultant d'une élévation des quantités de messagère codant pour l'enzyme qui convertit le glutamate semi aldéhyde en proline. Toutefois il semble que la stimulation de la synthèse de proline soit parallèle à une activation globale d'une voie métabolique partant d'un glutamate semi aldéhyde et conduisant à la proline mais aussi aux polyamines via l'ornithine et l'arginine qui s'accumulent également lors d'un stress salin (Aurélie et al., 1995).

La proline et les sucres solubles se sont significativement accumulés dans les feuilles sous l'effet du sel. Ils participent aux phénomènes d'ajustement osmotique (Ben Khaled et al., 2003). En plus du rôle osmotique attribué à la proline, celle-ci intervient dans la détoxification des formes actives d'oxygène (Hong et al., 2000 ; Kocsy et al., 2005) et la stabilisation des protéines (Ashraf et Foolad, 2007).

#### 4.3.3. Effet sur Les bêtaïnes

Leur existence est limitée à retirer les champignons et les végétaux. En cas d'un stress salin, on considère que l'intensification du métabolisme de la colline peut participer au maintien des flux transmembranaire grâce à un renouvellement plus intense de la phosphatidylcholine, colline phosphorylée qui est la composante majeure de la structure de la membrane cellulaire (Aurélie et al., 1995).

#### 4.3.4. Effet sur la chlorophylle totale

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

### 5. Effet de la salinité sur le rendement

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

## 6. Réponses des plantes aux stress salin

### 6.1. Mécanismes de résistance aux stress salin

L'expression des plantes à la salinité se traduit à la fois, par un stress hydrique dû aux effets osmotiques du sel, et par un stress chimique principalement dû aux effets toxiques du sodium. Ainsi l'évaluation de la réponse à la salinité d'une espèce ou d'une variété donnée est sous l'influence de facteurs souvent difficiles à contrôler (**Shannon et al., 1985 ; Amrar, 1993**). L'adaptation à un stress salin engendre des stratégies de résistance particulières. Il existe deux stratégies de résistance (**Levitt, 1980**).

#### 6.1.1. Résistance par exclusion (stress avoidance)

L'organisme inhibe ou réduit la pénétration du stress (substance toxique) dans ses tissus. Ce phénomène est bien connu chez les halophytes, qui lors des journées ensoleillées, secrètent les sels sous formes de trémies visibles à la surface de leurs feuilles (**Batamouny, 1993**). Chez les glycophytes, comme le haricot, en général, les plantes excluent le sodium de leurs feuilles. Cependant cet ion se trouve souvent accumulé dans les tiges et dans les racines (**Hubac, 1990**).

#### 6.1.2. Résistance par inclusion (stress tolérance)

L'organisme absorbe l'agent stressant pour rétablir l'équilibre thermodynamique avec son environnement sans subir de dommage irréversible tout en poursuivant sa croissance. L'organisme réduit ainsi la tension interne pour un même niveau de stress (**Lerner, 1999**).

#### 6.1.3. Résistance par recirculation

Récemment, les travaux de **Berthomieu et al., (2003)** ont montré chez *Arabidopsis thaliana* une troisième stratégie à l'intermédiaire entre l'exclusion et l'inclusion, la recirculation. Le Na<sup>+</sup> est absorbé et parvient jusqu'aux parties aériennes, mais il est aussitôt repompé être conduit par les vaisseaux du phloème vers les racines, qui peuvent excréter les ions à l'extérieur. La résistance par exclusion semble être une évolution par rapport à la résistance par tolérance puisque ne pas réaliser l'équilibre thermodynamique (en réduisant la tension interne) pour préserver les fonctions métaboliques à leur optimum favorise une meilleure croissance (**Levitt, 1980**).

## 7. Stratégie d'adaptation aux stress salin

### 7.1. Réponse de croissance

Pour s'adapter au stress salin, la plante peut éviter les dommages par la réduction de la croissance (**Yeo, 1983, Zhu, 2002**). C'est l'effet le plus commun des stress abiotiques sur la physiologie des plantes. La réduction de la croissance est une capacité adaptative nécessaire à la

survie d'une plante exposée à un stress abiotique. En effet, ce retard de développement permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des ressources pour combattre le stress avant que le déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur de l'organisme n'augmente jusqu'à un seuil où les dommages seront irréversibles. La croissance est inversement corrélée à la résistance au stress salin d'une espèce / variété (Zhu, 2001 in Bois, 2005).

### 7.2. Ajustement osmotique

Les osmolytes sont des solutés influençant le potentiel osmotique d'une solution. Ils sont qualifiés de compatibles lorsqu'ils n'interfèrent pas avec le métabolisme de la plante (Brown et Simpson 1972).

On retrouve des stratégies d'adaptation communes au stress salin et au stress hydrique. D'une part, il existe des stratégies qui font appel à des modifications plutôt d'ordre physique, réduction de l'hydratation cellulaire, réduction du volume cellulaire, modification du module d'élasticité des parois cellulaires et augmentation de la conductivité hydraulique. D'autre part, il existe des stratégies plutôt d'ordre chimique et en particulier l'ajustement osmotique (Yeo, 1983). Cet ajustement se retrouve chez la grande majorité des organismes vivants pour le maintien de l'alimentation hydrique et de la pression de turgescence (Yeo, 1983, Niu et al., 1995, Bohnert et Shen, 1999).

Pendant l'assèchement de l'environnement intracellulaire, des solutés compatibles vont s'accumuler pour protéger les structures cellulaires (Takagi et al., 1997). Ainsi, en présence d'un milieu à forte osmolarité, l'absorption, la production et l'accumulation de ces composés seront favorisées. Ces éléments ont une fonction osmoprotectrice ou osmorégulatrice, on retrouve parmi eux des éléments minéraux (K<sup>+</sup>), des dérivés quaternaires d'acides aminés (proline) (Belkhodja et Bidai, 2004), des sucres simples (fructose, glucose et saccharose) et des sucres complexes (raffinose et fructanos) (Levitt, 1980 ; Orcutt et Nilsen, 2000 ; Niu et al., 1997 ; Bohnert et Shen, 1999).

Le contrôle de l'ajustement osmotique a plusieurs origines, l'augmentation des ressources allouées à la production de solutés compatibles, la réduction du catabolisme de ces osmolytes ou la réduction de leur diffusion (par la composition membranaire) dans le milieu extérieur. En outre, selon la variété/composition des osmolytes accumulés, la dépense d'énergie pour ce processus diffère (Niu et al., 1997). Ce contrôle résulte en des capacités d'ajustement variées, et pour une protection des structures cellulaires plus ou moins élevée. Les osmolytes peuvent être d'origine organique (interne), ou inorganique (externe) (Niu et al., 1995). On suppose que l'accumulation des premiers représente un coût plus élevé en énergie et en ressources minérales, alors que les

seconds, à l'origine du stress ( $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ ), sont en excès et donc moins coûteux à accumuler (Niu *et al.*, 1997).

### 7.3. Compartimentation

Un organisme peut difficilement exclure totalement le  $\text{Na}^+$  de ses tissus. Chez les plantes, une des stratégies de tolérance à la salinité des plus communes est la compartimentation des ions ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ) en excès dans les tissus. Cette redistribution contrôlée se fait essentiellement dans les vacuoles (Niu *et al.*, 1995 ; Yeo 1998 ; Horie et Schroeder, 2004) et éventuellement, à l'échelle de la plante entière, dans les organes les plus vieux ou les moins sensibles (Cheeseman, 1988 ; Munns, 1993). Pour être contrôlé, le déplacement de ions au travers des membranes implique un transport actif, consommateur d'énergie, qui utilise différents transporteurs (en densité variable) à la surface des membranes cellulaires (Orcutt et Nilsen, 2000 ; Tyerman et Skerrett, 1999). Une fois vacuolisé, le  $\text{Na}^+$  en excès contribue à l'ajustement osmotique sans altérer les processus métaboliques. Les solutés compatibles accumulés dans le cytoplasme contrebalancent la pression pour contenir le  $\text{Na}^+$  dans les vacuoles (Levitt, 1980 ; Yeo, 1983 ; Orcutt et Nilsen, 2000 ; Yeo 1998 ; Tyerman et Skerrett, 1999 ; Hasegawa *et al.*, 2000).

### 7.4. Contrôle membranaire

Bien que cette thématique soit peu développée dans les travaux présentés ci-après, l'adaptation au stress salin se met en place également au niveau des membranes cellulaires (membrane plasmique, tonoplaste). La modification qualitative et quantitative des aquaporines (protéines trans-membranaires) est par exemple un processus capable de modifier la conductivité hydraulique de la plante et de favoriser ou restreindre les mouvements d'eau (Yeo, 1998 ; Chrispeels et Maurel, 2001). Les membranes voient également leur composition lipidique modifiée en réponse à un stress de salinité (Mansour et Salama, 2004). En termes de transport ionique, la stratégie de résistance à la salinité est qualitative et quantitative. La sélectivité des ions à l'entrée constitue la composante qualitative. Elle se définit à partir des différents transporteurs membranaires récents (antiport  $\text{Na}^+/\text{H}^+$ ) (Tyerman et Skerrett, 1999). Dans la diffusion facilitée comme dans le transport actif, les protéines membranaires peuvent être très spécifiques de certains solutés. Néanmoins, plusieurs solutés peuvent entrer en compétition pour un même protéine de transport ( $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$ ). D'un point de vue quantitatif, la perméabilité membranaire au  $\text{Na}^+$  ainsi que l'activité/la quantité/la sensibilité des antiports  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  membranaires évoluent pour s'adapter à un stress sodique à long terme (Niu *et al.*, 1995 ; Tyerman et Skerrett, 1999).



### 7.5. Fonctionnement cellulaire

Le fonctionnement cellulaire est modifié pour servir la stratégie d'adaptation de la plante, à l'échelle de la cellule comme de la plante entière. Le niveau de salinité est perçu au niveau des membranes en contact avec la solution saline (**Xiong et al., 2002**) et dans tout l'organisme par la perte de turgescence. Des signaux de transduction sont alors émis. L'ensemble de ces signaux contrôle le rétablissement de l'homéostasie ionique et hydrique des cellules, la réparation et la prévention des dommages et la croissance cellulaire (**Zhu, 2002**). Par exemple, en réponse à la réduction du potentiel osmotique externe, des signaux à base de ça vont activer des protéines kinases dont dépend la suite de la réponse en aval (**Xiong et al., 2002 ; Zhu, 2002**). Cette information va éventuellement se transmettre via l'émission d'hormones de stress (signal de longue distance) tel que l'ABA (**Hetherington et Quatrano, 1991 ; Hartung et Jeschke, 1999 ; Itai 1999 ; Xiong et al., 2002**). L'ABA est largement impliqué dans les relations hydriques et la tolérance au stress des végétaux, cette hormone contrôle la fermeture stomatique, stimule l'absorption d'eau au niveau des racines et modifie la croissance (diminue le ratio cime/racine, stimule la formation de racines latérales et de poils absorbants) (**Hartung et Jeschke, 1999**).

La réduction du poids sec des plantes est la réponse typique des non halophytes à la salinité (**Munns et Teraat, 1986 ; Allarcon et al., 1993, Nabil et Coudret, 1995 cités par Viégas et Silveira 1999**).

*Chapitre IV :*  
*Culture hors sol*

## 1. Définition et historique

Les cultures hors sol sont des cultures de végétaux effectuant leur cycle biologique sans que leur système racinaire ait été en contact avec leur environnement naturel, le sol (**Mordad, 1995**). La culture hydroponique a permis de cultiver avec succès et de produire divers légumes tel que des aubergines, des tomates, des laitues, ainsi que des concombres sans grains (**Hopkins, 2003**).

La culture hydroponique s'applique à tous système de culture dont le support n'est pas le sol. C'est une technique très efficace pour cultiver des plantes et ceux grâce à la disponibilité permanente des bonnes proportions d'air, d'eau et d'engrais aux racines (**Bonte, 2010**).

La culture hydroponique est considérée actuellement comme une pratique moderne, mais la culture des plantes dans des conteneurs par-dessus du sol a été tentée à différentes époques à travers l'histoire. Les peintures murales trouvées dans le temple de Deir el Bahari semblent être le premier cas documenté de plantes cultivées en conteneur (**Naville, 1913**).

La publication la plus ancienne sur la culture hors-sol était le livre *Sylva Sylvarum* publié en 1627 par Francis Bacon ; et après cela, la culture de l'eau est devenue une technique de recherche populaire. En 1699, John Woodward a publié ses expériences de la culture de l'eau avec la menthe verte. En 1859-1860, les découvertes des botanistes allemands Julius von Sachs et Wilhelm Knop ont abouti à un développement de la technique de la culture hors-sol. Cette technique de culture est devenue rapidement un standard de la recherche et de l'enseignement qui est encore largement utilisé et considéré actuellement comme un type de la culture hydroponique. En 1929, William Frederick Gerick Berkeley a fait publiquement la promotion de cette culture comme solution utilisée pour la production agricole. Gerick a fait pousser des tomates à vingt-cinq pieds de haut dans des solutions nutritives minérales plutôt que le sol. Il a aussi inventé le terme de la culture hydroponique en 1937 pour la culture des plantes dans l'eau (du grec hydro, «eau», et ponos, «travail»). Un des premiers succès de la culture hydroponique a eu lieu à Wake Island où la culture hydroponique était utilisée pour cultiver des légumes pour les passagers. Dans les années 1960, Allen Cooper en Angleterre a développé la technique du film des éléments nutritifs. Le terrain du Pavillon à Epcot Center de Walt Disney World a ouvert en 1982 et figure en bonne place parmi les différents types des techniques hydroponiques.

Durant les années 1960 et 1970, les fermes commerciales de la culture hydroponique ont été développées à Abu Dhabi, en Arizona, Belgique, Californie, Danemark, Allemagne, Hollande, Iran, Italie, Japon, la Fédération de Russie et d'autres pays. Au cours des années 1980, de nombreuses fermes hydroponiques automatisées et informatisées

ont été établies dans le monde entier. Au cours des dernières décennies, la NASA a effectué des recherches approfondies en hydroponie pour leur système contrôlé de soutien à la vie écologique ou CELSS (**Jorge, 2013**).



**Figure 3** : Plante cultivée en hors sol (**William, 2013**)

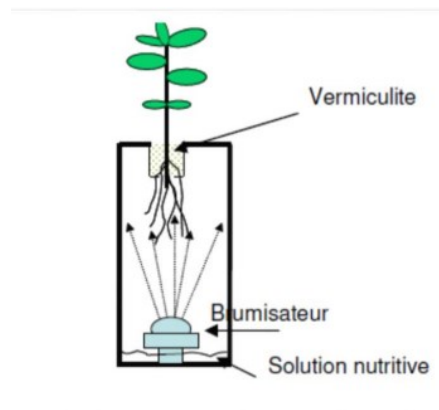
## **2. Comparaison entre la culture de terre et la culture hydroponique**

La culture en terre est la méthode la plus conventionnelle des deux. C'est à vrai dire celle que la nature utilise. Dans les faits, cela veut dire que l'éleveur a moins de facteurs à contrôler car la terre fait la majorité du travail. Les nutriments qui sont présents naturellement aident à maintenir les niveaux de pH dans la plante. On peut aussi ajouter ces nutriments à la terre soi-même, celle-ci agissant alors comme un tampon à pH pour la plante. En fonction de ce qu'on fait pousser, le goût de la plante peut être un facteur (**Boulechfar, 2018**). Comparativement à la culture habituelle en culture hors sol, le complexe argilo humique jouant le rôle d'effet tampon n'existe pas, tout le rôle nutritif est assuré par l'apport d'une solution nutritive bien équilibrée en macro et micro-éléments nécessaires à la croissance et au développement de la plante cultivée.

### 3. Les systèmes de la culture hors sol

#### 3.1. Culture aéroponique

L'aéroponie est un système dans lequel les racines des plantes restent en suspension dans une chambre de croissance fermée, où elles sont pulvérisées avec un brouillard ou une brume de solution nutritive à intervalles (**Anonyme, 2012**). Ce système assure une excellente aération. La pulvérisation peut être continue ou intermittente par cycles d'un quart d'heure ou d'une demi-heure avec des arrêts de quelques minutes pendant la journée, et beaucoup plus long pendant la nuit. Cette culture est coûteuse, et est souvent limitée à la recherche, et surtout aux études relatives au système racinaire (**Vu, 2008**).



**Figure 4** : Schéma de culture aéroponique (**Vu, 2008**)

#### 3.2. Cultures en N.F.T. (Nutrient Film Technique)

C'est un système de culture de plantes terrestres réalisée à l'aide de substances nutritives, sans le support d'un sol. Le mot « hydroponique » vient du grec « hydro », qui signifie « eau », et « ponos », qui signifie « Travail » (**Texier, 2014**).

En N.F.T, les racines des plantes sont en contact avec un milieu liquide, la solution nutritive. Cette technique consiste à nourrir les racines des plantes qui se trouvent dans du substrat (laine de roche, par exemple) ou bien dans une solution nutritive (**Vu, 2008**).

D'après **Soucy (2016)**, l'apport en éléments nutritifs provient d'une solution nutritive irriguant le substrat dans le cas des techniques de culture en eau profonde et sur film nutritif. Elle est composée des éléments nécessaires à la croissance de l'espèce cultivée. Cette dernière est composée spécifiquement pour apporter les éléments nécessaires à la croissance de la plante cultivée. Les plantes vont absorber ces éléments via leurs racines qui sont immergées dans la solution.

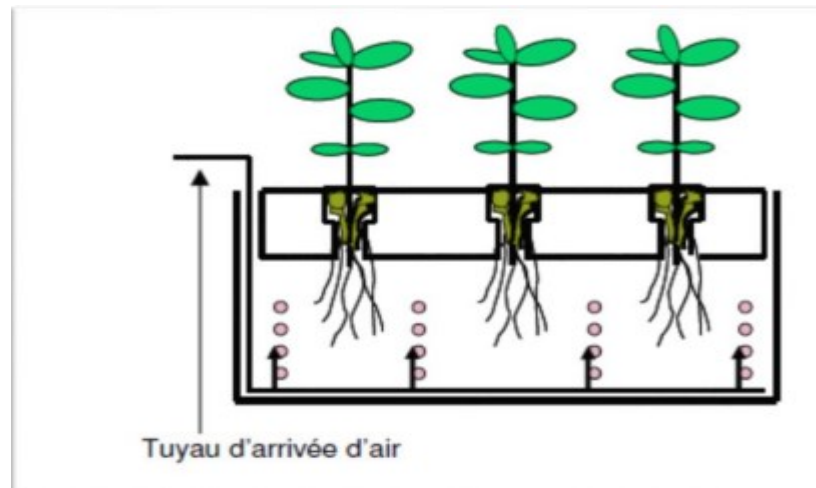


Figure 5 : Schéma de culture N.F.T (Vu, 2008).

### 3.3. Culture sur substrat

Les systèmes sur substrats ou d'agrégats utilisent un milieu de culture inerte pour supporter et entourer les racines. Les plantes sont cultivées dans des sacs, des pots ou d'autres récipients remplis du substrat ou du milieu de culture, placés en rangées et irrigués avec une solution nutritive à travers le système de fertigation. Les systèmes de substrats offrent le niveau de technologie le plus approprié pour les petits producteurs hydroponiques.

Dans ce système, les substrats fournissent l'environnement de la zone racinaire dont les plantes ont besoin pour pousser, ainsi que le support physique dont les plantes ont besoin (Anonyme, 2012).

## 4. Composants de système hydroponie

### 4.1. Substrat et propriétés

Le choix du substrat dans la production maraîchère hors sol est très important. Les principales propriétés physiques et hydriques que devrait posséder un substrat de culture sont relatées ci-après avec une brève description de chacune d'elle (M'sadak et Ben M'barek, 2014).

- **Propriétés physiques**

Il est nécessaire que le matériau conserve le plus longtemps possible les propriétés pour lesquelles il a été choisi. En général, une élasticité suffisante et une bonne résistance mécanique assureront le maintien des propriétés physiques dans le temps et seront donc des critères de longévité (Bip, 2001).

La connaissance des proportions de particules fines et grossières contenues dans chaque mélange de substrat permet de mieux comprendre plusieurs de ses propriétés, comme sa rétention en eau, sa porosité et son aération ; La disponibilité de l'eau est fonction des espaces vides entre les particules de sol, appelés les pores, qui peuvent être remplis d'air ou d'eau. La grosseur de ces espaces et leurs connexions modulent la disponibilité de l'eau aux plantes. En effet, les pores de grande dimension (macro pores) vont retenir l'eau beaucoup moins fortement que ceux de faible dimension (micropores) (Valerie, 2015).

- **Propriétés chimiques**

Elles sont susceptibles d'interférer avec la nutrition minérale. Il faut connaître le pH et la conductivité électrique de départ. Parmi les caractéristiques chimiques, celle pouvant entraîner un échange d'éléments dans les deux sens entre le substrat et la solution racinaires, sont les plus importantes. Elles définissent la «réactivité chimiques du substrat ». On distingue les réactions de dissolution, d'échange et de biodégradation. Elles différencient nettement les catégories de substrats (Letard *et al.*, 1995).

- **Propriétés biologiques**

Un bon support ne doit pas être contaminé par des pathogènes avant l'emploi ou en cours de culture. C'est une condition essentielle pour le réutiliser à la culture suivante. La désinfection du substrat entre deux cycles est de toute façon nécessaire pour se prémunir des attaques fongiques. Les matières actives utilisées pour le traitement de désinfection sont choisies en se référant à la législation en vigueur (Serge et Janice, 2009).

- **Propriétés mécaniques**

Les propriétés mécaniques définissent la stabilité d'un substrat dans le temps: il s'agit de l'élasticité, du tassement, de la dégradation et, en conséquence, de la stabilité (Serge et Janice, 2009).

#### 4.1.1. Types de substrats

##### A. Origine minérale :

- ✓ Naturels (extraits) : graviers, sables, pouzzolane.
- ✓ Manufacturés : laine de roche, laine de verre, argile expansée, vermiculite, perlite.

(Alain, 2003).

- **Sables et graviers**

Ces granulats minéraux destinés à la construction et aux travaux publics sont tirés des carrières (granite, basalte, calcaires durs) concassés puis calibrés pour donner des grains anguleux aux arrêtes vives, d'autres sont tirés de rivières (gravières ou sablières). Une fois calibrés, les grains sont arrondis ou émoussés. Ce sont en général des produits siliceux contenant des matériaux calcaires (**Titouna, 2010**).

- **La laine de roche**

C'est le substrat de culture inerte le plus employé en horticulture. Ce matériel est obtenu par la fusion d'un mélange de basalte, de calcaire et de coke, dégradé en fibres stables qui résistent à la biodégradation pendant une longue période (**Morard, 1995**).

- **La vermiculite**

C'est une argile phylliteuse (en feuillet ou mica) qui contient de l'eau. Lorsqu'elle est traitée à une chaleur d'environ 1100°C, l'eau comprise entre les feuillets provoque un gonflement de 10 **Argile expansée**

C'est un produit obtenu par granulation et chauffage à 1100°C de nodules d'argile. À l'effusion brutale de l'eau, on obtient des boulettes dures et poreuses. Sa porosité est grossière et fermée. De ce fait sa rétention à 12 fois l'épaisseur initiale produisant des fragments de 1 à 6 mm (**Morard, 1995**).

- **La perlite**

C'est un sable siliceux d'origine volcanique chauffé à plus de 1000°C qui fond et gonfle d'environ vingt fois son volume. Il en résulte des perles blanches vitreuses, légères, très poreuses, contenant 75% de silice initial (**Blanc, 1987; Morard, 1995**).

La rétention d'eau est faible et varie selon la granulométrie utilisée. Par contre c'est un matériau très aéré. L'argile cuite est un produit inerte, neutre, sans capacité d'échange et à très longue durabilité. Les granulats d'argile expansée peuvent entrer dans la fabrication des mélanges à base de tourbe (**Heymans, 1980**).

#### **4.2. Solution nutritive et sa gestion**

Parmi les facteurs qui influencent les systèmes hydroponiques, la solution nutritive qui est considérée comme l'un des plus importants facteurs déterminants du rendement et de la qualité des cultures.

Une solution nutritive pour les systèmes hydroponiques est une solution aqueuse contenant principalement des ions inorganiques de sels solubles des éléments essentiels pour



les plantes supérieures. Finalement, certains composés organiques tels que les chélates de fer peuvent être présents (Steiner, 1968).

Actuellement 17 éléments sont considérés comme essentiels pour la plupart des plantes, ce sont le carbone, hydrogène, oxygène, azote, phosphore, potassium, calcium, magnésium, soufre, fer, cuivre, zinc, manganèse, molybdène, bore, chlore et nickel (Salisbury et Ross, 1994).

Selon Les éléments minéraux majeurs : N-P –K-Ca-Mg-S-Na-Cl et les oligo-éléments sont indispensable à la plante pour fabriquer la matière végétale. Dans les conduites ces éléments sont distribués en solution dans l'eau d'irrigation : c'est la solution nutritive (Letard, 1995).

