



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA I  
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE  
DEPARTEMENT BIOTECHNOLOGIE

LABORATOIRE DE BIOTECHNOLOGIES DES PRODUCTIONS VEGETALES



MEMOIRE

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER ACADEMIQUE  
OPTION BIOTECHNOLOGIE VEGETALE

Thème :

Effet de l'application des phytohormones (régulateurs de croissances) exogènes sur la germination du blé dur (*Triticum durum Desf.*) dans des conditions du stress hydrique et salin.

Réaliser par :

Kechroud Khadîdja.

Latoui Kahina.

Devant le jury composé de :

BENMOUSSA M.	Professeur	Univ. BLIDA I	Président
BRADEA M. S.	Professeur	Univ. BLIDA I	Promotrice
AYADI R.	Maitre de conférences B	Univ. BLIDA I	Examinatrice
HAMIDI Y.	Maitre de conférences B	Univ. BLIDA I	Co-promoteur

ANNEE UNIVERSITAIRE 2018/2019.

## **Remercîment**

*Ce chapitre incontournable peut être l'occasion d'exprimer une gratitude sincère envers les personnes qui ont apporté une aide, une écoute ou simplement une chaleur gratuite et généreuse.*

*Tout d'abord **dieu** merci pour la santé, la volonté, le courage et la détermination qui nous ont accompagnés tout au long de la préparation et l'élaboration de ce travail et qui nous ont permis d'achever ce modeste travail.*

*Nous remercions chaleureusement notre encadreur **Mme. Bradia maria Stella**, pour l'orientation, la confiance, la patience qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port. Qu'il trouve dans ce travail un hommage vivant à sa haute personnalité.*

*En second lieu, nous tenons à remercier notre Co promoteur **Mr. Hamidi Youcef**, son précieux conseil et son aide durant toute la période du travail.*

*Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury **Mr. Benmoussa** le président et **Mme. Ayadi** l'examinatrice pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.*

*Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous les professeurs qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont soutenu dans la poursuite de nos études.*

*Nous tenant à remercier sincèrement Monsieur, **Benmaalem Abderrahmane** Ingénieur de laboratoire de recherche de Biotechnologie des Productions Végétales Pour son précieux conseil et son aide durant toute la période du travail.*

*Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.*

## ***Dédicaces***

*Je dédie ce mémoire à :*

*Ma très chère mère pour tout son amour et son dévouement, à mon père qui a toujours été là pour moi et qui m'a donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance*

*A mes chers frères : **Oussama, Islam, Amine et Jihad**, pour leur appui et leur encouragement.*

*Mes adorables sœurs : **Ikram et Chourouk** pour leur soutien moral et leurs sacrifices tout au long de ma formation*

*Toute ma famille en particulier mon oncle **Nacer** et ma tante **Khadidja**  
Ma chère binôme « **Latoui Kahina** » et à toute sa famille*

*Tous mes amis de faculté SNV et spécialement : **Yasmine, Wafa, Yamina, Wassila** ...et tous ceux qui me sont chers et que j'ai omis de citer*

*A moi-même.*

*J'espère qu'ils trouveront dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon amour.*

***Khadîdja.***

## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail qui est le fruit de plusieurs Années d'étude à :*

*Mes chers et respectueux parents en récompense de leurs sacrifices et leur clairvoyance qui m'a servi et me servirait tout au long de ma vie.*

*Mes chères sœurs : **Rania & Chahra.***

*Mes chers frères : **Hichem & Sid-Ali.***

*Ma chère binôme « **Kechroud Khadidja** » et à toute sa famille.*

*Tous mes amis de faculté SNV avec lesquels j'ai passé cinq années inoubliables, et en particulier : **Wassila, Imen, Youssra, Chaïma, Kenza et Chiraz,** tout en leur souhaitant la réussite dans tout ce qu'ils entreprennent*

*Tous les enseignants qui ont participé à ma formation durant mes quatre ans, sans les nommer, car la liste est longue et le risque est grand d'en oublier un.*

*A toutes les personnes que j'aime et qui m'aiment.*

***Kahina.***



## Tables de Matière

<b>INTRODUCTION.</b>	<b>1</b>
<b>Partie I : Synthèse Bibliographique.</b>	
<b>I. Les phytohormones (hormones végétales).</b>	<b>3</b>
<b>1. Définition.</b>	<b>3</b>
<b>2. Détermination du rôle des hormones.</b>	<b>3</b>
<b>3. Les différents types d'hormones végétales</b>	<b>4</b>
<b>3.1. Les gibbérellines.</b>	<b>4</b>
<b>3.1.1. Définition.</b>	<b>4</b>
<b>3.1.2. Les gibbérellines dans la plante -Répartition- Transport.</b>	<b>5</b>
<b>3.1.3. Effets physiologiques.</b>	<b>5</b>
<b>3.1.4. Effets des gibbérellines sur la germination.</b>	<b>6</b>
<b>3.2. L'auxine.</b>	<b>6</b>
<b>3.2.1. Définition.</b>	<b>6</b>
<b>3.2.2. Rôles de l'auxine et applications.</b>	<b>7</b>
<b>3.3. Les Cytokinines.</b>	<b>7</b>
<b>3.4. L'acide salicylique.</b>	<b>7</b>
<b>3.4.1. Définition.</b>	<b>8</b>
<b>3.4.2. Rôle de l'acide salicylique.</b>	<b>8</b>
<b>3.4.3. Mode d'action.</b>	<b>8</b>
<b>3.5. D'autres phytohormones.</b>	<b>9</b>

<b>3.5.1. L'Éthylène.</b>	<b>9</b>
<b>3.5.2. L'acide abscissique.</b>	<b>9</b>
<b>4. Effet des phytohormones sur la plante.</b>	<b>9</b>
<b>4.1. Effet des phytohormones sur la plante en condition de stress salin.</b>	
<b>4.1.1. Effet des auxines sur la tolérance au sel.</b>	<b>10</b>
<b>4.1.2. Effet de l'acide gibbérellique (GA) sur la tolérance au stress salin.</b>	<b>10</b>
<b>4.1.3. Effet de l'acide salicylique (SA) sur la tolérance au stress Salin.</b>	<b>10</b>
<b>4.2. Effet des phytohormones sur la plante en condition de stress hydrique.</b>	<b>11</b>
<b>5. Hormones et rendements agricoles.</b>	<b>12</b>
<b>II. Notion de stress végétal.</b>	<b>13</b>
<b>1. Définition de stress.</b>	<b>13</b>
<b>1.1. Stress biotique.</b>	<b>13</b>
<b>1.2. Stress abiotique.</b>	<b>13</b>
<b>2. Salinité.</b>	<b>13</b>
<b>2.1. Définition.</b>	<b>13</b>
<b>2.2. La salinité dans le monde et en Algérie.</b>	<b>14</b>
<b>2.3. Origine de la salinité.</b>	<b>14</b>
<b>2.3.1. Salinisation primaire.</b>	<b>14</b>
<b>2.3.2. Salinisation secondaire.</b>	<b>14</b>
<b>2.4. Causes de la salinité.</b>	<b>15</b>

<b>2.5. Effet de la salinité sur la plante.</b>	<b>15</b>
<b>2.5.1. Effet de salinité sur la germination.</b>	<b>16</b>
<b>2.5.2 Effet de salinité sur quelques paramètres de germination (croissance et développement).</b>	<b>16</b>
<b>2.6. Mécanismes d'adaptation des plantes au sel.</b>	<b>16</b>
<b>2.6.1. Inclusion.</b>	<b>16</b>
<b>2.6.2. Exclusion.</b>	<b>17</b>
<b>2.6.3. Sélectivité ionique : efficacité d'utilisation de K<sup>+</sup>.</b>	<b>17</b>
<b>2.6.4. Ajustement osmotique.</b>	<b>18</b>
<b>2.6.5. Accumulation de la proline.</b>	<b>18</b>
<b>2.6.6. Accumulation des Sucres solubles.</b>	<b>19</b>
<b>2.6.7. Régulation de la croissance.</b>	<b>19</b>
<b>3. Stress hydrique.</b>	<b>20</b>
<b>3.1. Définition de stress hydrique.</b>	<b>20</b>
<b>3.2. Définition de la sécheresse et de déficit hydrique.</b>	<b>20</b>
<b>3.3. Effet de stress hydrique.</b>	<b>21</b>
<b>3.4. Effet du stress hydrique sur la germination.</b>	<b>21</b>
<b>3.5. Les différentes stratégies face au déficit hydrique.</b>	<b>22</b>
<b>3.5.1. L'échappement.</b>	<b>22</b>
<b>3.5.2. L'évitement.</b>	<b>22</b>
<b>3.5.3. La tolérance.</b>	<b>23</b>
<b>IV. Généralité sur l'espèce étudiée.</b>	<b>24</b>

<b>1. Le blé dur (<i>Triticum durum</i> Desf.).</b>	<b>24</b>
<b>1.1. Le blé.</b>	<b>24</b>
<b>1.2. Historique.</b>	<b>24</b>
<b>1.3. Origine géographique.</b>	<b>24</b>
<b>1.4. Origine génétique.</b>	<b>25</b>
<b>1.5. Classification botanique de blé dur.</b>	<b>26</b>
<b>1.6. Description générale de la plante du blé dur.</b>	<b>26</b>
<b>1.6.1. Les racines.</b>	<b>26</b>
<b>1.6.2. La tige.</b>	<b>27</b>
<b>1.6.3. Les fleurs.</b>	<b>27</b>
<b>1.7. Importance du blé dur.</b>	<b>27</b>
<b>1.7.1. Importance alimentaire.</b>	<b>27</b>
<b>1.7.2. Importance économique en Algérie et dans le monde.</b>	<b>28</b>

## **Partie II : Partie Expérimental.**

<b>V. Matériel et méthode.</b>	<b>31</b>
<b>I. Matériel biologique.</b>	<b>31</b>
<b>II. Matériel non biologique.</b>	<b>33</b>
<b>III. Méthodes.</b>	<b>33</b>
<b>1. Description des différents traitements testés.</b>	<b>33</b>
<b>2. Préparation des différents traitements.</b>	<b>34</b>
<b>3. Préparation des solutions de stress.</b>	<b>34</b>
<b>3.1. Préparation de la solution saline.</b>	<b>34</b>

<b>3.2. Préparation de la solution de PEG.</b>	<b>34</b>
<b>4. Préparation des graines pour les tests de germination.</b>	<b>35</b>
<b>4.1. Désinfection des graines.</b>	<b>35</b>
<b>4.2. Application des traitements pour les deux types de stress.</b>	<b>35</b>
<b>4.3. Application du stress.</b>	<b>36</b>
<b>III. Paramètres étudiés.</b>	<b>38</b>
<b>1. la précocité de germination.</b>	<b>38</b>
<b>2. Pourcentages de germination (G%).</b>	<b>38</b>
<b>3. Rythme de germination (Germination Pace).</b>	<b>38</b>
<b>4. Biomasse fraîche produite.</b>	<b>38</b>
<b>5. La longueur de la partie racinaire.</b>	<b>39</b>
<b>6. La longueur de la partie foliaire.</b>	<b>39</b>
<b>7. le rapport entre la longueur de la partie racinaire et la partie foliaire.</b>	<b>39</b>
<b>8. Biomasse sèche.</b>	<b>39</b>
<b>9. Taux de matière sèche.</b>	<b>40</b>
<b>10. Teneur en proline.</b>	<b>40</b>
<b>11. Fuite d'électrolyte (EL%).</b>	<b>41</b>
<b>12. Dosage de la teneur des feuilles en chlorophylle.</b>	<b>41</b>
<b>13. Contenu relative en eau.</b>	<b>42</b>
<b>IV. Analyse des données.</b>	<b>42</b>
<b>VI. Résultats et Discussion.</b>	<b>43</b>

<b>1. la précocité de germination.</b>	<b>43</b>
<b>2. Le pourcentages de germination (G%).</b>	<b>44</b>
<b>3. Rythme de germination (Germination Pace).</b>	<b>46</b>
<b>4. Biomasse fraiche produite.</b>	<b>47</b>
<b>5. La longueur de la partie racinaire et la partie foliaire.</b>	<b>48</b>
<b>6. le rapport entre la longueur de la partie racinaire et la partie foliaire.</b>	<b>51</b>
<b>7. Biomasse sèche.</b>	<b>52</b>
<b>8. Taux de la matière sèche.</b>	<b>54</b>
<b>9. La teneur en proline.</b>	<b>56</b>
<b>10. La fuite d'électrolyte (EL).</b>	<b>57</b>
<b>11. La teneur des feuilles en chlorophylle.</b>	<b>58</b>
<b>12. Contenu relative en eau.</b>	<b>62</b>
<b>CONCLUSION.</b>	<b>64</b>
<b>ANNEXE.</b>	



## **Résumé :**

Le blé dur est considéré comme une culture stratégique en Algérie. Toutefois, la croissance de cette culture et l'amélioration de son rendement sont limités par le manque d'eau et la salinité du sol.

La phase de germination constitue l'une des étapes les plus sensibles aux effets engendrés par ces stress. Le présent travail traite l'impact des phytohormones exogènes sur des graines du blé dur testées dans des conditions du stress hydrique de 12,5% de (PEG 6000) et de 100 mM du NaCl.

Les résultats obtenus démontrent que le prétraitement des graines par les phytohormones exogènes AG3, AS et IAA, a amélioré significativement la précocité et le taux final de la germination des graines, la croissance en longueur de la racine et de la partie aérienne ainsi que la biomasse fraîche et sèche.

D'autre part l'analyse des paramètres biochimiques montre que le prétraitement des graines du blé dur par des phytohormones exogènes augmente la teneur en pigments chlorophylliens et le pourcentage de la fuite d'électrolyte de la membrane par rapport au témoin. Alors que la teneur en proline est très faible en condition du stress salin et hydrique.

L'étude a montré que les phytohormones utilisées ont pas un effet significatif sur le contenu relative en eau chez les plantes issues des graines prétraitées par la solution hormonale dans les conditions de stress hydrique alors qu'ils ont un effet positif en conditions de stress salin.

## **Mots Clés :**

Blé dur, stress hydrique, stress salin, phytohormones, PEG6000, NaCl.

**Abstract:**

Durum wheat is a strategic crop in Algeria. However, the growth of this crop and the improvement of its yield are limited by drought and soil salinity.

The germination phase is one of the most sensitive stages to this kind of stress. The presented work deals with the impact of exogenous phytohormones on the durum wheat seeds under water deficiency of 12% (PEG 6000) and 100 mM of NaCl.

The results show that the priming of seeds with exogenous phytohormones such as AG3, AS and IAA improves significantly the precocity and final rate of seed germination, the root length and the fresh and dry weight of shoots.

On the other hand, the analysis of biochemical parameters shows that the pre-treatment of durum wheat seeds with exogenous phytohormones increases the content of chlorophyll pigment and the percentage of electrolyte leakage compared to controls. While the content of proline it reduces under salinity and drought conditions.

The study showed that the phytohormones used do not have a significant effect on the relative water content in seedling plants derived from pre-treated seeds with hormonal solution under water deficiency condition, while they have a positive effect under saline stress conditions.

**Keywords:**

Durum wheat, Drought, Salt stress, Phytohormones, PEG 6000, NaCl.

## خلاصة.

يعتبر القمح القاسي من المحاصيل الإستراتيجية في الجزائر. ومع ذلك، فإن نمو هذا المحصول وتحسين إنتاجه محدود بسبب نقص المياه وملوحة التربة.

تعد مرحلة الإنبات واحدة من أكثر المراحل حساسية للتأثيرات الناتجة عن هذه الضغوط. يتناول العمل المقدم تأثير عجز الماء وكلوريد الصوديوم في وجود الهرمونات النباتية الخارجية المعبر عنها في مراحل الإنبات. أظهرت النتائج التي تم قد حسن بشكل كبير من التبذير والمعدل IAA, AS, AG3 الحصول عليها أن تطبيق الهرمونات النباتية الخارجية مثل النهائي لإنبات البذور ، والنمو في طول الجذر والجزء الجوي وكذلك الكتلة الحيوية الطازجة والجافة.

من ناحية أخرى، يظهر تحليل البارامترات الكيميائية الحيوية أن المعالجة المسبقة لبذور القمح القاسي في الهرمونات النباتية الخارجية زادت من مدة صبغة الكلوروفيليان ونسبة تسرب الإلكترونات مقارنة بالضوابط. في حين أنه يقلل من إنتاج البرولين في ظل ظروف الإجهاد المائي والملحي.

أظهرت الدراسة أن الهرمونات النباتية المستخدمة ليس لها تأثير كبير على المحتوى المائي النسبي للنباتات المشتقة من البذور المعالجة في المحلول الهرموني تحت ظروف الإجهاد المائي بينما يكون لها تأثير إيجابي تحت ظروف الإجهاد الملح.

## كلمات البحث

القمح الصلب، الإجهاد المائي، إجهاد الملح، الهرمونات النباتية الخارجية .

## Liste des tableaux.

<b>Tableau 01 :</b>	Classification de blé dur. (APG III 2009).	<b>26</b>
<b>Tableau 02 :</b>	Les 10 principaux producteurs de blé (tonne) (FAO ,2017).	<b>29</b>
<b>Tableau 03 :</b>	La production de blé en Algérie(tonne) (FAO,2017).	<b>30</b>
<b>Tableau 04 :</b>	Caractéristiques morphologiques et culturales du blé dur ( <i>Triticum durum Desf.</i> ), variété <i>Vitron</i> .	<b>31</b>
<b>Tableau 05 :</b>	Résistance du blé dur ( <i>Triticum durum Desf.</i> ), variété <i>Vitron</i> aux facteurs environnementaux et maladies.	<b>32</b>
<b>Tableau 06 :</b>	Concentration d'hormone utilisée dans les différents traitements.	<b>34</b>

## Liste des figures.

<b>Figure 01 :</b>	Le blé dur.	<b>27</b>
<b>Figure 02 :</b>	Les graine de blé dur ( <i>Triticum durum Desf.</i> ) variété <i>Vitron</i> .	<b>33</b>
<b>Figure 03 :</b>	Désinfection des graines.	<b>35</b>
<b>Figure 04 :</b>	Trempage des graines dans les différentes solutions hormonales.	<b>36</b>
<b>Figure 05 :</b>	Disposition des graines dans les boites de Pétri.	<b>36</b>
<b>Figure 06 :</b>	Application de stress salin et hydrique sur les graines.	<b>37</b>
<b>Figure 07 :</b>	Répartition des boites de Pétri dans l'étuve.	<b>37</b>
<b>Figure 08 :</b>	Répartitions des boites de Pétri dans le phytotron.	<b>38</b>
<b>Figure 09 :</b>	La mesure de différentes parties de la plantule par le Digimizer.	<b>39</b>
<b>Figure 10 :</b>	Dosage de proline.	<b>41</b>
<b>Figure 11 :</b>	Extraction et séparation de chlorophylle.	<b>42</b>
<b>Figure 12 :</b>	Précocité de la germination des graines (%) du Blé dur en présence des phytohormones exogènes sous l'effet de stress hydrique et salin.	<b>43</b>
<b>Figure 13 :</b>	Taux de germination de Blé dur sous l'effet de NaCl et PEG en présence des hormones végétales a différentes concentrations.	<b>45</b>
<b>Figure 14 :</b>	Rythme de germination de Blé dur sous l'effet de NaCl et PEG en présence des hormones végétales a différentes concentrations.	<b>46</b>
<b>Figure 15 :</b>	Variations de poids frais de la partie racinaire des plantules de blé en fonction des différents traitements hormonal et sous l'effet du stress hydrique et salin.	<b>47</b>
<b>Figure 16 :</b>	Variations de poids frais de la partie foliaire des plantules de blé en fonction des différents traitements hormonal et sous l'effet du stress hydrique et salin.	<b>48</b>

<b>Figure 17 :</b>	Variations des longueurs radiculaires des plantules de blé en fonction des différents traitements hormonal et sous l'effet du stress hydrique et salin.	<b>49</b>
<b>Figure 18 :</b>	Variations des longueurs de la partie foliaire des plantules de blé en fonction des différents traitements hormonal et sous l'effet du stress hydrique et salin	<b>50</b>
<b>Figure 19 :</b>	Variations de rapport LPF/LPR des plantules de blé en fonction des différents traitements hormonal et sous l'effet du stress hydrique et salin	<b>51</b>
<b>Figure 20 :</b>	Variations de poids sec de la partie racinaire des plantules de blé en fonction des différents traitements hormonal et sous l'effet du stress hydrique et salin	<b>52</b>
<b>Figure 21 :</b>	Variations de poids sec de la partie foliaire des plantules de blé en fonction des différents traitements hormonal et sous l'effet du stress hydrique et salin.	<b>53</b>
<b>Figure 22 :</b>	Variations des taux de MS de la partie racinaire des plantules de blé en fonction des différents traitements hormonal et sous l'effet du stress hydrique et salin.	<b>54</b>
<b>Figure 23 :</b>	Variations des taux de MS de la partie foliaire des plantules de blé en fonction des différents traitements hormonal et sous l'effet du stress hydrique et salin.	<b>55</b>
<b>Figure 24 :</b>	L'accumulation de proline chez les plantules de blé dur (ug/g de MF).	<b>56</b>
<b>Figure 25 :</b>	Pourcentage de fuite d'électrolytes en fonction de phytohormones exogène en condition de stress hydrique et salin.	<b>57</b>
<b>Figure 26 :</b>	Quantité de chlorophylle a dans les plantules de blé dur (ug/g de MF).	<b>58</b>
<b>Figure 27 :</b>	Quantité de chlorophylle (b) dans les plantules de blé dur (ug/g de MF).	<b>60</b>
<b>Figure 28 :</b>	La teneur en caroténoïdes chez les plantules de blé dur (ug/g de MF).	<b>61</b>

<b>Figure 29 :</b>	Contenues relatifs en eau (%) des plantules du blé dur stressées en présence des hormones végétales exogènes.	<b>62</b>
--------------------	---	-----------

### III. Généralité sur l'espèce étudiée :

#### 1. Le blé dur (*Triticum durum* Desf.) :

##### 1.1. Le blé :

Le blé est une plante herbacée monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des Gramineae. Les deux espèces dominantes sont le blé tendre « *Triticum aestivum* » et le blé dur « *Triticum durum* ». Ce fruit sec est constitué d'une graine unique intimement soudée l'enveloppe du fruit qui la contient. Sur l'épi, le grain est entouré d'enveloppes qui n'adhèrent pas à la graine et qui sont éliminées au moment du battage (Surget et Barron, 2005).

##### 1.2. Historique :

Les principaux centres d'origine de l'agriculture ont vu le jour au Levant, entre la fin de l'Épipaléolithique et le début du Néolithique, permettant entre autres l'émergence de la civilisation occidentale voici un peu plus de 10 000 ans, selon les archéologues la date de l'apparition de la culture des blés dans ce secteur du globe se situerait, entre 8900 et 7000 avant Jésus Christ (Bonjean et *al.*, 2001). La diffusion de la culture du blé a débuté dans le Nord-ouest et le Nord du Levant vers l'Afrique, l'Asie et l'Europe. La vulgarisation de cette culture vers les pays Maghrébins tel que la Tunisie, le Maroc et l'Algérie fut à partir de la péninsule italienne et de la Sicile (Bonjean et *al.*, 2001).

En Algérie selon Pictav, (1856), le Blé dur (*T. durum*) était la seule variété connue de la population autochtone avant la colonisation française. Il est de couleur plus brune du grain, son écorce craque sous la dent, sa cassure vitreuse, sa farine moins blanche. Léon Ducellier (1878-1937), découvrit et analysa les nombreuses variétés, qui peuplaient les champs cultivés recueillit les échantillons les plus caractérisés, les plus productifs, les plus résistants à la sécheresse ou à quelques maladies (Lery, 1982). Au temps des amazighs le plat traditionnel était le couscous (Bensalem et *al.*, 1995).

##### 1.3. Origine géographique :

La découverte du blé remonte à 15000 ans avant Jésus-Christ dans la région du croissant fertile, vaste territoire comprenant, la vallée du Jourdain et des zones adjacentes de Palestine, de la Jordanie, de l'Iraq, et la bordure Ouest de l'Iran (Ouanzar, 2012).

La base de divers éléments botaniques, génétiques et archéologiques, que le creuset de notre céréaliculture se situerait en une zone plus limitée « Croissant fertile », localisée autour de l'amont du Tigre et de l'Euphrate, dans des territoires actuels de la Syrie et de la Turquie. On croit que le blé dur provient des territoires actuels de la Turquie, de la Syrie, de l'Iraq et de l'Iran (Feldman, 2001 ; Mouellef, 2010). Bonjean et Picard, 1990, affirment que le monde Romain a largement contribué à la diffusion des céréales du bassin méditerranéen vers l'Europe centrale et l'Europe de l'Ouest.

#### 1.4. Origine génétique :

Le blé a été domestiqué par hybridation entre trois espèces d'une graminée sauvage, l'épeautre ou engrain sauvage (Naville, 2005). Pendant plusieurs millénaires, le blé n'est cultivé, comme les autres céréales, qu'en faibles quantités et avec de très bas rendements (Naville, 2005). Les analyses cytogénétiques plus récentes appuyées par les analyses biochimiques qui utilisent des marqueurs moléculaires ont permis de retracer les progénitures des formes cultivées de blé et de mieux comprendre les processus de polyploidie qui ont produit les diverses espèces spontanées et les formes cultivées de blé (Verville, 2003).

Selon Belaid, (1996) ; Verville (2003) et Naville, (2005), les blés constituent le genre *Triticum* qui comporte un certain nombre d'espèces sauvages et cultivées qui se différencient par leur degré de ploïdie et par leur nombre de chromosomes. Génétiquement, ils sont divisés en diploïdes, tétraploïde et hexaploïdes.

D'après Cook et al., (1991) ; Feillet, (2000) et Verville (2003), les analyses cytogénétiques ont montré que les espèces de *Triticum* formaient une série polyploïde avec une base chromosomique de sept. Les blés diploïdes sauvages ont 14 chromosomes, les blés tétraploïdes et les blés durs modernes en ont 28. Les blés communs hexaploïdes ont 42. Les blés tétraploïdes résultent d'un croisement rare mais naturel entre 2 espèces de blé diploïdes. Les chromosomes des 2 espèces diploïdes se sont combinés dans un processus appelé l'amphidiploïdie. Une espèce diploïde ayant le génome AA produit par un croisement avec une espèce diploïde ayant le génome BB, un hybride diploïde ayant le génome AB, qui serait stérile. Dans des rares cas, les chromosomes se dédoublent spontanément pour produire l'hybride tétraploïde AA BB qui est fertile (Cook et al., 1991).

Les tétraploïdes comportent plusieurs espèces dont le *Triticum durum* ou blé dur (Naville, 2005). Donc le *Triticum durum* contient les deux génomes AA et BB et 28 chromosomes.

### 1.5. Classification botanique de blé dur :

**Tableau 01** : Classification de blé dur. (APG III 2009).

<b>Clade</b>	<b>Angiosperme</b>
<b>Clade</b>	<b>Monocodyledone</b>
<b>Clade</b>	<b>Commelinidées</b>
<b>Clade</b>	<b>Poale</b>
<b>Clade</b>	<b>Poaceae</b>
<b>Espèce</b>	<i>Triticum durum dsf.</i>

### 1.6. Description générale de la plante du blé dur :

La plante de blé dur (*Triticum turgidum* ssp. *durum*), il s'agit d'une graminée annuelle de hauteur moyenne (Bozzini, 1998) et comme toutes les céréales, c'est un système vivant qui peut être divisé en deux parties : Une souterraine assurant la communication sol/plante, c'est le système racinaire, et une partie aérienne qui permet les échanges plante-atmosphère, notamment les processus de photosynthèse et de transpiration (Soltner, 1990).

#### 1.6.1. Les racines :

Le blé possède un système racinaire assez développé par rapport à celui du maïs ou des graminées prairiales (Soltner, 1990). Le système racinaire comprend des racines séminales produites par la plantule durant la levée, ainsi que des racines adventives qui se forment plus tard à partir des nœuds à la base de la plante et constituent le système racinaire permanent (Clarke et al., 2002). Outre leur rôle d'ancrage de la partie aérienne de la plante, les racines permettent de puiser l'eau dans une partie du sol (la réserve utile) pour la restituer dans l'atmosphère par transpiration. Si l'eau disponible diminue, la succion du sol augmente et les racines ont de plus en plus des difficultés à extraire l'eau. Le volume occupé par les racines d'une plante dans le sol a une grande importance pour l'absorption de l'eau et l'élaboration de la sève. L'espace racinaire varie selon la nature et la structure du sol, et selon le type de plantes et les contraintes agro-environnementales dans lesquelles celles-ci évoluent (Soltner, 1990).

### 1.6.2. La tige :

Le système aérien est constitué par les talles, tiges cylindriques, dressées habituellement creuses et subdivisées en entre-nœuds (Clarke et *al.*, 2002). Le chaume (talle) se forme à partir de bourgeons axillaires des nœuds à la base de la tige principale, ou brin-mâtre. Les feuilles se composent d'une base (gaine) entourant la tige, d'une partie terminale qui s'aligne avec les nervures parallèles et d'une extrémité pointue. Au point d'attache de la gaine de la feuille (limbe) se trouve une membrane mince et transparente (ligule) comportant deux petits appendices latéraux (oreillettes).

### 1.6.3. Les fleurs :

L'inflorescence du blé dur est un épi muni d'un rachis portant des épillets séparés par de courts entre-nœuds (Bozzini, 1988). Chaque épillet compte deux glumes (bractées) renfermant de deux à cinq fleurs distiques sur une rachéole. Chaque fleur parfaite est renfermée dans des structures semblables à des bractées, soit la glumelle inférieure (lemma ou lemme) et la glumelle supérieure (paléa). Chacune compte trois étamines à anthères biloculaires, ainsi qu'un pistil à deux styles à stigmates plumeux. À maturité, le grain de pollen fusiforme contient habituellement trois noyaux. Chaque fleur peut produire un fruit à une seule graine, soit le caryopse. Chaque graine contient un large endosperme et un embryon aplati, situé à l'apex de la graine et à proximité de la base de la fleur (Bozzini, 1988).



**Figure 01** : Le blé dur (Flora Helvetica, 2018)

## 1.7. Importance du blé dur :

### 1.7.1. Importance alimentaire :

Les céréales à pailles sont des monocotylédones de la famille des graminacées par ordre d'importance, le riz, le blé, le maïs et les pommes de terre sont les principaux aliments de base dans le monde (Walter, 1984). Le blé dur (*Triticum durum*. Desf.) est l'une des principales

ressources alimentaires de l'humanité (Roudart, 2006) à raison de 75% de la production, destiné aussi à l'alimentation des animaux à raison de 15 % de la production et à des usages non alimentaires (Feillet, 2004). La semoule issue des grains de blé dur est à l'origine de produits alimentaires très divers : Pâtes alimentaires, du couscous et à bien d'autres produits comme le pain, le frik, et divers gâteaux (Troccoli et *al.*, 2000). La paille est utilisée comme litière et comme aliment pour les animaux (Doré et Varoquaux, 2006). Le blé dur à une grande valeur nutritionnelle, suite à sa richesse en protéines et la présence du gluten, qui donne aux pâtes alimentaires un meilleur terme à la cuisson (Hébrard, 1996), il renferme en plus d'acides aminées, des lipides, des glucides, quelques sels minéraux et des vitamines (Autran et Boudret, 1975).

### **1.7.2. Importance économique en Algérie et dans le monde :**

La céréaliculture constitue en Algérie la principale activité, notamment dans les zones arides et semi arides (Cadi, 2005). Le blé dur occupe une place centrale dans l'économie algérienne. Il couvre 1,5 x 10<sup>6</sup> ha sur les 3,0 x 10<sup>6</sup> ha consacrés à la céréaliculture (Mazouz, 2006). La production algérienne de blé dur est très instable d'une année à l'autre à cause des conditions climatiques très variables (irrégularités des pluies, sécheresse...etc). Si la production nationale de blé a dépassé la barre d'un million de tonnes plusieurs fois depuis l'indépendance (exemple 1,1 million de tonnes dont 0,7 million de blé dur au cours des années 80) (Ighit, 1996), elle demeure tout de même loin du niveau réel de la consommation qui a augmenté progressivement avec la croissance démographique. En effet, la production n'a guère évolué en fonction des besoins (Ighit, 1996).

Actuellement, le pays se classe au premier rang mondial pour la consommation de blé avec une moyenne dépassant largement les 200 Kg/hab/an (FAOSTAT, 2005).

**Tableau 02** : Les 10 principaux producteurs de blé (tonne) (FAO ,2019).

			2013	2014	2015	2016	2017
Chine			121926400	126208400	132639000	133271000	134334000
Inde			93510000	95850000	86530000	92290000	98510000
Russie			52090797	59711382	61785799	73294568	85863132
Etats-Unis			58104610	55147120	55839540	62833140	47370880
France			38651472	38950202	42750027	29504454	36924938
Canada			37589100	27442100	37647400	32139900	29984200
Allemagne			25019100	27784700	26549500	24463800	24481600
Pakistan			24211360	25979399	25086174	25633000	26674000
Australie			22855576	25303037	23742560	22274514	31818744
Ukraine			22279300	24113970	26532100	26098830	26208980

Les rendements de la céréaliculture algérienne sont très bas, comparativement à la moyenne mondiale qui est de 29 qx/ha (Faostat, 2005).

Le rendement de blé dur en Algérie est faible et irrégulier, il est de l'ordre d'une moyenne de 10 qx/ha avec de fortes variations interannuelles (Mader, 2006).

En Algérie la production de blé dur couvre près de 41 % des besoins (Mazouz, 2006), la faiblesse de la production, dont les causes sont multiples, associée à une Forte demande alimentaire, font que le pays se présente comme un gros importateur potentiel. En effet, l'Algérie a importé sur la période (1988 - 1997), 2,3 MT/an de blé dur, soit le tiers de l'offre mondiale. L'union européenne est le principal fournisseur de l'Algérie (Ade, 1999). La quantité des blés importées lors de la campagne (2005-2006) a atteint 5,5 MT par 510 millions de dollars (Kellou, 2008).

**Tableau 03** : La production de blé en Algérie(tonne) (FAO,2019)

				2013	2014	2015	2016	2017
Algérie				3299049	2436197	2656731	2440097	2436503

Le blé dur représente environ 80 % des superficies cultivées en blés dans le monde dont 70 % sont localisée en conditions méditerranéennes. La Turquie, la Syrie, la Grèce, l'Italie, l'Espagne et les pays d'Afrique du Nord, sont en effet, parmi les principaux producteurs, avec une production de 8,08 MT par an, moyenne de la période (1994 - 2007) (Faostat, 2007). Le CIC (2002) estime que la superficie moyenne consacrée annuellement à la culture du blé dur dans le monde est de 18 millions d'hectare, pour une production annuelle moyenne de 27,5 millions de tonnes.

## Références Bibliographiques

- Ashraf M. and M. R. Foolad, 2005. *Pre-sowing seed. treatment-a shotgun approach to improve germination, plant growth and crop yield under saline and non-saline conditions. Advances in Agronomy*, 88: 223-271. 15.
- Ashraf M. and Foolad M. R., 2007. *Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environ. Exp.Bot.* 59 (2) : 206–216.
- Asloum H., 1990. *Elaboration d'un système de production maraîchère (Tomate, Lycopersicum 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* : 24- 32.
- Autran, J.C. et Boudret, A.,1975. *L'identification des variétés de blé : établissement d'un tableau général de détermination fondé sur le diagramme électrophorétique des gliadines du grain. Ann. Amelio. Plantes. N° 25, p. 277 - 301.*
- Aya A. N. N'driI, Irié Vroh-BI, Patrice L. Kouamé et Irié A. Zoro BI.,2011. *Bases génétiques et biochimiques de la capacité germinative des graines : implications pour les systèmes semenciers et la production alimentaire. Sciences & Nature, Vol. 8 n°1, pp. 119 – 137.*
- Baize D., 2000. *Guide des analyses en pédologie. 2ème édition. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris* : 206- 207
- Belkhodja M et Bidaii Y., 2004. *Réponse des graines d'Atriplex halimus L. à la salinité au stade de la germination. Sécheresse, 4(15) :331-334.*
- Bensalem M., Daaloul A., Ayadi A., 1995. *Le blé dur en Tunisie. CIHEAM – Options Méditerranéennes*, pp 81-91.
- Bizid E., Zid E. et Grignon C., 1988. *Tolérance au NaCl et sélectivité K +/Na + chez les Triticales. Agronomie, 8, 1 : 23-27.*
- Boggess S. F., Aspihall D. and Paleg L. G., 1976. *Stress metabolism. IX. The significance of endproduct inhibition of proline synthesis and of compartmentation in relation to stressinduced proline accumulation. Aust. J. Plant Physiol., 3, pp. 513-525.*
- Bonjean A et Picard E. 1990. *Les céréales à paille origine, historique, économie et sélection. Eds Nathan, 235 p.*

- Bonjean A., 2001. *Histoire de la culture des céréales et en particulier celle de blé tendre (Triticum aestivum L.). Dossier de l'environnement de l'INRA*, 21 :29-37.
- Bozzini A.,1988. *Origin, distribution, and production of durum wheat in the world. In Fabriani, G. et Lintas, C. (éd.) Durum: Chemistry and Technology. AACC (American Association of Cereal Chemists), Inc. St. Paul, Minnesota, Etats-Unis. p.1 - 16.*
- Brini F., Gaxiola R. A., Berkowitz G. A. and Masmoudi K., 2005. *Cloning and characterization of a wheat vacuolar cation/proton antiporter and pyrophosphatase proton pump. Plant Physiology and Biochemistry* 43, 347–354.
- Cadi, A.,2005. *Caractérisation des zones céréalières potentielles à travers le nord d'Algérie. Céréaliculture* N° 44 1er semestre, p. 36 - 39.
- Casal J.J., 2002. *Environmental Cues affecting development. Current Opinion in Plant Biology* 5, 37-42.
- Catherine PERROT-RECHENMANN, « AUXINES », Encyclopædia Universalis [en ligne], disponible sur « <http://www.universalis.fr/encyclopedie/auxines/> » (consulter le 12mai 2019).
- Chartoulakis; Klapaki, C. K; Klapaki, G.2000. *Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. Sci. Hortic.* 86: 247-260.
- Cheeseman J. M., 1988. *Mechanisms of salinity tolerance in plants. Plant Physiol.*, 87 : 547-550.
- Cherbuy, B., 1991. *Les sols salés et leur réhabilitation étude bibliographique. Cemagraf, école. Nat. Renne.* 170.
- Cheverry, C ; Rbert, M.,1998. *La dégradation des sols irrigués et de la ressource en eau : une menace pour l'avenir de l'agriculture et pour l'environnement de pays au sud de la Méditerranée.*
- Clarke, J.M., Norvell, W.A., Clarke, F.R. et Buckley, T.W., 2002. *Concentration of cadmium and other elements in the grain of near-isogenic durum lines. Can. J. Plant. Sci. Revue Canadienne de phytotechnie* N° 82, p. 27 - 33.
- DE.,1999. *Evaluation de la politique communautaire du blé dur. Rapport final. Vol. 1 : Rapport principal* Décembre 1999, p.75.

- Denden M., Bettaieb T., Alef Salhi et Mathlouthi M., 2005. *Effet de la salinité sur la fluorescence chlorophyllienne, la teneur en proline et la production florale de trois espèces ornementales*. TROPICULTURA, 23, 4, 220-225.
- Diédhiou G.J., 2006. *Mechanisms of salts tolerance: Sodium, Chloride, and potassium Homeostasis in two rice lines with different tolerance to salinity stress*. Dr. Rer.nat thèses. Faculté de biologie. Université de Bielefeld, Allman, 190p
- Dietz KJ., Tavakoli N., Kluge C., Mimura T., Sharma S., Harris G., Chardonnens A. and Golldack D., 2001. *Significance of the V-type ATPase for the adaptation to stressful growth conditions and its regulation on the molecular and biochemical level*. J Exp Bot, 52 :1969-1980.
- Doré, C. et Varoquaux, F., 2006. *Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées*. Ed. INRA, 812 p.
- Durand J.H., 1983. *Les sols irrigables, étude pédologique*. Edit. Imprimerie, Paris 339 p.
- Durand J.H., 1983. *Les sols irrigables, Agence de coopération culturelle et technique*. P.U. France, 190 p.
- Faostat (2005) Site des données statistiques de la FAO : [www.faostat.fao.org](http://www.faostat.fao.org).
- Faostat (2007) Site des données statistiques de la FAO : [www.faostat.fao.org](http://www.faostat.fao.org).
- Faostat (2019) Site des données statistiques de la FAO : [www.faostat.fao.org](http://www.faostat.fao.org).
- Feillet, P. (2004) *Valeur d'utilisation des blés durs*. C.R. Sem. D'études Céréalicultures. Gembloux N° 85, p. 2598.
- Feldman, M. (2001) *Origin of Cultivated Wheat*. In Bonjean, A.P. et Angus, W.J. (éd.) *The World Wheat Book: a history of wheat breeding*. Intercept Limited, Andover, Angleterre, p. 3 - 58.
- Glass A. D. M. and Perley J. E., 1980. *Varietal differences in potassium uptake by barley*. Plant Physiol 65 : 160-164.
- Granelle A. et Carbonell J., 1996. *Les hormones végétales*. Pour la science, n°=228, p.42-50.
- Halitim A., 1988. *Sols des régions arides d'Algérie*. OPU, Alger, 384 p.

- Hamdy A., LASRAM M et LACIRGNODA C., 1995. *Les problèmes de salinité dans la zone méditerranéenne compte rendu*. Acad. D'agri. De France action (1). Vol 81 (2). Paris. Séance spécialisée du 22 Mars 95, pp : 47- 60.
- Hamsas S., 2013-*effet combiné de la salinité et de l'acide salicylique sur le comportement des graines et des plantes juvéniles du gombo (abelmoschus esculentus L.)*. Mem. Mag., Physiologie végétale. Univ. Oran, Algérie, 103p.
- Hasegawa P.M., Bressan., R.A., Zhu, J.-K. And Bohnert, H.J., 2000. *Plant cellular and molécule responses to high salinity*. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 51, 463-499.
- Hassani A., Dellal A., Belkhodja M. et Kaid- Harche M., 2008. *Effet de la Salinité Sur L'eau et Certains Osmolytes Chez L'orge (Hordeum Vulgare L.)* *European Journal of Scientific Research*. Vol.23, n°1, pp.61-69.
- Hébrard, J.P. ,1996). *Blé dur : objectif qualité, Nutrition : des pâtes épatantes*. Document édité à l'occasion du colloque : perspectives blé dur, Toulouse, Labège, 26 Novembre 1996 organisé par : ITCF-ONIC-INRA-ITCF, p.6 - 7.
- Hopkins, W.G., 2003. *Physiologie Végétale*. 2e ed. De boeck. Paris, France. 514.
- Hopkin W.G., 2003. *Physiologie végétale – traduction de la 2ed.américaine par serge rambour révision scientifique de Charles-Marie Evradr Boeck univ. Bruxelles*. P 445-460
- Ighit, S., 1996. *Le marché mondial du blé et les dernières négociations agricoles du G.A.T.T.* Mem. Post-graduation spécialisée. EN. S. A. G. p. 45 - 57.
- Ilva-Ortega C. O., Ochoa-Alfaro A. E., Reyes-Aguero J. A., Aguado-Santacruz G. A. and Jimenez-Bremont J. F. 2008. *Salt stress increases the expression of p5cs gene and induces proline accumulation in cactus pear*. *Plant Physiol. Biochem.* 46(1): 82–92.
- Itai C., 1999. *Role of phytohormones in plant responses to stresses*. In: Lerner H.R. (ed). *Plant response to environmental stresses, from phytohormones to genome reorganization* Marcel Dekker Inc., Basel, NY, USA, pp. 287-301.
- Jiang, L., Wang, Y., Zhang, S., He, R., Li, W., Han, J., Cheng, X., 2017. *Tomato SIDREB1 gene conferred the transcriptional activation of drought-induced gene and an enhanced tolerance of the transgenic Arabidopsis to drought stress*. *Plant Growth Regul* 81, 131-145.

- Kebbas S., 2016- *Contribution à l'étude de la physiologie d'Acacia tortilis Frossk subsp raddiana Savi : Effet de déficite hydrique*. Mem. Doc. Biotechnologie végétale. Univ. Houari Boumediene Alger, Algérie, pp
- Kellou, R., 2008. *Analyse du marché algérien du blé dur et les opportunités d'exportation pour les céréaliers français dans le cadre du pole de compétitivité Qualité-Méditerranée. Le cas des coopératives Sud Céréales, groupe coopératif occitan et Audecoop*. Ce Master est le numéro 93 de la série Master of Science de l'institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier. Master of Science du CIHEAM – IAMM N° 93, 160 p.
- Kiani P. 2007. *Analyse génétique des réponses physiologiques du tournesol (Helianthus annuus L.) soumis à la sécheresse*. Thèse Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse.
- Lamaze T. 1994. *Résistance de plantes à la sécheresse : mécanismes physiologiques. Le sélectionneur Français*, 45 : 75-85p.
- Leprince A.S., Thierry L. and Savouré A., 2003. *Signalisation cellulaire en réponse à la contrainte hydrique chez Arabidopsis thaliana*. www.agricta. Org/pubs/std.
- Lery F., 1982. *L'agriculture au Maghreb ou pour une agronomie méditerranéenne*. Ed. Maisonneuve et Larose, Paris, 338 p.
- Levignegron A., Lopez F., Vansuyt G., Berthomieu P., Fourcroy P. et Casse-Delbart F., 1995. *Les plantes face au stress salin. Cahiers Agricultures*, 4 : 263-273.
- Levitt J., 1980. Responses of plants to environmental stresses. *Water radiation, salt and others stresses*. Academic Press, New York, 2: 365- 406.
- Le Page-Degivry MT. et Bulard C., 1988. *L'acide abscissique dans la régulation du développement embryonnaire et de la germination. Bulletin de la Société Botanique de France. Actualités Botaniques*, vol. 135 : n°=4, pp.19-32.
- Lignowski E. M. and Splittstoesser W. E., 1971. *Arginine synthesis, proline synthesis and related process. In JOHN & THOMPSON (Eds) : The Biochemistry of plants*, 25, pp. 225-229.
- MADR. 2006. *Statistiques série B du Ministère de l'agriculture et du développement rural*.
- Majumder A. L., Sengupta S. and Goswami L., 2010. *Osmolyte regulation in abiotic stress. Chap. 16. Dans Abiotic stress adaptation in plants: Physiological, molecular and*

*genomic foundation*. Sous la direction de A. Pareek, S.K. Sopory, H.J. Bohnert et Govindjee. p. 349–370.

- Mazouz, L., 2006 *Etude de la contribution des paramètres phénol-morphologiques dans l'adaptation du blé dur (Triticum durum Desf.) dans l'étage bioclimatique semi- aride*.

Mémoire de Magister, université Hadj Lakhdar, Batna, p.7.

- Messedi D., Siama L., Laabidi N., Ghnaya T., Savoure A., Soltani and Abdelly C., 2006. *Effect of nitrogen deficiency, salinity and drought on proline metabolism in Sesuvium portulacastrum*. *Biosaline Agriculture and Salinity Tolerance in Plants*. Pp. 65-72.

- Moore T. C., 1989. *Biochemistry and physiology of plant hormones*, Springer, New York, 2° éd. p. 261, 1971 P.

- Monneveux P., Nemmar M., 1986- *Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (Triticum aestivum L.) et chez le blé dur (Triticum durum Desf.) : étude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement*. *Agronomie*, EDP Sciences, 6 (6), pp.583-590.

- Monneveux P., 1991. *Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales*. In *Amélioration des plantes par l'adaptation aux milieux aride*. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. 165-186.

- Mouellef A. 2010. *Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (Triticum durum Desf.) au stress hydrique*. Thèse de Magistère. Université Mentouri Constantine.

- Nabors M. W., Gibbs S. E., Bernstein C. S. and Neis M. E., 1980. *NaCl tolerant tobacco plants from cultured cells*. *Z.P.F Lauzen physiol*, 97, 13-17.

- NDEYE THIORO D., 2000. *Evaluation au champ et en, conditions de salinité des performances agro morphologiques et physiologiques de lignées de riz Oryza sativa L. cultivar I Kong Pao (IKP) sélectionnées in vitro en présence de sel*. Thèse de doctorat de 3° cycle, Univ cheikh anta diop de dakar. P 2

-Nir, I., Moshelion, M., Weiss, D., 2014. *The Arabidopsis GIBBERELLIN METHYL TRANSFERASE 1 suppresses gibberellin activity, reduces whole-plant transpiration and promotes drought tolerance in transgenic tomato*. *Plant, Cell Environ* 37, 113-123.