D'après Anonyme (2005), parmi les nombreux éléments que l'on peut retrouver dans la composition des tissus végétaux, dix-neuf (19) seulement se sont révélés indispensables à la croissance, au développement et à la reproduction des plantes. Ces éléments essentiels sont :

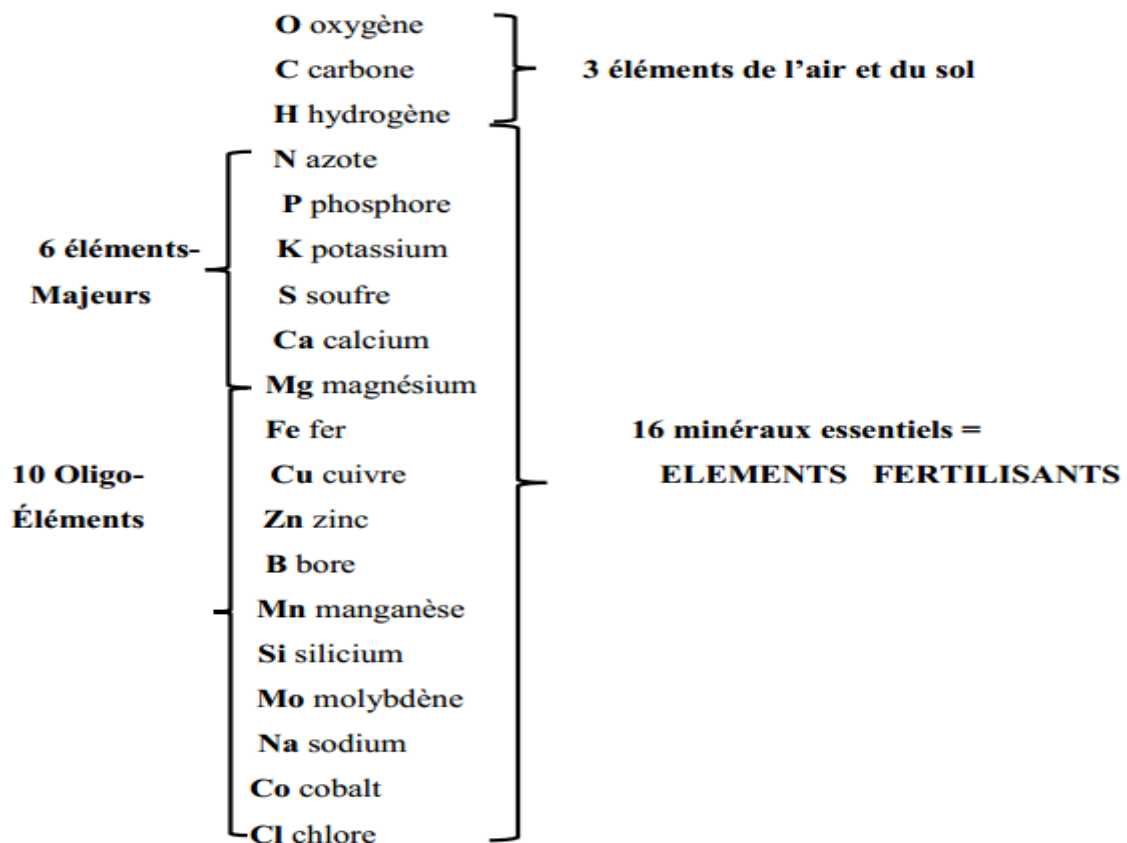


Figure 6 : éléments essentiel à la croissance des plantes

La gestion de la solution nutritive repose essentiellement sur deux importants facteurs qui sont :

- **Le pH**
- **La conductivité électrique**

Le pH est une mesure de l'acidité ou de l'alcalinité sur une échelle de 1 à 14. La gamme de pH optimale pour la solution nutritive de culture hors-sol est comprise entre 5,5 et 5,8. Plus le pH d'une solution nutritive dépasse la gamme de pH recommandée, plus on a des risques d'échouer. Les carences nutritionnelles apparaîtront ou des symptômes de toxicité se développeront si le pH est supérieur ou inférieur à la fourchette recommandée pour les différentes cultures. La valeur du pH détermine la disponibilité des nutriments pour les plantes. En conséquence, son réglage doit être fait tous les jours (**Urrestarazu, 2004**).

En ce qui concerne la conductivité électrique, elle indique la concentration de la solution nutritive, telle que mesurée par un Conductivimètre. L'unité de mesure de la CE est le dS/m. Une limitation de la CE n'indique que la concentration totale de la solution et non celle de chaque élément des composants nutritifs. La CE idéale est spécifique à chaque culture et dépend des conditions environnementales (**Sonneveld et Voogt, 2009**). Toutefois, les valeurs de la CE pour les systèmes hydroponiques sont de 1,5 à 2,5 ds m<sup>-1</sup>. Une CE supérieure empêche l'absorption des nutriments en augmentant la pression osmotique, alors qu'une CE inférieure peut gravement affecter la santé des plantes et le rendement (**Samarakoon et al., 2006**). La diminution dans l'absorption d'eau est fortement corolaire à la CE (**Dalton et al., 1997**).

Lorsque les plantes absorbent les nutriments et l'eau de la solution, la concentration totale de sel, à savoir, la CE de la solution change. Si la CE est supérieure à la gamme recommandée, l'eau fraîche doit être ajoutée pour la diluer. Si elle est inférieure, il faut ajouter des éléments nutritifs pour augmenter sa concentration (**Nelson, 2003**).

*Partie  
expérimentale*

## 1. Objectif de l'expérimentation

L'étude a pour objectif de contrôler l'effet de la technique de priming sur la capacité de germination des graines de « *Phaseolus vulgaris L. variété, Djadida* » en milieu salin et non salin ainsi que sur la croissance et le développement des plantes en culture hydroponique

## 2. Matériel végétale utilisé

L'espèce choisie est le haricot *Phaseolus vulgaris L.* c'est une espèce à développement rapide, elle est sensible à la salinité, de 0,5 à 2 g/l. L'étude s'est portée sur la variété El Djadida, qui est très cultivée en Algérie et qui possède les caractéristiques suivantes :

- Type mangetout.
- Variété naine.
- Bonne vigueur.
- Feuilles longues de couleur verte claire.
- Fleurs blanches.
- Gousses de longueur moyenne (16cm), et de diamètre de (10mm), avec une couleur verte foncée et sans fil.
- Nombre de graines est de 7 graines par gousse, de couleur marron noirâtre.

La faculté germinative ou durée de vie du haricot c'est environs 3ans et le temps de levée est de 5-8 jours à une température ambiante entre 25°C -30°C.

## 3. Conditions expérimentales :

### 3.1. Lieu de l'expérimentation

L'expérience a été conduite au laboratoire dans une serre de biotechnologie des productions végétales de la faculté science de la nature et de la vie de l'université de Blida1.

L'expérimentation a été conduite sous une serre en polycarbonate, au niveau de la station expérimentale du département des biotechnologies de l'université de Blida 1. Cette serre dont l'orientation est Nord-Sud, est aérée grâce à des fenêtres placées latéralement de part et d'autres et chauffée en hiver grâce à des radiateurs à eau chaude.



Figure 7 : Localisation du lieu de l'expérimentation.

### 3.2.Substrat

Le substrat est du gravier roulé de rivière, présentant un diamètre de 3 à 8 mm, provenant de la carrière de Chebli, située à 25 Km d'Alger.

Préparation, lavage et désinfection du substrat :



**Figure 8** : Lavage de gravier

Application d'un lavage abondant à l'eau afin d'éliminer les particules terreuses et des résidus organiques présents dans l'eau, avec pratique d'une désinfection du substrat à l'eau javellisée 1%

**Figure 9** : Remplissage des pots avec du gravier roulé 3-8mm.

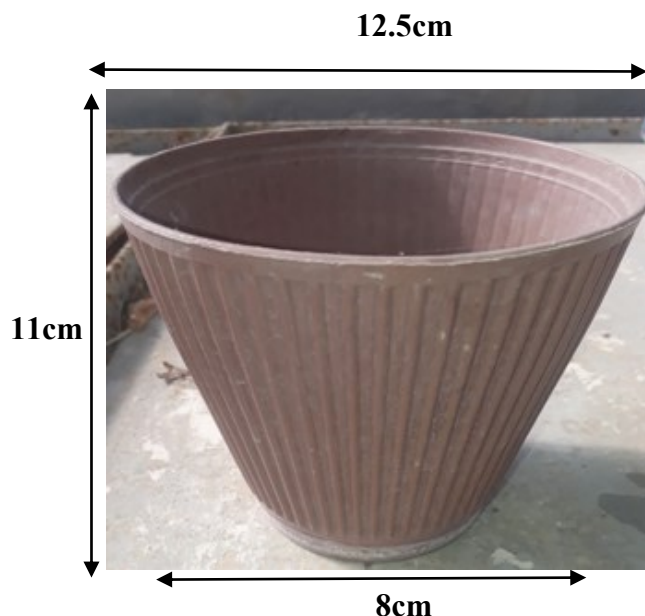


**Figure 10** : Lavage abondant à l'eau

Application d'un 2eme lavage à l'eau afin d'éliminer toute trace d'eau de javel fortement nocive pour les graines et les jeunes plantules.

### 3.3. Les conteneurs

Les conteneurs utilisés sont des pots en plastique de couleur marron, apparemment sombre pour éviter la formation des algues. Ils ont une capacité de 1 litre et présentent des orifices de drainage à leur base permettant l'évacuation de la solution nutritive excédentaire



**Figure 11 :** Aspect général des conteneurs.

## 4. Application de l'essai de priming

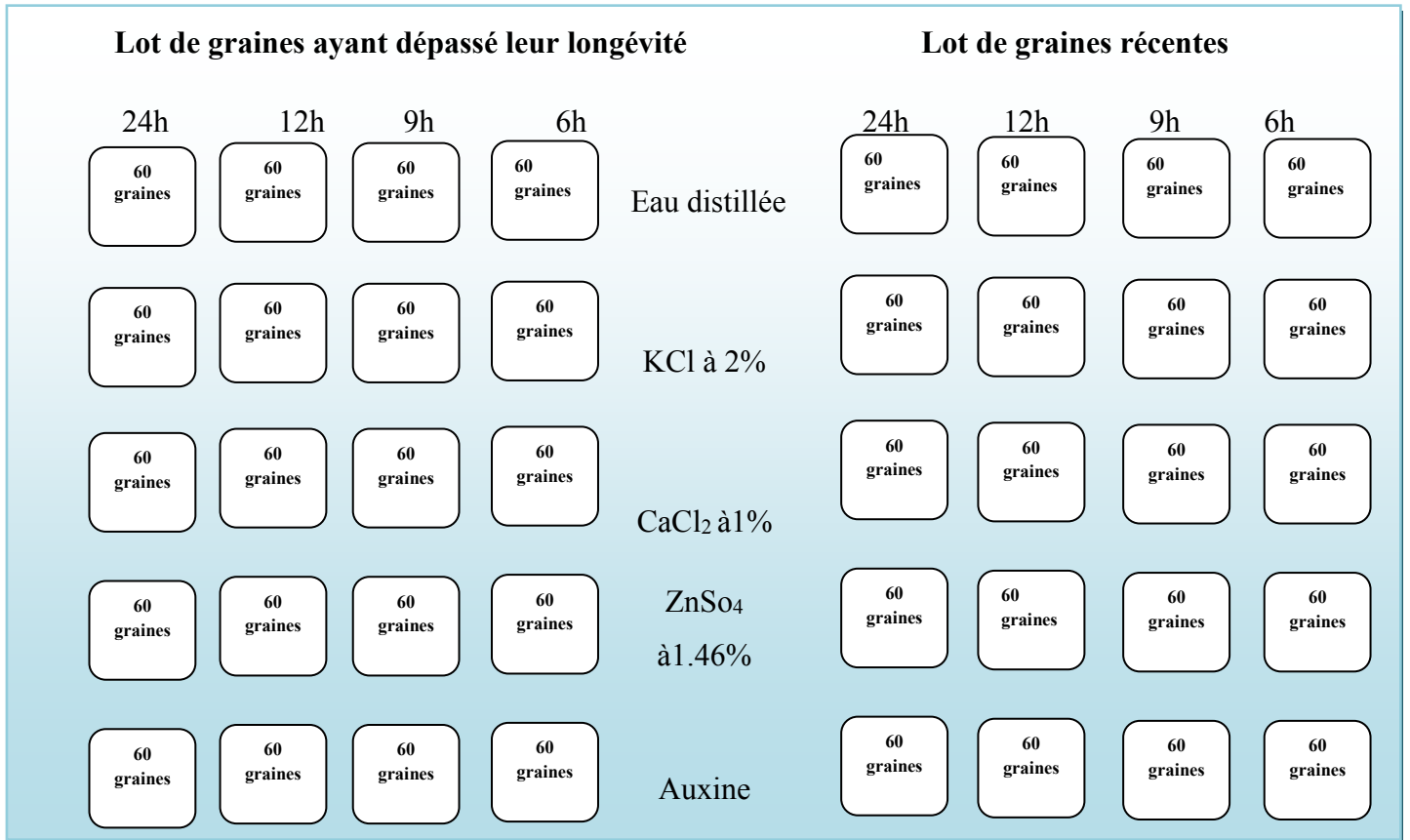
A la date : 29/11/2018 à 8 :00h du matin jusqu'au lendemain à 8 :00h à savoir le 30/11/2018 nous avons déterminé tous d'abord les poids sec des graines avant les avoir trempé dans les différents traitements à la température ambiante comme il est mentionné dans le tableau ci-dessous :

**Tableau II :** Les différents traitements appliqués de priming.

traitements	Description	Durée de trempage
T <sub>0</sub>	Témoin (aucun traitement, pas d'effet de priming)	/
T <sub>1</sub>	Eau distillée	9h, 12h, 6h, 24h.
T <sub>2</sub>	kCl 90 mmol à 2%	9h, 12h, 6h, 24h
T <sub>3</sub>	CaCl <sub>2</sub> 90 mmol à 1%	9h, 12h, 6h, 24h
T <sub>4</sub>	ZnSo <sub>4</sub> 90mm à 1, 46%	9h, 12h, 6h, 24h
T <sub>5</sub>	Auxine	9h, 12h, 6h, 24h

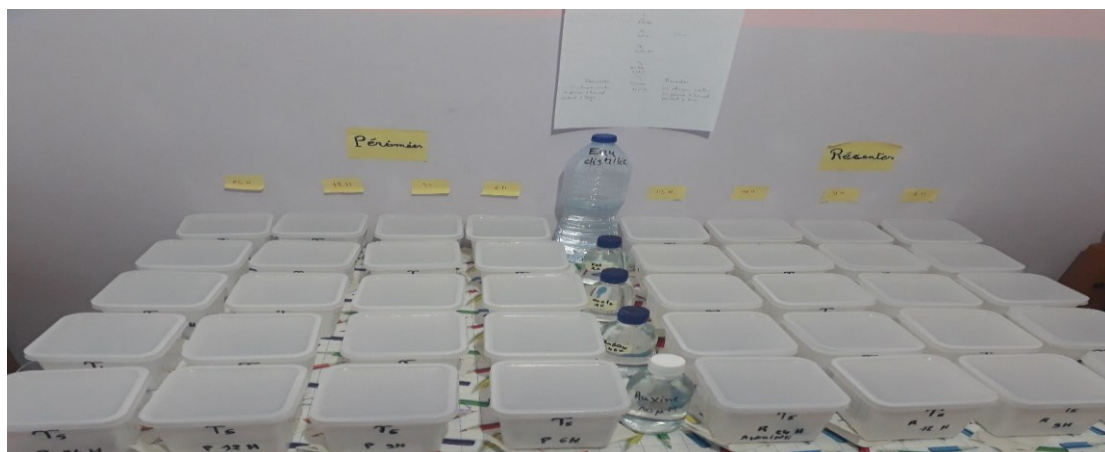
Nous avons appliqué le priming sur deux lots de graines de haricot, lot de graines récentes(2014) et lot de graines ayant dépassés leur longévité(2011) comme l'indique le schéma suivant :

**Dispositif du priming**



**Figure 12** : Schéma explicatif d'application du priming.

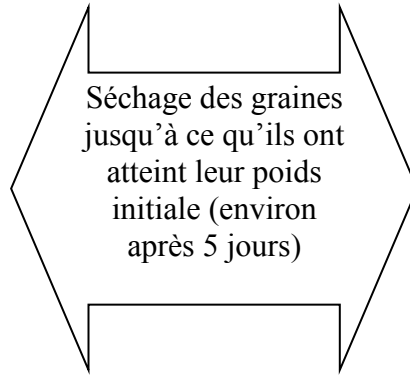
Nous avons mis dans chaque boîte 60 graines de haricot récentes et 60 graines ayant dépassé la longévité selon les deux lots retenus dans le dispositif expérimental.



**Figure 13** : Vue générale de l'application du priming



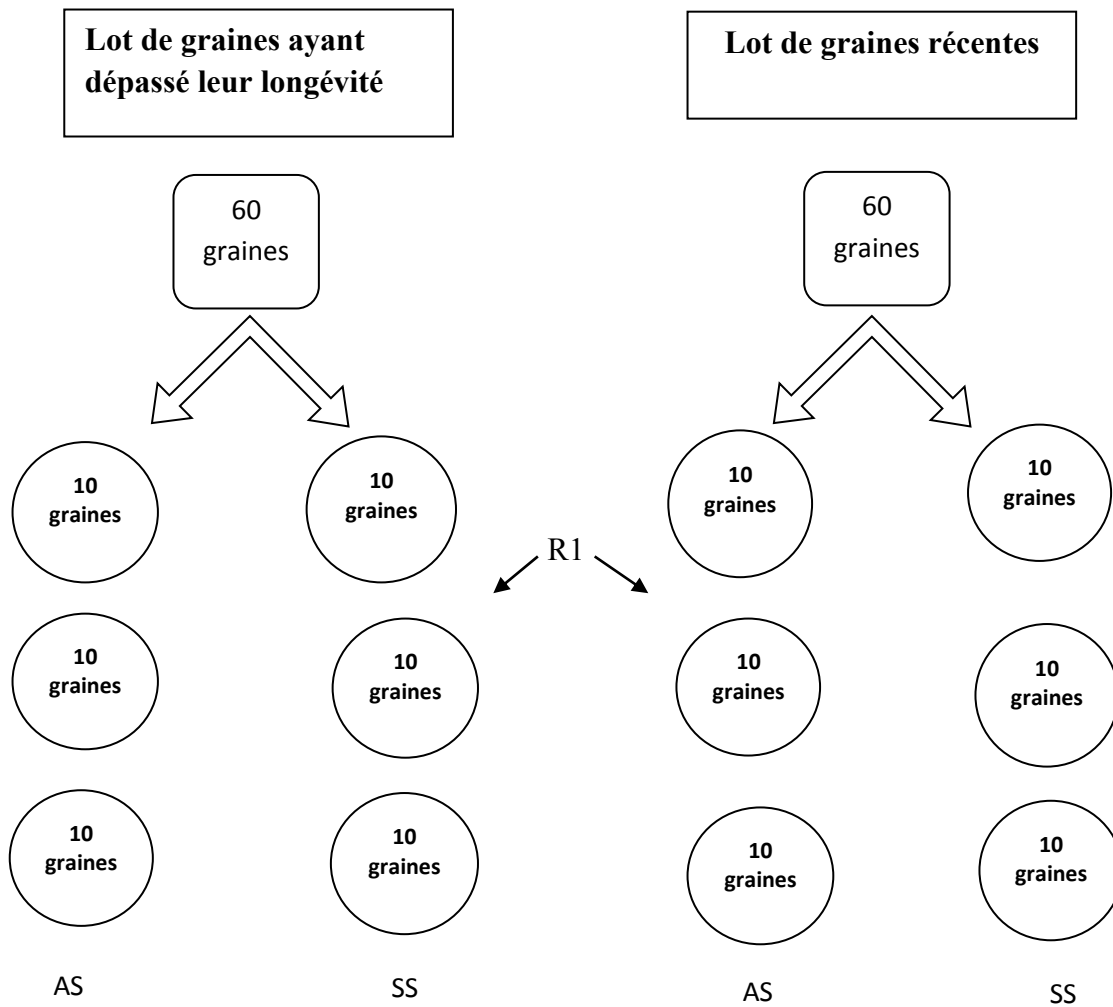
**Figure 14 :** Séchage des graines ayant perdu la longévité



**Figure 15 :** Séchage des graines récentes

**5. Mise en germination**

Les 60 graines de chacun des deux lots ont été réparties en 06 lots de 10 graines selon le schéma suivant :





La germination a été faite dans l'étuve à 25°. Les graines récentes qui ont été imbibées par l'eau de robinet (sans stress) tout, tout au long de la durée de et se là se fait le 15/12/2018 à une température de 25°C pendant 08 jours.

Les graines ont été déposées en nombre de 10 dans des boîtes de pétries avec 3 répétition pour chaque traitement.



**Figure 16** : Mise en germination (originale)



**Figure 17** : 1er jour de germination



**Figure 18** : Aspect de graines après 3 jours de germination

La même procédure s'est faite pour les graines récentes imbibées par une solution saline le 29/12/2018.



Les graines ayant dépassé leur longévité ont été éliminées car elles n'ont pas germés.

**Figure 19 :** Aspect des graines ayant dépassé leur longévité après 4 jours de germination

## 6. Paramètres mesurés

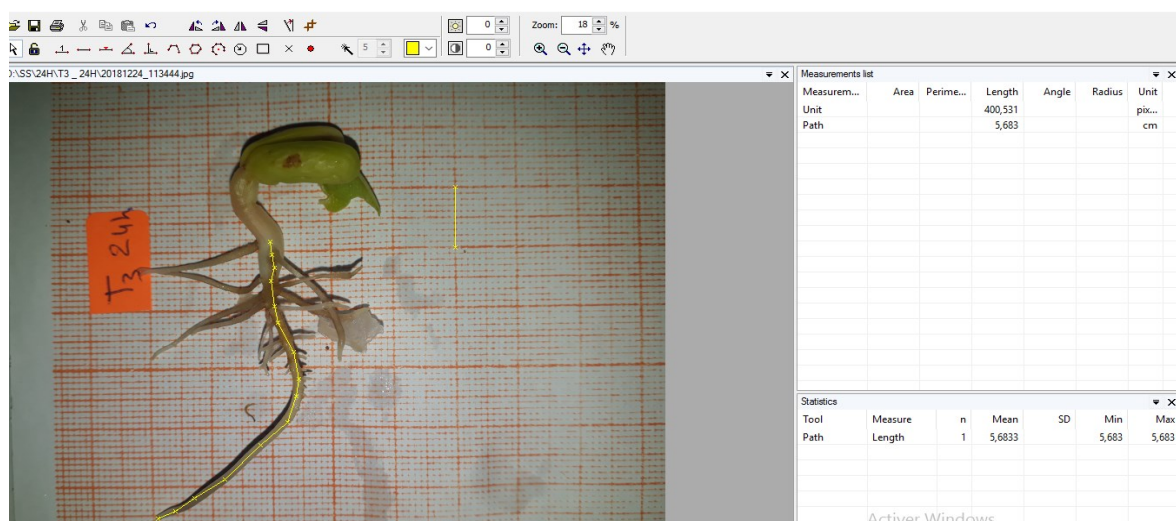
### 6.1. Taux de germination :

La mesure de taux de germination s'est faite quotidiennement, Il est exprimé par le rapport du nombre de graines germées sur le nombre total des graines.

### 6.2. Paramètres morphologiques

#### 6.2.1. Longueur des racines :

Le principe consiste à mesurer la longueur des racines de chaque plante à l'aide du logiciel Digimizer de version 4.0.0.0 et ce après les 8 jours de germination dans l'étuve à 25C°.



**Figure 20 :** Mesure de longueur racinaire par Digimizer.

### 6.2.2. Biomasse fraîche

Le principe consiste à peser la plantule après 8 jours de germination en gramme, à l'aide d'une balance de précision en gramme, 10 plantules a raison de 3 répétitions.

### 6.2.3. Biomasse sèche

La biomasse sèche a été mesurée après le dessèchement des poids frais des 3 répétitions des 10 plantules de chaque traitement à la température ambiante jusqu'à la stabilité du poids sec.

## 7. Analyse statistiques relatives aux meilleurs temps de priming

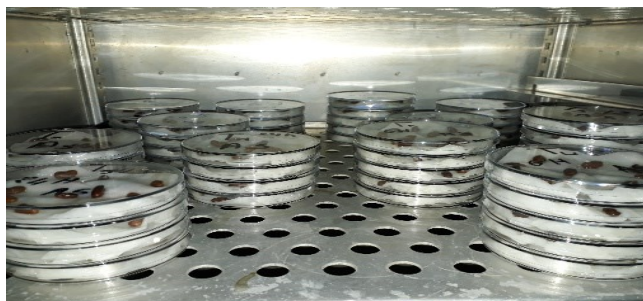
Après l'analyse des données et l'obtention des résultats par un logiciel « statgraphics-centurion XVI » (version 16.1.18) et les moyennes significativement différentes ont été séparé par le teste de Fisher (LSD) au seuil de probabilité de 5%.

Nous avons choisi les meilleurs temps de priming ayant donné les bons résultats y compris le témoin, comme suit :

- Application d'un autre priming le 20/3/2019 à 11 :00h jusqu'au 11 :00h du lendemain soit le 21/3/2019 par les mêmes étapes du 1<sup>er</sup> priming mais seulement avec les résultats sélectionnés :

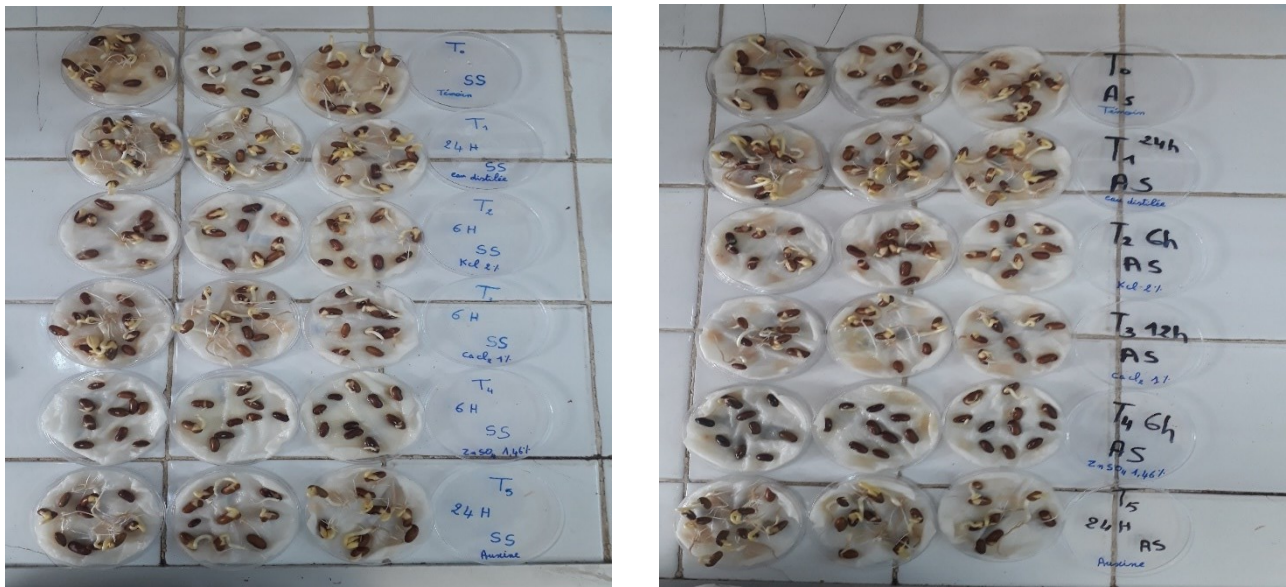
**Tableau III** : Etapes de déroulement du 2<sup>ème</sup> priming.

	Description	La durée (sans stress)	La durée (avec stress)
<b>T<sub>0</sub></b>	Témoin (aucun traitement, pas d'effet de priming)	/	/
<b>T<sub>1</sub></b>	L'eau distillée	24h	24h
<b>T<sub>2</sub></b>	kCl 90 mmol à 2%	6h	6h
<b>T<sub>3</sub></b>	CaCl <sub>2</sub> 90 mmol à 1%	6h	12h
<b>T<sub>4</sub></b>	ZnSo <sub>4</sub> 90mm à 1, 46%	6h	6h
<b>T<sub>5</sub></b>	Auxine	24h	24h



**Figure 21** : Mise en germination définitive dans l'étuve à 25°C.

Ensuite, il y a eu un séchage des graines, suivi de la mise en germination dans l'étuve à une température de 25°C pendant 6 jours, c'est à dire le 01 /04/ 2019, jusqu'au repiquage des jeunes germes le 06/04/2019.



(Sans stress)

(Avec stress)

**Figure 22** : Germination des graines au 6<sup>ème</sup> jour.

## 8. Repiquage :

Le de repiquage a été fait le 06/04/2019.

Le repiquage se fait dans les pots en plastique remplis du gravier lavé et désinfecté et ce Après que les graines du haricot aient germé dans l'étuve pendant 6 jours selon le dispositif suivant :

- 3 plantules par pot et par traitement
- 8 répétitions pour chaque traitement
- Le repiquage des plantules a été fait à 3 cm de profondeur
- L'irrigation pour la 1ere fois par l'eau de robinet est pratiquée



**Figure 23** : Repiquage et levée des plantules du haricot

## 9. Entretien de la culture

### 9.1. Irrigation

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

Les doses et les fréquences des arrosages varient selon le cycle de développement de la plante et les conditions microclimatiques ambiantes.

L'irrigation a été réalisée par une solution saline identique à celle ayant servi pour l'imbibition des graines durant leur mise à l'étuve pour la germination pour la série de plantules stressées et une solution nutritive pour les plantules sans stress.

L'irrigation a été faite à raison de 4 doses de 60 ml /jour.

### 9.2. Description de la solution d'irrigation

La solution nutritive et la solution saline ont été préparées à base de différents éléments avec l'eau de Blida « eau du robinet » pour des raisons de disponibilité. Les éléments de la solution nutritive et saline ont été dilués dans 40L d'eau

**Tableau IV** : Composition de l'eau de Blida en éléments minéraux (meq/l) (pH= 7,6).

Éléments	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Total
Teneur en mg/l	00	56,00	29,90	21,60	21,70	38,40	21,3	245	<b>433,90</b>
Teneur en meq/l	00	2,80	1,30	1,80	0,35	0,80	0,60	4,08	<b>11,73</b>

**Tableau V** : Les différents éléments utilisés pour la préparation de la solution nutritive.

Produits	quantité en g
KNo3	12.13
CaNo3	18.89
NH4 H2Po 4	4.60
MgSo4	4.92
H3 Bo 3	0.030
MnSo4	0.27/L
ZnSo4	0.46/L
CuSo4	2.48/L
H2MoO4	1.60/L
Fe EDTA	2.72
KCl	2.98/L

**Tableau VI** : Les différents sels utilisés pour la préparation de la solution saline (mg /l), ayant un pH(7,5) et une conductivité électrique de CE (3,7mmhos/cm).

Eléments	KCl	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NaCl	CaCl <sub>2</sub>	MgSO <sub>4</sub>
Teneur en g	10.43	3.23	17.43	18.96	36.46

**Figure 24** : Contrôle de pH, de la conductivité électrique est obligatoire avant chaque utilisation.

### 9.3. Lessivage

Afin d'éliminer les sels non absorbés par les plantes et éviter qu'ils s'accumulent au fond du pot, faussant ainsi les concentrations de départ, un lessivage abondant à l'eau a été effectué chaque dimanche avec l'eau du robinet.

## 10. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental adopté est un plan sans contrôle d'hétérogénéité (randomisation totale).

L'ensemble du dispositif expérimental est composé de six (06) traitements dont un témoin n'ayant pas subi de priming. Chaque traitement a eu une durée d'action d'un seul intervalle de temps « 06H, 09H, 12H, 24H ». disposés au facon aleatoire selon la table du permutation 1à10 Pour chaque traitement, nous avons huit (08) observations, soit 96 pots au total.



**Figure 25** : Vue générale du dispositif expérimentale.

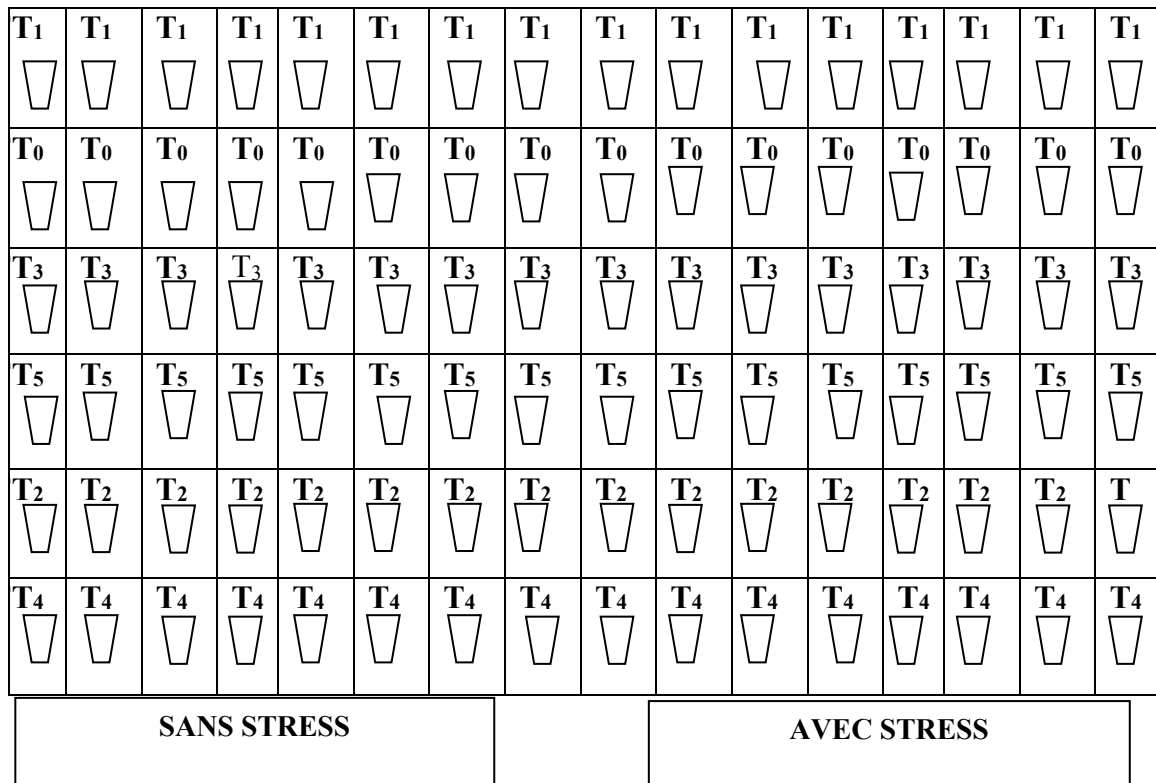


Figure 26 : Présentation du dispositif expérimental.



Figure 27 : Fleur du haricot





**Figure 28** : Gousses du haricot (stade final des plantules)



**Figure 29** : Photos d'une coupe effectuée

## 11. Paramètres mesurés :

### 11.1. Paramètres biométriques mesurés

#### 11.1.1. Hauteur de la plante

La hauteur finale des plantes est mesurée depuis le début de la phase de croissance, à savoir tous les 4 jours en (cm) du collet jusqu'à l'apex à l'aide d'une règle graduée, au niveau de toutes les plantes et pour chacun des traitements.

#### 11.1.2. Longueur des tiges

La mesure de la longueur des tiges a été mesurée au moment de chaque coupe à l'aide d'une règle graduée au niveau des plantes identifiées.

#### 11.1.3. Longueur des racines

Ce paramètre a été réalisé au moment de chaque coupe, à l'aide d'une règle graduée et ce au niveau des mêmes plants identifiés.

#### 11.1.4. Nombre de feuilles

Ce paramètre a été réalisé au moment de la coupe finale sur toutes plantes de chacun des traitements.

#### 11.1.5. Surface et longueur foliaire

La mesure de la surface foliaire a été effectuée à l'aide d'un logiciel de Digimizer au niveau de trois plantes par traitement.

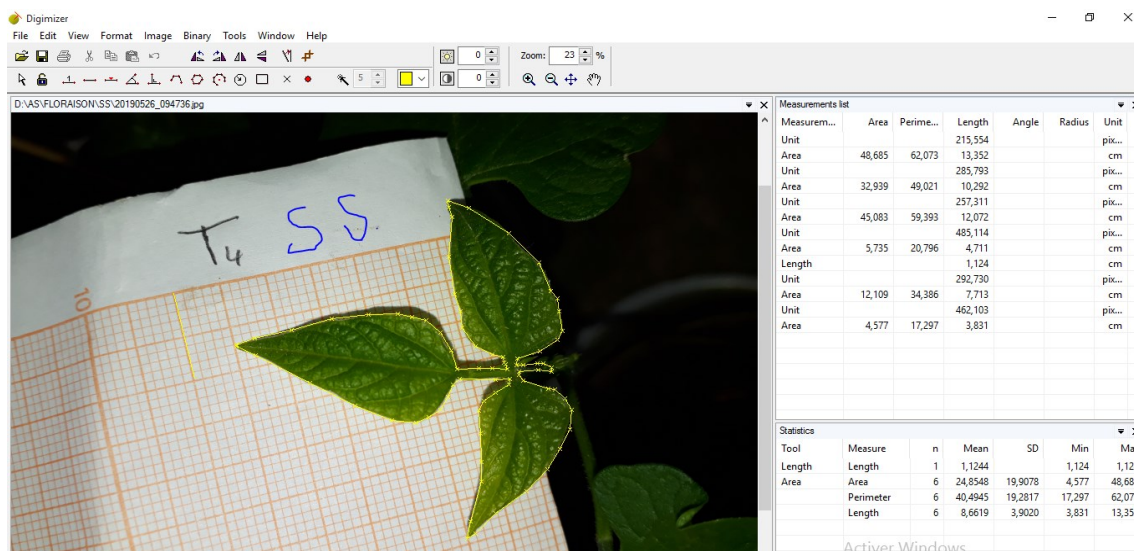


Figure 30 : Mesure de la surface foliaire par logiciel Digimizer.

### 11.1.6. Biomasse fraîche

Ce paramètre a été réalisé au niveau de deux plantes par traitement durant le stade végétatif et sur quatre plantes par traitement au stade final récolte). Le principe consiste à peser les différents organes de la plante en gramme, à l'aide d'une balance, à savoir :

- Poids frais des feuilles en g.
- Poids frais des tiges en g.
- Poids frais des racines en g.
- Poids frais des gousses en g.

### 11.1.7. Biomasse sèche

La biomasse sèche a été mesurée après le dessèchement des poids frais les feuilles, les tiges, et les racines, dans la serre à l'air libre, jusqu'à stabilité du poids sec.

- Poids sec des feuilles en g.
- Poids sec des tiges en g.
- Poids sec des racines en g.
- Poids frais des gousses en g.

### 11.1.8. Diamètre des tiges

Ce paramètre a été réalisé au moment de la coupe finale sur toutes plantes et pour chacun des traitements et ce au moyen d'un pied à coulisse en cm.

## 11.2. Paramètres physiologiques effectués

### 11.2.1. Teneur relative en eau (RWC)

La teneur en eau relative a été utilisée pour évaluer l'état de l'eau de la plante.

Environ 0,1 g d'échantillon de feuille par traitement et par plante a été coupé en petits morceaux, puis pesé pour déterminer le poids frais. L'échantillon de feuille a été mis à flot dans de l'eau distillée dans des tubes à essais pendant 5 heures, puis pesé par la suite pour déterminer le poids complètement turgescents des morceaux de l'organe testé.

L'échantillon de feuille a été séché dans une étuve réglée à 70-75 ° C pendant 02 jours. Dépassé ce délai, le poids sec des différents échantillons a été mesuré par une balance de précision. La teneur relative en eau (RWC) a été déterminée à l'aide de la formule suivante (Turner 1981) :

$$\text{CRE} = \left[ \frac{\text{PF} - \text{PS}}{\text{PT} - \text{PS}} \right] \times 100$$

Où :

PF est le poids frais, et PT le poids à la turgescence. PS est déterminé après passage à l'étuve pendant 48h à 80°C. Le potentiel osmotique (PT) et le contenu relatif en eau ont été mesurés entre 12h et 14h.



**Figure 11 :** Tubes Du contenu relatif en eau RWC

### 11.2.2. Dosage d'anthocyanine

L'anthocyanine de feuille a été extraite à partir d'environ 50 mg d'échantillon de feuille avec du méthanol acidifié (méthanol : HCl 1,0 N, 85: 15, v / v). Les échantillons de feuilles ont été placés dans un flacon contenant 5 ml de méthanol acidifié et mis à l'obscurité pendant 48 heures. L'absorbance a été mesurée à 535 nm en utilisant un spectrophotomètre Thermo GENESYS 20 (Thermo, USA). La teneur en anthocyanes totales des feuilles a été calculée et exprimée en équivalents de cyanidine 3-glucoside (Abdel-Aal & Hucl, 1999).

$$C=A \times 288,12\text{mg/kg}$$

### 11.2.3. Fuite d'électrolyte (EL)

La fuite d'électrolytes a été mesurée selon Nayyar et al. (2005) sur 1cm<sup>2</sup> d'échantillon de feuilles par traitement qui a été lavé avec de l'eau distillée pour éliminer les électrolytes adhérents à la surface, puis placé dans des flacons fermés contenant 20 ml d'eau distillée, incubés à 25 ° C sur un agitateur rotatif durant 24 h. Par la suite, la mesure de la conductivité électrique de la solution (L1) était déterminée par un conductimètre au niveau de trois répétitions pour chacun des traitements.



**Figure 32 :** Flacons de fuite d'électrolytes.



**Figure 33 :** Agitateur rotatif



**Figure 34 :** Détermination de la solution L1 par un conductimètre.

Les échantillons de feuilles ont ensuite été placées dans un bain marie à 100 ° C pendant 20 minutes et la conductivité électrique finale (L2) a été obtenue à l'équilibre à 25 ° C. La fuite d'électrolyte est définie comme suit :

$$EL (\%) = (L1 / L2) \cdot 100$$

### 11.3. Paramètres biochimiques effectués

#### 11.3.1. Dosage de proline

La proline est dosée selon le procédé utilisé par **Troll et Lindesl (1955)**, simplifié et mise au point par **Dreier et Goring (1974)** et modifié par **Monneveux et Nemmar (1986)**. Le principe de cette technique est de quantifier la réaction proline-ninhydrine par mesure spectrophotométrique. La proline interagit avec la ninhydrine en formant un complexe coloré. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de proline dans l'échantillon.

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

Après refroidissement, 1 ml de la solution est prélevé de chaque tube et mis dans de nouveaux tubes auxquels, on ajoute 1 ml d'acide acétique, 25 mg de ninhydrine ainsi que 1 ml d'un mélange contenant ; 120 ml d'eau distillée, 300 ml d'acide acétique et 80 ml d'acide ortho phosphorique.

Les tubes sont portés à ébullition au bain Marie durant 30 min. Au refroidissement des solutions, on ajoute 5 ml de toluène dans chaque tube. Après agitation au vortex deux phases apparaissent. On prélève la phase supérieure à laquelle on ajoute 5 mg de sulfate de sodium, puis on les laisse au repos pendant 48h. On procède à la lecture de la densité optique des échantillons avec le spectrophotomètre (UV) à la longueur d'onde de 528 nm.

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

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

# *Résultats et Discussion*

### 1. Aspect général des plants

En ce qui concerne l'aspect général des plants expérimentés, nous avons enregistré une différence remarquable entre les deux séries d'expérience (sans stress et avec stress). En effet, les plantes issues de la solution nutritive ont présenté une couleur verte foncée grâce à l'équilibre parfait du milieu alimentaire : les graines prétraitées par l'eau distillée (T1) et le  $\text{CaCl}_2$  (T3) représentent les plantes les plus vigoureuses par rapport au T0 alors que les plantes issues par ce dernier sont plus importantes que les autres issus de graines traitées par  $\text{KCl}$  (T2) et  $\text{ZnSO}_4$  (T4).



**Figure 36 :** Aspect général des plants du haricot de la série « solution nutritive ».



Les plantes ayant subi un stress salin se manifestent par couleur jaunâtre due à l'absence de pigment chlorophyllien et causée par le stress salin. Après le stade végétatif, les plantules ont subi un flétrissement suivi par la mort du végétal, compte tenu des conditions climatiques très défavorables notamment l'excès de température au niveau de la serre expérimentale. Il y a lieu de noter que les plantules issues des graines amorcées au niveau des traitements T4 ( $ZnSO_4$ ) et T2 (KCl) présentaient un aspect végétatif le moins développé.



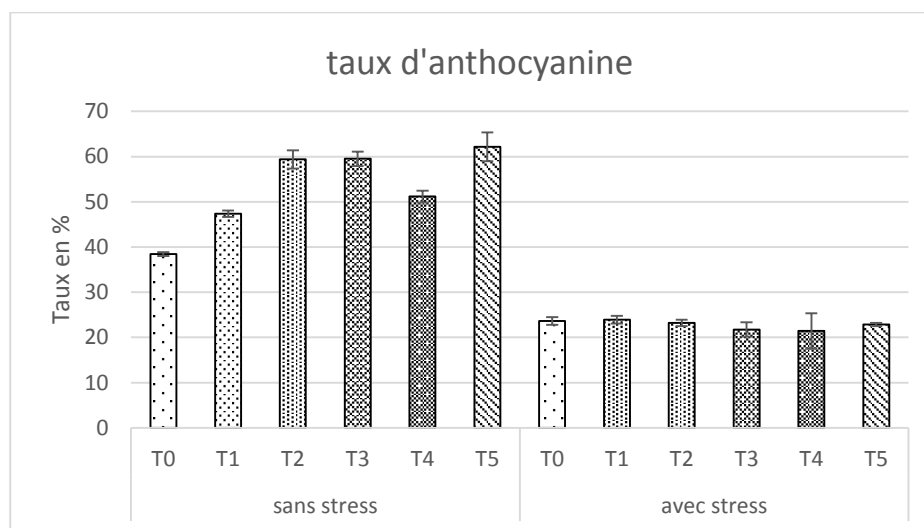
**Figure 37 :** Aspect général des plants du haricot de la série de « solution saline ».

## 2. Paramètres physiologiques mesurés au stade végétatif

### 2.1 Taux d'Anthocyanine dans les feuilles de haricot en %

Les résultats relatifs au taux d'anthocyanine des plants de haricot avec stress et sans stress au stade végétatifs sont représentés dans la figure suivante

L'analyse de la variance du facteur traitement sur le paramètre mesuré au niveau de la série des plantes stressées manifeste une différence hautement significative ( $p < 0,001$ ). Alors que pour la série des plantes non stressées aucune différence significative n'est constatée.



**Figure n° 38 :** Taux d'anthocyanine total stade 1 chez les plantes de haricot (%).

Selon les résultats obtenus ci-dessus, nous constatons que les graines amorcées par l'auxine (T5),  $\text{CaCl}_2$  (T3) et  $\text{KCl}$  (T2) dans la série (sans stress) au stade végétatif, présentent les moyennes les plus élevées d'anthocyanine et appartiennent au même groupe homogène (a). Par contre les traitements T4, T1 et T0 représentent les moyennes d'anthocyanine décroissantes et appartiennent aux groupes homogènes (b, c et d) respectivement. Contrairement les plants irrigués par une solution saline ont des résultats presque similaires au niveau de tous les traitements et appartiennent au même groupe homogène (a). On remarque que le traitement T1 (eau distillée) est légèrement supérieur par rapport aux autres traitements, de ce fait, on peut dire qu'il favorise le développement de l'anthocyanine.

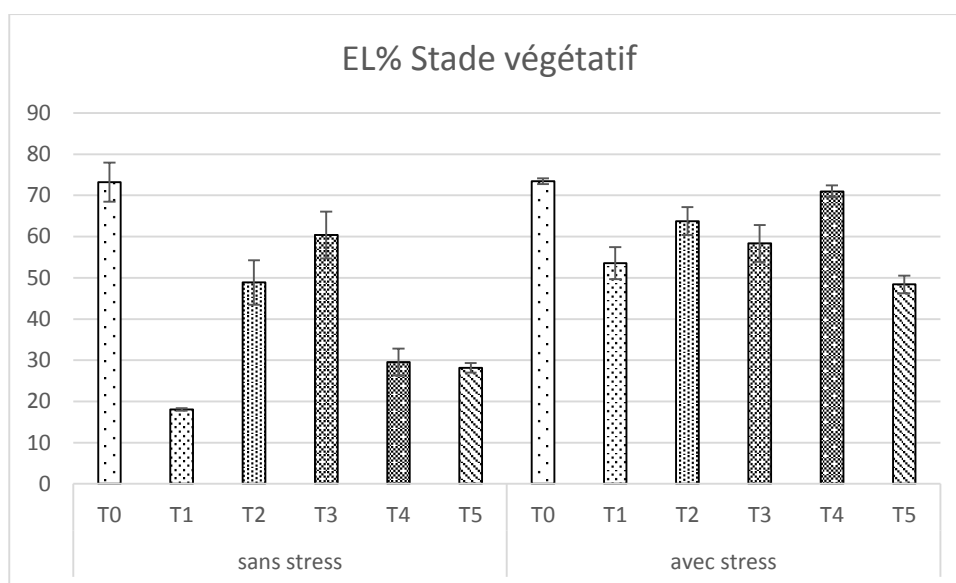
Cela met en évidence l'intérêt et l'effet positif du priming sur les graines du haricot, mais aussi il est à noter que l'effet de l'amorçage dépend ainsi des solutions d'irrigations et la concentration de la solution saline qui a montré des résultats faibles par rapport à la solution nutritive. Ceci est du probablement en raison du bon développement physiologique des plants de

haricots dans le milieu favorable qu'est la solution nutritive équilibré en macro et micro éléments indispensable à la croissance et au développement des plants.