- Omena-Garcia RP, Oliveira Martins A, Barbosa Medeiros D, Vallarino JG, Mendes Ribeiro D, Fernie AR, Ara'ujo WL, Nunes-Nesi A, *Growth and metabolic adjustments in response to gibberellin deficiency in drought stressed tomato plants, Environmental and Experimental Botany* (2018), <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.12.011>
- Ouazar S.2012. *Etude comparative de l'effet du semis direct et du labour conventionnel sur le comportement du blé dur (Triticum durum Desf.)*. Mémoire de magistère. Université. Farhat Abbes Sétif.
- Panda A. K. and Das A. B., 2005. *Salt tolerance and salinity effect on plants: review. Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol.60, pp. 324-349.
- Parida. A.K. and Das.,2005. *Salt tolerance and salinity effects on plants: A. Rev.Ecotoxicol. environ. Safety*,60 :324-349.
- Peleg Z., et Blumwald E.,2011. *Hormone balance and abiotic stress tolerance in crop plants. Current Opinion in Plant Biology*. In Press, Corrected Proof.
- Per, T.S., Khan, N.A., Reddy, P.S., Masood, A., Hasanuzzaman, M., Khan, M.I.R., Anjum, N.A., 2017. Approaches in modulating proline metabolism in plants for salt and drought stress tolerance: Phytohormones, mineral nutrients and transgenics. *Plant Physiol Biochem*.
- Pictav S. J., 1856. *Bulletin de l'Algérie*. 1ère édition. Just Rouvier, libraire éditeur, Paris,405p.
- Rejili, M ; Neffati, N ; Mouhhamed, V. (2006). *Comportement germinatif de deux populations de Lotus creticus. L en présence du NaCl*. Revue des région Arides n° 17. 65.
- Riaz, U., Z. Abbas, Q. Zaman, M. Mubashir, M. Jabeen, S.A. Zulqadar, Z. Javeed, S. Rehman, M. Ashraf and J. Qamar. 2018. *Evaluation of ground water quality for irrigation purposes and effect on crop yields: A GIS based study of Bahawalpur*. *Pakistan J. Agric. Res.* 31: 29-36.
- Richard D., 2014. *Biologie* (tout le cours en fiches) 2ème, éd. Dunod, p 420-433 janvier-février 2014 [en ligne] disponible sur « <https://www.jardinsdefrance.org/hormones-vegetales-regulateurs-de-croissance-et-horticulture-partie-ii/> » (consulter le 06 juin 2019).

- Roudani M., 1996. *Physiologie comparée de deux espèces de blé en relation avec les conditions de nutrition. Métabolisme racinaire en milieu salé*. Thèse d'Uni. Sci. Biol. Univ. Tunis II, 180 p.
- Roudart, L. (2006) *Terres cultivées et terres cultivables dans le monde*. *Paleohistoria* N°48, p.150 - 156.
- Said, B et Abdelmajid, H. (2011). *Effet de stress salin sur la germination de quelques espèces du genre atriplex* Revue « *natures & technologie* ». N° 05/juin 2011.
- Sairam R.K. and Tyagi A., 2004. *Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants*. *Curr. Sci.* 86: 407–421.
- Sampath Kumar I., Ramgopal Rao S. et Vardhini BV., 2015- *Role of Phytohormones during Salt Stress Tolerance in Plants*. *Current Trends in Biotechnology and Pharmacy*. Vol. 9. n°=4. pp. 334-343.
- Schwab K. B. and Gaff D. F., 1986. *Sugar and ion content in leaf tissue of several droughts tolerant plants under water stress*. *J. Plant Physiol.*, 125: 257-265.
- Snoussi S. A., Abdul Hussain K. H and Abdul Hussain M. S., 2005. *Dynamics of absorption of some biogenics salts at tomato and bean plant cultivated in saline medium*. *Original paper. Journal of Central European Agriculture* 6 (2) : 151-156.
- Soltner, D. (1990). *Les grandes productions végétales*. *Collection Sciences et Techniques agricoles*, édition N° 17, 464 p.
- Stengel, P; Bruckler, L; Balesdent, J. (2009). *Le sol*. Paris, France. 182.
- Stewart C.R., Boggess F., Aspinall D. and Paleg I.G., 1977. *Inhibition of proline oxidation by water stress*. *Plant Physiol.*, 59, pp. 930-932.
- SURGET A. et BARRON C., (2005). *Histologie du grain de blé*. *Industrie des céréales*, n. 145, pp. 4-7.
- Szilvia Bencze S., Bamberger Z., Krisztina Balla T. J., Bedő Z., Veisz O., 2010: Drought tolerance in cereals in terms of water retention, photosynthesis and antioxidant enzyme activities. *Cent. Eur. J. Biol.* • 6(3) • 376-387

- Tall M., Kaz A., Heikin H., and Dehan K. 1979. *Salt tolerance in the wild relatives of the cultivated Tomato: Proline accumulation in Lycopersicon esculentum, L. Peruvianum and Solanum peneili under NaCl salinity.* -New Phytol 82, 349, 1.
- Tal M., 1984. *Physiological genetics salt resistance in higher plants: studies on the level of the whole plant and isolated organs, tissues and cells.* In: Steples RC, Toennienssen GA, eds. *Salinity tolerance in Plants. Strategies for Crop Improvement.* Wiley, New York: 301 -320.
- Tester M. and Davenport R., 2003. *Na<sup>+</sup> tolerance and Na<sup>+</sup> transport in higher plants.* Ann Bot 91 : 503-527.
- Troccoli, A., Borrelli, G.G., De-Vita, P., Fares, C. et Di-Fonzoet, N. (2000) *Mini review : durum wheat quality : a multidisciplinary concept.* Jour. Of Cereal Science N° 32, p. 99 - 113.
- Troll W., Lindsley J.,1995- *A photometric method for the determination of proline.* J. Biol. Chem.p.215-655.
- Tuna, A.L., Kaya, C., Dikilitas, M., Higgs, D., 2008. *The combined effects of gibberellic acid and salinity on some antioxidant enzyme activities, plant growth parameters and nutritional status in maize plants.* Environ Exper Bot 62, 1-9.
- Walter, S.,1984. *Céréales et oléagineux. Manutention. Commerciales transformation N°3,* p. 350.
- Wang, Y ; Nil, N., 2000. *Changes in chlorophyll, ribulose biphosphate carboxylaseoxygenase, glycine betaine content, photosynthesis and transpiration in Amaranthus tricolor élaves during salt stress.* J. Hortic. Sci. Biotechnol. 75: 623-627.
- Wani H., Kumar V. Shriramc v. et Kumar Sahd S.,2016- *Phytohormones and their metabolic engineering for abiotic stress tolerance in crop plants.* The corp journal.vol.4. pp.162-176.
- Yakoubi f.,2014-*Reponse hormonale des graines du gombo (abelmoschus esculentus L.).* Mem. Mag., Physiologie végétale. Univ. Oran, Algerie,73p.
- Youssef T. and Awad M., 2008. *Mechanisms of enhancing photosynthetic gas exchange in date palm seedlings (Phoenix dactylifera L.) under salinity stress by a 5-aminolevulinic acid-based fertilizer,* Journal of Plant Growth Regulation, vol.27, no. 1, pp. 1-9.

- Zhu J. K., 2001. *Plant salt tolerance. Trends in Plant Sci.* pp66-71.
- Zhu J. K., 2002. *Salt and drought stress signal transduction in plants. Ann. Rev. Plant Biol.* 53, 247–273.
- Zhu, J.K. 2007. *Plant Salt Stress*: John Wiley and Sons, Ltd.
- Zid E. et Grignon C., 1991. *Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress. Cas des stress salin et hydrique. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides, AUPELFUREF. Jon Libbey Eurotext, Paris, 91- 108.*

## INTRODUCTION :

Les céréales ont joué un rôle capital dans le développement de l'humanité. La majorité des civilisations se sont développées autour d'une céréale : les civilisations asiatiques autour de la culture du riz, les précolombiennes autour du maïs et les babyloniennes et égyptiennes autour du blé (Moule, 1971). Le blé est une culture céréalière importante dans de nombreuses régions du globe, il est communément connu sous le nom de roi des céréales. Il appartient à la famille des Poaceae, il est la deuxième nourriture la plus produite parmi les céréales après le maïs à l'échelle mondiale (Datta et *al.*, 2009).

En Algérie, la culture des céréales occupe une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. La production des céréales, jachère comprise, occupe environ 80% de la superficie agricole utile (SAU) du pays. La superficie emblavée annuellement en céréales se situe entre 3 et 3,5 millions d'ha. Les superficies annuellement récoltées représentent 63% des emblavures (Djermoun, 2009). Aussi, les importations des céréales représentent 43% des valeurs globales des importations du pays et le blé dur représente la majorité des importations (Smadhi et Zella, 2009).

La production de blé dur, comme le reste des cultures céréalières est limitée par des stress abiotiques et biotiques qui représentent de réelles contraintes affectent les rendements (Turki et *al.*, 2014). Hormis les stress abiotiques, tel le stress hydrique et le stress salin et ; les stress biotiques exercés notamment par les ravageurs sur les plantes cultivées représentent l'une des contraintes majeures de la production végétale à l'échelle mondiale (Noir, 2002).

La salinité affecte la capacité de germination des graines (El Mekkaoui, 1990 ; Kayani et *al.*, 1990). De même le sel diminue la croissance de l'appareil végétatif par la réduction du nombre des feuilles (Lakhdari, 1986) et de la surface foliaire (Brugnoli et Lauteri, 1991). Les fortes doses de sel peuvent causer un déséquilibre ionique et une toxicité chez les plantes, ce qui peut affecter certains processus métaboliques vitaux tel que la teneur des feuilles en pigments chlorophylliens (Gadallah, 1999), chez les halophytes que chez les glycophytes (Salama et *al.*, 1994). Il en résulte un développement anormal des plantes et une diminution du rendement.

L'eau est l'un des facteurs environnementaux les plus importants qui régulent la croissance et le développement des plantes. La sécheresse est un facteur limitant qui affecte la croissance et le rendement des plantes. Les plantes subissent un stress hydrique soit lorsque l'approvisionnement en eau des racines devient difficile, soit lorsque le taux de transpiration devient très élevé. Parmi les diverses conséquences de l'effet de la sécheresse sur le développement des plantes, il est généralement admis que l'acquisition d'eau et de nutriments est limitée ce qui provoque des dommages irréversibles à la plante (Paramasivam et *al.*, 2008 ; Omena-Garcia et *al.*, 2018).

L'exploration d'améliorants appropriés ou d'atténuation du stress est l'une des tâches des biologistes. Au cours des dernières décennies, un protecteur exogène tel que l'hormone végétale s'est avéré efficace pour atténuer les dégâts induits par le sel dans la plante (Iqbal et *al.*, 2012 ; Yusuf et *al.*, 2012).

La croissance et le développement des plantes sessiles sont régulés de manière coordonnée par l'activité de plusieurs phytohormones comme l'acide abscissique, les gibbérellines, l'éthylène, les auxines, les cytokinines et les brassinostéroïdes, qui contrôlent de nombreux processus physiologiques et biochimiques (Iqbal et *al.*, 2014). Ces régulateurs de croissance jouent un rôle essentiel dans le maintien de la croissance des plantes dans des conditions de stress, y compris le stress salin et hydrique (Kaya et *al.*, 2013). Ces deux types causent des perturbations en leurs concentrations : (déséquilibre hormonal) et peuvent influencer sur l'homéostasie des hormones en raison des altérations de leur métabolisme et de leur distribution (Schopfer et *al.*, 2002).

L'application exogène des auxines, des gibbérellines et des cytokinines, produit un certain effet dans l'atténuation des effets néfastes du stress salin et améliore également la germination, la croissance, le développement et le rendement. Le contrôle du rapport dose/réponse d'hormones reste un défi, puisque les niveaux d'hormones atteints devraient être modérés afin de maintenir un équilibre entre les effets positifs des hormones végétales sur la tolérance au stress et les effets négatifs sur la croissance et le développement (Gul et *al.*, 2000 ; Khan et *al.*, 2004 ; Afzal et *al.*, 2005; Nir et *al.*, 2014).

Notre recherche, consiste à déterminer l'effet de l'application exogène des régulateurs de croissance (AG, AS et IAA) à différentes concentrations sur la germination des graines du blé dur (*Triticum durum Desf.*) var Vitron, dans des conditions du stress salin et hydrique, dans le but d'atténuer l'effet néfaste de ces deux contraintes abiotiques sur leurs comportement.

## II- Notion de stress végétale :

### 1. Définition de stress :

On appelle stress toute pression exercée par un paramètre, perturbant le fonctionnement habituel de la plante. Certains physiologistes qui étudient les stress estiment que ce concept est trop restrictif, parce qu'il suscite des questions sur les mécanismes adaptatifs qui permettent la croissance de plantes dans des environnements qui pourraient être considérés comme stressants. Par ailleurs, la réponse des plantes dépend, entre autres, de ces paramètres environnementaux, (le type de contrainte, son intensité et sa durée) et génétiques (espèce et génotype) (Hopkins, 2003). On distingue deux types de stress :

#### 1.1. Stress biotique :

Ce terme représente la totalité des paramètres physico-chimiques ou biologiques qui découlent de l'existence de l'action des êtres vivants. Les facteurs biotiques caractérisent donc l'ensemble des influences qu'exercent les êtres vivants entre eux et sur leur milieu (Ramade, 2003).

#### 1.2. Stress abiotique :

Il est dû principalement à des facteurs environnementaux comme la sécheresse, les températures extrêmes, excès d'eau et la salinité (Hopkins, 2003).

## 2. Salinité :

### 2.1. Définition :

La salinité est définie selon plusieurs chercheurs comme la présence d'une concentration excessive de sels solubles dans le sol ou dans l'eau d'irrigation (BAIZ, 2000 et Maatougui, 2001). C'est un facteur environnemental très important qui limite la croissance et la productivité (Allakhverdiev et al, 2000 in Bouzid, 2010).

La salinité élevée des sols due essentiellement au chlorure de sodium affecte le tiers des terres irriguées à l'échelle mondiale et constitue un facteur limitant prépondérant de la production végétale dans les zones arides (Hasegawa et al, 1986 in Ndeye thioro, 2000).

Le stress salin est défini comme une concentration excessive en sel. Le terme stress salin s'applique surtout à un excès des ions, en particulier Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> (Hopkins, 2003).

La salinisation des sols est un facteur limitant majeur de la productivité végétale dans les sols arables du monde. Les effets primaires de l'augmentation de la salinité des sols sont similaires à ceux observés chez les plantes exposées à un stress hydrique (Baker et Rosenqvist, 2004).

## **2.2. La salinité dans le monde et en Algérie :**

A l'échelle mondiale, les sols salés occupent des surfaces étendues et constituent un grand problème pour l'agriculture. La surface affectée par la salinité dans le monde est évaluée à 954,8 millions d'hectare, soit 23 % des terres cultivées (FAO, 2008).

En Algérie, les sols agricoles sont dans leur majorité affecté par la salinité ou susceptibles de l'être (Durand, 1983). Ils sont répartis dans les basses plaines d'Oranie, dans la vallée de Mina près de Relizane, sur les hautes plaines au Sud de Sétif et de Constantine, aux bords de certains Chotts comme Chott Melghir. Ils ont aussi une grande extension dans les régions sahariennes au Sud de Biskra jusqu'à Touggourt, Ouargla et d'autres (Durand, 1983).

D'après Halitim (1988), dans les régions arides, les sols salés représentent environ 25% de la surface cartographiée. Soit 3,2 millions d'hectares (Hamdy, 1995). Les sols situés au Sud sont nettement plus sodiques que ceux du Nord (Djili et Daoud, 1999).

## **2.3. Origine de la salinité :**

D'après Cherbuy (1991), la salinisation d'un milieu, implique la présence d'une source de sels qui peut être naturelle, dénommée primaire, et une salinisation anthropique, généralement liée à l'irrigation, que l'on appellera secondaire.

### **2.3.1. Salinisation primaire :**

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

### **2.3.2. Salinisation secondaire :**

Le phénomène de la salinisation secondaire lié à l'irrigation constitue une menace particulièrement grave mais très difficile à évaluer de manière correcte (Stengel et *al.*, 2009). Cette salinisation liée à l'irrigation se traduit par une accumulation de sels avec des effets sur

les propriétés chimiques, physiques (dispersion des argiles, instabilité de la structure) et biologiques (effet sur le développement des plantes par la pression osmotique (Cheverry et Rbert, 1998).

#### **2.4. Causes de la salinité :**

Les rares précipitations, l'évaporation élevée, l'irrigation avec de l'eau saline, et les pratiques culturelles parmi les facteurs principaux qui contribuent à la salinité croissante. La salinisation secondaire, en particulier, aggrave le problème une fois que les superficies agricoles productives deviennent impropres à la culture due à la qualité médiocre de l'eau d'irrigation (Ashraf et Foolard, 2005). Les travaux d'Urban (1997) ont montré que la salinité des sols peut avoir pour causes :

- L'existence d'un mauvais drainage est une condition essentielle de la salinisation.
- Dans la zone côtière, les apports marins et éoliens ont une influence directe sur les eaux souterraines.
- Une irrigation sur sol non drainant utilisant une eau légèrement saline (accumulation des sels dans les sols).

#### **2.5. Effet de la salinité sur la plante :**

La salinité de sol ou de l'eau est causée par la présence d'une quantité excessive de sels. Généralement un taux élevé de  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  causé le stress salin. Le stress salin a un triple effet : il réduit le potentiel hydrique, cause un déséquilibre ionique ou des perturbations en homéostasies ionique et provoque une toxicité ionique. Cet état hydrique altéré conduit à une croissance réduite et limitation de productivité végétale. Depuis que le stress salin implique aussi bien le stress osmotique qu'ionique (Hayashi et Murata, 1998 *in* Parida et Das, 2005), l'arrêt de la croissance est directement relié à la concentration des sels solubles ou au potentiel osmotique de l'eau du sol (Greenway et Munns, 1980 *in* Parida et Das, 2005).

##### **2.5.1. Effet de salinité sur la germination :**

Le stade plantule est le plus altérable dans le cycle de vie de la plante, et c'est la germination qui détermine le temps et le lieu pour que la croissance de la plantule ébauche. Ce stade de germination est souvent limité par la salinité du sol et se montre le plus sensible que les autres stades (Said et *al.*, 2011).

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

### **2.5.2 Effet de salinité sur quelques paramètres de germination (croissance et développement) :**

La réponse immédiate du stress salin est la réduction de la vitesse de l'expansion de la surface foliaire et cette expansion s'arrête si la concentration du sel augmente (Wang et Nil, 2000), le stress salin résulte aussi dans la diminution de la biomasse sèche et fraîche des feuilles, tiges et racines (Chartzoulakis et Klapaki, 2000).

### **2.6. Mécanismes d'adaptation des plantes au sel :**

La résistance d'une plante à la salinité s'exprime par sa capacité à survivre et se reproduire dans des conditions de stress salin. Selon la tolérance au sel, les plantes peuvent être groupées en 2 catégories principales :

- les halophytes qui tolèrent des concentrations relativement élevées en sel, sont des plantes capables de se développer et de croître sous un régime salin de 300 mM de NaCl et peuvent, même supporter de hautes concentrations en sel (à peu près 500 mM de NaCl) (Tester et Davenport, 2003)
- Les glycophytes sont des plantes sensibles aux basses concentrations en sel. Ces plantes représentent la majorité des espèces végétales dont leur croissance est ralentie dès que la concentration des milieux externes dépasse 100 mM et devient létale à partir de 300 mM (Greenway et Munns, 1980).

Les halophytes et les glycophytes, pour assurer leur cycle de croissance et de développement, peuvent développer une large gamme de mécanismes qui ne sont pas exclusifs l'un de l'autre, mais qui peuvent se compléter. Diverses classifications des mécanismes de tolérance au sel ont été élaborées (Zid et Grignon, 1991).

#### **2.6.1. Inclusion :**

La plante de type incluser capte les ions chlorure (Cl<sup>-</sup>) et sodium (Na<sup>+</sup>), qui parvient aux feuilles de la même façon que l'eau, par le mouvement ascendant de la sève xylémique.

A l'intérieur des cellules, le sel, en particulier l'ion sodium est alors stocké dans des compartiments fermés au sein de la cellule (les vacuoles) grâce à des systèmes de "pompes" moléculaires. Le sel est ainsi isolé des constituants cellulaires vitaux (Levigneron et *al.*, 1995).

La séquestration vacuolaire des ions  $\text{Na}^+$  réduit non seulement leurs concentrations dans le cytoplasme, mais contribue également à l'ajustement osmotique qui maintient l'absorption de l'eau de solution saline. D'autres organites, tels que les plastes et les mitochondries, peuvent également accumuler des ions  $\text{Na}^+$  et contribuer ainsi à la compartimentation intracellulaire de ces ions toxiques. Certaines espèces de graminées tolérantes au  $\text{NaCl}$ , comme *Agropyron scirpeum* L. et *Aegilops searsii* L., montrent une concentration élevée en sel dans les tissus foliaires, associée à un compartimentage efficace (Cheeseman, 1988).

### **2.6.2. Exclusion :**

Les plante de type excluer sont incapables de compartimer le  $\text{Na}^+$  donc elles limitent son transport dans leurs organes aériens. Les sels sont très peu retenus dans les tissus photosynthétiques (feuilles), ils sont alors revéhiculés par la sève phloémique jusqu'aux racines (Levigneron et *al.*, 1995 ; Levitt, 1980). La capacité des géotypes à expulser le  $\text{Na}^+$  à partir des racines dans le milieu de croissance et à maintenir un ratio  $\text{K}^+ / \text{Na}^+$  élevé est une expression de la tolérance au sel (Yoshida, 2002 ; Zhu, 2002). Une corrélation entre la tolérance au sel et l'aptitude à limiter le transport de  $\text{Na}^+$  dans les feuilles existe chez le blé et les triticales : les variétés les plus résistantes sont habituellement celles qui transportent le moins de  $\text{Na}^+$  dans leurs feuilles (Bizid et *al.*, 1988).

### **2.6.3. Sélectivité ionique : efficacité d'utilisation de $\text{K}^+$ :**

La sélectivité de ( $\text{K}^+$ ) par rapport au ( $\text{Na}^+$ ), est un critère physiologique important pour caractériser la tolérance au sel de plusieurs espèces. Dans les conditions optimales, les plantes maintiennent un haut ratio cytosolique  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  grâce à un système d'exclusion active de sodium et un système d'absorption active de potassium pendant l'utilisation du mécanisme cellulaire " la pompe de sodium" (Snoussi et *al.*, 2005).

A l'interface racine/sol, l'excès de  $\text{Na}^+$  peut limiter l'approvisionnement de la plante en macroéléments essentiels, tels que  $\text{K}^+$ , du fait que les ions  $\text{Na}^+$  sont en concurrence avec les ions  $\text{K}^+$ . Le prélèvement de  $\text{K}^+$  est essentiel pour la turgescence cellulaire et le déroulement des processus biochimiques sous stress salin. Une composante de la tolérance à la salinité sera

donc l'efficacité avec laquelle le  $K^+$  est absorbé et utilisé pour les besoins métaboliques. Une grande variabilité se manifeste à cet égard au sein des espèces et des variétés, ce qui permet d'envisager une sélection pour l'efficacité nutritionnelle en présence de  $Na^+$ . Chez le blé et l'orge, une corrélation existe entre la croissance en milieu salin, la vitesse d'absorption de  $K^+$  et son efficacité d'utilisation (Glass et Perley, 1980 ; Tal, 1984).

La localisation des ions  $Na^+$  dans les vacuoles est un mécanisme efficace pour éviter les effets toxiques de ces ions dans le cytosol, leurs transports dans les vacuoles est facilité par les cations  $H^+$  /anti-porteurs qui sont inspirées par le gradient électrochimique des protons générés par des enzymes vacuolaires  $H^+$  -translocation, la  $H^+$ -ATPase et la  $H^+$ -PPase, ces phosphatases génèrent le gradient des protons nécessaires requises pour l'activité de la  $Na^+/H^+$  anti-porteurs., la caractérisation fonctionnelle de  $Na^+ /H^+$  anti-porteurs vacuolaires TNHX1 et  $H^+$  -PPase et la pompe TVP1 chez le blé a été rapporté récemment par (Brini et al., 2005). Les niveaux de transcription des antiports vacuolaire  $H^+$ -ATP ase également augmentent lors d'un stress salin (Dietz et al., 2001).