## 2.2. Mesure de la fuite des électrolytes

Les résultats relatifs de la fuite des électrolytes des feuilles de haricot des deux séries (sans stress et avec stress) au stade végétatif sont représentés dans la figure suivante.

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré ( $p < 0.001$ ).



**Figure 39** : fuite des électrolytes chez les plantes de haricot (%).

Nous constatons que le taux relatif à la fuite d'électrolytes dans les plantes irriguées par la solution saline et la solution nutritive est identique au niveau du traitement T0. Autrement dit la solution nutritive et la solution saline n'exercent aucun effet remarquable sur la fuite d'électrolytes au niveau du témoin.

Pour la série solution saline, le taux de la fuite des électrolytes était plus remarquable par rapport à la série solution nutritive au niveau des traitements T5 et T1, cela est dû à l'effet du stress salin sur les plantes de haricot où l'absorption hydrominérale est moindre, se traduisant par un rejet d'éléments minéraux au niveau du percolât

Au niveau de la série solution nutritive, selon la méthode de LSD (95.0%), les traitements testés sont classés en 5 groupes homogènes, répartis comme suit : le premier groupe (a) renferme le traitement T0 (témoin) avec une moyenne (73,19%), alors que le deuxième groupe (b) renferme le traitement T3 avec une moyenne de (60.41%), suivi du groupe (c) du traitement T2 avec une moyenne de (48.68%), le group(d) qui renferme 2 traitements à savoir T4, T5 avec des moyennes (29.55% et 28.18%) respectivement et le dernier groupe (e) constitué du traitement T1 avec une moyenne de (18.06%).

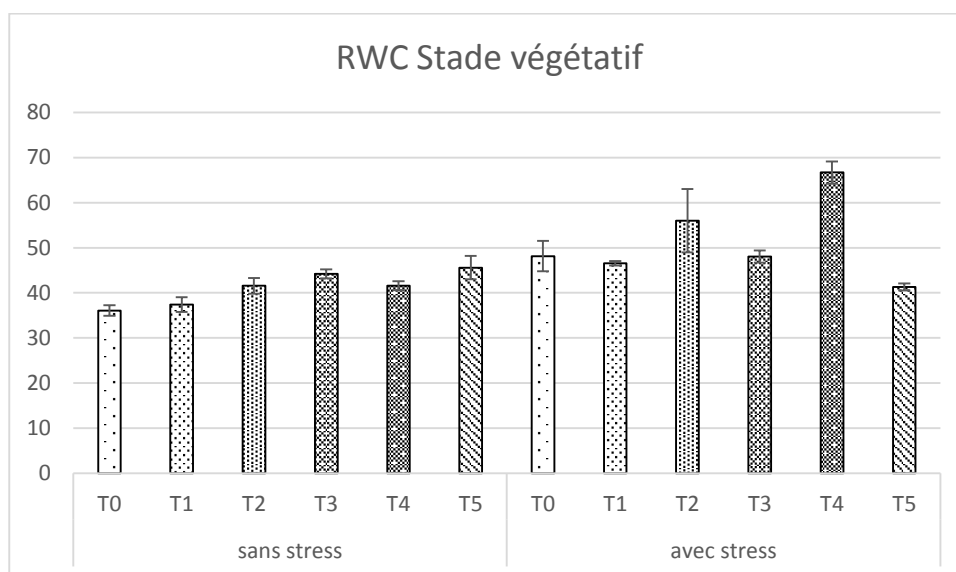
Au niveau des plantes stressées, selon la méthode de LSD (95.0%) les traitements testés sont aussi classés en 5 groupes homogènes : dont le premier groupe (a) représenté toujours par le témoin T0 et le traitement T4 avec des moyennes (73.47 – 71.0%) respectivement. Le deuxième groupe (b) renferme le traitement T2 avec une moyenne de (63.76%), suivi du groupe (c) pour le traitement T3 avec une moyenne de (58.34%), enfin, le groupe (dc) qui renferme le traitement T1 avec une moyenne de (53.56%).et le groupe (d) du traitement T5 avec une moyenne de (48.40%).

Les membranes cellulaires peuvent constituer l'une des premières cibles affectées par le stress chez les plantes, d'où la grande importance de la notion de stabilité membranaire. Le degré de dommage membranaire peut être estimé indirectement en mesurant le taux d'électrolytes cellulaires, celui-ci se trouve être inversement proportionnel à la stabilité ou l'intégrité membranaire d'où une corrélation négative entre eux. La variation des taux d'électrolytes sous différents stress, apporte une information complémentaire sur le comportement des variétés vis-à-vis ces contraintes (**Bentahar, 2017**).

### 2.3. La teneur relative en eau en %

Les résultats relatifs de la teneur relative en eau des feuilles de haricot sont présentés dans le figure suivante.

L'analyse de la variance pour les deux série (sans stress et avec stress) montre qu'il y a une différence très hautement significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré ( $p < 0.001$ ).



**Figure 40** : Teneur relative en eau chez les plantes de haricot (%).

La figure représente la teneur relative en eau des plantes de haricot stressées et non stressées au stade végétatif. Elle indique que la turgescence de feuilles est proportionnelle à la concentration des sels.

Les résultats indiquent que les meilleures teneurs relatives en eau sont signalées au niveau des plants issus des graines prétraitées par le T5 (imbibition par l'auxine) et irriguées par la solution saline avec une valeur de (45.58%), et les plantes issues des graines prétraitées par le traitement T4 (Osmopriming par  $ZnSO_4$ ) et irriguées par la solution nutritive avec une valeur de (66.70%) puis viennent les résultats de T2 à savoir imbibition par le KCl à 2% pour les plantes non stressées ça d'un côté, de l'autre côté pour la série des plantes stressées nous enregistrons des valeurs rapprochées au niveau des traitements T2, T4 qui appartiennent au groupe homogène (b).

En revanche d'autres auteurs ont trouvés que La turgescence varie inversement avec le taux de salinité ; autrement dit, lorsque la salinité du milieu augmente, la teneur relative en eau

diminue. Cette variation est importante chez *Atriplex halimus* par rapport à *Atriplex canescens*. Il y a lieu de noter qu'*Atriplex halimus* est caractérisé par une forte capacité d'absorption et une accumulation préférentielle du chlore et du sodium dans les feuilles. La contribution de ces ions peut rendre compte de la presque totalité de l'abaissement du potentiel osmotique. (**ALBOUCHI et al., 2003**).

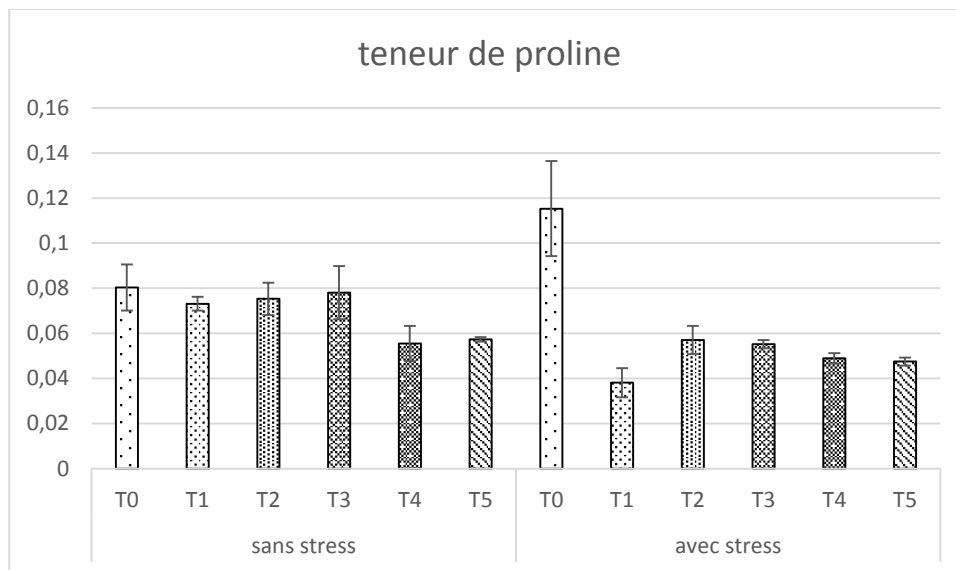
Le stress salin induit des changements au niveau du statut hydrique de la plante (**HASEGAWA, 2000**), réduit le contenu relatif en eau des feuilles (**ALBOUCHI et al., 2003**), diminue la transpiration (**RENGASAMY, 2006**) et l'absorption hydrique par les racines (**SNOUSSI et al., 2004**).

### 3. Paramètres biochimiques au stade végétatif

#### 3.1. Quantité de proline dans la plante en ( $\mu\text{g/gMF}$ )

Les résultats relatifs au taux d'anthocyanine des plants de haricot sans stress et avec stress au stade végétatif sont représentés dans la figure suivante.

L'analyse de la variance du facteur traitement sur le paramètre mesuré au niveau des deux séries (avec stress) et (sans stress) manifeste une action remarquable ( $p < 0,001$ ), et ( $p = 0,0063$ ) respectivement



**Figure 41** : Quantité de proline chez les plantes de haricot en ( $\mu\text{g/gMF}$ ).

Selon la méthode de LSD (95.0%), on constate d'après les résultats présentés ci-dessus que pour les plants sans stress au stade végétatif, nous avons deux groupes homogènes (a) représenté par les traitements (T0, T3, T2, T1) et (b) représenté par les traitements (T4, T5) reflétant les valeurs de la quantité de proline produite. Les plants irrigués par une solution saline manifestent les constatations suivantes : le traitement T0 représente la quantité de proline la plus élevée au niveau du groupe homogène (a). Le traitement T1 représente la quantité de proline la plus basse au niveau du groupe homogène (c).

La quantité de proline la plus élevée au niveau des plantes stressées est observée au niveau du traitement T0 avec (0.115) par rapport aux autres traitements dont la quantité de proline ne dépasse pas 0.057  $\mu\text{g/gMF}$ .

Ces résultats sont en parfait accord avec les travaux de **Demiral et Türkan (2005)** ; **Mansour et al. (2005)** dont l'accumulation de proline dans des plantes stressées par le sel est une réponse de défense essentielle pour maintenir la pression osmotique dans une cellule, ce qui est rapporté dans les cultivars tolérants au sel et sensibles au sel de nombreuses cultures.

L'accumulation de la proline serait attribuée à l'effet inhibiteur du stress sur son oxydation dans les mitochondries (**Sell et Koepf 1981**), ainsi que sur son incorporation dans les protéines (Hsiao 1973). La néosynthèse de la proline serait déclenchée par la perte de la turgescence due à la salinité. Celle-ci active une série d'événements complexes corrélée avec le niveau du stress, la tolérance de la plante et sa croissance (Huer 1993). Si plusieurs auteurs ont lié l'accumulation de la proline à la tolérance des plantes à la salinité, (**Rhodes et Handa 1989** ; **Delauney et Verma 1993**), d'autres rapportent l'absence de cette corrélation (**Perez Alfocea et al. 1993**; **Guerrier 1998**).

L'accumulation de la proline peut être due à une augmentation de la synthèse de cet acide aminé ou à la protéolyse des protéines déjà synthétisées et sa libération. (**Delauney et Verma, 1993**). L'accumulation de cet acide aminé peut en effet jouer un rôle dans l'osmorégulation des cellules en cas de déficit hydrique et servir comme indicateur de la sécheresse et/ou un détecteur de stress (**Aspinall et Paleg, 1981** ; **Grote et Claussen, 2001**).



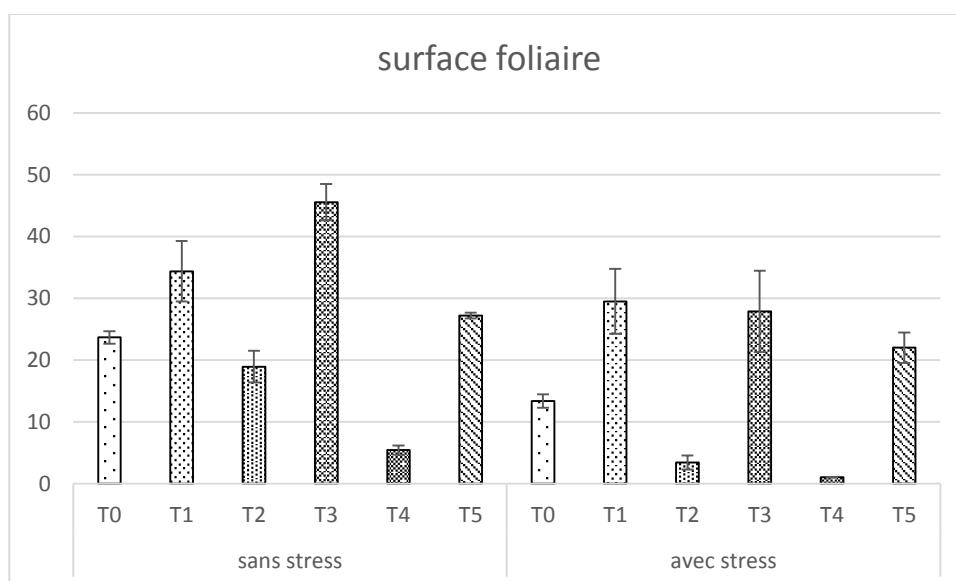
#### 4. Paramètres morphologiques mesurés

##### 4.1. Stade végétatif

##### 4.1.1. Surface foliaire (cm) :

Les résultats relatifs à la surface foliaire des plants de haricot au stade végétatif sont représentés dans la figure suivante.

L'analyse de la variance du facteur traitement sur le paramètre mesuré manifeste une différence hautement significative ( $p < 0,001$ ).



**Figure 42 :** Surface foliaire des plants du haricot en (cm).

On remarque selon les résultats présentés, que les traitements T3 et T1 manifestent les surfaces foliaires les plus importantes par rapport aux autres traitements testés avec des valeurs de  $45.56\text{cm}^2$  et  $34.36\text{cm}^2$  respectivement, et appartenant au deux groupes homogènes (a) et (b) respectivement. A l'inverse, les plantes issues des traitements T2, T4, présentent des surfaces foliaires statistiquement les plus faibles, et se situent dans deux groupes homogènes différents (d) et (e). Aussi, il y a lieu de mentionner que le traitement à base de,  $\text{ZnSo}_4$  semble ne pas favoriser le développement foliaire des plantes.

Pour la série (avec stress) : Selon la méthode de LSD (95.0%) les traitements testés sont classés en quatre groupes homogènes (a), (b), (cb), (c) respectivement.

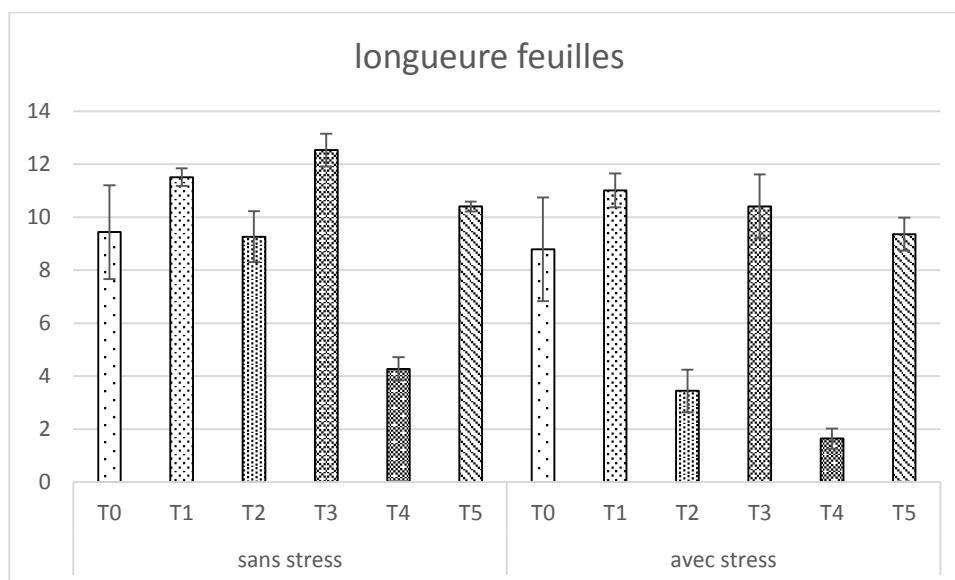
Les deux traitements T2 et T4 appartenant au groupe homogène (a) affichent les meilleurs résultats (2.073 et 2.006) tout en respectant l'ordre, tandis que les autres traitements la quantité de chlorophylle varient entre 1.60 et 1.43.

L'inhibition de la croissance foliaire chez les plantes sensibles est la première réponse à l'excès de sel dans le milieu selon les travaux de (Munns, 1983).

#### 4.1.2. Longueurs des feuilles

Les résultats relatifs à la surface foliaire des plants de haricot stressés et non stressés au stade végétatif sont représentés dans la figure n°43.

L'analyse de la variance du facteur traitement sur le paramètre mesuré manifeste une différence hautement significative ( $p < 0,001$ ) pour les deux séries sans et avec stress.

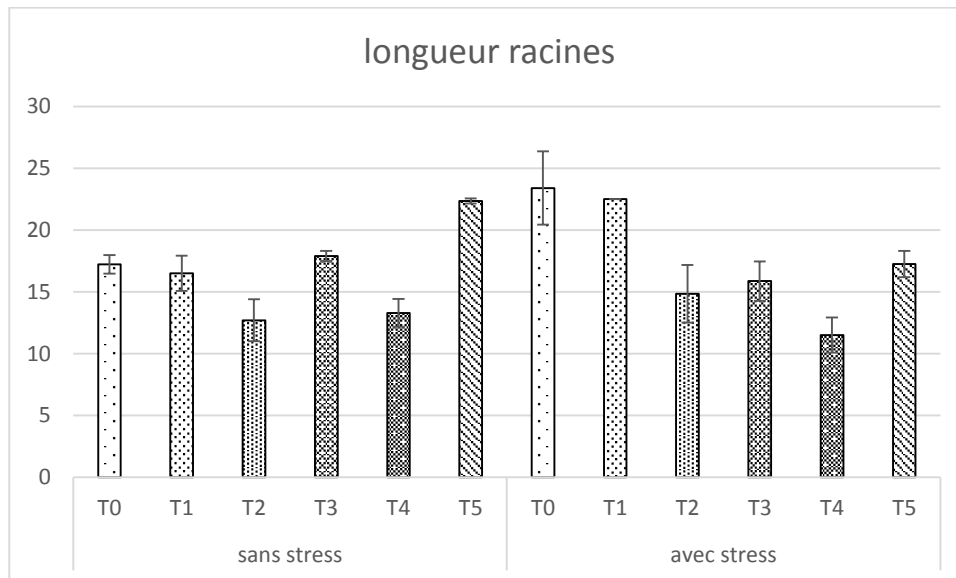


**Figure 43 :** Longueur foliaire des plants du haricot en (cm).

On remarque selon les résultats présentés, au niveau des deux séries de solutions utilisées que les traitements T1 et T3 manifestent les longueurs foliaires les plus importantes par rapport aux autres traitements testés, à l'inverse les plantes issues de traitement T4 présentent des longueurs foliaires statistiquement les plus faibles, quel que soit la série de solution, adoptée et se situe dans le groupe homogène (e). Les traitements T2 et T0, présentent au niveau des plantes de haricot des longueurs foliaires intermédiaires.

### 4.1.3. Longueur moyenne des racines (cm)

Les résultats relatifs à la longueur des racines des plantes de haricot sont représentés dans la figure suivante.



**Figure 44 :** Longueur moyenne des racines du haricot en (cm).

L'analyse de la variance de la série solution nutritive montre qu'il y a une différence très hautement significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré ( $p < 0.001$ ).

Les valeurs représentées dans la figure, montrent la variation de la longueur des racines par traitement. La plus grande valeur est obtenue dans le traitement (T5) sans stress de moyenne (22.35cm), et la plus petite valeur et celle de T2 avec (12.7cm).

L'analyse de la variance de la série solution saline montre qu'il y a une différence très hautement significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré ( $p < 0.001$ ).

Selon la méthode de LSD (95.0%) les traitements testés sont classés en cinq groupes homogènes (a, b, cb, c et d) dont les traitements T0, T1, appartenant au groupe homogène (a) présentent une longueur la plus élevée de (23.4-22.5cm), et T5 représente le groupe homogène (b), et T3 représente le groupe (cb) et T2 dans le groupe (c) le traitement T4 représente la valeur minimale de (11.5cm) et appartient au groupe homogène (d).

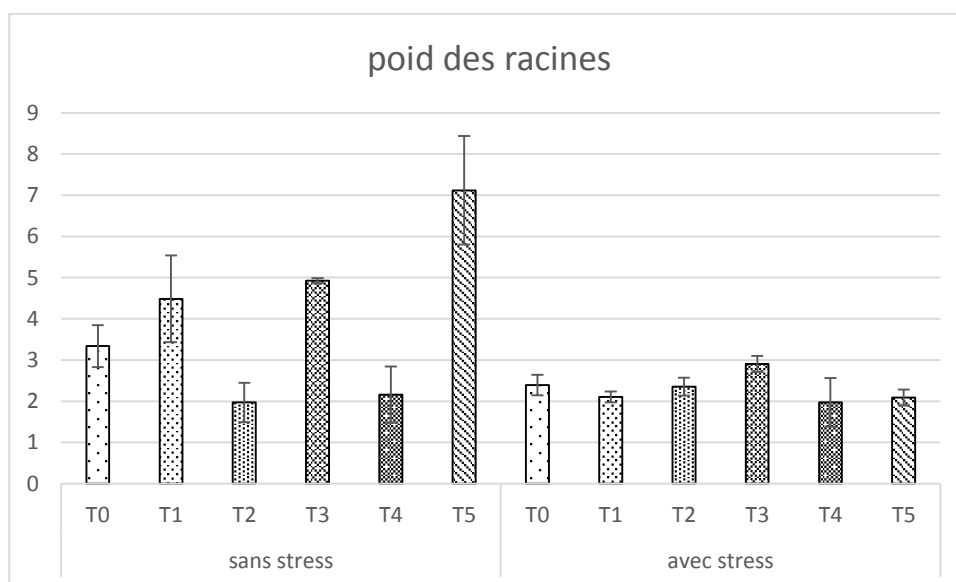
Une étude réalisée par **Kaymakanova (2009)** sur la croissance des plantules d'haricot a montré une diminution de la croissance due aux différents types de sels, la plante était incapable

de faire un ajustement osmotique, comme cela peut être dû à l'effet toxique des ions  $\text{Cl}^-$  et  $\text{Na}^+$  selon le même auteur.

#### 4.1.4. Biomasse fraîche moyenne des racines (g)

Les résultats relatifs à la biomasse fraîche des racines des plantes de haricot sont représentés dans la figure.

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré ( $p < 0.001$ ) pour la série des plants sans stress, et hautement significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré ( $p < 0.005$ ) pour la série des plants avec stress.



**Figure 45 :** Biomasse fraîche moyenne des racines du haricot en (g).

La matière fraîche moyenne des racines produite par nos plantes diminue en fonction de la présence de sel.

Chez les plantes non stressées nous avons enregistré une biomasse fraîche maximale du traitement T5, et une biomasse fraîche minimale du traitement T2 par rapport aux autres traitements T3, T4, T0 et T5 qui ont eu une biomasse intermédiaires.

Le traitement T3 qui appartient au groupe homogène (a) a donné un meilleur effet sur la biomasse fraîche des racines chez les plantes stressées par rapport aux autres traitements avec une valeur maximale de (2.90g), suivi par T0 et T2 appartenant au groupe homogène (b) avec

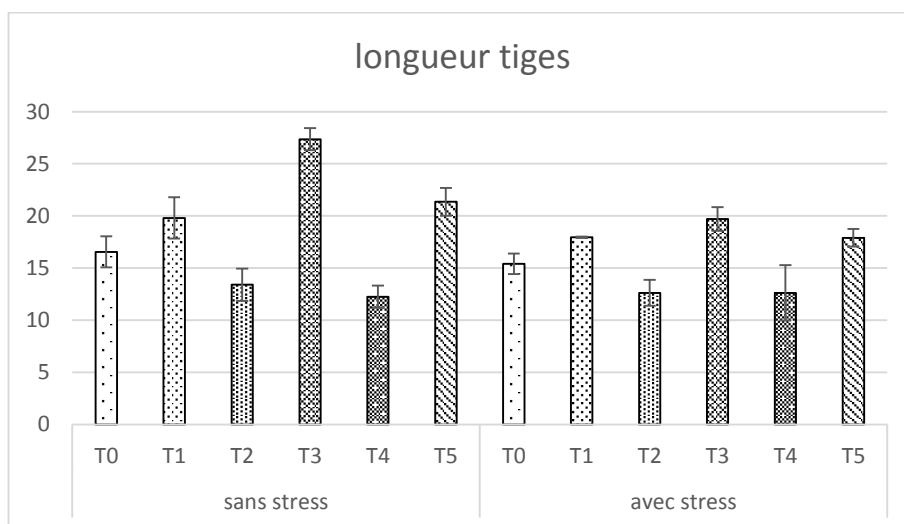
une valeur de (2.39g-2.35g) respectivement. Les traitements T1 et T5 du groupe homogène (cb) ont des valeurs moyennes de (2.10g-2.09g) respectivement, et enfin le traitement T4 enregistre une valeur minimale de (1.97g) et appartient au groupe (c).

Nos résultats sont confirmés aussi par Zahran et al. (1986), ils ont montré que chez les légumineuses, un stress salin de 50 à 200 mM de NaCl limite significativement la productivité. Cependant, plusieurs autres études ont montré que les matières fraîches et sèches racinaires sont affectées négativement et même positivement par la salinité.

#### 4.1.5. Longueur des tiges (cm)

Les résultats relatifs à la hauteur finale des plantes de haricot sont représentés dans la figure suivant .

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré ( $p < 0.001$ ) au niveau des deux séries sans stress et avec stress des plants de haricot



**Figure 46 :** Longueur des tiges du haricot en (cm).

Il faut noter que la hauteur finale des plantes du haricot ayant subi un déficit hydrique était plus faible par rapport aux plantes non stressés. Ceci est dû à l'effet du stress salin sur la croissance des plantes.

Chez la série solution nutritive les résultats montrent que la longueur des tiges des plants issues du traitement T3 appartenant au groupe homogène (a) présentent une valeur maximale de (27.37cm) suivi des plants issues des traitements T5 et T1 du groupe homogène (b) avec

(21.35cm-19.8cm), et enfin T2 et T4 du groupe homogène (d) présentent des longueurs minimales (13.4cm-12.25cm).

Chez la série solution saline, la méthode de LSD (95.0%), les traitements testés sont classé en 4 groupes homogènes (a), (b), (c) et (d) respectivement .La valeur maximale est celle du T3 de longueur (19.7cm), suivi de T1 et le T5 de longueurs varient entre (17.95cm-17.9cm), et enfin le traitement T4 et T2 présente la même valeur (12.62cm).

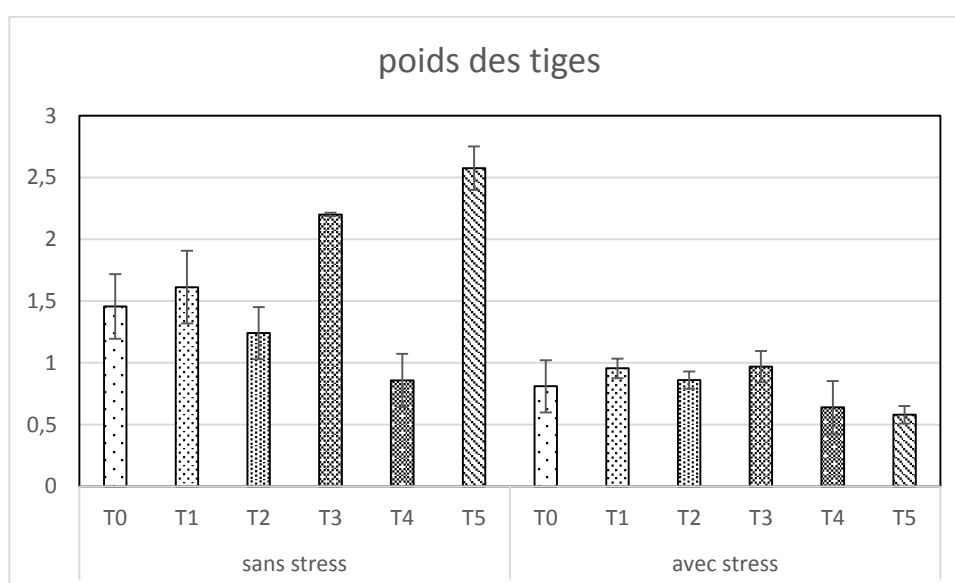
Il est a noté que le témoin T0 présente au niveau des deux séries sans stress et avec stress des plants de haricot des longueurs des tiges appréciable (c).

Huq et Larher (1984) ont montré qu'en présence d'une concentration de 50M de NaCl à une conductivité électrique de moins de 2dS/m, la croissance est réduite à 50%. Dans une autre étude, des graines d'haricot ont tolérer jusqu'à 100mM de NaCl (avec une CE moins de 12dS/m) sans aucun symptôme de toxicité par le sel (Subbaro *et al.*, 1991).

#### 4.1.6. Biomasse fraîche des tiges en (g)

Les résultats relatifs à la biomasse fraîche des tiges des plantes de haricot sont représentés dans la figure.

L'analyse de la variance montre qu'il a une différence très hautement significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré ( $p < 0.001$ ) pour la série des plants sans stress, et hautement significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré ( $p < 0.005$ ) pour la série des plants avec stress.



**Figure 47 :** Biomasse fraîche des tiges des plantes du haricot en (g).

La biomasse fraîche des tiges des plantes de haricot montrent une différence nettement visible entre les résultats de la série solution saline et la série solution nutritive, dont les valeurs de la série solution saline sont basse par rapport aux plantes n'ayant pas subi un stress salin.

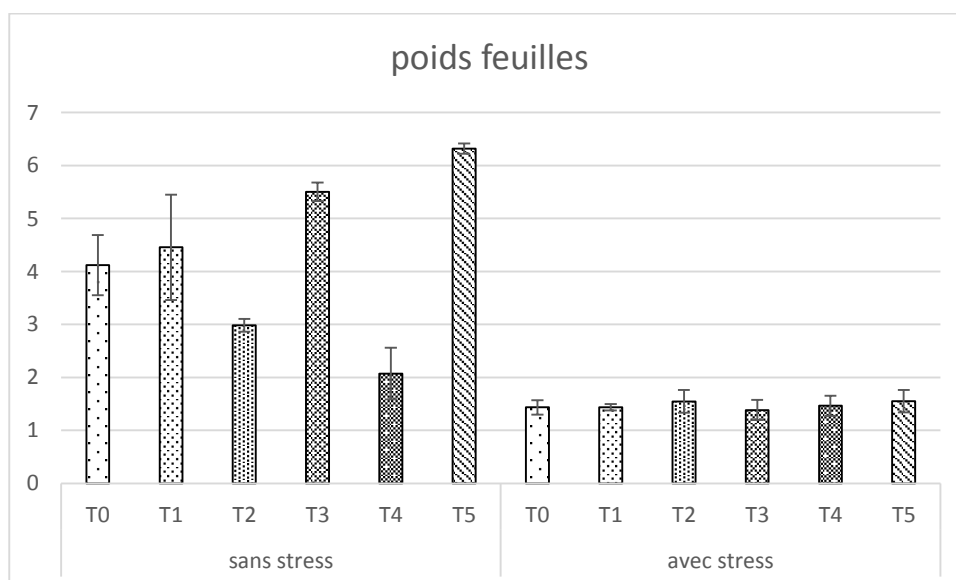
Chez la série solution nutritive, selon la méthode de LSD (95.0%) les traitements testés sont classés en 6 groupes homogènes (a), (b) (c) (dc), (d) et (e). Les traitements T3 et T5 présentent les valeurs les plus élevés avec (2.57g et 2.2g), suivi par les autres traitements qui ont des valeurs varient entre (1.61g-1.24g), et une valeur minimale du traitement T4 avec (0.85g).

Lorsque les plantes sont stressées, selon la méthode de LSD (95.0%) les traitements testés sont classés en 4 groupes homogènes (a), (ba), (cb) et (c). Les traitements T3, T1 et T2 présentent les valeurs les plus élevés, et une valeur minimale du traitement T5 avec (0.58g).

#### 4.1.7. Biomasse fraîche des feuilles des plantes

Les résultats relatifs de biomasse fraîche des feuilles des plantes de haricot sont représentés dans la figure n°48.

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré pour la série solution nutritive ( $p < 0.001$ ). Par contre pas de différence entre les traitements de la série solution saline ( $P = 0.5412$ ).



**Figure 48** : Biomasse fraîche des feuilles des plantes du haricot en (g).

Les résultats obtenus chez les plantes stressés ont été moins performants que ceux de la série solution nutritive. Ceci à cause de l'effet du stress salin sur les performances des plantes de haricot.

On note que selon la méthode de LSD (95.0%) pour les plantes non stressés les traitements testés sont classé en 5 groupes homogènes (a), (b), (c), (d), et (e) respectivement. On a enregistré une valeur maximale de (6.32g) au niveau du traitement T5, et une valeur minimale de (2.07g) au niveau du traitement T4.

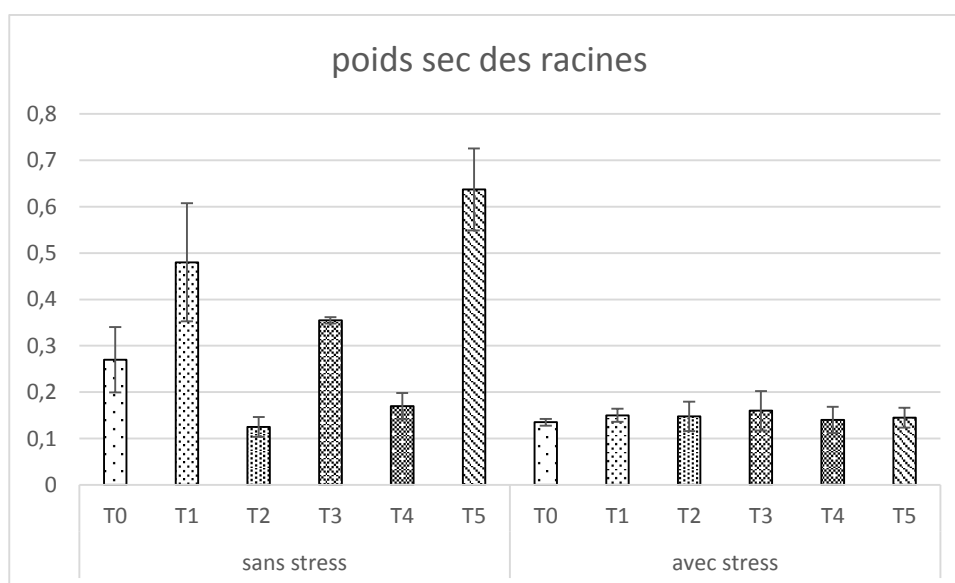
Concernant la série solution saline, selon la méthode de LSD (95.0%) les plants issus des traitements testés présentent des valeurs proches entre eux dont le groupe homogène est le même(a), il est a noté que le traitement T5 semble favorise la matière fraîche foliaire

En cas de stress induit par la salinité, et lorsque les niveaux de  $\text{Na}^+$  et de  $\text{Cl}^-$  augmentent dans les tissus foliaires, les performances photosynthétiques diminuent simultanément (**Munns, 2008**).

#### 4.1.8. Biomasse sèche des racines en (g)

Les résultats relatifs de la biomasse sèche des racines des plantes de haricot sont représentés dans la figure suivante.

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré pour la séries solution nutritive ( $p < 0.001$ ). Par contre pas de différence entre les traitements de la sérié solution saline ( $P = 0.6870$ ).



**Figure 49** : Biomasse sèche des racines des plantes du haricot(g).



Les résultats montrent qu'il y a une nette différence entre le taux de matière sèche des racines pour la série solution nutritive et la série solution saline.

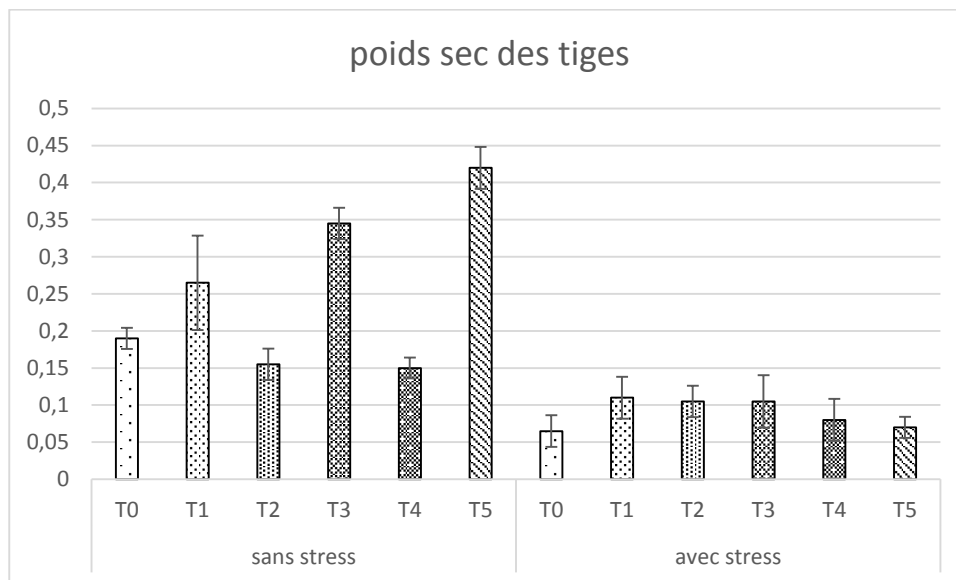
Les meilleurs résultats ont été enregistrés pour la série solution nutritive dont la valeur maximale était de (0.63 g) pour le traitement T5 suivi par le traitement T1 avec une moyenne de (0.48g) et qui appartiennent au deux groupes homogènes (a) et (b) respectivement, en deuxième lieu on a les traitements T et T0 qui appartiennent au groupe homogène (c) avec des valeurs de (0.35g-0.27g) respectivement, et enfin les traitements T4 et T2 ont enregistré une moyenne minimale (0.17g-0.12g) respectivement, au groupe (d).

Concernant la série solution saline une moindre performance a été enregistrée avec des moyennes plus basses par rapport à la série précédente et cela est dû au stress salin que les plantes de haricot ont subi durant l'expérimentation et qui a eu un effet sur les racines ; la méthode de LSD (95.0%) classe les traitements testés en un seul groupe (a) pour tous les traitements. Pas d'effet entre les traitements.

Des résultats similaires ont été rapportés par (**Dubey et Singh ,1999**). Cette résistance du système racinaire du trèfle au stress salin peut être due à une diminution de l'allocation du carbone pour la croissance foliaire au profit de la croissance racinaire (**BRUNGNOLI et BJORKMAN, 1992**). La réduction de la croissance peut être aussi liée à des perturbations des taux des régulateurs de croissance (acide abscissique et cytokinines) induites par le sel (**KUIPER et al., 1990**). Parfois à une réduction de la capacité photosynthétique suite à une diminution de la conductance stomatique de CO<sub>2</sub> sous la contrainte saline (**SANTIAGO et al., 2000**).

#### 4.1.9. Biomasse sèche des tiges en (g)

Les résultats relatifs de la biomasse sèche des tiges des plantes de haricot sont représentés dans la figure suivante.



**Figure 50 :** Biomasse sèche des tiges des plantes du haricot (g).

Pour la série solution nutritive l'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré ( $p < 0.001$ ).

La méthode de LSD classe les traitements testés en quatre groupes homogènes, (a), (b), (c) et (d), la valeur maximale a été enregistrée pour le traitement T5 (0.42g) et la valeur minimale a été enregistrée pour le traitement T4 (0.15g).

Contrairement à la série solution saline une moindre performance a été notée par rapport à la série solution nutritive.

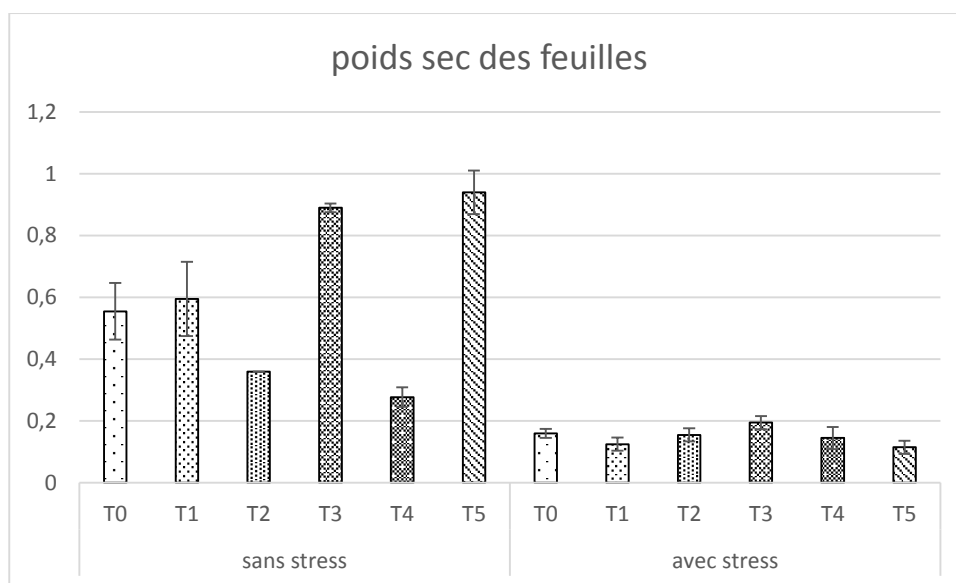
L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré ( $p < 0.05$ ).

La méthode de LSD classe les traitements testés en trois groupes homogènes à savoir : (a) pour les traitements T1, T3 et T2 (0.11g-0.10g-0.10g) respectivement, (ba) pour le traitement T4 (0.08g) et en dernier lieu le groupe (b) pour les traitements T5 (0.07g) et T0 (0.065)

Des concentrations faibles en NaCl ( $2 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ ) dans le milieu a conduit à une stimulation de la production de la matière fraîche et sèche des organes aériens du trèfle. Une réponse analogue a été signalée chez la luzerne (Hussain *et al.*, 1995).

#### 4.1.10. Biomasse sèche des feuilles en (g)

Les résultats relatifs de la biomasse sèche des feuilles des plantes de haricot sont représentés dans la figure.



**Figure 51** : Biomasse sèche des feuilles des plantes du haricot(g).

Pour la série solution nutritive l'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré ( $p < 0.001$ ).

Une nette performance est apparente au niveau des plantes n'ayant pas subi de stress salin

Les traitements testés ont classés en trois groupes homogènes (a), (b), et (c). Les traitements T5 et T3 appartenant au groupe homogène (a) enregistre des valeurs maximales de (0.94g-0.89g) respectivement, et les traitements T2 et T4 enregistrent des valeurs minimales de (0.36g-0.27g).

Puis des résultats de moins en moins performants sont notés au niveau de la série solution saline, l'analyse de la variance montre qu'il y a une différence significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré ( $p < 0.001$ ).

La méthode de LSD montre que le meilleur traitement est T3, appartenant au groupe homogène (a) avec une valeur de (0.19g) suivi par le témoin T0 et le traitement T2 qui appartient au groupe homogène (b), ensuite le traitement T4 qui appartient au groupe homogène (cb), et en dernier les traitements T1 et T5 dans le groupe homogène (b) avec une valeur basse de (0.125g-0.115).

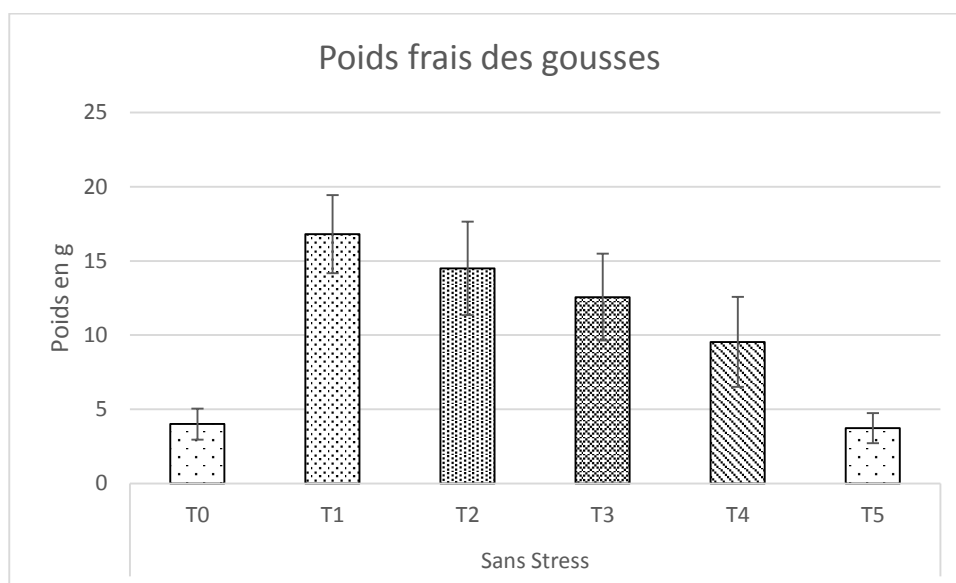
L'effet de la salinité n'est pas homogène pour tous les organes. Les réponses morphologiques, physiologiques et métaboliques de ces derniers sont différentes (**HILAL et al., 1998**).

## 4.2. Stade Final

### 4.2.1. Biomasse fraîche des gousses des plantes

Les résultats relatifs de la biomasse fraîche des gousses des plantes de haricot sont représentés dans la figure.

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré ( $p < 0.001$ ).



**Figure 52** : Biomasse fraîche des gousses des plantes du haricot en (g).

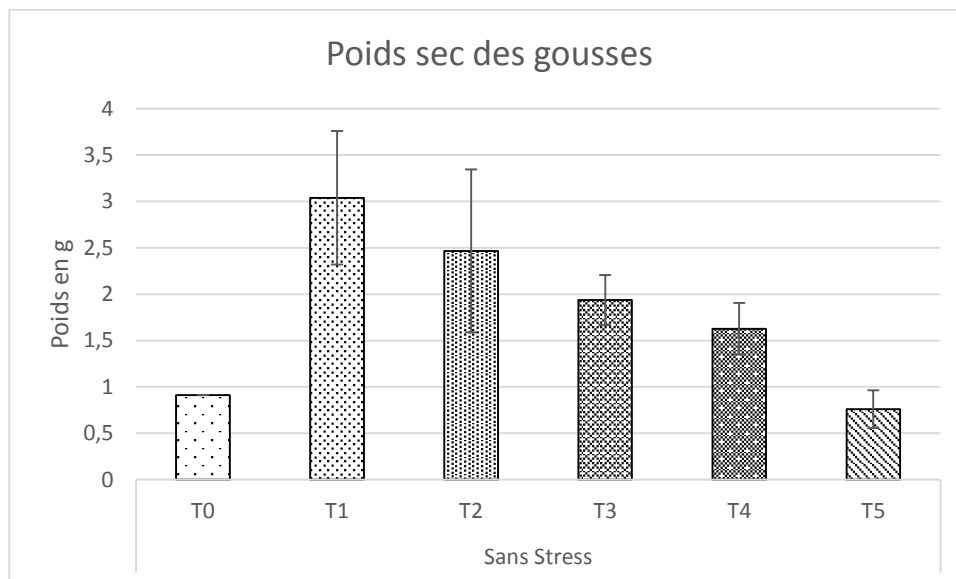
Les différents traitements testés sont classés en cinq groupes homogènes (a), (ba), (cb), (c), et (d) selon la méthode de LSD (59.0%).

Le traitement T1 qui appartient au groupe homogène (a) enregistre la biomasse la plus élevée avec une valeur de (16.80 g), alors que les traitements T0 et T5 représentent les valeurs des biomasses minimales (4.0 g – 3.73g) dont leur groupe est (d).

#### 4.2.2. Biomasse sèche des gousses en (g)

Les résultats relatifs de la biomasse sèche des gousses des plantes de haricot sont représentés dans la figure.

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré ( $p < 0.001$ ).

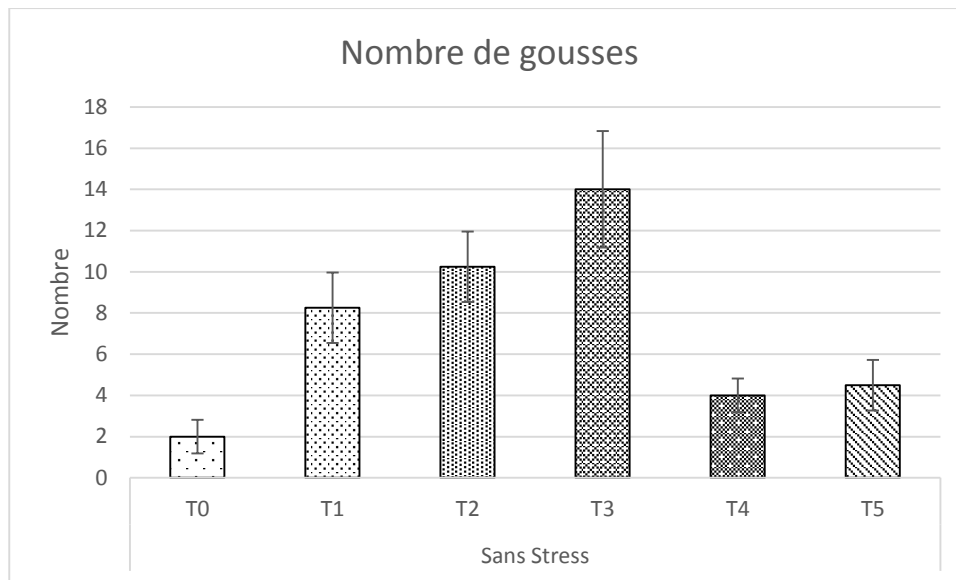


**Figure 53 :** Biomasse sèche des gousses des plantes du haricot en (g).

La moyenne maximale a été enregistrée pour le traitement T1 qui appartient au groupe homogène (a) et qui est de (3.04g), suivi par les traitements T2, T3, T4 et T0 appartenant aux groupes homogènes (ba), (cb), (dc) et (ed) respectivement. Et en dernier lieu le traitement T5 appartenant au groupe homogène (e) enregistre une valeur minimale de (0.76g).