#### 2.6.4. Ajustement osmotique :

L'ajustement osmotique est l'un des principaux mécanismes physiologiques de tolérance aux contraintes du milieu. Il permet le maintien de nombreuses fonctions (Majumder et al., 2010), physiologique (photosynthèse, transpiration, croissance...) et peut intervenir à tous les stades du développement du végétal (Hassani et al., 2008). Sa production est due à une compartimentation d'ions toxiques loin du cytoplasme dans la vacuole et/ou à travers la synthèse et l'accumulation de composés organiques, de petite masse moléculaire nommés solutés compatibles parce qu'ils n'interfèrent pas avec les réactions normales biochimiques (Panda et Das, 2005). En plus du rôle d'osmorégulateurs, qui conduit à une réduction du potentiel osmotique permettant ainsi le maintien du potentiel de turgescence, ces derniers peuvent offrir une osmoprotection en stabilisant les macromolécules spécifiques (enzymes) (contribuer à la stabilité des structures membranaires (Bartels et Sunkar, 2005) et constituerait une source de carbone et d'azote (Sairam et Tyagi, 2004).

Les métabolites impliqués dans cet ajustement sont assez variés, parmi eux, on évoque fréquemment les sucres solubles et la proline (Monneveux, 1991). L'accumulation de ces composés varie dans de larges proportions suivant l'espèce, le stade de développement et le niveau de la salinité (Ashraf, 2002).

### 2.6.5. Accumulation de la proline :

Les teneurs en proline s'accroissent rapidement chez de nombreuses monocotylédones ou dicotylédones soumises à un stress salin (Leprince et *al.*, 2003 ; Silva-Ortega et *al.*, 2008 ; Levigneron et *al.*, 1995).

La proline s'accumule aussi bien chez les glycophytes que chez les halophytes (Nabors et *al.*, 1980) pour restaurer l'équilibre osmotique entre cytoplasme et vacuole (Roudani et *al.*, 1996). Cette augmentation de la concentration de proline cytoplasmique est consécutive d'une intensification de la transformation de l'acide glutamique en proline ou également via l'arginine et l'ornithine comme précurseurs (Lignowski et Slittstoesser, 1971 ; Messedi et *al.*, 2006). L'accumulation de la proline, induite par les stress, peut être le résultat de trois processus complémentaires : stimulation de sa synthèse (Bogges et *al.*, 1976). Inhibition de son oxydation (Rayapati et Stewart, 1991) et/ou altération de la biosynthèse des protéines (Stewart et *al.*, 1977). Sa synthèse est une mesure adaptative prise par les plantes (Denden et *al.*, 2005) et sa teneur chez diverses espèces de plantes stressées est corrélée à leur capacité de tolérance, elle est généralement plus élevée chez les plantes tolérantes que les plantes sensibles (Ashraf et Foolad, 2007).

### 2.6.6. Accumulation des Sucres solubles :

Comme de nombreuses autres molécules, les sucres peuvent servir de composés solubles compatibles pour l'ajustement osmotique. Ces sucres sont abondants dans le cas de concentration fortement salins et déshydratants (Levigneron et *al.*, 1995). Ils protègent les membranes contre la déshydratation (Schwab et Gaff, 1986). L'augmentation de ces composés résultants d'un blocage de la glycolyse ou du saccharose provenant d'une forte hydrolyse de l'amidon est observée Chez diverses espèces, plus ou moins résistantes (Asloum, 1990).

### 2.6.7. Régulation de la croissance :

Toutes les réponses physiologiques à divers stress tels que la sécheresse ou la salinité provoquent un déséquilibre hormonal endogène (Itai, 1999). La réduction de la croissance est une capacité adaptative nécessaire à la survie d'une plante exposée à un stress abiotique (Zhu, 2001). En effet ce retard de développement permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des ressources pour limiter les effets du stress avant que le déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur de l'organisme n'augmente jusqu'à un seuil où les dommages sont irréversibles. Pour

illustrer cette tendance, dans la nature, la croissance est inversement corrélée à la résistance au stress salin d'une espèce ou variété. En plus du contrôle de la croissance par les signaux hormonaux, la réduction de la croissance résulte de la dépense de ressources dans les stratégies d'adaptation (Zhu, 2001).

### **3. Stress hydrique :**

#### **3.1. Définition de stress hydrique :**

Le stress hydrique a été défini comme une baisse ou un excès de la disponibilité de l'eau, traduisant par une réduction de la croissance de la plante et/ou de sa reproduction par rapport au potentiel du génotype. La contrainte hydrique est le facteur ou l'ensemble de facteurs ayant pour conséquence le stress. D'autres auteurs limitent la définition du stress aux seules conditions correspondant à une hydratation suboptimale des tissus (Lamaze et *al.*, 1994). L'installation d'une sécheresse se manifeste par la combinaison d'une part, de la restriction de la disponibilité en eau du sol et d'autre part, de l'augmentation de la demande évaporatrice (Kiani, 2007).

#### **3.2. Définition de la sécheresse et de déficit hydrique :**

Le terme "sécheresse" peut recouvrir plusieurs situations différentes selon que l'on se positionne en tant que météorologiste, agronome ou biologiste moléculaire (Passioura 2007). De manière générale, il s'agit d'un phénomène climatique défini comme un manque d'eau au cours d'une période prolongée qui concerne exclusivement des plantes localisées en plein champ (Wood 2005). D'un point de vue écologique, une sécheresse interfèrera défavorablement avec le fonctionnement des écosystèmes, alors qu'en agriculture, une sécheresse signifie que la disponibilité en eau du sol n'est pas suffisante pour pourvoir aux besoins de la culture implantée (Passioura 1996 ; Pereira et al. 2007).

Un déficit hydrique est le résultat d'une diminution temporaire de la disponibilité en eau pour les plantes (Chaves & Oliveira 2004). Sinclair et Ludlow (1986) décrivent trois phases se déroulant au cours de la diminution de l'eau disponible. Au cours d'une première phase, la transpiration et photosynthèse se maintiennent comme pour les plantes irriguées à la capacité au champ jusqu'à ce que la teneur en eau soit réduite au point où l'absorption de l'eau ne permet plus de satisfaire l'évapotranspiration. Puis, à partir de ce seuil, environ 50% de l'eau disponible, la transpiration et la photosynthèse sont réduites en deçà du niveau potentiel. Pour finir, les

plantes entrent dans la troisième phase lorsque les stomates sont complètement fermés. Les plantes sont en état de survie pour une période variable en fonction de leur degré de tolérance, de la vitesse de la diminution de l'eau disponible. Au cours de la deuxième phase, les réponses physiologiques de la plante sont variables et sont fonction de facteurs de l'environnement et de la plante elle-même (Blum 1996). Ainsi, le signal du "déficit hydrique" est perçu par les plantes en fonction de leur capacité à y faire face.

### 3.3. Effet de stress hydrique :

Le manque d'eau peut se manifester aussi bien dans le sol que dans l'atmosphère (Scoric, 1990). Généralement, la sécheresse du sol est lente (Larcher, 1995), mais la diminution de l'humidité de l'air peut parfois être rapide (Yokota et *al.*, 2006). D'un point de vue physique, le stress hydrique résulte d'un abaissement du potentiel hydrique dans l'air et/ou dans le sol en dessous d'une certaine valeur, dépendant du génotype, du phénotype et des caractéristiques du milieu (type de sol, température, vent) (Lamaze et *al.*, 1994).

Le manque d'eau ou déficit hydrique représente le stress abiotique le plus sévère auquel la culture du blé dur fait face dans les conditions de productions des zones arides et semi-arides (Chennafi et *al.*, 2006).

Les effets physiques, chimiques et physiologiques du stress hydrique dépendent du degré et du temps des conditions de sécheresse en relation avec le stade de développement de la plante (Hamon, 2007). D'autre part, la réponse de la plante à la sécheresse dépend de l'espèce, le génotype, la durée et la sévérité de la perte d'eau (Yokota et *al.*, 2006).

### 3.4. Effet du stress hydrique sur la germination :

En absence d'humidité suffisante, la graine même si elle est correctement placée dans le sol, elle n'évolue pas, retardant ainsi, la levée de la culture et en cas de persistance de sécheresse la situation peut se traduire par une absence de levée (Feliachi et *al.*, 2001). La sécheresse est l'un de principaux facteurs environnementaux qui affecte grandement la germination des espèces cultivées et réduit leur survie au cours des stades précoces de développement.

Au cours de cette phase, c'est le métabolisme des carbohydrates qui se trouve fortement affecté (Ingram et *al.*, 1996), à travers la perturbation du fonctionnement enzymatique impliqué dans ce processus. Il a été démontré que le glyceraldéhyde-3-déshydrogénase cytotologique est

fortement induite par le déficit hydrique ce qui est l'origine d'un changement de l'acuité de la glycolyse (Velasco et *al.*, 1994). De nombreux gènes contrôlant le métabolisme des sucres simples sont régulés en amont par les variations de l'hydratation cellulaire. Quoique l'hydrolyse de l'amidon et la libération des sucres réducteurs énergétiques constituent une étape incontournable dans le déroulement de la germination, mais indirectement la disponibilité des carbohydrates pendant cette phase assure un rôle de protection contre le déficit hydrique. Ils constituent les principaux osmolytes impliqués dans l'ajustement osmotique, assurent une protection des macromolécules essentiellement membranaires (Bray et *al.*, 1989).

### **3.5. Les différentes stratégies face au déficit hydrique :**

La tolérance des plantes à la sécheresse implique des changements aux niveaux morphologique, physiologique et moléculaire. Levitt (1972) in Kebbas (2016) a subdivisé les stratégies de résistance au stress chez les plantes en trois groupes non exclusifs : échappement, évitement et tolérance. En effet, les plantes peuvent combiner tout un ensemble de réponses (Ludlow, 1989 ; Chaves et *al.*, 2003 in Kebbas, 2016) :

#### **3.5.1. L'échappement :**

Cette stratégie implique un développement phénologique rapide avec une floraison et une maturité précoce des plantes. En effet, la capacité à mobiliser les réserves s'accroît chez les plantes stressées (Yang et *al.*, 2001 in Kebbas, 2016). Le mécanisme d'échappement repose sur la reproduction réussie avant le début d'un stress sévère (Chaves et *al.*, 2003 in Kebbas, 2016).

#### **3.5.2. L'évitement :**

Cette stratégie repose sur la capacité des plantes à maintenir un potentiel hydrique des tissus relativement élevé. Ce mécanisme est commun aux plantes annuelles et pérennes et il est associé à une variété de traits adaptatifs (minimiser des pertes d'eau et maximiser son absorption). La perte d'eau est minimisée par la fermeture des stomates, la réduction de l'absorption de la lumière à travers les feuilles enroulées (Ehleringer et Cooper, 1992 ; Crnic, 2000 in Kebbas, 2016), l'apparition d'une lame trichome dense augmentant ainsi la réflectance (Larcher, 2000 in Kebbas, 2016) des angles foliaires raides ou encore par la réduction de la surface foliaire. L'absorption d'eau est maximisée par ajustement de l'allocation (Chaves et *al.*, 2003 in Kebbas, 2016) et le développement du système racinaire.

### 3.5.3. La tolérance :

La tolérance des tissus à un potentiel hydrique faible peut impliquer l'ajustement osmotique (Morgan, 1984 *in* Kebbas, 2016), des parois cellulaires plus rigides et des cellules de petite taille (Wilson et *al.*, 1980 *in* Kebbas, 2016). Le phénomène de dormance partielle des plantes pour survivre à la saison sèche est une autre stratégie de tolérance. Par exemple, la dormance est évidente par la répression des gènes codant pour des protéines photosynthétiques. Ces protéines sont synthétisées après la pluie (Mittler et *al.*, 2001 *in* Kebbas, 2016).

## I. Les phytohormones (hormones végétales) :

### 1. Définition phytohormones :

Selon Aya A et *al.*, (2011), une phytohormone, ou hormone végétale, est une hormone produite par une plante. C'est une substance chimique organique qui régule la croissance végétale ou qui intervient dans la communication entre individus végétaux différents (un arbre stressé peut émettre une hormone informant d'autres arbres qu'une cause de stress est présente. Ce stimulus peut augmenter la production de tanins ou de molécules défensives de la plante réceptrice). On parle parfois d'hormones de stress pour décrire les molécules émises par des plantes en état de manque d'eau ou blessées, lesquelles peuvent attirer des prédateurs, mais aussi les prédateurs de ces prédateurs.

Pour être une phytohormone, une substance doit être :

- \* endogène (c'est-à-dire non fournie par l'environnement)
- \* Oligodynamique (et agir à faible dose, de l'ordre de la micromole)
- \* vectrice d'une information (apportée à une cellule cible sélectivement sensible à son action et dont elle influence le fonctionnement).

Ce sont ces exigences qui permettent de faire la distinction entre une phytohormone et une substance trophique.

### 2. Détermination du rôle des hormones :

Granell et Carbonell (1996) affirme que les hormones végétales participent à de nombreux mécanismes physiologie, et il n'est pas toujours aisé de déterminer si une seule hormone agit ou si une combinaison d'hormones différentes intervient. Dès lors, comment étudier l'action d'une hormone dans un tel labyrinthe de métabolites et de réactions ? Les chercheurs s'efforcent de mettre au point des dispositifs expérimentaux où une hormone déterminée joue un rôle unique ou prépondérant dans un mécanisme physiologique. Pour cela, les physiologistes utilisent fréquemment des mutants dont la synthèse hormonale ou celle d'un élément de la chaîne des réactions est perturbé.

En faisant varier les proportions des hormones et des régulateurs, on peut obtenir des tissus peu différenciés (cal, zone jaune) ou déclencher la différenciation des bourgeons (zone verte, en haut, à gauche), des tiges (en haut, à droite et en haut, à gauche) et des racines.

### 3. Les différents types d'hormones végétales :

La véritable mise en évidence d'une hormone végétale remonte à 1926, il s'agit des travaux de WENT sur l'auxine. Jusqu'en 1950, on considéra que l'auxine représentait la seule phytohormone. Cependant, après cette date, d'autres hormones végétales ont été découvertes, dont l'importance s'est confirmée avec les années. Chronologiquement, il s'agit des gibbérellines (1950), des cytokinines (1955), de l'éthylène (1960), de l'acide abscissique (1965) et des brassinostéroïdes (1995) (Moore, 1989).

A l'heure actuelle, on connaît six types d'hormones végétales pour lesquels on peut distinguer : (Casal, 2002)

Des hormones stimulatrices (qui induisent ou stimulent un phénomène physiologique) :

- Auxines
- Gibbérellines
- Cytokinines
- Brassinostéroïdes, pour lesquelles on observe des familles de molécules actives.

En parallèle on distingue des hormones à effets mixtes, comme (Peleg et Blumwald, 2011).

- l'éthylène
- l'acide abscissique, dans ce cas une seule structure active a été identifiée.

#### 3.1. Les gibbérellines :

##### 3.1.1. Définition :

Les gibbérellines sont une famille de 136 diterpènes tétracycliques (possédant en principe 20 carbones) formés par quatre unités isoprène dont certains seulement sont actifs en tant qu'hormone et variant selon les espèces considérées (Thomas et *al.*, 2005 in Yakoibi ,2014)

Les gibbérellines sont associées à différents processus de développement des plantes comme la germination, l'élongation des tiges, la floraison, le développement du fruit et la régulation de l'expression génique dans l'aleurone des céréales.

Elles se différencient par :

- Le nombre total d'atomes de carbone (gibbérellines en C19. La présence ou non de doubles liaisons
- Le nombre de carboxyles
- Le nombre et la position des substituants (OH ou CH3 en particulier)

Le GA3 est facilement extrait de cultures de champignons, il est aussi la forme commercialement la plus disponible et il est de ce fait, la gibbérelline la plus étudiée (Hopkins, 2003 *in* Yakoibi ,2014).

### **3.1.2. Les gibbérellines dans la plante – Répartition- Transport :**

Selon Yakoubi (2014), Les gibbérellines sont synthétisées dans les tissus jeunes de la tige et les graines en développement. Il est possible que les gibbérellines soient synthétisées sur le site de leur perception. Les gibbérellines peuvent présenter des formes conjuguées (c'est-à-dire associées avec un sucre tel que le glucose). Sous cette forme, elles sont généralement inactives permettant soit la régulation de leurs actions ou la mise en réserve. Les concentrations habituelles des GAs sont de 0,1 à 100 ng / g de tissu frais mais de 1 à 10 µg au niveau des graines. Les gibbérellines ne présentent pas de transport polarisé à la différence de l'auxine. Appliquées à un niveau quelconque de la plante, elles peuvent avoir des effets régulateurs sur toutes les autres parties. Elles ont été retrouvées dans la sève brute et la sève élaborée avec une vitesse de transport de 5 cm/h analogue à celle des sucres qui laisse supposer qu'elles sont transportées passivement dans les flux de sève dans le xylème et le phloème.

### **3.1.3. Effets physiologiques :**

Les gibbérellines sont impliquées dans le développement de la graine, l'élongation des organes et le contrôle de la floraison (Santner et *al.*, 2009 *in* Yakoibi ,2014). Elle est aussi impliquée dans le processus de développement du fruit et la régulation de l'expression génique dans l'aleurone des céréales. Des études récentes montrent que l'éthylène, les auxines et les

brassinolides ont un effet synergique avec le GA sur l'élongation cellulaire et la taille de l'hypocotyle.

#### **3.1.4. Effets des gibbérellines sur la germination :**

Les AG jouent un rôle majeur dans la germination en activant la levée de dormance et la mobilisation des réserves (Gubler et *al.*, 2008 ; Seo et *al.*, 2009 in Yakoibi ,2014) cette hormone joue un rôle antagoniste à l'ABA et le ratio ABA/GA est le régulateur majeur du développement des graines : la maturation est favorisée par un ratio élevé alors que la germination est induite par un ratio faible (White et *al.*, 2000 in Yakoibi ,2014).

En accord avec leur implication dans la germination, les allèles forts des mutants déficients dans la biosynthèse des GAs chez *Arabidopsis* sont incapables de germer sans apport de GAs exogènes (Koornneef et Van Der Veen, 1980 in Yakoibi ,2014). De plus, une synthèse de novo de GAs a lieu pendant l'imbibition puisque des inhibiteurs de biosynthèse des GAs empêchent les graines de germer (Nambara et *al.*, 1991 in Yakoibi ,2014) niveau moléculaire, des données récentes indiquent que lors de l'imbibition, on assiste à une forte synthèse de GAs dans l'embryon. Dans l'épiderme, ces GAs inhiberaient l'action de FUS3, ce qui réprimerait le programme embryonnaire régulé par l'ABA et mise en place des processus de germination (Gazzarrin et *al.*, 2004 in Yakoibi ,2014)

### **3.2. L'auxine :**

#### **3.2.1. Définition :**

L'auxine est considérée comme la principale hormone retrouvée dans tous les clades végétaux : des algues aux plantes vasculaires (Cooke et *al.*, 2002). Le rôle de cette hormone est très difficile à étudier à cause de son action pléiotropique. En effet, si l'on agit sur un gène, ou sur l'activité d'une protéine intervenant dans la voie de biosynthèse ou la voie de signalisation, c'est le phénotype de toute la plante qui est affectée. L'auxine est présente dans tous les tissus de la plante, et induit des réponses spécifiques qui apparaissent différentes (grandissement, division, différenciation cellulaire), mais qui à terme, promouvaient toujours la croissance et le développement des organes de la plante.

### 3.2.2. Rôles de l'auxine et applications :

Pour l'auxine comme pour la majorité des phytohormones, la mise en évidence de ses effets sur la croissance et le développement des plantes provient pour une large part de l'observation des effets de l'application exogène d'auxine sur des plantes à différents stades de développement, des organes isolés ou des cellules en culture. Dans certains cas, des corrélations ont été établies entre les contenus en auxine et la croissance ou certaines étapes de développement. Plus récemment, l'apport des approches de génétique a permis de confirmer et d'affiner notre connaissance du rôle de cette hormone par l'étude de plantes mutantes ou de plantes transgéniques altérées dans les contenus en auxine endogène, la perception de l'hormone, la transmission du signal auxine, les réponses moléculaires précoces ou le transport (Perrot-Rechenmann,2019).

Les effets de l'auxine sont multiples et cette hormone agit sur les trois réponses cellulaires coordonnées qui sous-tendent l'ensemble des processus de croissance chez les plantes, à savoir la division, l'élongation et la différenciation. L'auxine est généralement considérée comme la phytohormone majeure dans le contrôle de la croissance et du développement. Toutefois, dans un grand nombre de cas, l'auxine n'agit pas seule mais en combinaison ou en opposition avec d'autres hormones. Ainsi, à l'échelle d'un organisme entier, la croissance et le développement résultent de l'équilibre subtil entre les effets des différentes hormones (balance hormonale), sans omettre l'importance de la disponibilité en eau et en nutriments. En outre, l'auxine peut soit stimuler une réponse soit l'inhiber, selon la concentration locale et, pour une même concentration, selon le tissu considéré. En d'autres termes, les effets de l'auxine résultent à la fois d'un effet dose-dépendant et de différences de capacité de réponse des tissus – d'où la notion de sensibilité des tissus (Perrot-Rechenmann,2019).

### 3.3. Les Cytokinines :

Les cytokinines sont produites préférentiellement dans la racine d'où elles migrent vers les différents organes. Récemment, des synthèses et des effets locaux ont été mis en évidence dans les zones en croissance, sous l'influence de l'auxine. Les cytokinines favorisent la division et la croissance cellulaires. Elles ne sont efficaces qu'en coopération avec les auxines (Wani et al.,2016).

### 3.4. L'acide salicylique :

#### 3.4.1. Définition :

L'acide salicylique, très largement répandu dans les plantes, est considéré comme une phytohormone d'une nature phénolique impliquée dans la résistance systémique acquise (SAR) lors d'une réaction d'hypersensibilité et participe dans la régulation des processus physiologiques ou en réponse au divers stress (UV, ozone, blessures...) (Lepoivre, 2003 ; Sakhabutdinova *et al.*, 2003 ; Machiex *et al.*, 2005 *in* Hamsas, 2013), il a été trouvé dans les feuilles et organes reproducteurs de 34 espèces d'importance agronomique (Pancheva *et al.*, 1996 *in* Hamsas, 2013).

### 3.4.2. Rôle de l'acide salicylique :

L'AS joue un rôle d'un inducteur naturel de la thermogenèse dans Arum, induire la floraison dans plusieurs plantes, contrôle l'absorption des ions par les racines et la conductivité stomacale (Raskin, 1992 *in* Hamsas, 2013). Des données expérimentales indiquent la participation de l'AS dans le signal de la régulation des expressions des gènes de la sénescence des feuilles chez *Arabidopsis* (Morris *et al.*, 2000 *in* Hamsas, 2013) en plus l'AS peut servir comme un régulateur de gravi tropisme (Medvedev et Markova, 1991 *in* Hamsas, 2013), inhibition de mûrissement des fruits (Srivastava et Dwivedi, 2000 *in* Hamsas, 2013). Ainsi, chez le soya, il semble que la vaporisation d'une solution aqueuse d'acide salicylique sur le feuillage ait stimulé la croissance des tiges et racines sans affecter la photosynthèse (Gutierrez *et al.*, 1998 *in* Hamsas, 2013). Par ailleurs, son injection directement dans la tige du maïs y augmenterait à la fois la photosynthèse et le rendement en grains (Zhou *et al.*, 1999 *in* Hamsas, 2013). Au contraire, chez l'orge, l'acide salicylique diminuerait l'accumulation de biomasse, ralentirait l'expansion foliaire, conduirait à une baisse du taux de photosynthèse, de l'activité du PSU et de l'activité carboxylase de la Rubisco, réduirait la transpiration et amoindrirait l'épaisseur du limbe et la taille des cellules épidermiques (Janda *et al.*, 1999 ; Uzunova et Popova, 2000 *in* Hamsas, 2013).