### 4.2.3. Nombre de gousses des plantes

Les résultats relatifs de nombre de gousses des plantes de haricot sont représentés dans la figure suivante.



**Figure 54 :** Nombre de gousses des plantes du haricot.

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré ( $p < 0.001$ ).

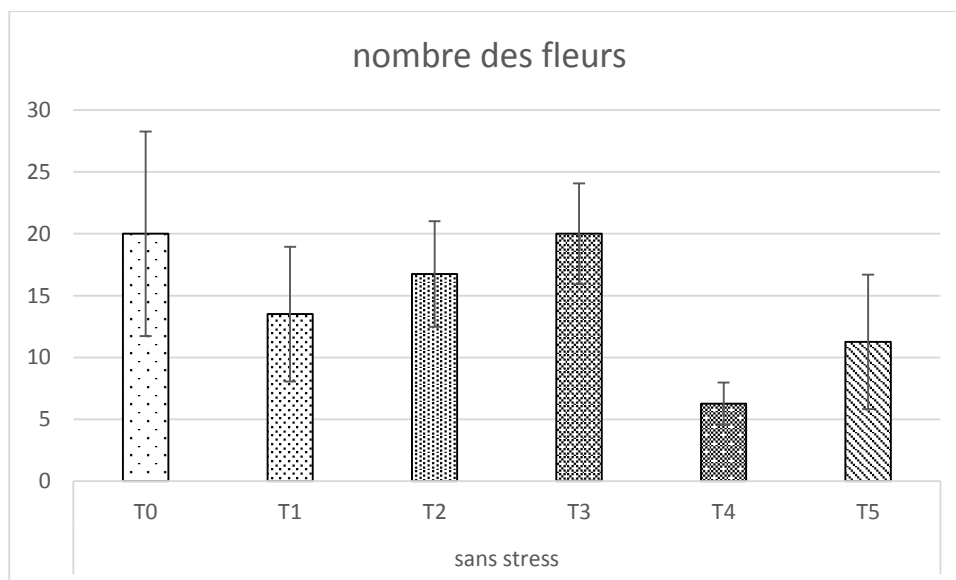
On note que le nombre de gousse a été enregistré que pour la série solution nutritive, la méthode de LSD (95.0%) classe les traitements testés en cinq groupes homogènes (a), (b), (c), (dc), (d) respectivement.

On constate que le traitement T3 appartient au groupes homogènes (a) a eu un effet remarquable sur les gousses de haricot avec une moyenne de (14.0), suivi par les traitements T2, T1, appartenant aux groupes homogènes (b), avec une moyenne de (10.25- 8.25) respectivement et par la suite le traitement T0 qui appartient au groupe homogène (d) avec une faible performance (2.0).

#### 4.2.4. Nombre de fleur des plantes

Les résultats relatifs de nombre de fleurs des plantes de haricot sont représentés dans la figure suivante.

L'analyse de la variance pour la série solution nutritive toujours, montre qu'il y a une différence très hautement significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré ( $p < 0.001$ ).



**Figure 55** : Nombre de fleurs des plantes du haricot.

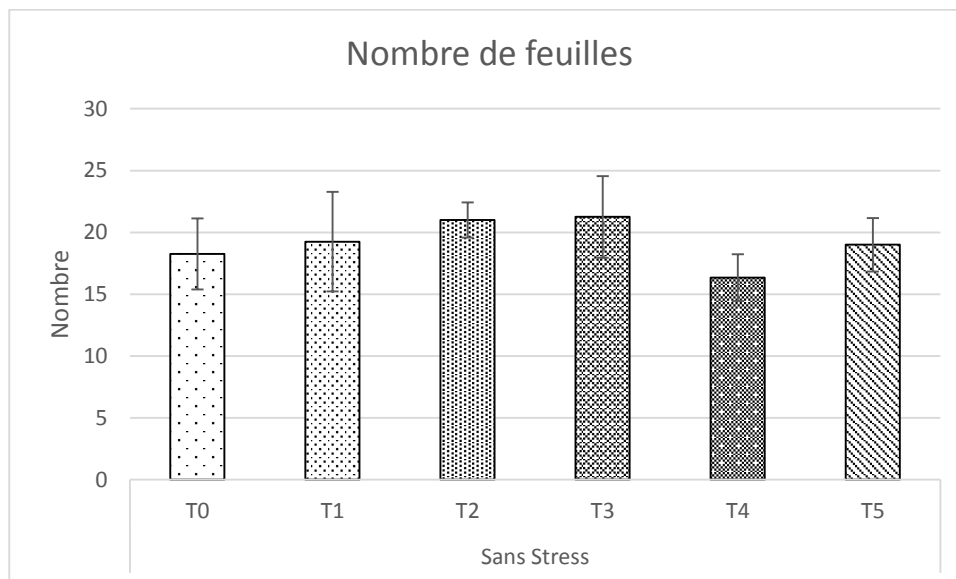
Selon la méthode de LSD (95.0%) pour la série solution nutritive on constate que Les meilleures performances sont enregistrées pour les traitements T3 et T2 qui appartient aux groupes homogènes (a) et (b) avec des valeurs maximales de (22.5) et (18.66) respectivement, suivi par les autres traitements T1, T5 T0 et T dont la moyenne varie de (17.5 à 6.33).



#### 4.2.5. Nombre des feuilles des plantes

Les résultats relatifs de nombre de feuilles des plantes de haricot sont représentés dans la figure suivante.

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré chez les plantes non stressés ( $p < 0.05$ ).



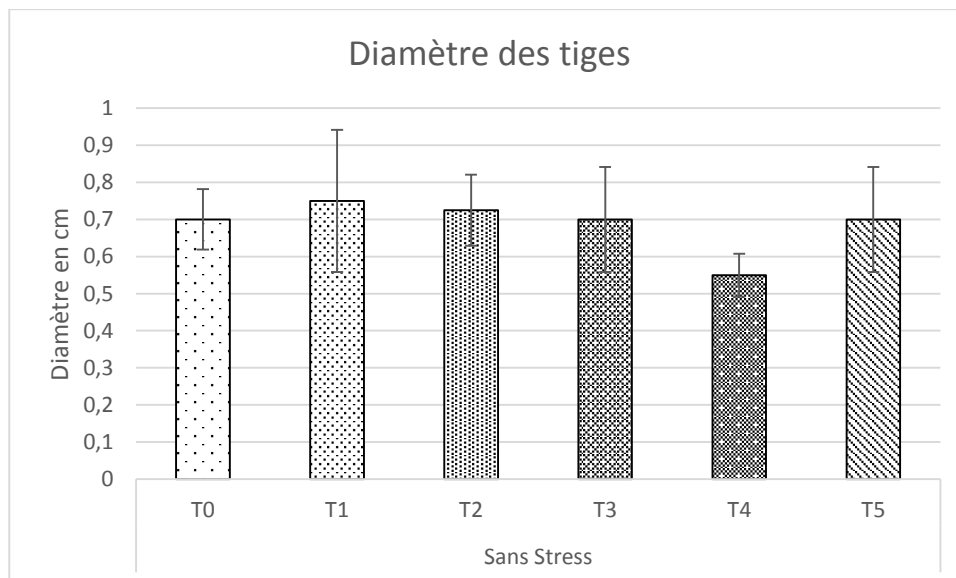
**Figure 56** : Nombre des feuilles des plantes du haricot.

Selon la méthode de LSD (95.0%) les traitements testés sont classés en trois groupes homogènes (a), (ba), (b), respectivement, le traitement T3 avec une valeur maximale de (21.25 feuilles) et le traitement T4 avec une valeur minimale de (16.33 feuilles).

#### 4.2.6. Diamètre moyen des tiges (mm)

Les résultats relatifs au diamètre des tiges des plantes de haricot sont représentés dans la figure.

L'analyse de la variance montre qu'il n'y a pas une différence significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré ( $p=0.3330$ ).



**Figure 57** : Diamètre moyen des tiges des plantes du haricot en (cm).

Selon la méthode de LSD (95.0%) , pour la série solution nutritive : les traitements testés sont classés en trois groupes homogènes (a) (ba) et (b), nous avons enregistré au niveau du traitement T1 la valeur la plus élevée de diamètre (0.75cm), au groupe (a) les autres traitements présentent presque les mêmes valeurs de diamètre qui varie entre 0.725 et 0.7 cm et appartiennent au même groupe homogène (ba) . La valeur minimale a été obtenue au niveau du traitement T4 avec une moyenne de (0.55 cm).

*Conclusion*

## Conclusion

---

À l'issue de cette étude, nous pouvons conclure que le prétraitement des semences tel qu'il soit, (hormoprimer, hydroprimer ou Osmoprimer), chez (*Phaseolus vulgaris L.*) permet d'améliorer les performances germinatives et la croissance des plantes sous des conditions de stress salin et non salin.

Les paramètres biochimiques, biométrique et physiologiques mesurés en cours de l'expérience ont révélé que les techniques de primer des graines effectuées avaient un rôle remarquable sur la croissance, l'état physiologique et biochimique des plantes testées.

Il a été constaté selon les divers résultats relatifs aux paramètres biométriques (biomasse fraîche, biomasse sèche ; longueur des tiges et des racines ; nombre de feuilles et de gousses ; surface foliaire ; diamètre des tiges et hauteur finale des plantes) que les traitements T<sub>1</sub> (eau distillée), T<sub>3</sub> (CaCl<sub>2</sub>) et T<sub>5</sub> (auxine) présentaient par rapport au témoin T<sub>0</sub> les effets les plus remarquables. À l'inverse, les traitements T<sub>2</sub> (KCl) et T<sub>4</sub> (ZnSO<sub>4</sub>) présentaient les effets les moins importants.

Aussi il est constaté que la quantité de la proline a été augmentée chez les plantes qui ont subi un stress salin grâce à leur adaptation au stress salin.

Aussi, à travers les principaux résultats obtenus, il y a lieu de mentionner que les meilleures teneurs relatives en eau ont été signalées au niveau des plants issus des graines prétraitées par le T<sub>5</sub> (imbibition par l'auxine) et irriguées par la solution saline avec une valeur de (45.58%) et également pour les plantes issues des graines prétraitées par le traitement T<sub>4</sub> (Osmoprimer par ZnSO<sub>4</sub>) et irriguées par la solution nutritive (66.70%) par rapport aux autres traitements testés.

Compte tenu de la nouveauté du travail de recherche entrepris, il serait souhaitable que ce travail soit reconduit dans le cadre d'une autre expérimentation afin de confirmer les observations et résultats trouvés.

# **Annexes**

# **Annexes**

# Annexe 1 : paramètres physiologiques

## Stade végétatif :

- **Le taux d'anthocyanine :**

**Tableau 1 :** Analyse de variance pour Anthocyanine stade 1 série solution nutritive-somme des carrés de type III.

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
<b>Inter-groupes</b>	1243,26	5	248,651		<b>77,92</b>	<b>0,0000</b>
<b>Intra-groupes</b>	38,293	12	3,19108			
<b>Total (Corr.)</b>	1281,55	17		16,3824%		

**Tableau 1.1 :** Tests des étendues multiples pour Anthocyanine stade 1 série solution nutritive. Méthode : 95,0 % LSD.

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
<b>T0</b>	3	38,428	d
<b>T1</b>	3	47,3625	c
<b>T4</b>	3	51,1573	b
<b>T2</b>	3	59,3713	a
<b>T3</b>	3	59,5154	a
<b>T5</b>	3	62,1573	a

**Tableau 2 :** Analyse de variance pour Anthocyanine stade 1 série solution saline-somme des carrés de type III.

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
<b>Inter-groupes</b>	14,8882	5	2,97765		<b>0,90</b>	<b>0,5099</b>
<b>Intra-groupes</b>	39,5528	12	3,29607			
<b>Total (Corr.)</b>	54,441	17		7,84585%		

**Tableau 2.1 :** Tests des étendues multiples pour Anthocyanine stade 1 série solution saline. Méthode : 95,0 % LSD.

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
<b>T4</b>	3	21,4716	a
<b>T3</b>	3	21,7599	a
<b>T5</b>	3	22,8647	a
<b>T2</b>	3	23,2009	a
<b>T0</b>	3	23,6332	a
<b>T1</b>	3	23,9214	a

- **Contenue Relative en eau :**

**Tableau 3 :** Analyse de variance pour Contenue Relative en eau stade 1 série solution nutritive-somme des carrés de type III.

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
<b>Inter-groupes</b>	208,113	5	41,6226		<b>15,66</b>	<b>0,0001</b>
<b>Intra-groupes</b>	31,9038	12	2,65865			
<b>Total (Corr.)</b>	240,017	17		9,14756%		

**Tableau 3.1 :** Tests des étendues multiples pour Contenue Relative en eau stade 1 série solution nutritive.

Méthode : 95,0 % LSD.

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
<b>T0</b>	3	36,0771	c
<b>T1</b>	3	37,3923	c
<b>T2</b>	3	41,5576	b
<b>T4</b>	3	41,6117	b
<b>T3</b>	3	44,238	ba
<b>T5</b>	3	45,5811	a

**Tableau 4 :** Analyse de variance pour Contenue Relative en eau stade 1 série solution saline-somme des carrés de type III.

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
<b>Inter-groupes</b>	1206,63	5	241,326		<b>20,85</b>	<b>0,0000</b>
<b>Intra-groupes</b>	138,911	12	11,5759			
<b>Total (Corr.)</b>	1345,54	17		17,3995%		

**Tableau 4.1 :** Tests des étendues multiples pour Contenue Relative en eau stade 1 série solution saline.

Méthode : 95,0 % LSD.

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
<b>T5</b>	3	41,3074	d
<b>T1</b>	3	46,5763	dc
<b>T3</b>	3	48,0524	c
<b>T0</b>	3	48,1333	c
<b>T2</b>	3	56,009	b
<b>T4</b>	3	66,7099	a



- **Fuite d'électrolyte :**

**Tableau 5 :** Analyse de variance pour Fuite d'électrolyte stade 1 série solution nutritive-somme des carrés de type III.

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
<b>Inter-groupes</b>	6816,32	5	1363,26		<b>85,20</b>	<b>0,0000</b>
<b>Intra-groupes</b>	192,012	12	16,001			
<b>Total (Corr.)</b>	7008,33	17		11,0971%		

**Tableau 5.1 :** Tests des étendues multiples pour Fuite d'électrolyte stade 1 série solution nutritive.

Méthode : 95,0 % LSD.

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
<b>T1</b>	3	18,0677	d
<b>T5</b>	3	28,1545	c
<b>T4</b>	3	29,5537	c
<b>T2</b>	3	48,8624	b
<b>T3</b>	3	60,4166	b
<b>T0</b>	3	73,1926	a

**Tableau 6 :** Analyse de variance pour Fuite d'électrolyte stade 1 série solution saline-somme des carrés de type III.

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
<b>Inter-groupes</b>	1449,58	5	289,917		<b>32,66</b>	<b>0,0000</b>
<b>Intra-groupes</b>	106,534	12	8,8778			
<b>Total (Corr.)</b>	1556,12	17		15,5762%		

**Tableau 6.1 :** Tests des étendues multiples pour Fuite d'électrolyte stade 1 série solution saline.

Méthode : 95,0 % LSD.

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
<b>T5</b>	3	48,4013	d
<b>T1</b>	3	53,5625	dc
<b>T3</b>	3	58,3448	c
<b>T2</b>	3	63,7605	b
<b>T4</b>	3	71,0009	a
<b>T0</b>	3	73,4716	a

## Annexe 2 : paramètres biochimique

### Stade végétatif :

- **Proline :**

**Tableau 7 :** Analyse de variance pour proline stade 1 série solution nutritive somme des carrés de type III.

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
<b>Inter-groupes</b>	0,00174229	5	0,000348459		<b>5,73</b>	<b>0,0063</b>
<b>Intra-groupes</b>	0,000729591	12	0,0000607993			
<b>Total (Corr.)</b>	0,00247188	17		17,237%		

**Tableau 7.1 :** Tests des étendues multiples pour proline stade 1 série solution nutritive. Méthode : 95,0 % LSD.

<i>traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
<b>T4</b>	3	0,05549	b
<b>T5</b>	3	0,05735	b
<b>T1</b>	3	0,07316	a
<b>T2</b>	3	0,07533	a
<b>T3</b>	3	0,07812	a
<b>T0</b>	3	0,08029	a

**Tableau 8 :** Analyse de variance pour proline stade 1 série solution saline-somme des carrés de type III.

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
<b>Inter-groupes</b>	0,01154	5	0,00230799		<b>25,80</b>	<b>0,0000</b>
<b>Intra-groupes</b>	0,00107369	12	0,0000894744			
<b>Total (Corr.)</b>	0,0126137	17		18,2796%		

**Tableau 8.1 :** Tests des étendues multiples pour proline stade 1 série solution saline. Méthode : 95,0 % LSD.

<i>traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
<b>T1</b>	3	0,03813	c
<b>T5</b>	3	0,0475333	cb
<b>T4</b>	3	0,04898	cb
<b>T3</b>	3	0,05518	b
<b>T2</b>	3	0,05704	b
<b>T0</b>	3	0,11532	a

## Annexe 3 : paramètres biométriques :

### ➤ Stade végétatif :

#### • La surface foliaire :

**Tableau 11 :** Analyse de variance pour La surface foliaire stade 1 série solution nutritive somme des carrés de type III.

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
<b>Inter-groupes</b>	2744,53	5	548,907		<b>93,81</b>	<b>0,0000</b>
<b>Intra-groupes</b>	70,2153	12	5,85127			
<b>Total (Corr.)</b>	2814,75	17		14,2812%		

**Tableau 11.1 :** Tests des étendues multiples pour La surface foliaire stade 1 série solution nutritive.

Méthode : 95,0 % LSD.

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
<b>T4</b>	3	5,43	e
<b>T2</b>	3	20,335	d
<b>T0</b>	3	23,6567	dc
<b>T5</b>	3	27,21	c
<b>T1</b>	3	34,3667	b
<b>T3</b>	3	45,5633	a

**Tableau 12 :** Analyse de variance pour La surface foliaire stade 1 série solution saline-somme des carrés de type III.

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
<b>Inter-groupes</b>	2240,87	5	448,174		<b>216,72</b>	<b>0,0000</b>
<b>Intra-groupes</b>	24,816	12	2,068			
<b>Total (Corr.)</b>	2265,69	17		20,6578%		

**Tableau 12.1 :** Tests des étendues multiples pour La surface foliaire stade 1 série solution saline.

Méthode : 95,0 % LSD.

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
<b>T4</b>	3	1,075	c
<b>T2</b>	3	4,08	d
<b>T0</b>	3	13,3667	c
<b>T5</b>	3	23,425	b
<b>T3</b>	3	24,125	b
<b>T1</b>	3	31,96	a

- **Les longueurs des feuilles stade végétatif**

**Tableau 13 :** Analyse de variance pour Les longueurs des feuilles stade 1 série solution nutritive somme des carrés de type III.

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
<b>Inter-groupes</b>	127,547	5	25,5095		<b>84,75</b>	<b>0,0000</b>
<b>Intra-groupes</b>	3,61192	12	0,300993			
<b>Total (Corr.)</b>	131,159	17		29,5449%		

**Tableau 13.1 :** Tests des étendues multiples pour Les longueurs des feuilles stade 1 série solution nutritive.

Méthode : 95,0 % LSD.

<i>Traitements_2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
<b>T4</b>	3	4,27	e
<b>T0</b>	3	8,435	d
<b>T2</b>	3	9,26333	d
<b>T5</b>	3	10,4	c
<b>T1</b>	3	11,51	b
<b>T3</b>	3	12,53	a

**Tableau 14 :** Analyse de variance pour Les longueurs des feuilles stade stade 1 série solution saline-somme des carrés de type III.

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
<b>Inter-groupes</b>	220,782	5	44,1565		<b>140,45</b>	<b>0,0000</b>
<b>Intra-groupes</b>	3,77268	12	0,31439			
<b>Total (Corr.)</b>	224,555	17		18,9761%		

**Tableau 14.1 :** Tests des étendues multiples pour Les longueurs des feuilles stade 1 série solution saline.

Méthode : 95,0 % LSD.

<i>Traitements_2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
<b>T4</b>	3	1,835	e
<b>T2</b>	3	3,75	d
<b>T0</b>	3	7,655	c
<b>T5</b>	3	9,35667	b
<b>T3</b>	3	10,915	a
<b>T1</b>	3	11,0133	a

- **Longueur moyenne des racines (cm)**

**Tableau 15** : Analyse de variance pour longueur moyenne des racines (cm) stade 1 série solution nutritive somme des carrés de type III.

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
<b>Inter-groupes</b>	183,689	5	36,7378		<b>63,56</b>	<b>0,0000</b>
<b>Intra-groupes</b>	6,93625	12	0,578021			
<b>Total (Corr.)</b>	190,625	17		20,0967%		

**Tableau 15.1** : Tests des étendues multiples pour longueur moyenne des racines (cm) stade 1 série solution nutritive  
Méthode : 95,0 % LSD.

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
<b>T2</b>	3	12,7	d
<b>T4</b>	3	13,3	d
<b>T1</b>	3	16,5	c
<b>T0</b>	3	17,225	cb
<b>T3</b>	3	17,9	b
<b>T5</b>	3	22,35	a

**Tableau 16** : Analyse de variance pour longueur moyenne des racines (cm) stade 1 série solution saline somme des carrés de type III.

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
<b>Inter-groupes</b>	316,537	5	63,3073		<b>38,13</b>	<b>0,0000</b>
<b>Intra-groupes</b>	19,9213	12	1,6601			
<b>Total (Corr.)</b>	336,458	17		25,3311%		

**Tableau 16.1** : Tests des étendues multiples pour longueur moyenne des racines (cm) stade 1 série solution saline.  
Méthode : 95,0 % LSD.

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
<b>T4</b>	3	11,5	d
<b>T2</b>	3	14,85	c
<b>T3</b>	3	15,875	cb
<b>T5</b>	3	17,25	b
<b>T1</b>	3	22,5	a
<b>T0</b>	3	23,4	a

- **Biomasse fraiche moyenne des racines (g)**

**Tableau 17 :** Analyse de variance pour Biomasse fraiche moyenne des racines (g) stade 1 série solution nutritive somme des carrés de type III.

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
<b>Inter-groupes</b>	56,3297	5	11,2659		<b>35,58</b>	<b>0,0000</b>
<b>Intra-groupes</b>	3,79991	12	0,316659			
<b>Total (Corr.)</b>	60,1296	17		22,3638%		

**Tableau 17.1 :** Tests des étendues multiples pour Biomasse fraiche moyenne des racines (g) stade 1 série solution nutritive

Méthode : 95,0 % LSD.

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
<b>T2</b>	3	1,97	d
<b>T4</b>	3	2,1575	d
<b>T0</b>	3	3,34	c
<b>T1</b>	3	4,485	b
<b>T3</b>	3	4,925	b
<b>T5</b>	3	7,12	a

**Tableau 18 :** Analyse de variance pour Biomasse fraiche moyenne des racines (g) stade 1 série solution saline somme des carrés de type III.

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
<b>Inter-groupes</b>	1,69311	5	0,338623		<b>7,35</b>	<b>0,0023</b>
<b>Intra-groupes</b>	0,552975	12	0,0460812			
<b>Total (Corr.)</b>	2,24609	17		15,7809%		

**Tableau 18.1 :** Tests des étendues multiples pour Biomasse fraiche moyenne des racines (g) stade 1 série solution saline

Méthode : 95,0 % LSD.

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
<b>T4</b>	3	1,9725	c
<b>T5</b>	3	2,09	cb
<b>T1</b>	3	2,105	cb
<b>T2</b>	3	2,355	b
<b>T0</b>	3	2,395	b
<b>T3</b>	3	2,9025	a

- **Longueur des tiges (cm)**

**Tableau 19 :** Analyse de variance pour Longueur des tiges (cm) stade 1 série solution nutritive somme des carrés de type III.

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
<b>Inter-groupes</b>	470,985	5	94,197		<b>89,71</b>	<b>0,0000</b>
<b>Intra-groupes</b>	12,6	12	1,05			
<b>Total (Corr.)</b>	483,585	17		28,9078%		

**Tableau 19.1 :** Tests des étendues multiples pour Longueur des tiges (cm) stade 1 série solution nutritive.

Méthode : 95,0 % LSD.