### 3.4.3. Mode d'action :

L'acide salicylique pourrait agir en régulant la teneur en eau oxygénée cellulaire et pariétale. Cette hypothèse qui en vogue en milieu des 1990, découlait du fait que l'acide salicylique est capable de se lier à la catalase, en inhibant alors l'activité de cette enzyme qui dégrade normalement l'eau oxygénée dans la cellule d'où une activation des mécanismes de défense (induction des gènes, activation des peroxydases permettant la rigidification de la paroi

cellulaire par réticulation des protéines de la paroi ou par néoformation de la lignine), à l'inverse d'autre expliquent qu'il semblerait que l'augmentation initial de l'eau oxygénée soit le facteur primaire qui stimule la biosynthèse de l'acide salicylique. Néanmoins, et quelque soit le mécanisme, l'acide salicylique joue donc un rôle de premier plan dans la résistance de la plante. (Machiex et *al.*, 2005 in Hamsas,2013).

### **3.5. D'autres phytohormones :**

#### **3.5.1. L'Éthylène :**

L'Éthylène est un gaz (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) dont les effets sur les végétaux sont connus depuis la fin du 19<sup>ème</sup> siècle lorsqu'on observait la sénescence et la chute anticipée des feuilles d'arbres à proximité des becs de gaz. C'est après qu'on ait eu la preuve de sa synthèse par les plantes (1969), grâce à la chromatographie en phase gazeuse, que l'éthylène a acquis le statut d'hormone. C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> est synthétisé au niveau des fleurs, des fruits, des feuilles âgées et des graines. Puisqu'il s'agit d'un gaz, la signalisation à distance se fait dans la plante mais aussi à l'extérieur vers des plantes ou des organes voisins. Les concentrations efficaces sont extrêmement faibles (Richard,2014).

#### **3.5.2. L'acide abscissique :**

Le rôle de l'acide abscissique (ABA) accumulé de façon passagère en grande quantité au cours de la maturation des graines, son intervention dans l'induction éventuelle d'une dormance, son implication au stade de la déshydratation, enfin son action comme inhibiteur de la germination sont discutés à la lumière de travaux récents et de notre expérience personnelle. Une attention particulière est portée à tous les niveaux sur la nécessité d'une étude dynamique prenant en compte la synthèse, les sources potentielles d'ABA, l'orientation du métabolisme, l'évolution au cours du temps et enfin la localisation de l'hormone (Le Page-Degivry et Bulard,1988).

### **4. Effet des phytohormones sur la plante :**

Les phytohormones jouent un rôle important dans la médiation des réponses des plantes aux stress abiotiques. Les plantes ont développé au fil des ans une variété des mécanismes physiologiques et biochimiques par lesquels ils survivent seules dans les conditions stressantes.

Les phytohormones sont produites naturellement par les plantes et sont essentiels pour les réponses physiologiques chez les plantes comme formation des feuilles et des fleurs, élongation des tiges, développement, maturation des fruits, etc. (Sampath Kumar et *al.*,2015).

#### **4.1. Effet des phytohormones sur la plante en condition de stress salin :**

##### **4.1.1. Effet des auxines sur la tolérance au sel :**

Les auxines aident les plantes à se développer et à promouvoir la formation de méristèmes apicaux et sont responsable de la différenciation des racines. Le rôle des auxines pour surmonter divers stress abiotiques a été découvert. La salinité peut influencer l'homéostasie de l'acide indole-3-acétique (IAA) en raison de l'altérations du métabolisme et de la distribution de l'IAA. (Sampath Kumar et *al.*,2015).

Il a été observé qu'un NAC lié à la membrane le facteur de transcription NTM2 est un lien moléculaire, et incorpore le signal auxine dans la signalisation du stress salin pendant la germination des graines d'*Arabidopsis thaliana*, fournissant ainsi un rôle d'auxine dans la modulation de la graine germination sous haute salinité. (Sampath Kumar et *al.*,2015).

##### **4.1.2. Effet de l'acide gibbérellique sur la tolérance au stress salin :**

L'acide gibbérellique (AG) est la phytohormone qui joue un rôle essentiel dans la croissance et métabolisme des plantes en particulier cellulaire l'élongation. Un rôle central pour les AG dans la réponse aux stress abiotiques, à savoir le froid, le sel et osmotique devient de plus en plus évident et la réduction des niveaux de AG et la signalisation a été montré pour contribuer à la croissance des plantes sous stress abiotique. Acide gibbérellique (GA3) réduit l'inhibition de la croissance induite par NaCl chez le riz (*Oryza sativa L.* cv. Nipponbare) de manière dépendante de la concentration, y compris la longueur de la racine tissus en régulant certaines protéines régulées par le sel comme la glutamyl-ARNt réductase, émolase, sel protéine induite par le stress (protéine SALT) (Sampath Kumar et *al.*,2015).

##### **4.1.3. Effet de l'acide salicylique sur la tolérance au stress salin :**

L'acide salicylique (AS) agit comme molécule signal endogène responsable pour induire une tolérance au stress abiotique chez les plantes. Il joue un rôle majeur dans la réglementation des croissance, développement et interaction avec d'autres organismes et réponses de la défense à stress environnementaux (Sampath Kumar et *al.*,2015).

Application de AS sur les semis de concombre protégés des du stress induit par NaCl en augmentant les niveaux de sucres comme le glucose, le fructose, la raffinose et la stachyose qui agissent comme des agents osmotiques ou des nutriments et sous forme de signaux métaboliques. Il a été rapporté que 0,1, 0,5 et 1,0 mM AS atténué le stress de salinité induit par 50 mM NaCl dans deux cultivars de moutarde (*Brassica juncea* L.) à savoir, Alankar (tolérant au sel) et PBM16 (sensibles au sel) en augmentant la teneur en éléments nutritifs, photosynthétique et croissance caractéristiques et activités du superoxyde dismutase (SOD), ascorbate peroxydase (APX) et glutathion réductase (GR). SA atténué l'effet toxique du stress de la salinité sur tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) par réguler les teneurs en sucre, en protéines et en proline. Cependant, les événements moléculaires conduisant à l'atténuation du stress dû au sel n'ont pas encore été démêlé (Sampath Kumar et *al.*,2015).

On peut conclure que l'augmentation de la salinité est associée à diminution de l'auxine, de la cytokinine, des gibbérellines et de l'AS dans le tissus végétaux et une augmentation de l'ABA et de l'AJ. Changements dans les niveaux d'hormones dans les tissus végétaux sont considérés comme un premier processus contrôlant la réduction de la croissance due à la salinité. Par conséquent, la réduction de la croissance de la plante induite par NaCl peut être atténué par l'application de régulateurs de croissance des plantes (Sampath Kumar et *al.*,2015).

#### **4.2. Effet des phytohormones sur la plante en condition de stress hydrique :**

En condition de la sécheresse, les taux endogènes d'auxine, de gibbérellines et des cytokinines diminuent tandis que ceux de l'acide abscissique et de l'éthylène augmentent (Nilsen et Orcutte.1996 in Kebbas 2016). Néanmoins, les phytohormones jouent un rôle vital dans la tolérance des plantes à la sécheresse

La rhizogenèse, durant la sécheresse, est une stratégie d'adaptation qui se produit lors de l'installation progressive d'un stress. Elle est fortement liée de certains acides gibbérelliques (Vartanian et *al.*,1994 in Kebbas, 2016) ces racines sont capables de résister à une période de sécheresse prolongée et donnent lieu à un niveau système racinaire fonctionnel lors de la réhydratation.

L'acide abscissique est un inhibiteur de croissance et il est induit par une grande variété de stress environnementaux. L'acide abscissique et les cytokines ont des rôles opposés lorsque

les plantes sont soumises à des conditions de sécheresse. L'augmentation des niveaux d'acide abscissique et la baisse de ceux des cytokinines favorisent la fermeture stomatique et limite la perte en eau par transpiration, conférant ainsi à la plante une capacité à maintenir la turgescence cellulaire pour résister à de fortes déshydratations (Morgan, 1990 in Kebbas, 2016). Pendant la période de sénescence, lorsque les plantes flétrissent, les niveaux d'acide abscissique augmentent généralement à la suite d'une synthèse accrue (Taylor, 1991 in Kebbas, 2016).

### **5. Hormones et rendements agricoles :**

D'après Granell et Carbonell (1996), Quand le rôle de certaines hormones et de divers régulateurs a été établi, on a tenté de reproduire les résultats en appliquant sur les plantes des phytohormones et des régulateurs. L'application d'une substance qui inhibe la synthèse de gibbérellines a raccourci la distance intermodale et renforcé la résistance des tiges de diverses variétés de blé, plus petites. De même, l'emploi d'auxines, de gibbérellines et de cytokinines a amélioré le développement et les caractéristiques de certains fruits. En outre, on utilise de l'éthylène pour faire mûrir les fruits. L'application d'acide abscissique, un phytorégulateur, provoque la chute des fleurs de coton, ce qui en facilite la cueillette.

Enfin, les hormones végétales sont indispensables pour les cultures *in vitro*, pour l'obtention de clones de plantes, de plantes exemptes de virus ou de plantes qui produisent des sous-produits précieux.

## IV. Matériel et méthode :

Notre essai a été mené au laboratoire de recherche de Biotechnologie des Productions Végétales et au laboratoire de physiologie végétale, Département des Biotechnologies, Université de Blida 1 et dont les coordonnées géographiques sont 36° 28' 7'' Nord, 2° 49' 44'' Est et 260 m d'altitude.

### I. Matériel biologique :

L'expérimentation est menée sur des graines du blé dur (*Triticum durum Desf.*), variété *Vitron*, dont les graines proviennent de l'ITGC (El Harrach), ayant une pureté spécifique et une faculté germinative de 98%.

Cette variété présente les caractéristiques mentionnées dans les tableaux ci-dessous :

**Tableau 04** : Caractéristiques morphologiques et culturales du blé dur (*Triticum durum Desf.*), variété *Vitron*.

Caractéristiques morphologiques.	
Compacité de l'épi.	Compact.
Compacité de l'épi.	Blanc.
Hauteur de la plante à la maturité.	90-100cm.
Caractéristiques culturales.	
Alternativité.	Hiver.
Cycle végétatif.	Semi-aride.
Tallage.	Moyen.

(ITGC, 2006).

**Tableau 05** : Résistance du blé dur (*Triticum durum Desf.*), variété *Vitron* aux facteurs environnementaux et maladies.

Résistance aux facteurs d'environnement.	
Au froid.	Résistante.
A la verse.	Tolérante.
A la sécheresse.	Sensible.
Egrenage.	Résistante.
Gelées.	Sensible aux gelées printanières.
Résistance aux maladies.	
Rouille jaune.	Moyennement tolérante.
Rouille brune.	Moyennement tolérante.
Rouille brune.	Moyennement tolérante.
Piétin verse.	Résistante.
Piétin échaudage.	Peu sensible.
Oïdium.	Résistante.
Septoriose.	Peu sensible.
Fusariose.	Modérément résistante.

(ITGC, 2006).



**Figure 02 :** Les graine de blé dur (*Triticum durum Desf.*) variété *Vitron* (photo originale, 2019).

## **II. matériel non biologique :**

Pour le matériel de laboratoire on a utilisé :

- Balance de précision.
- Boîtes de Pétri.
- Etuve.
- Phytotron.
- Bain Marie.
- Spectrophotomètre.
- Vortex.
- Tubes à essai.
- Autonuire, Béchers, Erlenmeyer.
- Pipette, Eprouvette, Portoires.

## **III. Méthode :**

### **1. Description des différents traitements testés :**

Pour cette étude, nous avons utilisé trois hormones végétales comme activateurs de germination à différentes concentrations.

**Tableau 06** : Concentration d'hormone utilisée dans les différents traitements.

Traitement	Concentration
T0 : Eau distillée(témoin).	/
T1 : Acide gibbérellique.	0.01g/l.
T2 : Acide gibbérellique.	0.025g/l.
T3 : Acide salicylique.	0.1Mm.
T4 : Acide salicylique.	0.25Mm.
T5 : Auxine.	0.1Mm.
T6 : Auxine.	0.25Mm.

## 2. Préparation des différents traitements :

Traitement 0 : Eau distillée.

Traitement 1 : 10 mg d'acide gibbérellique dissoudre dans 1L d'eau distillée.

Traitement 2 : 25mg d'acide gibbérellique dissoudre dans 1L d'eau distillée.

Traitement 3 : 13.81mg d'acide salicylique dissoudre dans 1L d'eau distillée.

Traitement 4 : 34.52mg d'acide salicylique dissoudre dans 1L d'eau distillée.

Traitement 5 : 0.1Mm dissoudre dans un 1L d'eau distillée.

Traitement 6 : 0.25Mm dissoudre dans un 1L d'eau distillée.

## 3. Préparation des solutions de stress :

### 3.1. Préparation de la solution saline :

Les solutions salines sont obtenues par dissolution de 100 mM de NaCl soit 5.84 g dans un litre d'eau distillée.

### 3.2. Préparation de la solution de PEG :

Une solution de PEG 6000 a été préparée en faisant dissoudre 125 g dans un litre d'eau distillée soit une concentration de 12.5%.

#### 4. Préparation des graines pour les tests de germination :

##### 4.1. Désinfection des graines :

Les graines choisies doivent être saines, elles ont été sélectionnées selon leur taille et leur forme, les graines sont désinfectées à l'hypochlorite de sodium à 2.5% pendant 10min, puis rincées abondamment à l'eau distillée pour éliminer les traces de chlore.



**Figure 03 :** Désinfection des graines (photo originale, 2019).

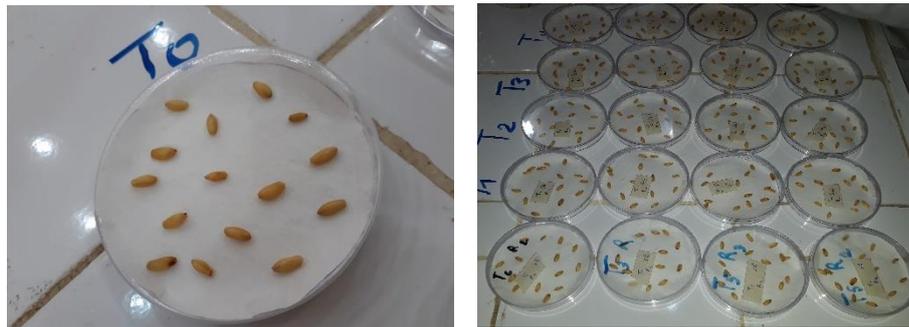
##### 4.2. Application des traitements pour deux types de stress :

L'application des différents traitements est réalisée par la technique du priming qui consiste à faire tremper les graines du blé dans les solutions hormonales préparées à différentes concentrations pendant 6h. Les graines sont ensuite séchées sur papier filtre stérile avant d'être déposées dans des boîtes de Pétri de 10 cm de diamètre sur de deux couches du papier filtre stérile (Whatman n° 3).



**Figure 04 :** Trempage des graines dans les différentes solutions hormonales (photo originale, 2019).

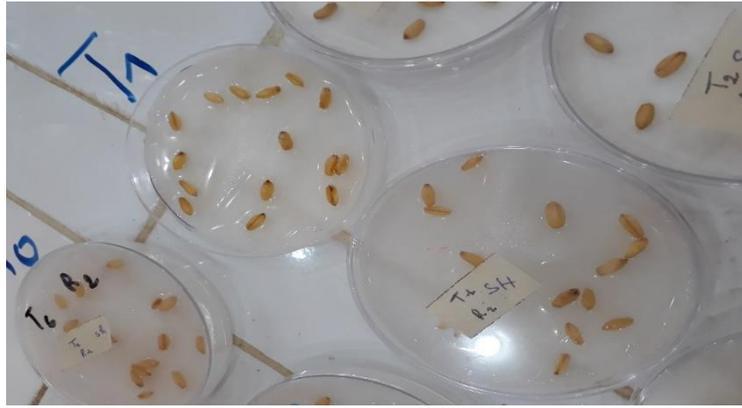
Les boîtes sont mises en pré-germination dans une étuve à l'obscurité et à une température ambiante d'environ 25°C, afin de provoquer le gonflement de caryopses. Notre essai porte sur 60 graines par traitement, soit 15 graines par boîte de Pétri X 04 répétitions.



**Figure 05 :** Disposition des graines dans les boîtes de Pétri (photo originale, 2019).

#### 4.3. Application du stress :

L'étude de la réponse des graines et des plantules au stress hydrique et salin est réalisée par l'imbibition de 28 boîtes de Pétri pour chaque type du stress, ces boîtes contenant des graines traitées par les différentes solutions hormonales plus le témoin, par une solution de (PEG 6000) de 12,5% et de 100 mM de NaCl.



**Figure 06 :** Application de stress salin et hydrique sur les graines (photo originale, 2019).



**Figure 07 :** Répartition des boîtes de Pétri dans l'étuve (photo originale, 2019).

La germination est repérée par la sortie de la radicule hors des téguments de la graine dont la longueur est d'au moins de 2mm (Sayer et *al.*,2010).

Un comptage des graines germées est effectué chaque jour et pendant 8 jours. Après le teste de germination, les jeunes plants sont ensuite placés dans un phytotron avec une photopériode de 16h/8h jour/nuit, une température ambiante de 25°C et une humidité de 50%.



**Figure 08 :** Répartitions des boîtes de Pétri dans le phytotron (photo originale, 2019).

Au cours des observations, nous avons pris le soin d'imbiber les boîtes en arrosant dès que nécessaire pour maintenir l'hydratation des graines par le NaCl et PEG.

## II. Paramètres étudiés :

### 1. la précocité de germination :

Ce paramètre correspond au pourcentage des graines germées après 24h.

Précocité de germination =  $(\text{Nbr des graines germées dans le premier jours} / \text{nbre totale de graines utilisées}) \times 100$

### 2. Pourcentages de germination (G%) :

Ont été calculés en tant que nombre total de graines germées par nombre total de graines utilisées sur 100 (Thabet et *al.*, 2018)

### 3. Rythme de germination (Germination Pace) :

Selon Thabet et *al.*, (2018), le Rythme de germination est exprimé en :

$$GP = \sum(N/n \times g) \times 100$$

Où :

N : le nombre de graines germées à la fin de l'expérience.

n : le nombre de graines nouvellement germées à un jour donné g.

g : 1.2.3.....

### 4. Biomasse fraîche produite :

Le paramètre consiste à peser les différentes parties de la plantule (foliaire et racinaire) à l'aide d'une balance de précision (en gramme).

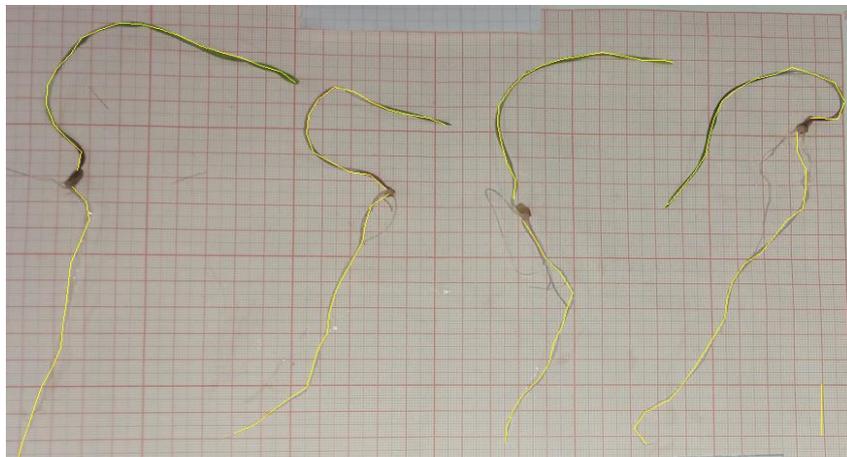
### 5. La longueur de la partie racinaire :

La mesure de la partie racinaire a été effectuée à l'aide d'un logiciel de Digimizer application version 4.0.0.0.

### 6. La longueur de la partie foliaire :

La mesure de la partie foliaire a été effectuée à l'aide d'un logiciel de Digimizer version 4.0.0.0.

Le système gratuit d'analyse d'images Digimizer permet des mesures manuelles précises ainsi que la détection automatique avec des mesures de caractéristiques d'objets.



**Figure 09 :** La mesure de différentes parties de la plantule par le Digimizer (photo originale, 2019).

### 7. le rapport entre la longueur de la partie racinaire et la partie foliaire :

D'après Thabet *et al.*, (2018), ce paramètre correspond au rapport entre la partie foliaire et la partie racinaire :  $R = LF - LR$

Où :

LF : la longueur de la partie foliaire.

LR : la longueur de la partie racinaire.

### 8. Biomasse sèche :

La biomasse sèche d'espèce étudiée a été mesurée après dessiccation des parties frais (aérienne et racinaire) dans une étuve réglée à 75°C jusqu'au poids sec constant (en gramme)

### 9. Taux de la matière sèche :

Le taux de matière sèche est exprimé en pourcentage [%]. Il est calculé comme suit :

$$\text{Taux de MS} = (\text{PS} / \text{PF}) \times 100.$$

Où :

PS : poids Sèche.

PF : Poids Frais.

### 10. Teneur en 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.

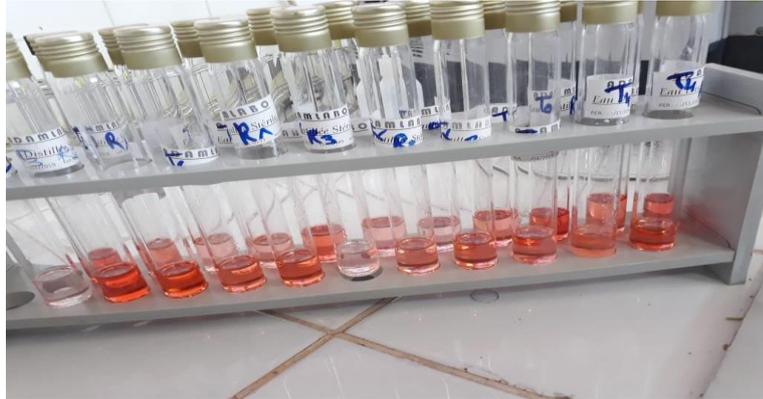
La méthode consiste à mettre 100 mg de matière fraîche végétale dans des tubes à essai et leur ajouter 2 ml de Méthanol à 40 %. Les tubes couverts (pour éviter la volatilisation de l'alcool) sont portés à ébullition au bain Marie à 85°C pendant 60 min.

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 :

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



**Figure 10 :** Dosage de proline (photo originale, 2019).

### 11. Fuite d'électrolyte (EL%) :

La fuite d'électrolyte a été mesurée selon la méthode de Nayyar et *al.* (2005) ; Les échantillons de feuilles ont été lavés avec de l'eau distillée pour éliminer les électrolytes adhérents à la surface, puis placés dans des flacons fermés contenant 20 ml d'eau désionisée et incubés à 25 ° C sur un agitateur rotatif pendant 24 h, avant quoi la conductivité électrique de la solution (L1) était déterminée. Les échantillons de feuilles ont ensuite été autoclavés à 120 ° 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 :

$$EL (\%) = (L1 / L2) \times 100.$$

Où :

L1 : Conductivité électrique primaire de la solution.

L2 : Conductivité électrique finale après l'équilibre.

### 12. Dosage de la teneur des feuilles en chlorophylle :

Les teneurs en chlorophylles ont, b et caroténoïdes sont déterminées selon la méthode utilisée par Lichtenthaler (1987). L'extraction est réalisée à froid par 10ml d'acétone pure (99.8%) pour 0.1 g de matière fraîche foliaire. L'ensemble est conservé à l'obscurité à 4°C pendant 48 heures. Une mesure de l'absorbance est effectuée à 470, 663 et 645 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.

Les teneurs en pigments, exprimées en mg/g de PF, sont calculées à partir des équations suivantes :

L'appareil est étalonné avec la solution témoin à base d'acétone pure (99.8%), (Revoir les Longueurs d'onde).

Chl a = 11,24 DO (663) – 2,04 DO (645).

Chl b = 20,13 DO (645) – 4,19 DO (663).

Caroténoïdes = [1000. DO (470) – 1,90. Chl a – 63,14. Chl b] / 214.



**Figure 11** : Extraction et séparation de chlorophylle (photo originale, 2019).

### 13. Contenu relative en eau :

Le contenu relatif en eau (Turner et *al.*, 1981) a été calculé selon l'équation suivante :

$$CRE = [(PF-PS) / (PT-PS)] \times 100.$$

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.

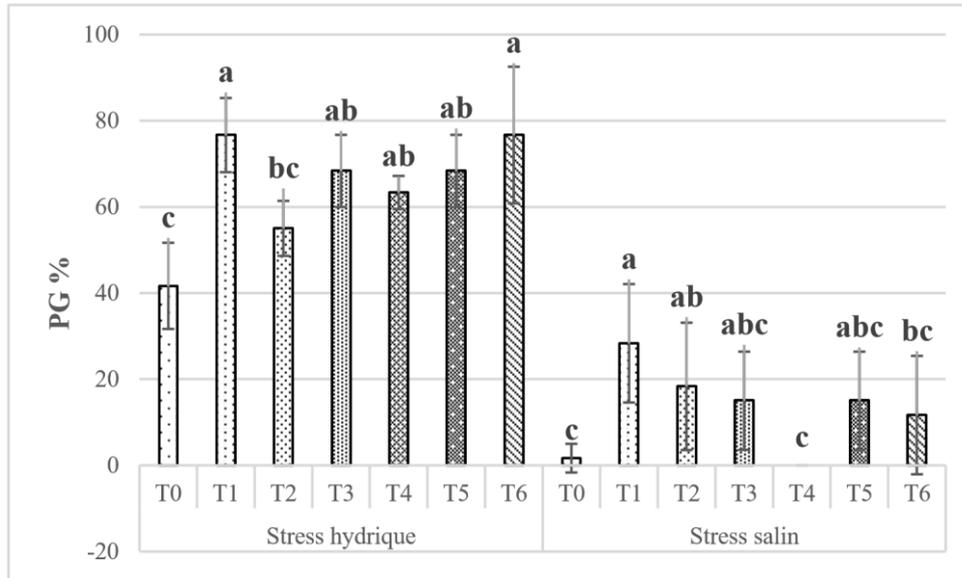
### IV. Analyse des données :

Les résultats obtenus ont été traités par analyse de la variance multifactoriel avec le logiciel STATGRAPHICS- Centurion XVI (version 16.1.18) et les moyennes significativement différentes ont été séparées par le test de Fisher (LSD) au seuil de probabilité de 5%.

## V. Résultats et Discussion :

### 1. Précocité de la germination :

La figure (12) montre les variations de taux des premières graines germées sous l'effet du stress hydrique et salin en présence AG3, AS et IAA à différentes concentrations.



**Figure 12 :** Précocité de la germination des graines (%) du Blé dur en présence des phytohormones exogènes sous l'effet de stress hydrique et salin.

Concernant le paramètre précocité de germination, l'analyse de la variance montre une différence hautement significative ( $P=0.0003$ ) et significative ( $P=0.02$ ) du facteur traitement sur le paramètre étudié dans les deux stress hydrique et salin respectivement.

Selon le teste de LSD, il existe quatre groupes homogènes (a, ab, bc et c) pour le stress hydrique et cinq groupes homogènes (a, ab, abc, bc et c) pour le stress salin.

Dans le cas de stress hydrique, Les graines traitées par AG3 avec une concentration de 0.01g/l (T1) et par IAA a 0.25mM (T6) sont les plus précoces avec un taux de 76.66% de graines germées. Alors que les traitements T3, T4 et T5 ne présentent pas une différence statistiquement significative avec des valeurs moyennes de 68.33%, 63.33% et 68.33% respectivement.

Cependant, la précocité de germination la plus faible est observée au niveau du traitement T0 (témoin) et T2 (0.25g/l AG3) avec un taux de 40% et 55.55% des graines germées.

Sous l'effet de NaCl, les graines du témoin (T0) et du traitement (T4) révèlent la précocité de germination la plus faible avec un taux de 1.66 et 00% respectivement, alors que

les graines traitées par les différentes concentrations hormonales AG3 à 0.01g/l (T1), AG3 à 0.025g/L (T2), AS à 0.1mM (T3), IAA à 0.01Mm (T5) et IAA à 0.025mM (T6), présentent les valeurs les plus élevées avec un taux de 28.33, 18.33, 15%, 15% et 11.66% respectivement.

Il est à noter que l'application des traitements hormonaux améliore le démarrage de la germination des graines du blé dur dans les deux types de stress après le premier jour de test de germination. La germination du blé ralenties lorsque la salinité augmente mais l'application de IAA exogène réduit l'impact négative de sel (Gulnaz et al in Nazima et al., 2016).

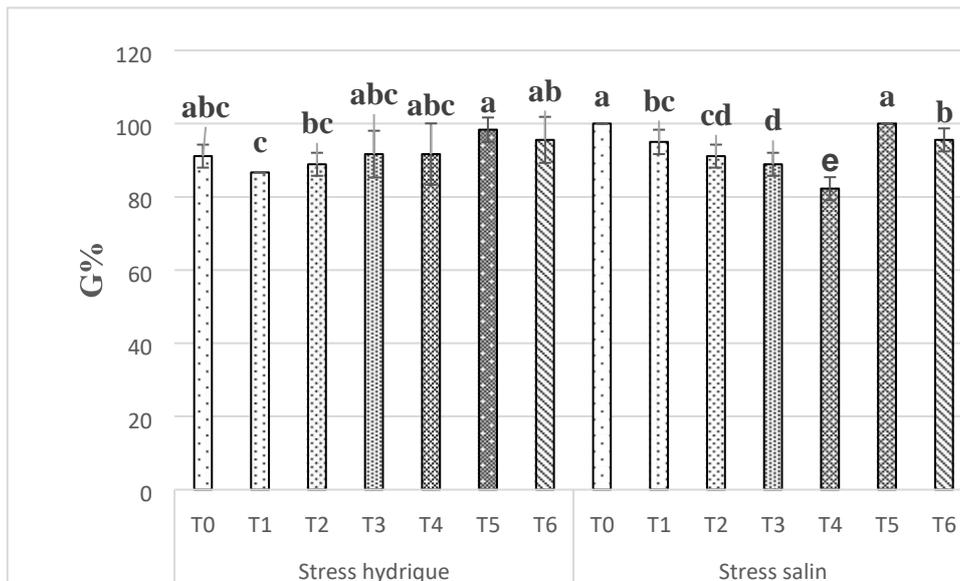
Baghizade et hajmohammadraei (2011), montre que l'AS en concentration élevé induit la réduction de la germination. Les travaux de Borsani et al., (2001) sur l'Arabidopsis, confirment que l'AS à grande concentration augmente les dommages du stress oxydatif généré par le NaCl et le stress osmotique, cela explique le retard ou le blocage totale de germination dans notre expérimentation en utilisant des fortes concentrations de l'AS (T4).

## 2. Pourcentages de germination :

Les résultats de la figure (13) illustrent les variations des taux finaux des graines germées sous l'effet de stress hydrique et salin en présence des phytohormones exogènes de différentes concentrations.

L'analyse de variance montre un effet non significatif ( $P > 0,05$ ) du facteur traitement sur le pourcentage final de germination pour les graines du stress hydrique, et une différence hautement significative ( $P = 0.000$ ) sur le même paramètre pour les graines du stress salin.

Ainsi que le teste LSD montre qu'il y a cinq (a, ab, abc, bc, et c) pour le stress hydrique et six groupes homogènes (a, b, bc, cd, d et e) pour le salin respectivement.



**Figure 13 :** Taux de germination du Blé dur sous l’effet de NaCl et du PEG.

Sous l’effet de stress hydrique, les graines traitées en IAA avec une concentration de 0.1mM (T5) marquent la meilleure valeur de taux de germination avec plus 98% de graines germées, cette valeur diminue jusqu’à 93% lorsque la concentration de cette hormone augmente à 0.25mM (T6). Tandis que, les valeurs minimales de ce paramètre sont enregistrées chez les graines traitées par l’AG3 concentré de 0.025g/l (T2) et 0.01g/l (T1) avec un taux germination de 85 et 87%. Alors que, les graines traitées par AS (T3 et T4) et les graines de témoin (T0) présentent le même pourcentage de germination (93%).

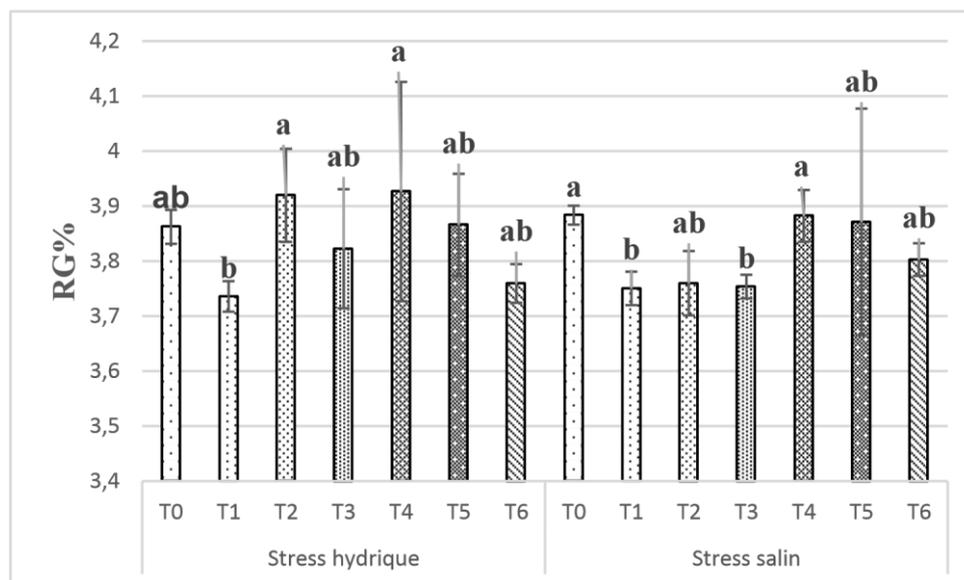
On ce qui concerne les graines en condition de stress salin, le pourcentage final de la germination est maximal (100%) pour les graines de témoins (T0). Ce taux diminue à 96.66, 95 et 91.66% pour les graines traitées par IAA à 0.01mM (T5), AG3 à 0.01g/l (T1) et IAA à 0.025mM (T6). Alors qu’il est légèrement inférieur chez les graines traitées par AS à 0.1mM (T3) et AG3 à 0.025g/l (T2) avec des taux de 86.66 et 85% respectivement. Le taux le plus faible enregistré chez les graines traitées par AS à 0.25mM (T4) avec un pourcentage de 78.33%.

Aussi, il est à noter que, dans les deux types de stress les graines d blé dur affichent des taux de germination importants. Nos résultats sont affirmés par les travaux de Thabet et *al.*, (2018), qui ont trouvé que le pourcentage des graines germées est très affecté sous un stress hydrique de (20% PEG).

Cependant, un autre scientifique signale que le traitement des semences de blé avec différentes phytohormones, y compris les gibbérellines, présentes des taux de germination accrus (Nazima et al., 2016). L'application de certains biorégulateurs de croissance dont l'acide gibbérellique augmente la tolérance au stress salin de beaucoup de plantes cultivées (Hoque et Haque, 2002 ; Atia, 2009 ; Chohim, 2011). Rajasekaran et al., (2002) déclarent que l'AS n'a pas un effet intensifiant sur le taux final de germination.

### 3. Rythme de germination (Germination Pace) :

Les résultats de la figure (13) indiquent la variation du rythme de germination selon les différents traitements utilisés et en présence de stress salin et hydrique.



**Figure 14 :** Rythme de germination de Blé dur sous l'effet de NaCl et du PEG

L'analyse de la variance montre un effet non significatif ( $P=0.08$ ) du facteur traitement sur le paramètre étudié dans les deux types de stress. Le test LSD au seuil ( $\alpha = 5\%$ ) fait ressortir trois groupes homogènes à savoir (a), (ab) et (b) dans les deux types de stress.

D'après la figure (14), il faut remarquer que le rythme de germination ne semble pas influencé par les différents traitements utilisés dans les deux cas du stress (hydrique et salin). En effet, le rythme de germination dans les plantules en condition de stress hydrique oscille entre 3.73 et 3.92%. Alors qu'en présence du NaCl les taux varient entre 3.75 et 3.88%.

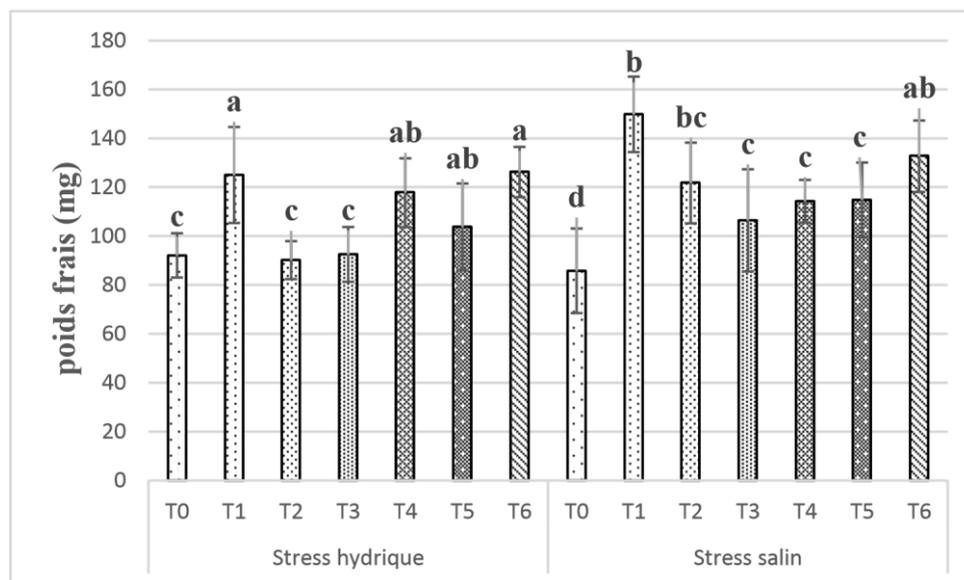
Il faut noter que les plantules de témoins affichent un rythme similaire de 3.8% dans les deux cas de stress et les autres traitements enregistrés des valeurs presque identiques.

Thabet et *al.*, (2018) indiquent qu'un stress hydrique élevé influe négativement sur le rythme de germination graines.

**4. Biomasse fraîche produite :**

Les figurese (15) et (16) montre les variations de poids frais de la partie racinaire et foliaire des jeunes plantules sous l'effet de stress hydrique et salin.

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative entre les traitements sur le poids frais de la partie racinaire dans les deux types de stress. Le test des étendus multiples (LSD) au seuil  $\alpha = 5\%$  fait ressortir quatre groupes homogènes pour les graines stress hydrique à savoir (a), (ab), (c), (d) et cinq groupes homogènes pour les graines du stress salin (ab), (b), (bc), (c) et (d).



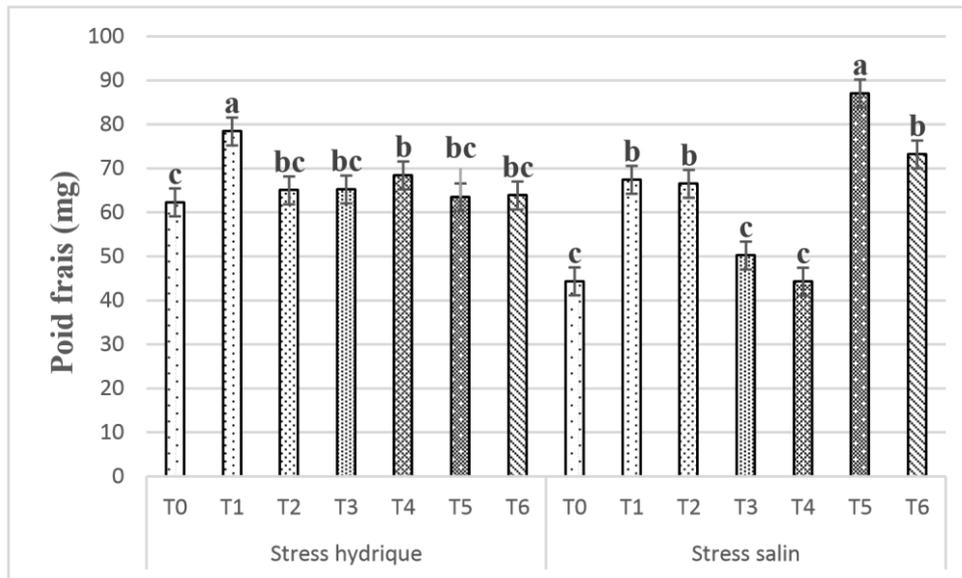
**Figure 15 :** Variations du poids frais de la partie racinaire des plantules du blé dur

Le poids frais de la partie racinaire le plus important est observé chez les plantules traitées par AG3 à 0.01 g/l (T1) et par IAA à 0.25mM (T6) avec des valeurs varient entre 130 et 150 mg dans les deux types du stress (salin et hydrique). Cependant, les plantules des traitements (T3), (T2) et du témoin (T0) présentent des valeurs statistiquement similaires (même groupe homogène c) dans les conditions du stress hydrique.

Pour le stress salin, le test LSD a montré que les traitements (T2), (T3), (T4) et (T5) ne sont pas significativement différents, leurs valeurs moyennes varient de 106 à 121 mg.

Les valeurs du poids frais de la partie racinaire les plus faibles sont ceux issues des plantules du témoin (T0) avec un poids moyen de 85,6 mg.

Selon Sardar et *al.*, (2018), le poids frais des racines est affecté considérablement par les deux types du stress salin et hydrique. La salinité est un facteur majeur limitant la croissance racinaire et par conséquent l'absorption de l'eau (Zhu, 2007 et Riaz et *al.*, 2018).



**La figure 16 :** Variations du poids frais de la partie foliaire des plantules de blé en fonction des différents traitements hormonal et sous l'effet du stress hydrique et salin.

L'analyse de variance montre un effet hautement significatif ( $P=0.000$ ) sur le poids frais de la partie foliaire de facture traitement dans les deux types de stress. Le teste LSD montre qu'il y a quatre groupe homogènes (a), (b), (bc) et (c) dans le stress hydrique et trois groupes homogènes (a, b et c) dans le stress salin.

Le poids frais de la partie foliaire est plus important chez les plantules traitées par IAA a 0.1mM(T5) avec une valeur de 89mg dans le cas du stress salin, en face dans la déficit hydrique le poids le plus importants est enregistrer chez les plantules traitées par AG3 a 0.01g/l(T1) avec une valeur de 79mg, suivi par des valeur moyenne varient de 63-79mg notées chez les plantules traitées parAG3 a 0.025g/l (T2) et AS a 0.1-0.25Mm (T3 et T4) et par IAA a 0.1-0.25mM (T5 et T6) dans le cas du stress hydrique.

Dans le cas du stress salin, les valeurs moyennes varient de 69-73mg observée chez les plantules traitées en IAA à 0.25mM(T6).et en AG3 0.01-0.025g/l (T2 et T3), en parallèle les plantules du témoin(T0) et les plantules traitées en AS a 0.1-0.25mM (T3 et T4) enregistrée les valeurs les moins important varient de 45-50mg.

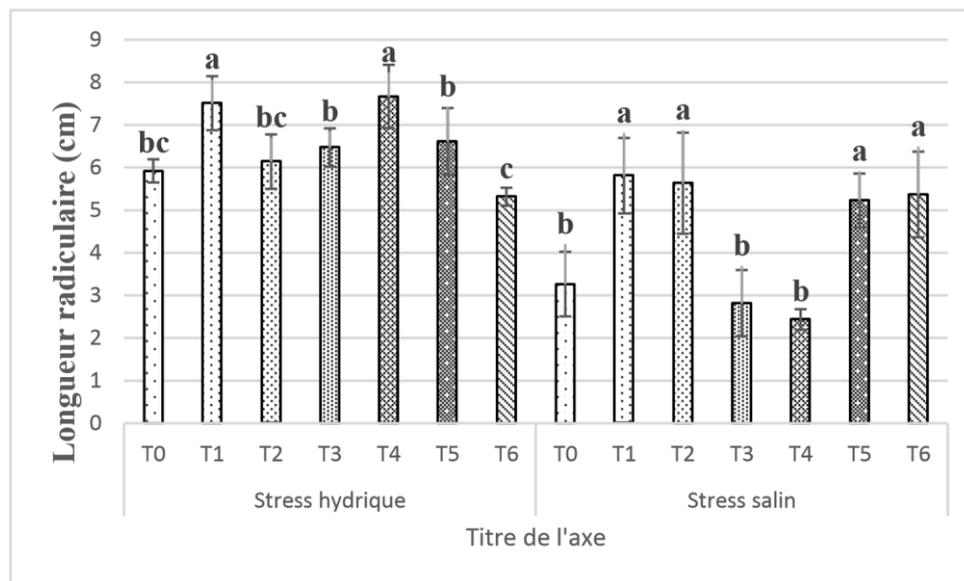
D'autre part, le poids frais des jeunes plantules est aussi affecté par la salinité. Kumar et *al.*, (2015), indiquent que l'AG3 atténué les effets néfastes du stress salin et rétabli la biomasse

fraîche des plantes cultivée comme le Soja et que l’application de l’AS exogène réduit les dommages de la salinité et augmente le poids frais chez les plantes de millet perlé (*Pennisetum glaucum (L.) R Br.*). Ainsi que, l’application exogène de IAA a un effet positif sur le poids des plantules dans les conditions de stress salin (Nazima et al., 2016).

**5. La longueur de la partie racinaire et la partie foliaire :**

Les figure (17) et (18) montre les variations de la longueur de la partie racinaire et foliaire des jeunes plantules en condition de stress hydrique et salin.

L’analyse des variances montre un effet hautement significatif des différents traitements sur la longueur racinaire et foliaire dans les deux types de stress



**La figure 17 :** Variations des longueurs radiculaires des plantules de blé en fonction des différents traitements hormonal et sous l’effet du stress hydrique et salin.

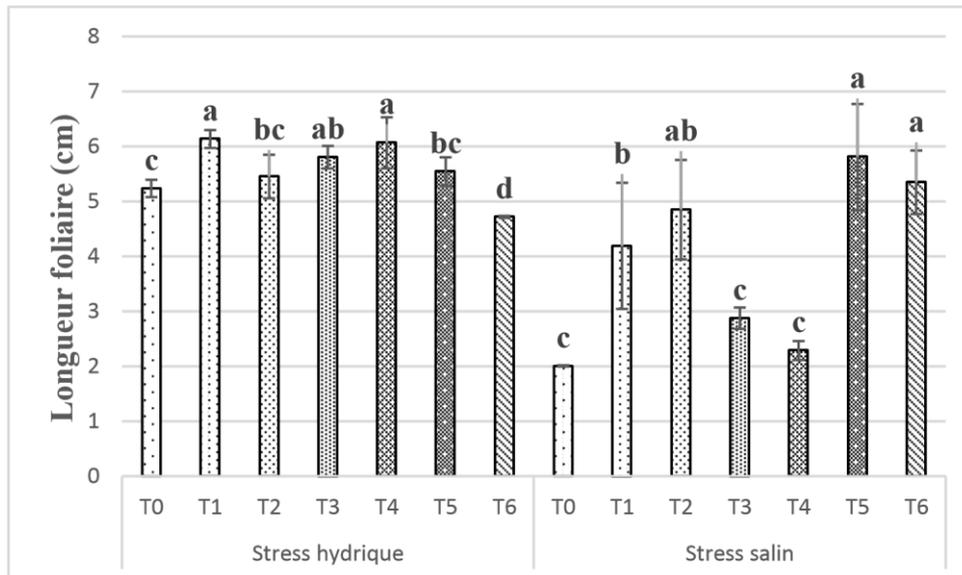
Pour la longueur racinaire, le test des étendus multiples (LSD) au seuil  $\alpha = 5\%$  fait ressortir quatre groupes homogènes pour les graines stress hydrique à savoir (a), (b), (bc), (c) et deux groupes homogènes pour les graines du stress salin (a et b).

On remarque que les longueurs de la partie racinaire les plus élevées sont notées dans le cas du stress hydrique, les plantules traitées en AS a 0.25mM(T4) et en AG3 a 0.01g/l (T1) affichent les longueurs plus importantes sur la croissance racinaire avec des valeurs varient de 7.9 et 7.8 cm respectivement, suivi d’une longueur moyenne des racines varie de 6-6.8cm enregistrer chez les plantules de témoins (T0) et les plantules traitées en IAA à 0.1mM (T5) et

AG3 à 0.025g/l (T2) et en AS à 0.1mM (T3) Alors que les plantules traitées en IAA à 0.25mM (T6) marquent les plus faibles longueurs de 3.3cm.

Dans le cas du stress salin on observe que les valeurs sont moins importantes par rapport au stress hydrique, les longueurs les plus remarquable sont enregistrée chez les plantules traitées par AG3 à 0.01-0.025g/l (T2 et T3) et en IAA à 0.1-0.25mM (T5 et T6) avec des valeurs variant de 5.1-5.9cm, suivi par des longueurs faibles notée chez les plantules traitées par AS à 0.1-0.25mM (T3 et T4) et les plantules de témoins avec des valeurs variant de 2.5-3.2cm.