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
<b>T4</b>	3	12,25	d
<b>T2</b>	3	13,4	d
<b>T0</b>	3	16,55	c
<b>T1</b>	3	19,8	b
<b>T5</b>	3	21,35	b
<b>T3</b>	3	27,35	a

**Tableau 20 :** Analyse de variance pour Longueur des tiges (cm) stade 1 série solution saline somme des carrés de type III.

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
<b>Inter-groupes</b>	132,711	5	26,5422		<b>27,58</b>	<b>0,0000</b>
<b>Intra-groupes</b>	11,5475	12	0,962292			
<b>Total (Corr.)</b>	144,259	17				

**Tableau 20.1 :** Tests des étendues multiples pour Longueur des tiges (cm) stade 1 série solution saline.

Méthode : 95,0 % LSD.

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
<b>T2</b>	3	12,625	d
<b>T4</b>	3	12,625	d
<b>T0</b>	3	15,4	c
<b>T5</b>	3	17,9	b
<b>T1</b>	3	17,95	b
<b>T3</b>	3	19,7	a

- **Biomasse fraîche des tiges en (g)**

**Tableau 21** : Analyse de variance pour Biomasse fraîche des tiges en (g) stade 1 série solution nutritive somme des carrés de type III.

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
<b>Inter-groupes</b>	5,98034	5	1,19607		<b>51,72</b>	<b>0,0000</b>
<b>Intra-groupes</b>	0,277525	12	0,0231271			
<b>Total (Corr.)</b>	6,25786	17		36,623%		

**Tableau 21.1** : Tests des étendues multiples pour Biomasse fraîche des tiges en (g) stade 1 série solution nutritive.

Méthode : 95,0 % LSD.

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
<b>T4</b>	3	0,8575	e
<b>T2</b>	3	1,24	d
<b>T0</b>	3	1,455	dc
<b>T1</b>	3	1,6125	c
<b>T3</b>	3	2,2	b
<b>T5</b>	3	2,575	a

**Tableau 22** : Analyse de variance pour Biomasse fraîche des tiges en (g) stade 1 série solution saline somme des carrés de type III.

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
<b>Inter-groupes</b>	0,391763	5	0,0783525		<b>7,69</b>	<b>0,0019</b>
<b>Intra-groupes</b>	0,12225	12	0,0101875			
<b>Total (Corr.)</b>	0,514012	17		21,6679%		

**Tableau 22.1** : Tests des étendues multiples pour Biomasse fraîche des tiges en (g) stade 1 série solution saline.

Méthode : 95,0 % LSD.

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
<b>T5</b>	3	0,58	c
<b>T4</b>	3	0,64	cb
<b>T0</b>	3	0,81	ba
<b>T2</b>	3	0,86	a
<b>T1</b>	3	0,955	a
<b>T3</b>	3	0,97	a



- **Biomasse fraîche des feuilles des plantes**

**Tableau 23 :** Analyse de variance pour Biomasse fraîche des feuilles des plantes stade 1 série solution nutritive somme des carrés de type III.

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
<b>Inter-groupes</b>	36,7515	5	7,3503		<b>55,11</b>	<b>0,0000</b>
<b>Intra-groupes</b>	1,60056	12	0,13338			
<b>Total (Corr.)</b>	38,3521	17		35,3932%		

**Tableau 23.1 :** Tests des étendues multiples pour Biomasse fraîche des feuilles des plantes (g) stade 1 série solution nutritive.

Méthode : 95,0 % LSD.

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
<b>T4</b>	3	2,075	e
<b>T2</b>	3	2,985	d
<b>T0</b>	3	4,12	c
<b>T1</b>	3	4,4575	c
<b>T3</b>	3	5,505	b
<b>T5</b>	3	6,32	a

**Tableau 24 :** Analyse de variance pour Biomasse fraîche des feuilles des plantes stade 1 série solution saline somme des carrés de type III.

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
<b>Inter-groupes</b>	0,0658125	5	0,0131625		<b>0,85</b>	<b>0,5412</b>
<b>Intra-groupes</b>	0,186075	12	0,0155062			
<b>Total (Corr.)</b>	0,251887	17		8,28059%		

**Tableau 24.1 :** Tests des étendues multiples pour Biomasse fraîche des feuilles des plantes (g) stade 1 série solution saline.

Méthode : 95,0 % LSD.

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
<b>T3</b>	3	1,385	a
<b>T0</b>	3	1,435	a
<b>T1</b>	3	1,4375	a
<b>T4</b>	3	1,465	a
<b>T2</b>	3	1,5475	a
<b>T5</b>	3	1,55	a

- **Biomasse sèche des racines en (g)**

**Tableau 25** : Analyse de variance pour Biomasse sèche des racines en (g) stade 1 série solution nutritive somme des carrés de type III.

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
<b>Inter-groupes</b>	0,565066	5	0,113013		<b>44,74</b>	<b>0,0000</b>
<b>Intra-groupes</b>	0,0303125	12	0,00252604			
<b>Total (Corr.)</b>	0,595378	17		18,5185%		

**Tableau 25.1** : Tests des étendues multiples pour Biomasse sèche des racines en (g) stade 1 série solution nutritive.

Méthode : 95,0 % LSD.

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
<b>T2</b>	3	0,125	d
<b>T4</b>	3	0,17	d
<b>T0</b>	3	0,27	c
<b>T3</b>	3	0,355	c
<b>T1</b>	3	0,48	b
<b>T5</b>	3	0,6375	a

**Tableau 26** : Analyse de variance pour Biomasse sèche des racines en (g) stade 1 série solution saline somme des carrés de type III.

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
<b>Inter-groupes</b>	0,00111562	5	0,000223125		<b>0,62</b>	<b>0,6870</b>
<b>Intra-groupes</b>	0,0043125	12	0,000359375			
<b>Total (Corr.)</b>	0,00542812	17		12,2181%		

**Tableau 26.1** : Tests des étendues multiples pour Biomasse sèche des racines en (g) stade 1 série solution saline.

Méthode : 95,0 % LSD.

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
<b>T0</b>	3	0,135	a
<b>T4</b>	3	0,14	a
<b>T5</b>	3	0,145	a
<b>T2</b>	3	0,1475	a
<b>T1</b>	3	0,15	a
<b>T3</b>	3	0,16	a

- **Biomasse sèche des tiges en (g)**

**Tableau 27** : Analyse de variance pour Biomasse sèche des tiges en (g) stade 1 série solution nutritive somme des carrés de type III.

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
<b>Inter-groupes</b>	0,182013	5	0,0364025		<b>71,03</b>	<b>0,0000</b>
<b>Intra-groupes</b>	0,00615	12	0,0005125			
<b>Total (Corr.)</b>	0,188163	17		41,3927%		

**Tableau 27.1** : Tests des étendues multiples pour Biomasse sèche des tiges en (g) stade 1 série solution nutritive.

Méthode : 95,0 % LSD.

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
<b>T4</b>	3	0,15	d
<b>T2</b>	3	0,155	d
<b>T0</b>	3	0,19	d
<b>T1</b>	3	0,265	c
<b>T3</b>	3	0,345	b
<b>T5</b>	3	0,42	a

**Tableau 28** : Analyse de variance pour Biomasse sèche des tiges en (g) stade 1 série solution saline somme des carrés de type III.

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
<b>Inter-groupes</b>	0,0059125	5	0,0011825		<b>3,59</b>	<b>0,0323</b>
<b>Intra-groupes</b>	0,00395	12	0,000329167			
<b>Total (Corr.)</b>	0,0098625	17		27,0126%		

**Tableau 28.1** : Tests des étendues multiples pour Biomasse sèche des tiges en (g) stade 1 série solution saline.

Méthode : 95,0 % LSD.

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
<b>T0</b>	3	0,065	b
<b>T5</b>	3	0,07	b
<b>T4</b>	3	0,08	ba
<b>T2</b>	3	0,105	a
<b>T3</b>	3	0,105	a
<b>T1</b>	3	0,11	a

- **Biomasse sèche des feuilles en (g)**

**Tableau 29** : Analyse de variance pour Biomasse sèche des feuilles en (g) stade 1 série solution nutritive somme des carrés de type III.

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
<b>Inter-groupes</b>	1,08992	5	0,217983		<b>89,85</b>	<b>0,0000</b>
<b>Intra-groupes</b>	0,0291125	12	0,00242604			
<b>Total (Corr.)</b>	1,11903	17		42,5538%		

**Tableau 29.1** : Tests des étendues multiples pour Biomasse sèche des feuilles en (g) stade 1 série solution nutritive.

Méthode : 95,0 % LSD.

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
<b>T4</b>	3	0,2775	c
<b>T2</b>	3	0,36	c
<b>T0</b>	3	0,555	b
<b>T1</b>	3	0,595	b
<b>T3</b>	3	0,89	a
<b>T5</b>	3	0,94	a

**Tableau 30** : Analyse de variance pour Biomasse sèche des feuilles en (g) stade 1 série solution saline somme des carrés de type III.

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
<b>Inter-groupes</b>	0,0120625	5	0,0024125		<b>8,91</b>	<b>0,0010</b>
<b>Intra-groupes</b>	0,00325	12	0,000270833			
<b>Total (Corr.)</b>	0,0153125	17		20,1199%		

**Tableau 30.1** : Tests des étendues multiples pour Biomasse sèche des feuilles en (g) stade 1 série solution saline.

Méthode : 95,0 % LSD.

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
<b>T5</b>	3	0,115	b
<b>T1</b>	3	0,125	b
<b>T4</b>	3	0,145	cb
<b>T2</b>	3	0,155	b
<b>T0</b>	3	0,16	b
<b>T3</b>	3	0,195	a

➤ **Stade final**

• **Biomasse fraîche des gousses des plantes**

**Tableau 31** : Analyse de variance pour Biomasse fraîche des gousses des plantes en (g) stade 1 série solution nutritive somme des carrés de type III.

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
<b>Inter-groupes</b>	593,438	5	118,688		19,39	0,0000
<b>Intra-groupes</b>	110,167	18	6,1204			
<b>Total (Corr.)</b>	703,605	23		27,1745%		

**Tableau 30.1** : Tests des étendues multiples pour Biomasse fraîche des gousses des plantes en (g) stade 1 série solution nutritive.

Méthode : 95,0 % LSD.

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
<b>T5</b>	4	3,73	d
<b>T0</b>	4	4,0	d
<b>T4</b>	4	9,53833	c
<b>T3</b>	4	12,56	cb
<b>T2</b>	4	14,49	ba
<b>T1</b>	4	16,8067	a

• **Biomasse sèche des gousses en (g)**

**Tableau 31** : Analyse de variance pour Biomasse sèche des gousses des plantes en (g) stade 1 série solution nutritive somme des carrés de type III.

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
<b>Inter-groupes</b>	15,6155	5	3,12309		12,66	0,0000
<b>Intra-groupes</b>	4,4392	18	0,246622			
<b>Total (Corr.)</b>	20,0547	23		26,8584%		

**Tableau 30.1** : Tests des étendues multiples pour Biomasse sèche des gousses des plantes en (g) stade 1 série solution nutritive.

Méthode : 95,0 % LSD.

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
<b>T5</b>	4	0,76	e
<b>T0</b>	4	0,91	ed
<b>T4</b>	4	1,62667	dc
<b>T3</b>	4	1,93667	cb
<b>T2</b>	4	2,46667	ba
<b>T1</b>	4	3,04	a

- **Nombre de gousses des plantes**

**Tableau 31** : Analyse de variance pour Nombre de gousses des plantes en (g) stade 1 série solution nutritive somme des carrés de type III.

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
<b>Inter-groupes</b>	404,833	5	80,9667		<b>29,15</b>	<b>0,0000</b>
<b>Intra-groupes</b>	50,0	18	2,77778			
<b>Total (Corr.)</b>	454,833	23		27,2166%		

**Tableau 30.1** : Tests des étendues multiples pour Nombre de gousses des plantes en (g) stade 1 série solution nutritive.

Méthode : 95,0 % LSD.

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
<b>T0</b>	4	2,0	d
<b>T4</b>	4	4,0	dc
<b>T5</b>	4	4,5	c
<b>T1</b>	4	8,25	b
<b>T2</b>	4	10,25	b
<b>T3</b>	4	14,0	a

- **Nombre de fleur des plantes**

**Tableau 31** : Analyse de variance pour Nombre de fleur des plantes en (g) stade 1 série solution nutritive somme des carrés de type III.

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
<b>Inter-groupes</b>	614,283	5	122,857		<b>30,57</b>	<b>0,0000</b>
<b>Intra-groupes</b>	72,3333	18	4,01852			
<b>Total (Corr.)</b>	686,617	23		35,2505%		

**Tableau 30.1** : Tests des étendues multiples pour Nombre de fleur des plantes en (g) stade 1 série solution nutritive.

Méthode : 95,0 % LSD.

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
<b>T4</b>	4	6,3325	e
<b>T0</b>	4	13,0	d
<b>T5</b>	4	15,0	dc
<b>T1</b>	4	17,5	cb
<b>T2</b>	4	18,6667	b
<b>T3</b>	4	22,5	a

- **Nombre de feuilles des plantes**

**Tableau 31** : Analyse de variance pour Nombre de feuilles des plantes en (g) stade 1 série solution nutritive somme des carrés de type III.

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
<b>Inter-groupes</b>	66,412	5	13,2824		1,75	0,1751
<b>Intra-groupes</b>	136,917	18	7,60648			
<b>Total (Corr.)</b>	203,329	23		15,5015%		

**Tableau 30.1** : Tests des étendues multiples pour Nombre de feuilles des plantes en (g) stade 1 série solution nutritive.

Méthode : 95,0 % LSD.

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
<b>T4</b>	4	16,3333	b
<b>T0</b>	4	18,25	ba
<b>T5</b>	4	19,0	ba
<b>T1</b>	4	19,25	ba
<b>T2</b>	4	21,0	a
<b>T3</b>	4	21,25	a

- **Diamètre moyen des tiges (cm)**

**Tableau 31** : Analyse de variance pour diamètre moyen des tiges (cm) stade 1 série solution nutritive somme des carrés de type III.

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>CV</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
<b>Inter-groupes</b>	0,09875	5	0,01975		1,24	0,3330
<b>Intra-groupes</b>	0,2875	18	0,0159722			
<b>Total (Corr.)</b>	0,38625	23		18,8494%		

**Tableau 30.1** : Tests des étendues multiples pour diamètre moyen des tiges (cm) stade 1 série solution nutritive.

Méthode : 95,0 % LSD.

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
<b>T4</b>	4	0,55	b
<b>T5</b>	4	0,7	ba
<b>T3</b>	4	0,7	ba
<b>T0</b>	4	0,7	ba
<b>T2</b>	4	0,725	ba
<b>T1</b>	4	0,75	a

# **Références bibliographiques**



## Références bibliographiques

---

1. **Abdelly C., Ozturk M., Ashraf M. Et Grignon C. (2008).** Biosaline Agriculture and High Salinity Tolerance. (Eds) Birkhausen Verlag/L Swizerland, 367 p. 102 illus.
2. **Acevendo E., 1991.** Improvement of winter cereals in Mediterranean environments. Edit. INRA, Paris, les Colloques n°55, pp.211-224. And Crop Stress. Marcel Dekker, New York : 3-11.
3. **Adams NW, Coyne DP, Davis JHC, Grahaivi PM, Francis C.A. 1985.** Commun bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in summerfield, grain legume crop, collins, London. 433-476 PP.
4. **Adams NW, Coyne DP, Davis JHC, Grahaivi PM, Francis C.A. 1985.** Commun bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in summerfield, grain legume crop, collins, London. 433-476 PP.
5. **Ahmadi A., Mardeh A.S., Poustini K. & Jahromi M.E., 2007-** Influence of osmo and hydropriming on seed germination and seedling growth in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under different moisture and temperature conditions. *Pak. J. Biol. Sci.*, **10**(22), pp: 4043-4049.
6. **Akram A., 2008** – Elicitation de la résistance systémique induite chez la tomate et le concombre et activation de la voie de la lipoxygénase par des rhizobactéries non-pathogènes. Thèse de Doctorat. Université de Liège, Belgique, 165 p.
7. **Alarcon J.J., Sanchez-Blanco M.J., Bolarin M.C Et Torrecillas A., (1993).** Water relations and osmotic adjustment in *Lycopersicon esculentum* and *Lycopersicon pennellii* during short-term salt exposure and recovery. *Plant physiol*, **80**, 441-447.
8. **Albouchi A., Bejaoui Z., et Hedi El Aouni M., 2003** – Influence d'un stress hydrique modéré à sévère sur la croissance de jeunes plants de *Casuarina glauca* Sieb. Edit. Science et changements planétaires. Sécheresse. Vol. 14, (3), pp137-142.
9. **Amrar S., 1993.** L'amélioration de la tolérance à la salinité chez tomate *Lycopersicon esculentum* Master of Science, C.I.H.E.A.M Zaragoza. Espagne, 7-23.

## Références bibliographiques

---

10. **Asloum H., 1990.** Elaboration d'un système de production maraîchère (Tomate, *Lycopersicon esculentum* L.) en culture hors sol pour les régions sahariennes. Utilisation de substrats sableux et d'eaux saumâtres. Thèse de doctorat, développement et amélioration des végétaux, Université de Nice Sophia- Antipolis p 24- 32.
11. **Aspinall D., Paleg L.D., 1981.** Proline accumulation. Physiological aspects. In Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants. Eds. LD Paleg and D Aspinall. pp: 206–240. Academic Press, Sydney.
12. **Aubert G;1983:** Les sols sodiques en Afrique du Nord. Trav. Doc. ORSTOM. P 553-560.
13. **Balon N. Et Kimon H., 1985.** Nutrition azotée des légumineuses : Nitrogen nutrition of légumes. Institut National de Recherche Agronomique. 281p.
14. **Bartels D. Et Nelson D. (1994).** Approaches to improve stress tolerance using molecular genetics. Plant Cell Envir. 17 : 659-667.
15. **Basra S.M.A., Pannu I.A. & Afzal I., 2003.** Evaluation of seedling vigor of hydro and matriprimed wheat (*Triticum aestivum* L.) seeds. *Int. J. Agric. Biol.*, **5(2)**, 121-123. Biologie des Semences, 13-16 mars 1989, Angers.
16. **Basra S.M.A., Pannu I.A., Afzal I. (2003).** Evaluation of seedling vigor of hydro and matriprimed wheat (*Triticum aestivum* L.) seeds. *Int. J. Agric. Biol.*, **5(2)**: 121-123.
17. **Batamouny H., 1993.** Ecophysiology of halophytes and their traditional use in the arab world. Advanced course on halophyte utilisation. Agriculture, 12-32, Agadir. Morocco.
18. **Bekhouche H., 1992.** Etude de la germination de quelques lignées de pois chiche soumis à la salinité, croissance, anatomie des racines. Thèse D.E.S. Biol. Université D'Oran. 68 P.
19. **-Ben Naceur, M. Chorfi, A., Rahmoune, C. El Jaafari, S. et Paul, R. (1997).** Potentialité de production de quelques variétés de blé dur au maghreb. *Rev. Sci. Technol.* 8 :69-74.

## Références bibliographiques

---

20. **-Ben Naceur, M., Ben Salem, M. Rahmoune, C., Chrfi, A., El Jaafari, S. et Paul, R. (1998).** Etude comparée du comportement de quelques variétés anciennes et quelques variétés nouvelles de blé dur (*Triticum durum* Defsf.) sous contrainte hydrique. Annales de l'INRA 71 : 251-273.
21. **Ben Naceur, M., Rahmoune, C. and Paul, R. (1994).** Evaluation of drought tolerance in Barley leaves Rev. Sc. Technol. 5:1-5.
22. **-Ben Naceur, M., Rahmoune, C., Sdiri, H., Maddah, M. et Selmi, M. (2001).** Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé. Sécheresse 12 (3) : 167-174.
23. **BENKHELIFA M., ARBAOUI M., BELKHODJA M., 1999.** Effets combinés de la salinité et de la bentonite sur la densité racinaire d'une culture de tomate cultivée sur un substrat sableux. Séminaire National sur la Salinisation des terres Agricoles en Algérie, Chlef. 101- 108.
24. **Bennabi F., 2005.** Métabolisme glucidique et azote chez une halophyte (*Atriplex halimus* L.) stressée à la salinité. Mémoire de magistère en physiologie végétale, Université ES-Senia, Oran, p 136.
25. **Bentahar S., 2017.** Efficacité de l'utilisation de l'eau chez le blé dur : Etude des mécanismes physiologiques et moléculaires (Protéines Aquaporines) : Définition d'idéotype. Thèse de doctorat. Université des frères mentouri. Constantine.
26. **Berry J., Bjorkman O., 1980.** Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. Rev. Plant Physiolo. 31,491-543.
27. **Berthomieu P., Conejero G., Nublat A., Brackenbury W.J., Lambert C., Savio C., Uozumi N., Oiki S., Yamada K., Cellier F., Gosti F., Simonneau T., Nessah P.A., Tester M., Verry A.A., Sentenac H. Et Casse F., 2003.** Fonctionnal analysis of athkt 1 in *Arabidopsis* shows that Na<sup>+</sup> recirculation by the phloem is crucial for salt tolerance. Embo. Journal, 22:2004-2014.
28. **Bip, 2001.** Qu'exiger d'un substrat ? Hors-série spécial substrat. Culture sous abris. Bulletin d'Information des Producteurs. ARMEFLHOR, CIRAD-FLHOR. Ed N°05. 6P

## Références bibliographiques

---

29. **Blum A, 1996.** Crop responses to drought and interpretation of adaptation. Edit. Plant growth Regulation.20, PP.135-148.
30. **Bohner H.J.E.T Shen B. (1999).** Transformation and compatible solutes. Scientia Horticulturae 78 :273-260.
31. **Bois, G.(2005).** Ecophysiologie de semis de conifères ectomycorhizés en milieu salin et sodique. Thèse de doctorat. 187p.
32. **Bonte L.H., 2010.** - Réaliser et entretenir un mur végétal. Ed. Eyrolles, Paris, pp : 79-81.
33. **Boucelha L. (2015).** Compréhension des mécanismes régissant l'endurcissement des graines de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. *Thèse de Doctorat*, Université Houari Boumediene, Alger, Algérie, 166 p.
34. **Boucelha L. et Djebbar R., 2015 .** influence de différents traitements de prégermination des graines de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. sur les performances germinative et la tolérance au stress hydrique. *biotechnol. agron.* 19(2), 160-172.
35. **Boucelha L., Djebbar R. and Abrous-Belbachir O. (2019).** *Vigna unguiculata* (L.) Walp. seed priming is related to redox status of plumule, radicle and cotyledons. *Functional Plant Biology.*, DOI : 10.1071/FP18202.
36. **Bradford K.J. (1986).** Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. *Hort Science.*, **21**: 1105-1112.
37. **Bradford K.J. (1986).** Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. *Hort Science.*, **21**: 1105-1112.
38. **Bray CM, Davison PA, Ashraf M, Taylor RM (1989).** Biochemical changes during priming of leek seeds. *Ann. Bot.* 63: 185-193.
39. **Bray E.A Bailey-Serres J, Weretilnyk E ; 2000.** Responses to abiotic stresses in : Buchana, B.B., Grisseem, W., Jones , R.L. (Eds.), *Biochemistry and Molecular Biology op Plants.* ASPP. Rockville. Pp1158-1203.
40. **Brown AD ET Simpsob J.R. (1972).** Water relations of sugar-tolerant yeasts: The role of *intracellula polyols*. *Journal of General Microbiology* 72:589-591.

## Références bibliographiques

---

41. **Bruce T.J.A., Matthes M.C., Napier J.A., Pickett J.A. (2007).** Stressful “memories” of plants: evidence and possible mechanisms. *Plant Science.*, 173: 603-608.
42. **Brungoli E., Bjorkman O.,1992,** Growth of cotton under continuous salinity stress: Influence on allocation pattern, stomatal and non stomatal components of photosynthesis and dissipation of exes light energy, *Planta* 187, 335–347.
43. **Chaux C.L. et Foury C.L., 1994.** Production légumière, tome III, légumineuses potagères, légumes fruits. Edition Lavoisier, Paris.854p.
44. **Cheng Z. & Bradford K.J., 1999.** Hydrothermal time analysis of tomato seed germination responses to priming treatments. *J. Exp. Bot.*, **33**, 89-99.
45. **Cheseman J.M., 1988.** Mechanismms of salinity tolerance in plants. *PLANT Physiology* 87 : 547-550.
46. **Chrispeels C. Et Maurel. M.J., 2001.** Aquaporins a molecular entry into plant water relations. *Plant physiology* 125 : 135-138.
47. **COME D., 1989.** Quelques aspects de la régulation métabolique des dormances . — Communication au colloque ,Biologie des Semences, 13-16 mars , Angers.
48. **Davison PA, Bray CM (1991).** Protein synthesis during osmo-priming of leek (*Allium Porrum* L.) seeds. *Seed Sci. Res.* 1: 29-35.
49. **De Castro R.D. et al., 2000.** Cell division and subsequent radicle protrusion in tomato seeds are inhibited by osmotic stress but DNA synthesis and formation of microtubular cytoskeleton are not. *Plant Physiol.*, **122**, 327-335.
50. **Dell'Aquila A, Bewley JD (1989).** Protein synthesis in the axes of polyethylene glycol treated pea seeds and during subsequent germination. *J. Exp. Bot.* 40: 1001-1007.
51. **Demiral, T. and İ. Türkan. 2005.** Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance. *Environ. Exp. Bot.*, 53: 247-257.