Concernant la longueur foliaire, le test LSD au seuil  $\alpha = 5\%$  fait ressortir cinq groupes homogènes pour les graines stress hydrique à savoir (a), (ab), (bc), (c) et (d) et quatre groupes homogènes pour les graines du stress salin (a, a, (b) et c).



**La figure 18 :** Variations des longueurs de la partie foliaire des plantules de blé en fonction des différents traitements hormonal et sous l'effet du stress hydrique et salin

Dans le cas du stress hydrique les longueurs de la PF sont plus important para port aux longueurs du stress salin, les plantules de témoins et les plantules pré- traitement par AG3, AS et IAA avec différentes concentrations marquent des valeurs variant de 4.9-6cm.

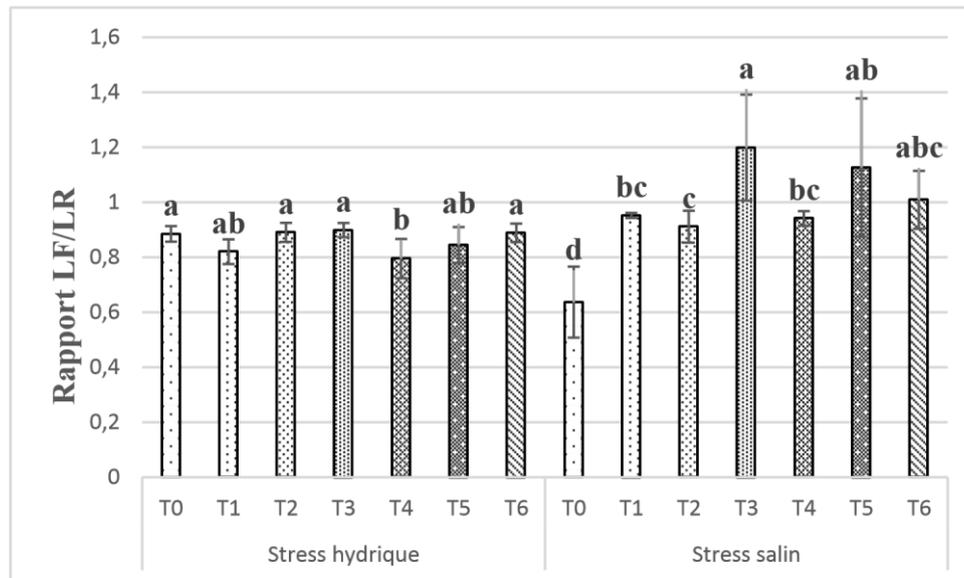
En parallèle, les plantules stressées en NaCl marquent des longueurs importantes chez les plantules traitées en IAA à 0.1-0.25mM (T5 et T6) et GA3 à 0.01-0.025g/l (T2 et T3) avec des valeurs variant de 4.3-5.7cm, suivi par des valeurs faibles variant de 2-2.9cm observée chez les plantules de témoins et les plantules traitées en AS à 0.1-0.25mM (T3 et T4).

De plus, l'NaCl inhibe la croissance racinaire et foliaire des jeunes plantules, alors que l'AG3 réduit cette inhibition chez le riz en fonction de concentration et l'application exogène de l'AS sur les plantes de millet perlé régule les caractères de croissance par l'augmentation de la longueur racinaire et foliaire (Sampath Kumar *et al.*, 2015). Nazima *et al.*, (2016) signale que l'application exogène de IAA et AG3 favorise la croissance de plantes dans les conditions de stress salin.

**6. Rapport entre la longueur de la partie racinaire et la partie foliaire :**

Concernant ce paramètre, l'analyse de la variance montre une différence non significative ( $P=0.07$ ) et hautement significative ( $P=0.0004$ ) du facteur traitement sur le paramètre étudié dans stress hydrique et salin respectivement.

Le test des étendus multiples (LSD) au seuil  $\alpha = 5\%$  fait ressortir trois groupes homogènes pour le stress hydrique à savoir (a), (ab), (b) et six groupes homogènes à savoir (a), (ab), (abc), (bc), (c) et (d).



**La figure 19 :** Variations de rapport LPF/LPR des plantules de blé en fonction des différents traitements hormonal et sous l'effet du stress hydrique et salin.

Dans le cas du stress hydrique les valeurs de rapport de LPF/LPR sont moyennes et presque identiques variant de 0.8-0.9, par contre chez les plantules stressées en NaCl on remarque des valeurs importantes variant de 1.1-1.2 enregistrées chez les plantules traitées par AS à 0.1mM (T4) et IAA à 0.1mM (T5), suivies par des valeurs du rapport moyennes (T1, T2,

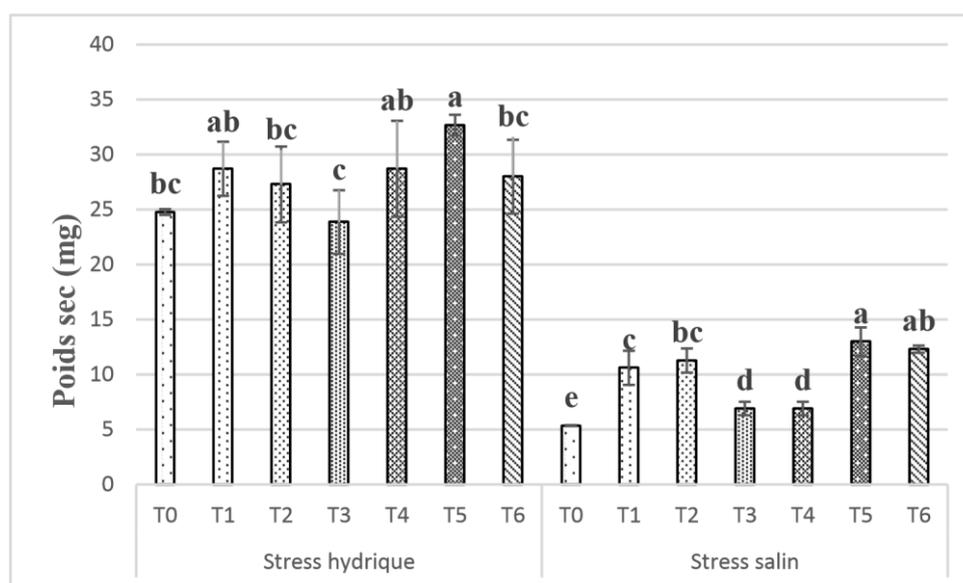
T3 et T6) varient de 0.9-0.99. Les plantules de témoins (T0) est réduit par rapport autres valeurs est de 0.63.

### 7. Biomasse sèche :

Les figures (20) et (21) montre les variations de poids sec des jeunes plantules sous l'effet de stress salin et hydrique.

L'analyse de variance montre un effet hautement significatif ( $P=0.000$ ) du facteur traitement sur le poids sec de la partie racinaire dans les deux types de stress.

Le test des étendus multiples (LSD) au seuil  $\alpha = 5\%$  fait ressortir quatre groupes homogènes pour les graines stress hydrique à savoir (a), (ab), (bc), (c) et six groupes homogènes pour les graines du stress salin a savoir (a), (ab), (bc), (c), (d) et (e) dans le stress salin.

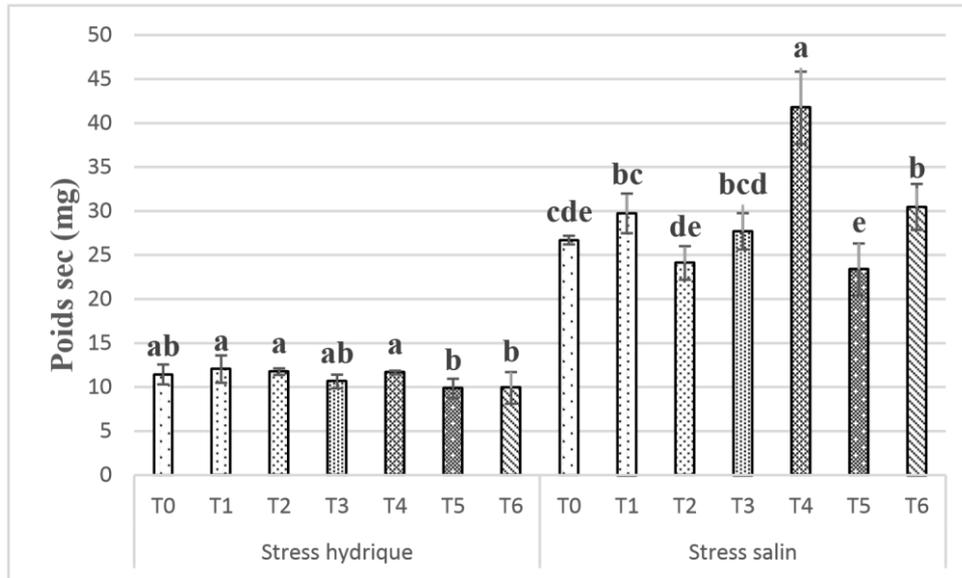


**La figure 20 :** Variations de poids sec de la partie racinaire des plantules de blé en fonction des différents traitements hormonal et sous l'effet du stress hydrique et salin.

Il est à remarquer que le poids sec de partie racinaire le plus important est enregistré chez les plantules de stress hydrique, le poids le plus élevé observée chez les plantules traitées par IAA a 0.1mM (T5) avec un poids de 33mg, suivi par des valeurs moyennes varient de 24.9mg notées chez les plantules de témoins (T0) et les plantules traitées par AG3 a 0.01-0.025g/l (T1 et T2) et IAA à 0.25mM (T6) et en AS à 0.1-0.25mM (T3 et T4).

Par contre, dans le stress salin le poids sec est réduit, on remarque que les plantules les moins faible 10-13mg enregistre chez les plantules traitées par IAA a 0.1-0.25mM (T5 et T6)

et par AG3 a 0.01-0.025g/l (T1 et T2), suivi par des valeurs plus faibles variant de 5-7mg notées chez les plantules de témoins et les plantules traitées en AS a 0.1-0.25mM (T3 et T4).



**La figure 21 :** Variations de poids sec de la partie foliaire des plantules de blé en fonction des différents traitements hormonal et sous l’effet du stress hydrique et salin.

L’analyse de variance montre un effet significatif ( $P=0.05$ ) et hautement significatif ( $P=0.0000$ ) du facteur traitement sur le paramètre étudié dans le stress hydrique et salin respectivement.

Le test LSD au seuil  $\alpha = 5\%$  fait ressortir trois groupes homogènes pour les graines de stress hydrique à savoir (a), (ab) et (b) et sept groupes homogènes pour les graines du stress salin (a), (b), (bc), (bcd), (cde), (de) et (e).

Le poids sec de PF dans le stress hydrique est faible, les valeurs sont presque identiques variant de 10-12mg.

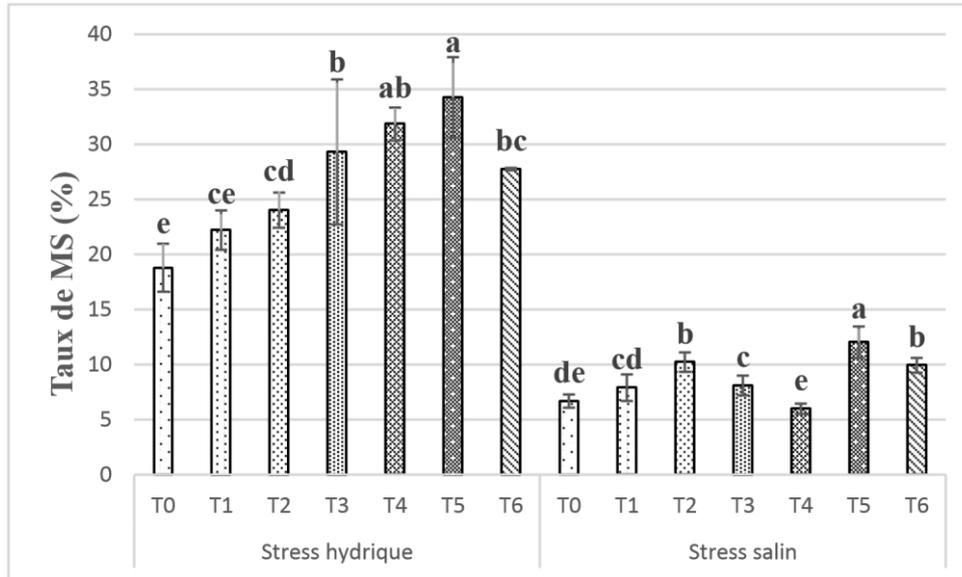
Par contre, dans le cas de stress salin le poids est plus important, il est remarquable que la valeur la plus élevée (43mg) est enregistrée chez les plantules traitées en AS a 0.25mM (T4), suivi par des valeurs moyennes variant de 24-30mg notées chez les plantules de témoins (T0) et les plantules traitées en AG3 a 0.01-0.025g/l (T2 et T2) et AS a 0.1mM (T3) et en IAA a 0.1-0.25mM (T5 et T6).

Toutefois, Sampath Kumar et *al.*, (2015) affiche que AG3 atténué les effets néfastes de stress salin et rétabli la biomasse sèche des plantes cultivées ainsi que l’AS augmenté le poids sec chez les plantes de millet perlé.

**8. Taux de la matière sèche :**

Les résultats des figures (22) et (23) présentent les variations des taux de la matière sèche sous l'effet de stress hydrique et salin en présence des phytohormones exogènes de différentes concentrations.

L'analyse de variance le paramètre taux de matière sèche montre un effet hautement significatif du facteur traitement dans les deux types de stress.



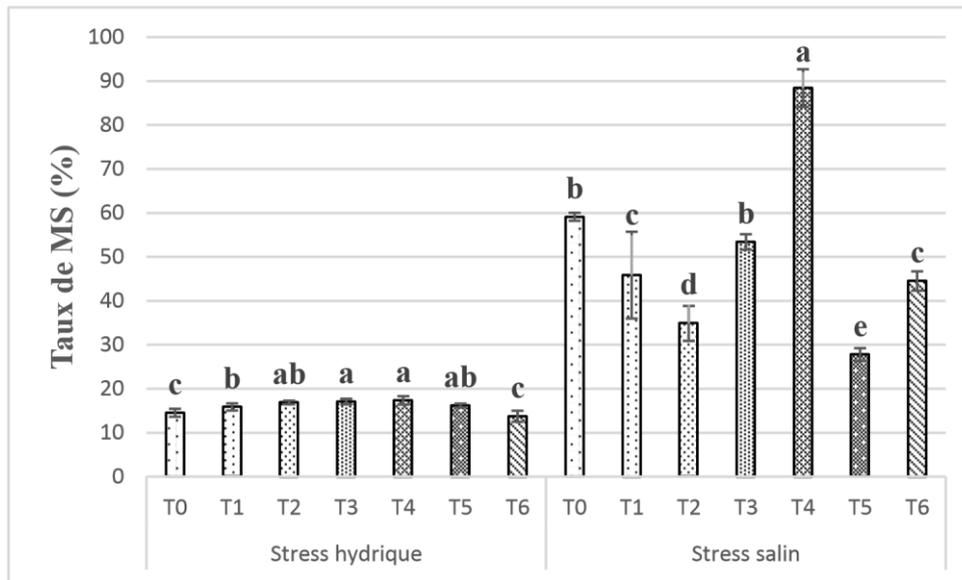
**La figure 22 :** Variations des taux de MS de la partie racinaire des plantules de blé en fonction des différents traitements hormonal et sous l'effet du stress hydrique et salin.

Le test LSD montre l'existence de six groupes homogènes dans les deux types de stress à savoir (a), (ab), (b), (bc), (cd), (ce) et (e) dans le stress hydrique et (a), (b), (c), (cd), (de) et (e) dans le stress salin.

Les plantules qui sont sous le déficit hydrique marquent des valeurs de taux de MS de la partie racinaire plus important que les plantules stressées en NaCl, les valeurs les plus élevées sont observées chez les plantules traitées par IAA à 0.1mM (T5) et par AS à 0.1-0.25mM (T3 et T4) avec un taux de MS variant de 29-34%, suivi par des valeurs moyennes variant de 24-27% enregistrer chez les plantules traitées par IAA à 0.25mM (T6) et AG3 à 0.01-0.025g/l (T2 et T3). Les plantules de témoins (T0) marquent un taux de la MS moins important avec une valeur de 19%.

Dans le cas de stress salin les valeurs de MS sont faibles et presque identiques dont les plantules traitées en IAA à 0.1-0.25mM (T5 et T6) et par AG3 à 0.025g/l (T2) enregistre des

valeurs varient de 10-13%, et les plantules traitées en AS à 0.1-0.25mM (T1 et T2) et les plantules de témoins notées des valeurs varient de 6-7%.



**La figure 23 :** Variations des taux de MS de la partie foliaire des plantules de blé en fonction des différents traitements hormonal et sous l’effet du stress hydrique et salin.

Le test LSD affiche qu’il y a quatre groupes homogènes à savoir (a), (ab), (b) et (c) dans le stress hydrique et cinq groupes homogènes à savoir (a), (b), (c), (d) et (e) dans le stress salin.

Il est à remarquer que le taux MS la partie foliaire est plus important chez les plantules stressées en NaCl aux plantules sous le déficit hydrique, dont la valeur de taux MS dans le stress salin la plus élevée est enregistrée chez les plantules traitées par AS à 0.25mM (T4) avec un taux de 89%, suivi par des valeurs moyennes varient de 40-60% observées chez les plantules de témoins (T0) et qui sont traitées par AS à 0.1mM (T3) et AG3 à 0.01g/l (T1) et par IAA à 0.25mM (T6). Chez les plantules traitées par AG3 à 0.025g/l (T3) et IAA à 0.1mM (T5) marquent des taux faibles varient de 29-35%.

En parallèle, dans le cas du stress hydrique les valeurs sont très faibles et presque identique varient de 15-19%.

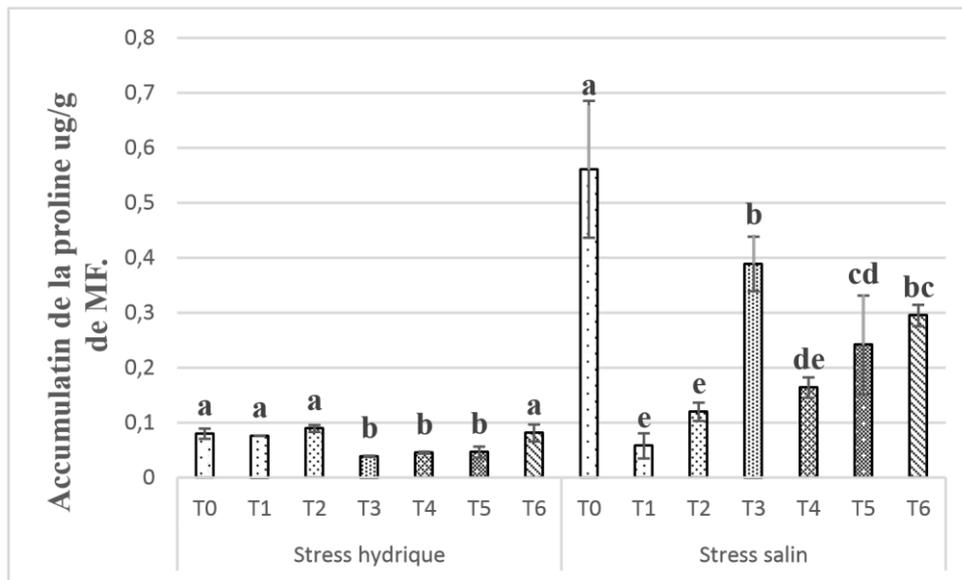
Les travaux de Hellal et *al.*, (2018) sur différentes variétés d’orge ont montré que la biomasse sèche produite des feuilles et tiges est en corrélation avec le degré du stress. L’application exogène des hormones végétales améliore la biomasse sèche produite dans les différentes parties de la plante (Omena-Garcia et *al.*, 2018).

**9. Teneur en proline :**

A la lecture des résultats de la figure (24), on note cependant des variations de grandeur de ce paramètre.

L'analyse de la variance montre un effet hautement significatif sur la teneur en proline de facture traitement dans les deux types de stress

D'après le test LSD, il existe deux à savoir (a) et (b) dans le stress hydrique et six groupes homogène à savoir (a), (b), (bc), (cd), (de) et (e) dans le salin respectivement.



**Figure 24 :** Accumulation de proline chez les plantules de blé dur (ug/g de MF).

Sous l'effet de stress hydrique, l'accumulation de la proline est importante au niveau des plantules de T2 et T6 avec une teneur de 0.08ug/g de MF, cette accumulation est légèrement inférieure chez le témoin (T0) suivi par les plantules prétraitées par AG3 a 0.1g/l (T1) avec des valeurs de 0.079ug/g de MF et 0.075ug/g de MF. Alors que, les teneurs plus faibles enregistrées chez les plantules prétraitées par AS de 0.1mM (T3) (0.03ug/g de MF) suivie par les plantules de T5 et T4 traitées avec une teneur ne dépasse pas 0.04ug/g de MF.

En parallèle en condition de stress salin, les résultats montrent que la production de proline est plus élevée chez le témoin (T0) avec une teneur de 0.56ug/g de MF. Les plantules prétraitées en AS de 0.1mM enregistre également une production élevée de proline (0.56ug/g de MF). Bien que, les plantules prétraitées en IAA marquent des teneurs moins importantes diminue avec la diminution de la concentration de IAA, et ce comparativement aux autres traitements testés dont la production se révèle être plus faibles (0.05ug/g de MF) notamment au

niveau des plantules de T1 suivie par les plantules de T3 (0.11ug/g de MF) et T4 (0.16ug/g de MF).

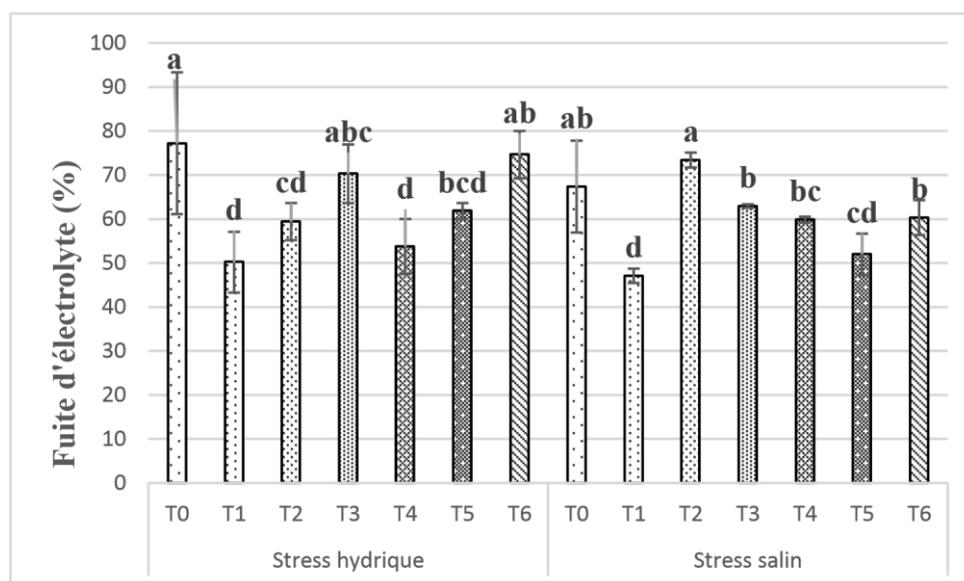
De plus, les observations relevées concluent que les plantules issues des graines prétraitées marquent les faibles productions de proline sous l'effet de stress hydrique et salin. Kumar et al., (2015), signale que l'AS et l'AG3 régulent la production de proline.

**10. Fuite d'électrolyte (EL%) :**

Les résultats de ce paramètre sont représentés dans la figure (25).

L'analyse de la variance montre une différence hautement significative sur le pourcentage de la fuite d'électrolyte du facteur traitement sur le paramètre étudié dans les deux types de stress.

Le teste LSD montre l'existence de six groupes homogènes à savoir (a), (ab), (abc), (bcd), (cd) et (d) dans le stress hydrique et (a), (ab), (b), (bc), (cd) et (d).



**Figure 25 :** Pourcentage de fuite d'électrolytes en fonction de phytohormones exogène en condition de stress hydrique et salin.