## Références bibliographiques

---

- 52. Dubey R.S., Singh A.K., 1999-** Salinity induces accumulation of soluble sugars and alters the activity of sugar metabolising enzymes in rice plants, *Biol. Plant.*
- 53. Dubois J., 1991.** L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Ed. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris, pp.159-463.
- 54. Dubois J., 1991.** L'amelioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Ed. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris, pp. 159-463.
- 55. Durand JH., 1983.** Les sols irrigables. Presses Universitaires de France Paris, Agence de Coopération Culturelle et Technique. p 322.
- 56. Epstein E., Nortyn J.D., Rush D.W., Kingsbury R.W., Kelly D.B., Cunningham G.A. Et Wrona A.F. (1980).** Saline culture of crops : a genetic approach. *Science* 210 : 399-404.
- 57. Eric T.N, Orcutt D.M ; 1996.** Physiology of plants under stress abiotic factors. Ed. John Wiley and Sons, inc.689p.1111
- 58. Farshad K. B., Rogaieh H.,2014-** Effects of seed priming with salicylic acid and ascorbic acid on chlorophyll, carotenoids and anthocyanin content in *Matricaria aurea* L. under drought stress. *in European Journal of Experimental Biology* 4(3):595-599.
- 59. Gallas A. Et Bennfort H., 1992.** Amélioration des espèces végétales cultivées, objectifs et critères de la sélection-Paris. Ed : INRA. PP75-142.
- 60. Gate P., 1995.** Ecophysiologie du blé de la plante à la culture. Edit. Tec et Doc. Lavoisier, Paris PP.223-226.
- 61. Ghassemi-Golezani K., Chadordooz-Jeddi A., Nasrullahzadeh S. & Moghaddam M., 2010.** Influence of hydro-priming duration on field performance of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *Afr. J. Agric. Res.*, **5**(9), 893-897.

## Références bibliographiques

---

- 62. Ghassemi-Golezani K., Sheikhzadeh-Mosaddegh P. & Valizadeh M., 2008.** Effects of hydropriming duration and limited irrigation on field performance of chickpea. *Res. J. Seed Sci.*, **1**, 34-40.
- 63. Gordon A, Rose L E, Allen R L, Armstrong MR. 2004.** Differential recognition of highly divergent downy mildew avirulence gene alleles by RPP1 resistance genes from two Arabidopsis lines. *Plant Cell* 17:1839–50.
- 64. Goust J, Seignobos F. 1998.** Le haricot. Edit. Arles : Actes Sud, Paris. 92P.
- 65. Greenway, H. and Munns, R. (1980).** Mechanism of salt tolerance in non-halophytes. *Annual Review of Plant Physiology* 3:149-190.
- 66. Grote D., Claussen W., 2001.** Severity of root rot on tomato plants caused by *Phytophthora nicotianae* under nutrient and light stress conditions. *Plant Pathol.*, 50: 702-707.
- 67. Guignard J.L., 1998.** Botanique, Ed. Masson, 159p
- 68. Guillaume C. 2004.** L'eau, le sol et les plantes, Master 1 sciences végétales, spectrosciences, 273 p.
- 69. Guy, CL (2003).** Freezing tolerance of plants : current understanding and selected emerging concepts. *Can. J. Bot.* 81,1216-1223.
- 70. Halitim A., 1988.** Sols des régions arides d'Algérie. Office de Publications Universitaires, Alger: 39- 40.
- 71. Halitim A.,1985.** Contribution 21 l'étude des sols des zones arides (Hautes plaines steppiques de l'Algérie). Morphologie, distribution et rôle des sels dans la genèse et le comportement des sols. Thèse de Doctorat., Univ. , Rennes, 383 p.
- 72. Hamdy A., 1999.** Saline irrigation and management for a sustainable use. In: *Advanced Short Course on Saline Irrigation. Proceeding, Agadir: 152-227.*
- 73. Harris D (1992).** Garder le contrôle des cultures pluviales. In: *Actes de la première conférence scientifique annuelle du programme SADCC / ODA de gestion des terres et des eaux. Sac privé 00108, Gaborone, Botswana, 8-10 octobre 1990, p. 257-262.*

## Références bibliographiques

---

- 74. Harris D (1996).** Effets du fumier, du génotype, de l'amorçage de la graine, de la profondeur et de la date de semis sur l'émergence et le début de la croissance du Sorghum bicolor (L.) Moench dans le Botswana semi-aride. Recherche sur le sol et le travail du sol 40, 73-88.
- 75. Harris D, Joshi A, PA Khan, Gothkar P, Sodhi PS (1999).** Amorçage des semences à la ferme dans l'agriculture semi-aride: développement et évaluation du maïs, du riz et du pois chiche en Inde à l'aide de méthodes participatives. Agriculture expérimentale 35, 15-29.
- 76. Harris D, Rashid A, Hollington PA, Jasi L, Riches C (2002).** Prospects of improving maize yields with 'on-farm' seed priming. In : Rajbhandari et al. (eds) Sustainable Maize Production Systems for Nepal. Kathmandu, Nepal : NARC/CIMMYT p. 180-185.
- 77. Harris D. et al., 2002.** Prospects of improving maize yields with 'on-farm' seed priming. In: Rajbhandari N.P., Ransom J.K., Adikhari K. & Palmer A.F.E., eds. *Sustainable maize production systems for Nepal*. Kathmandu: NARC & CIMMYT, 180-185.
- 78. Harris D. et Mottram A. (2004).** Hydratation pratique des semences de cultures tropicales: amorçage de semences «à la ferme». Dans 'Science et technologie des semences: tendances et progrès', ed. AS Basra. The Howarth Press (sous presse).
- 79. Hartung W. Et Jeschke W.D. (1999).** Abscisic acid : a long-distance stress signal in salt stressed plants. In lerner H.R. (ed). Plant response to environmental stresses. From phytohormones to genome reorganization. Marcel dekker Inc., Basel Ny, USA, PP 333-348.
- 80. Hasegawa P.M., Bressan RA., Zhu JK., and Bohnert HJ., 2000** – plant cellular and molecular responses to high salinity. Edit. Plant MolBiol Vol. 51, pp 463-499.
- 81. Hebrard C. (2012).** Contrôle épigénétique de l'induction et de la tolérance à la montaison chez la betterave sucrière. Thèse de doctorat, Université d'Orléans. France. 285 p.
- 82. Hetherington A .M Et Quatrano R. ;(1991).** Mechanisms of action Bascisic acid at the cellular level. New physiologist 119 :9-32.



## Références bibliographiques

---

- 83. Hilal M., Zenoff A.M., Ponessa G., Moreno H., Massa E.D., 1998-** Saline stress alters the temporal patterns of xylem differentiation and alternative oxidative expression in developing soybean roots, *Plant Physiol.* 117, 695–701.
- 84. Hong Z., Lakkineni K., Zhang Z., And Verma D.P.S., 2000 -** Removal of feedback inhibition of D1-pyrroline-5-carboxylate synthetase results in increased proline accumulation and protection of plants from osmotic stress. *Plant Physiol.* 122(4) : 1129–1136.
- 85. Hopkins W G., 2003.** *Physiologie végétale.* 2ème édition. De Boeck, Bruscelles: 61-476.
- 86. Hopkins W.G., 2003. -** *Physiologie végétale.* Ed. De Boeck. Paris, 495p.
- 87. Horie T. Et Schroeder J.I., (2004).** Sodium transporters in plants. Diverse genes and physiological functions. *Plant physiology* 136 : 2457-2462.
- 88. Howeler R H. 1980.** Nutritional disorders in schwartz, Galvez, H. F. Bean production problems. CIAT, cali, colombia. 124-220 PP
- 89. Hsiao, T. C. 1973.** Plant responses to water stress. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 24: 519–570.
- 90. Hubac C., 1990.** Croissance et développement des végétaux. Impact de la salinité et l'aridité sur la croissance, le développement et l'amélioration des végétaux. Conférence université d'Oran Es-sanania.
- 91. Hubert P., 1978-** Recueil de fiches techniques d'agriculture spéciale à l'usage des lycées agricoles à Madagascar Antananarivo, BDPA.
- 92. Huer, B. 1993.** Osmoregulatory role of proline in water and salt stressed plants. Pages 363–381 dans M. Pessaraki, ed. *Handbook of plant and crop stress.* Marcel Dekker, Inc., New York, NY.

## Références bibliographiques

---

- 93. Hussain G., Al-Jaloud A.A., Al-Shammary S.F., Karimulla S., 1995**, Effect of saline irrigation on the biomass yield, and the protein, nitrogen and phosphorus, and potassium composition of alfalfa in a pot experiment, *J. Plant Nutr.* 18 (1995) 2289–2408.
- 94. Itai .C . ;(1999)**. Role of phytohormones in plant responses to stresses .I : Lerner H .R (ed).Plant response to environnement stresses, from phytohormones to genome reorganization. Marcel Dekker Inc. ; Basel, Ny, USA, PP 287-301.
- 95. Jorge C., 2013.** – Culture en intérieur - La bible du jardinage indoor - Master Edition Broché
- 96. Kassemi N., 2006.** Relation entre un insecte phytophage et saprincipale plante hôte. Cas de la bruche du haricot *Acanthoscelides obtectus*(Coleoptera, Bruchidae). Mém. Magistère. Agro. Univ. TLEMCEN. 77P.
- 97. Kocsy G., Laurie R., Szalai G., Szilagy V., Simon-Sarkadi L.,Galiba G. And De Ronde, J.A., 2005** - Genetic manipulation of proline levels affects antioxidants in soybean subjected to simultaneous drought and heat stresses. *Physiol. Plant.* 124(2) : 227–235.
- 98. Kramer p.j., 1980.** Drought stress and the origin of adaptation of plants. To water and High temperature stress. Edit. Wiley inter science. New york. PP.7-20.
- 99. Kuiper D., Schuit J., Kuiper P.J.C.,1990.** Actual cytokinin concentrations in plant tissue as indicator for salt resistance in cereals, in: El Bassam N. et al. (Eds.), *Genetic Aspects of Plant Mineral Nutrition*, pp. 307–314.
- 100.Labate CA., Adcock MD., Leegood RC., 1990.** Effect of temperature on photosynthetic carbon assimilation and contents of photosynthetic intermediates in leaves of maize and barley. *Planta* 181,547-554.
- 101.Lachiheb K., Neffati M., Zid E., 2004.** Aptitudes germinatives de certaines graminées halophytes spontanées de la Tunisie méridionale. *Options Méditerranéennes.* 62: 89-93.

## Références bibliographiques

---

- 102. Larher F., Huqis M., Gernat-Sauage D., 1987.** Nutrition azotée des légumineuses. Les colloques d'INRA. N°7.181-192.
- 103. Lauriano J.A., Lidon F.C., Carvalho C.A., Campos P.S. and Matos M.D. 2000.** Drought effects on membrane lipids and photosynthetic activity in different peanut cultivars. *Photosynthetica* 38: 7–12.
- 104. Letard M, Erard P et Jeannequin B., 1995.** Maîtrise de l'irrigation fertilisante (tomate sous abris). Ed. CTIFL. 220P.
- 105. Letard M., Erard P., Jeannequin B. (1995).** Maîtrise de l'irrigation fertilisante. Tomate sous serre et abris en sol et hors-sol, Paris, CTIFL, 220p.
- 106. Levigneron A., Lopez F., Vansuyt G., Berthomieu P., Fourcroy P., Casse-delbart F., 1995.** Les plantes face au stress salin. *Cahiers Agricultures*. 4 (4). 263-273.
- 107. Levigneron A., Lopez F., Vansuyt G., Berthomieu P., Fourcroy P., Casse-Delbart F., 1995.** Les plantes face au stress salin. *Cahiers Agricultures*. 4 (4). 263-273.
- 108. Levitt J., 1980.** Responses of plants to environmental stresses. Water radiation, salt and
- 109. M'sadak Y., Ben m'barek A. 2014.** Caractérisation physico-hydrrique des substrats de culture à base de méthacompost avicole pour une meilleure valorisation.
- 110. Mansour, M.M.F., K.H.A. Salama, F.Z.M. Ali, and A.F.A.Hadid. 2005.** Cell and plant responses to NaCl in *Zea mays* L. cultivars differing in salt tolerance. *Gen. Appl. Plant Physiol.*, 31: 29-41. Maxwell, K. and G.N. Johnson. 2000. Chlorophyll fluorescence – a practical guide. *J. Exp. Bot.*, 51: 659-668. Misra, N. and A.K.
- 111. Mas Y. 1983.** World vegetation. Principles, production and nutritives values.
- 112. Massour M.M.F. Et Salama K.H.A., 2004,** Cellular basis of salinity tolerance in plants. *Environmental and Experimental botany* 52 :113-122.

## Références bibliographiques

---

113. **Mazliak P. (1982).** Croissance et développement. Physiologie végétale II. Hermann éd., Paris, Collection Méthodes, 465p.
114. **Mazliak P., 1998.** *Physiologie végétale. 2. Croissance et développement.* Paris : Hermann éditeurs.
115. **Mcdonald M.B., 2000.** Seed priming. *In: Black M. & Bewley J.D., eds. Seed technology and its biological basis.* Sheffield, UK: Sheffield Academic Press Ltd, 287-325.
116. **Mefti A., Abdelguerfi A., Chebouti A., (2000).** Etude de la tolérance à la sécheresse chez quelques populations de *Medicago truncatula* L., Gaertn.
117. **Mermoud. A, 2006.** Cours physique du sol, Maîtrise de la salinité des sols. Copie des transparents. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne. 15p.
118. **Monnet Y, Pigeon M, Thibault J. 1999.** Produits phytosanitaires autorisés à la vente : cultures légumières et fraisier. Edit. NRA, Paris, 330 p.
119. **Monnet Y., Pigeon M. et Thibault J., 1999.** Produits phytosanitaires autorisés à la vente : cultures légumières et fraisier. Edit. NRA, Paris, 330 p.
120. **Morard P., 1995.** Les cultures végétales en hors sol, Pub. Agris, Paris, 301p.
121. **Munns R. Et Termaat A., (1986).** Whole plant response to salinity. *Australian Journal of plant Physiology* 13 :143-160.
122. **Munns R. Et Tester M. (2008).** Mechanisms of salinity tolerance. *Am. Rev. Plant Biol.* 59: 651-681.
123. **Munns R., (1993).** Physiological prices limiting plant growth in saline soils : some dogmas and hypotheses. *Plant, Cell and Environment* 19 : 15-24.
124. **Munns R., 2008.** Sodium excluding genes from durum wheat and sea barley grass Improves sodium exclusion of bread wheat. 2nd International Salinity Forum Salinity, water and society-global issues.

## Références bibliographiques

---

125. **Murata N., Los DA., 1997.** Membrane fluidity and temperature perception. *Plant physiology*, 115, 875-879.
126. **Nahon D ;2008:** L'épuisement de la Terre.L'enjeu du XXIème siècle. Odile Jacob, 235 p.
127. **Niu D.K. Wang M.G. Et Wang Y.F., (1997).** Plant osmotica *Acta Biotheoretica* 45 :161-169.
128. **Nkouannessi M., 2005 -** *The genetic, morphological and physiological evaluation of African cowpea genotypes.* Thesis: University of the Free State Bloemfontein (South Africa).
129. **Orcutt D.M. Et Nilsen E.T., 2009.** *Physiology of plants under stress.* John Wiley et Sons Inc., New York, NY, USA.
130. **Ortega L, Fry SC, Taleisnik E. 2006.** Why are *Chloris gayana* leaves shorter in saltaffected plants? *Analyses in the elongation zone. J. Exp. Bot.* 57: 3945–3952.
131. **Pachico D. 1989.** Trends in world common bean production. In : Schwartz HF, Pastor-Corrales MA, éditeurs. *Bean production problems in the tropics.* CIAT, Cali, Colombie. pp. 1–8.
132. **PERON J.Y., 2006.** *Références productions légumières (2° Éd.).* Edit. Librairie GERMER BAILLERE et CIE, Paris, 650p.
133. **Peron JY. 2006.** *Références productions légumières (2emeéd.).* edit. Librairie germer baillere et cie, Paris, 650p.
134. **Philips R. Rix M. et Goutier J., 1994** légumes, édition La Maison Rustique PARIS, 269p.
135. **Pitrat M. et Foury F., 2003.** *Histoires de légumes, des origines au XXIe siècle.* Edit. INRA, Paris. Pp22-28.

## Références bibliographiques

---

136. **Prevoste P., 1999**, La base de l'agriculture moderne (2ème éd), édition TEC et Doc. Paris. 254p
137. **Randrianarisoa A. H.1995** - Etudes des possibilités de développement de la culture des haricots volubiles sur les hautes terres malgaches. Mémoire de fin d'étude. Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques d'Antananarivo. Département Agriculture. 77pages.
138. **Reddy P., 2012**. Bio-priming of Seeds. In: Recent advances in crop protection. Springer, New Delhi. 978-81-322-0723-8.
139. **Rejili M., Vadel M A., Neffatp M., 2006**. Comportements germinatifs de deux populations de *Lotus creticus* (L.) en présence du NaCl. Revue des Régions Arides, Vol. 17, N° 1 : 65- 78.
140. **Rekika D., 1997**. Identification des caractères physiologiques liés au rendement en condition de sécheresse chez le blé dur. Thèse de doctorat. ENSA. Montpellier. 102p.
141. **Rengasamy P., 2006** - World salinization with emphasis on Australia .Journa of Experimental Botany. 57, (5), p. 1017-1023.
142. **Roland J. C., 2002**. Des plantes et des hommes. Ed. Vuibert. PP 45-46.
143. **Rubio F., Gassmann W. Et Schroeder J.I. (1995)**. Sodium driven potassium uptake by the plant potassium transporter HKT 1 and mutations conferring salt tolerance. Science 270 : 1660-1663.
144. **Salisbury, F.B. and Ross, C.W. (1994)** Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica S.A., México, 759 p.
145. **Santalla M, Power JB, Davey MR. 1998**. Efficient in vitro shoot regeneration responses of *Phaseolus vulgaris* and *P. coccineus*. Euphytica. 102(2): 195-202.
146. **Santiago L.S., Lau T.S., Melcher P.J., 2000-** Steele O.C., Goldstein G., Morphological and physiological responses of hawaiian *Hibiscus tiliaceus* populations to light and salinity, Int. J. Plant Sci. 161, 99–106.

## Références bibliographiques

---

147. **Sell, G. D. et Koepp, D. E. 1981.** Oxidation of proline by mitochondri isolated from water stressed maize shoots. *Plant Physiol* 68: 1058–1063.
148. **Semmadi, A. et Rahmoune, C.(1995).** Influence de la pollution atmospherique sur les rendements agricoles. *Rev. Sci. Technol.* 6 : 31-41.
149. **Senaratna T., McKersie B.D. and Borochoy A. 1987.** Desiccation and free radical mediated changes in plant membranes. *J. Exp. Bot.* 38: 2005–2014.
150. **Shanon mc., 1985.** Principles and strategies in breeding for higher salt tolerance. *Plant soil.*89, 227-241.
151. **Sharkey TD., Loreto F., 1993.** Water stress, temperature and light effects on the capacity for isoprene emission and photosynthesis of Kudzu leaves. *Oecologia* 95,328-333.
152. **Silue S., Jacquemin J. Et Baudoin J., 2010.**Utilisation des mutations induites pour l'étude de l'embryogenèse chez le haricot *P. vulgaris* L. et deux plantes modèles, *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. Et *Zea mays* L. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* PP195-205.
- 153.**Snoussi S.A., 2011** – Valorisation des eauxsalines pour la nutrition des plantescultivées, thèse de doctorat, INA El-Harrach. 152p.
- 154.**Snoussi S.A., Halitim A., et Valles V., 2004** - Absorption hydrique en milieu salin chez la tomate et le haricot. *Agriculture*, 13, (3), p.283-287.
- 155.**Soucy A, 2016.** Système de surveillance du statut nutritionnel des plants de tomates utilisant la vision numérique proche infrarouge. Thèse d'ingénierie ; Univ Québec, Chicoutimi. 104P.
156. **Steiner, A.A. (1984).** The Universal Nutrient Solution. Sixth International Congress on Soilless Culture, Wageningen, 633-650.

## Références bibliographiques

---

157. **Szabolcs I., 1994.** Soils and salinization. In: Pessarakli, M. (Ed.), Handbook of Plant.
158. **Szabolcs.I., 1989.** Salt affected soils, as word problem. In The reclamation of slataffected soils. Universit Beijing, China, p.30-47.
159. **Tanji K.K. (1990).** Nature and extent of agricultural salinity. In : Tanji KK (ed) Agricultural salinity assessment and management. American Society of Civil E ngineers. New York. pp 1-17.
160. **Tanou G., Fotopoulos V., Molassiotis A. (2012).** Priming against environmental challenges and proteomics in plants: update and agricultural perspectives. *Frontiers in plant science.*, 3(216): 1-5.
161. **Taylor A.G. & Harman G.E., 1990.** Concepts and technologies of selected seed treatments. *Ann. Rev. Phytopathol.*, 28, 321-339.
162. **Taylor A.G., Allen P.S., Bennett M.A., Bradford K.J., Burris J.S., Misra M.K. (1998).** Seed enhancements. *Seed Science Research.*, 8: 245-256.
163. **Taylor A.G. et Harman G.E., 1990-**Concepts and technologies of selected seed treatments. *Ann. Rev. Phytopathol.*, 28, 321-339.
164. **Tewari A.K., Tripathy B.C., (1998).**Temperture stress inducted impairment of chlorophyll biosynthetic reactions in cucumber and wheat. *Plant Physiol.*117, 851-858.
165. **Texier W., (2013).** L'hydroponie pour tous. Mama éditions,7 rue Pétion, 75011 Paris .13-20.
166. **Tirilly Y. - Bourgeois C.M., 1999.** Technologie des légumes. Edit. La Maison Rustique, Paris 558p.
167. **Tyerman S.D. Et Skerrett I.M., (1999).** Root ion channels and salinity. *Scientia horticulturae.* 78 : 175-235.
168. **Urrestarazu, G. M. 2000.** Bases y sistemas de los cultivos sin suelo. In: Urrestarazu, M. (Ed.). Tratado de cultivo sin suelo. 3a Ed. Mundi Prensa, Madrid. 3-47 pp.



## Références bibliographiques

---

- 169. Valerie P., 2015.** Irrigation, substrats et fertilisation dans la culture hors-sol du fraisier, des enjeux pour une production optimisée, mémoire Maître ès sciences (M. Sc.), Univ Québec, Canada. 67P.
- 170. Van-Hoorn J.W., 1995.** Développement of soilsalinity in the root zone N°2 séance spécialisée du 22 mars. Barz. J. Plant Physiol., 15 N° 2. p 65-66.
- 171. Varier A., Vari A.K. & Dadlani M., 2010.** The subcellular basis of seed priming. *Curr. Sci.*, **99**, 450-456.
- 172. Viégas, R.A. et silveira, J.A.(1999).** Ammonia assimilation and proline accumulation in young cashew plant during longterm exposure to NaCl-salinity. *revista brasileira de fisiologia vegetal*, 11 (3):153-159.
- 173. Vincent, R. (2006).** Recherche et étude de marqueurs moléculaires de la réponse au stress chez l'algue brune *Laminaria digitata*. Thèse de doctorat. Biologie. Université de Rennes 1. 237pp.
- 174. Wang, X.Q., Ullah, H., Jones, A.M., and Assmann, S.M. (2001).** G protein regulation of ion channels and abscisic acid signaling in Arabidopsis guard cell. *Science* 292, 2070-2072.
- 175. William Texier., (2015).**- L'Hydroponie pour tous - Les dix clés de l'horticulture à la maison - Mini édition Broché.
- 176. Xiong I., Scumaker K.S. Et Zhu J.K. (2002).** Cell signaling during cold, drought and salt stress. *The plant cell Supplement* 14 : S 165-S 183.
- 177. Yamori, W., K., Knoguchi, I., Terashima. 2005.** Temperature acclimatisation of photosynthesis in spinach leaves: analyses of photosynthetic components and temperature dependencies of photosynthetic partial reactions. *Photosynth. Res.* 28, 536-547.
- 178. Yari L., Aghaalikani M. & Khazaei F., 2010.** Effect of seed priming duration and temperature on seed germination behavior of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. Agric. Biol. Sci.*, **5**(1), 1-6.

## *Références bibliographiques*

---

- 179. Yeo, A.R., (1983).** Salinity resistance: physiologies and prices. *Physiologia Plantarum* 58: 214-222.
- 180. Zahran, H.H. 1986 .** Diversity, adaptation and activity of the bacterial flora in saline
- 181. Zhu, J-K (2002).** Salt and drought stress signal transduction in plants. *An. Rev. Of Plant Biol.* 53: 247-73.