En condition de stress hydrique, les résultats de la figure (25) montrent que le pourcentage de fuite d'électrolytes est plus important chez les plantules de témoins (T0) (77.22%) suivie par les plantules issues des graines prétraitées par IAA et AS a des concentrations de 0.25mM (T6) et 0.1mM (T5) qui affichent des taux légèrement inférieurs de 74.61% et 70.27%. Alors que, on note des pourcentages moins importants au niveau des plantules de T2 et T5 avec des taux varie entre 59.40 et 61.81% cette dernière diminue jusqu'à

53.75% chez les plantules de T4.

La fuite d'électrolyte la plus faible enregistrée chez les plantules issues de graines prétraitées par AG3 à 0.1g/l (T1) avec un pourcentage de 50.15%.

Sous l'effet de la salinité, les résultats de la même figure montrent que le pourcentage de fuite d'électrolytes est plus élevé chez les plantules issues des graines prétraitées par AG3 à 0.25g/l (T2) suivie par des témoins (T0) avec un taux de 73.39% et 67.36%. Toutefois, les plantules de T3 (62.91%), T6 (60.32%), T4 (59.85%) et T5 (51.94%) affichent des pourcentages moins importants. Alors que, les plantules de T1 enregistrent le pourcentage le plus faible de la fuite d'électrolyte de 50.15%.

La comparaison des résultats des plantules stressées en NaCl à celle de stress hydrique montre bien que AG3 à 0.1g/l (T1) est toujours diminuée le pourcentage de la fuite d'électrolyte.

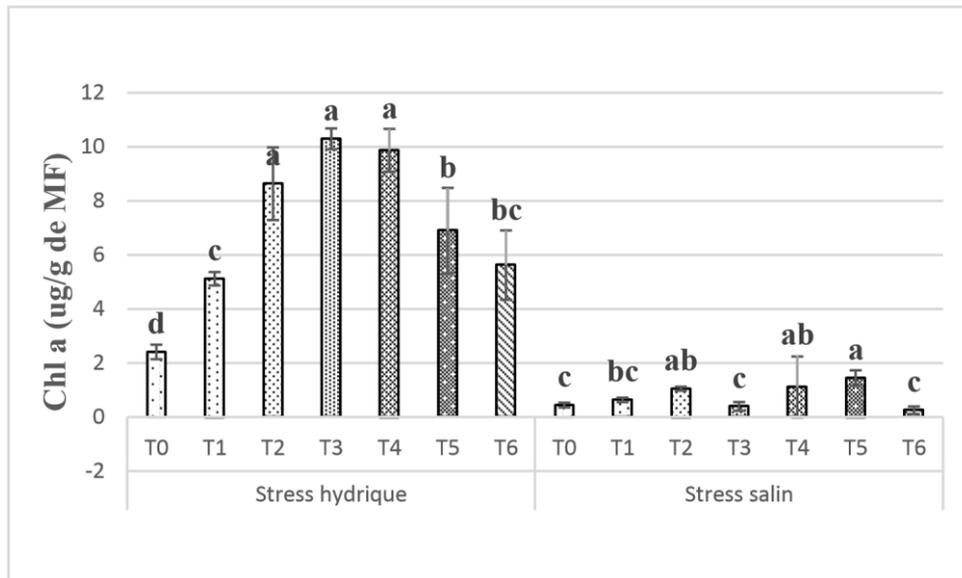
Sampath Kumar et *al.*, (2015), confirme que l'AS régule le pourcentage de la fuite d'électrolyte en présence de NaCl chez les plantes de millet perlé.

Il a été récemment démontré qu'il existe une relation étroite entre les hormones végétales, le métabolisme de la proline et le maintien d'intégrité de la membrane sous stress salin et hydrique chez différentes espèces (Tuna et *al.*, 2008 ; Jiang et *al.*, 2017 ; Per et *al.*, 2017).

### **11. Teneur en chlorophylle des feuilles :**

Les résultats relatifs à la teneur en chlorophylle des feuilles de blé dur sont présentés dans les figures (26), (27) et (28).

L'analyse de la variance montre un effet hautement significatif sur la teneur des feuilles en différents pigments chlorophylliens de chaque traitement dans les deux types de stress.



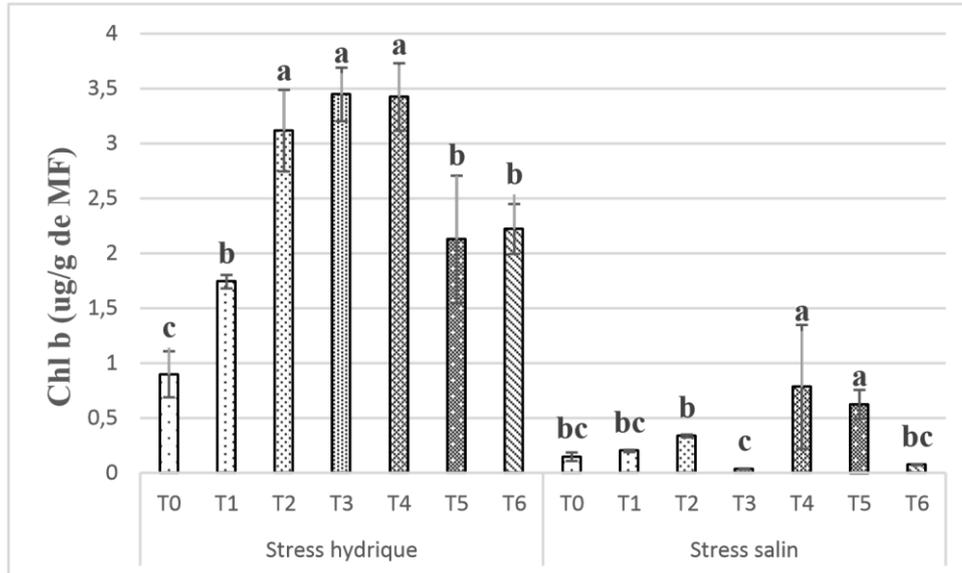
**Figure 26 :** Quantité de chlorophylle a dans les plantules de blé dur (ug/g de MF).

Concernant la teneur en chlorophylle (a), le test LSD montre l'existence de cinq groupes homogènes (a, b, bc, c et d) pour le stress hydrique et quatre groupes homogènes (a, ab, bc et c) pour le stress hydrique.

Les résultats obtenus à partir de la figure (26) concernant la quantité de chlorophylle (a) en condition de stress hydrique ont permis de constater qu'il y a eu production d'une quantité très importante de chlorophylle (a) chez les plantules issues des graines prétraitées par AS a une concentration de 0.1mM1 (T3) de 10.29ug/g de MF et 0.25mM (T4) avec une valeur de 9.87ug/g de MF. Une moins performance a été notée chez les plantules issus des graines prétraitées par AG3 de 0.25g/l (T2) avec une teneur de 863ug/g de MF. Les plantules de T1, T6 et T5 enregistrées des teneurs moins importantes de 5.11, 5.62 et 6.89ug/g de MF. Alors que le témoin (T0) affiche la plus faible quantité en chlorophylle (a) avec une teneur ne dépasse pas 2.40ug/g de MF.

Sous l'effet de NaCl, les résultats obtenus à partir de la même figure sur le dosage de chlorophylle (a) montrent que les plantules issues des graines prétraitées par IAA, AS et AG3 a des concentrations de 0.1mM (T5), 0.25mM (T4) et 0.1g/l (T1) enregistrées des quantités importantes varies de 1.44 -1.04ug/g de MF par apport au témoin (T0) qui affichent une teneur de 0.44ug/g de MF. Toutefois, les plantules de T6, T3 et T1 enregistrées les valeurs très faibles de 0.25, 0.39 et 0.63ug/G de MF respectivement.

Bencze et al., (2010), affirment que sous un stress abiotique sévère la teneur en chlorophylle (A, B et C) est très affectée. Accompagnée par une augmentation de la teneur en proline dans les différents organes.

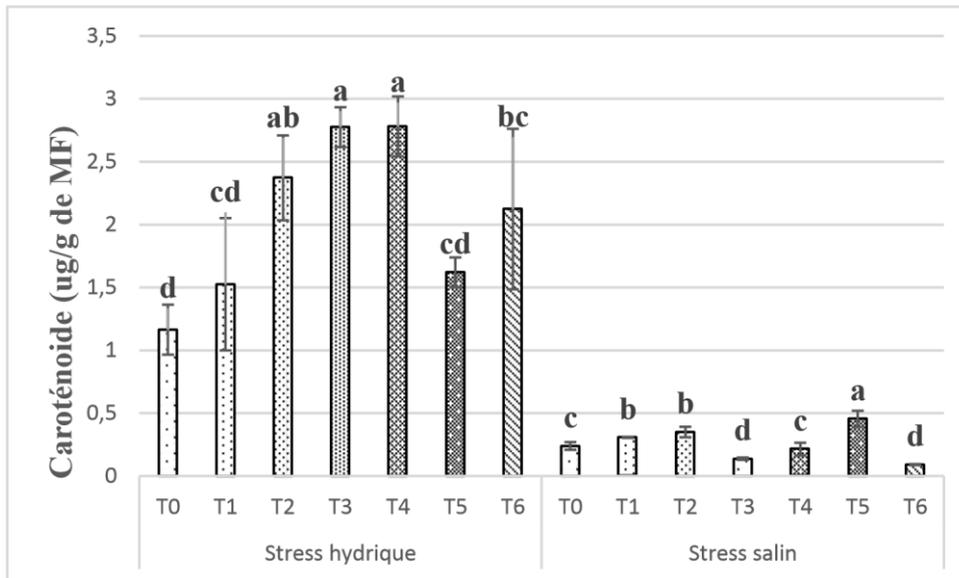


**Figure 27 :** Quantité de chlorophylle (b) dans les plantules de blé dur (ug/g de MF).

Pour la teneur en chlorophylle (b), le test LSD affiche trois (a, b, et c) pour le stress hydrique et quatre groupes homogènes à savoir (a), (b), (bc) et (c) pour le stress salin.

Cependant la quantité de chlorophylle (b) sous l'effet de stress hydrique, les résultats obtenus de la figure (27) montrent que les plantules de T3 et T4 enregistrées des quantités plus élevées de 3.4ug/g de MF suivie par les plantules issues des graines traitées par AG3 de 0.1g/l (T1) de 3.11ug/g de MF. Les plantules de T1, T5 et T6 enregistrées des teneurs moins importantes de 1.70, 2.12 et 2.22ug/g de MF. Alors que le témoin (T0) affiche la plus faible quantité en chlorophylle (b) avec une teneur ne dépasse pas 0.89ug/g de MF.

En présence de NaCl, les résultats présentés par la figure (26) sur le dosage de chlorophylle (b) montrent que les plantules issues des graines prétraitées en AS et IAA a des concentrations de 0.25mM (T4) et 0.1mM (T5) enregistrées des quantités importantes varies entre 0.78 et 0.63ug/g de MF par apport au témoin (T0) qui affichent une teneur de 0.14ug/g de MF. Alors que, on a observé des quantités moins importantes au niveau des plantules suivantes : T1 (0.19) et T2 (0.33). Toutefois, les valeurs plus faibles de 0.03 et 0.07ug/g de MF enregistrées chez les plantules de T3 et T5 respectivement.



**Figure 28 :** Teneur en caroténoïdes chez les plantules de blé dur (ug/g de MF).

Pour ce qui est de la teneur en caroténoïdes, le test LSD affiche l'existence de cinq groupes homogènes à savoir (a), (ab), (bc), (cd) et (d) dans le stress hydrique et quatre groupes homogènes (a, b, c et d) pour le stress salin.

Sous l'effet de stress hydrique, les résultats obtenus de la figure (28) indiquent que la teneur en caroténoïdes dans les plantules de T4 (2.78) et T3 (2.77) est plus élevée alors qu'elle est légèrement inférieure chez les plantules de T2 (2.37) et T6 (2.12). En effet, les plantules issues de graines prétraitées par AG3 et IAA a des concentrations de 0.1g/l (T1) et 0.1mM (T5) affichent des teneur moyenne en caroténoïdes de 1.52 et 1.62ug/g de MF respectivement. Pour la plus faible valeur qui ne dépasse pas 1.16ug/g de MF est enregistré chez les plantules de témoin (T0).

En condition de stress salin, la même figure montre que la quantité de caroténoïdes est importante au niveau des plantules de T5 (0.45), T2 (0.35) et T1 (0.30). Cette quantité est diminué jusqu'à 0.2ug/g de MF chez le témoin (T0) et les plantules de T4. Alors que, les plus faibles quantités enregistrées dans les plantules issues des graines prétraitées par IAA et AS a des concentrations de 0.25mM (T6) et 0.1Mm (T3) avec des valeurs des 0.09 et 0.13ug/g de MF respectivement.

En effet, lorsque la comparaison entre l'effet des traitements hormonaux appliquées dans les deux stress sur la teneur en chlorophylle (a), (b) et les caroténoïdes, on peut dire qu'ils ont un effet remarquable dans les deux types de stress.

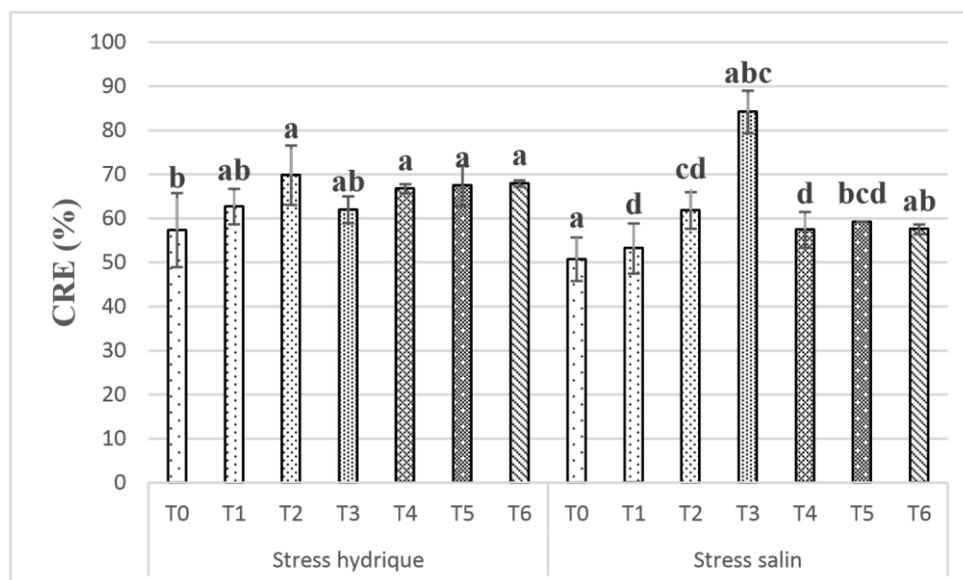
Kumar *et al.*, (2015), affiche que l'application exogène de l'AS sur les plantes de millet perlé régule la teneur en pigments photosynthétiques. Alors Nazima *et al.*, (2016), montre que l'AS augmenté le taux de photosynthèse de l'orge.

## 12. Contenant relative en eau :

Les résultats de ce paramètre sont représentés par la figure (29).

L'analyse de la variance montre une différence non significative ( $P > 0,05$ ) et hautement significative ( $P = 0.0000$ ) du facteur traitement sur le paramètre étudié dans stress hydrique et salin respectivement.

Selon le teste de LSD, il excite trois groupes homogènes (a, ab et b) pour le stress hydrique et six groupes homogènes à savoir (a), (ab), (abc), (bcd), (cd) et (d) dans le stress salin.



**Figure 29 :** Contenants relatifs en eau (%) des plantules du blé dur stressées en présence des hormones végétales exogènes.

Sous l'effet de déficit hydrique, les plantules issues des graines prétraitées aux hormones exogènes de différentes concentrations enregistrées des contenues relatifs en eau importantes varies entre 61 et 69 %. Alors que, le témoin (T0) affiche un contenu légèrement inférieur de 57.33%.

En condition de la salinité, le contenu relatif en eau est nettement plus élevé chez les plantules issues des graines prétraitées par AS de 0.1mM (T3). Tandis que, on note des contenus moyennes au niveau des plantules de T1 (53.16%), T4 (57.39%), T6 (57.52%), T5 (59.23) et T2 (61.79%). Cette valeur diminue jusqu'à 50.72% chez le témoin (T0).

Lorsque la comparaison entre les résultats obtenues dans les deux cas de stress, on remarque que AS de 0.1mM (T3) a un effet plus important dans le stress salin. Alors que les autres traitements ont des effets moyennes par rapport aux témoins (T0) dans les deux cas de stress.

Kumar et *al.*, (2015), indique que l'application exogène de l'AS sur les plantes de millet perlé régule la teneur relative en eau en condition de stress.

## CONCLUSION :

Les phytohormones jouent un rôle régulateur fondamental lors de la croissance et du développement d'une plante. Ces substances sont élaborées en quantités variables par la plante au cours de son développement. Suite à leur infime production dans certains organes de la plante (souvent les régions méristématiques), elles sont ensuite transportées de cellule en cellule ou via le système vasculaire vers leur lieu d'action.

La salinité et le déficit hydrique sont des phénomènes complexes qui conduisent à un stress osmotique dû à la diminution des quantités d'eau disponible au niveau de la rhizosphère, suite à la réduction de l'aptitude des plantes à absorber l'eau et les éléments nutritifs. Par conséquent, cela provoque une baisse de croissance de la plante stressée et sa productivité de biomasse végétale.

La phase germination est considérée comme l'une des phases critiques sur laquelle repose le départ végétal. L'amélioration génétique du blé dur des zones sèches reste basée sur la recherche d'une meilleure tolérance aux stress abiotiques, pour adapter la plante, à la variabilité du milieu de production.

Notre étude a porté sur l'effet de l'application des phytohormones exogènes sur la germination du blé dur (*Triticum durum Desf.*) var. Vitron, dans des conditions du stress salin et hydrique.

A la lumière des résultats obtenus, nous démontrons que l'application des phytohormones exogènes de l'AG3, l'AS et l'IAA a augmenté significativement la précocité et le taux final de la germination des grains, la croissance en longueur de la partie racinaire et aérienne ainsi que la biomasse fraîche et sèche produite.

En ce qui concerne l'analyse des paramètres biochimiques, le prétraitement des graines du blé dur avec les biorégulateurs de croissance (AG3, AS et IAA) a eu un effet significatif sur la teneur en pigment chlorophyllien et le pourcentage de la fuite d'électrolyte de la membrane par rapport au témoin. Cependant, la teneur en proline enregistrée chez les graines traitées par les phytohormones est plus faible par rapport au témoin pour les deux types de stress appliqués.

En conclusion, les résultats de cette étude montrent qu'en conditions du stress abiotiques, l'apport exogène des hormones végétales (AG3, AS et IAA) a des effets bénéfiques sur la croissance et les paramètres physiologiques et biochimiques des jeunes plantules du blé dur.

## Perspectives

Compte tenu de l'importance de la culture du blé dur en Algérie surtout dans les régions arides et semi-arides et des résultats satisfaisants obtenus dans notre expérimentation, il est souhaitable d'approfondir cette recherche concernant :

- L'analyse et la quantification des phytohormones dans les différentes parties de la plante.
  - Il est préférable de refaire les expériences pour la viabilité des résultats.
  - L'utilisation d'autres concentrations et d'autres types d'hormones végétales ;
- Aussi il est souhaitable de :
- Tester plusieurs génotypes et plusieurs espèces.
  - Etudier la variabilité et de la transmission des caractères de tolérance de génotype à un autre.
  - Identifier les gènes impliqués dans la synthèse des phytohormones et dans la tolérance à la sécheresse et à la salinité par le biais de la génétique moléculaire.

## **Abréviations :**

ABA : Acide abscissique

AG3 : Acide gibbérellique.

AGs : Gibbérellines.

AS : Acide salicylique.

CRE : contenant relatif en eau.

°C: Degree Celsius.

Cm : centimètre

IAA : Acide indole-3-acétique

g.l-1 : gramme par litre.

mM.l-1 : Milli mole par litre.

MS : matière sèche

NaCl : Chlorure de Sodium

PEG : polyéthylène glycol.

Tm : Temps moyen de germination.

TME : Teneur Moyenne en Eau.

PF : Poids Frais.

PS : Poids Sec.

PR : partie racinaire.

PF : partie foliaire.

μM.l-1 : micro mole par litre.

% : pourcentage.

## I. Analyse statistiques Stress hydrique :

**Tableau de l'ANOVA pour CHL A par F2 :**

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	144,881	6	24,1468	24,63	0,0000
Intra-groupes	13,7249	14	0,98035		
Total (Corr.)	158,606	20			

### Tests des étendues multiples pour CHL A par F2 :

Méthode : 95,0 % LSD

<i>F2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T0	3	2,4074	X
T1	3	5,11489	X
T6	3	5,62335	XX
T5	3	6,89564	X
T2	3	8,63215	X
T4	3	9,87005	X
T3	3	10,2931	X

**Tableau de l'ANOVA pour CHL B par F2 :**

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	16,3455	6	2,72426	26,23	0,0000
Intra-groupes	1,45432	14	0,10388		
Total (Corr.)	17,7999	20			

**Tests des étendues multiples pour CHL B par F2 :**

Méthode : 95,0 % LSD

<i>F2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T0	3	0,89749	X
T1	3	1,74046	X
T5	3	2,12583	X
T6	3	2,22081	X
T2	3	3,11598	X
T4	3	3,42285	X
T3	3	3,44592	X

**Tableau de l'ANOVA pour CHL C par F2 :**

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	7,24016	6	1,20669	9,05	0,0004
Intra-groupes	1,86692	14	0,133351		
Total (Corr.)	9,10708	20			

**Tests des étendues multiples pour CHL C par F2 :**

Méthode : 95,0 % LSD

<i>F2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T0	3	1,16398	X
T1	3	1,52528	XX
T5	3	1,62092	XX
T6	3	2,12374	XX
T2	3	2,3716	XX
T3	3	2,77508	X
T4	3	2,78097	X

**Tableau de l'ANOVA pour PRO par F2 :**

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	0,00784458	6	0,00130743	19,44	0,0000
Intra-groupes	0,00094144	14	0,000067245		
Total (Corr.)	0,00878602	20			

**Tests des étendues multiples pour PRO par F2 :**

Méthode : 95,0 % LSD

<i>F2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T3	3	0,03875	X
T4	3	0,04526	X
T5	3	0,046293 3	X
T1	3	0,07595	X
T0	3	0,079853 3	X
T6	3	0,081013 3	X
T2	3	0,08928	X

**Tableau de l'ANOVA pour CRE par F2 :**

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	340,498	6	56,7497	2,41	0,0819
Intra-groupes	329,329	14	23,5235		
Total (Corr.)	669,827	20			

**Tests des étendues multiples pour CRE par F2**

Méthode : 95,0 % LSD

<i>F2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T0	3	57,3355	X
T3	3	61,9511	XX
T1	3	62,6659	XX
T4	3	66,7189	X
T5	3	67,3984	X
T6	3	67,911	X
T2	3	69,8003	X

**Tableau de l'ANOVA pour EL% par F2 :**

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	1948,17	6	324,696	5,16	0,0054
Intra-groupes	881,337	14	62,9527		
Total (Corr.)	2829,51	20			

**Tests des étendues multiples pour EL% par F2**

Méthode : 95,0 % LSD

<i>F2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T1	3	50,1587	X
T4	3	53,75	X
T2	3	59,4044	XX
T5	3	61,8182	XXX
T3	3	70,2797	XXX
T6	3	74,6154	XX
T0	3	77,2222	X

**Tableau de l'ANOVA pour PPR par F2 :**

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	10738,4	6	1789,73	9,84	0,0000
Intra-groupes	7636,35	42	181,818		
Total (Corr.)	18374,7	48			

**Tests des étendues multiples pour PPR par F2 :**

Méthode : 95,0 % LSD

<i>F2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T2	7	90,1667	X
T0	7	92,1	X
T3	7	92,5	X
T5	7	103,75	XX
T4	7	117,75	XX
T1	7	125,0	X
T6	7	126,2	X

**Tableau de l'ANOVA pour PPF par F2 :**

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	1285,12	6	214,187	6,69	0,0001
Intra-groupes	1344,14	42	32,0034		
Total (Corr.)	2629,26	48			

**Tests des étendues multiples pour PPF par F2 :**

Méthode : 95,0 % LSD

<i>F2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T0	7	62,275	X
T5	7	63,4	XX
T6	7	63,8329	XX
T2	7	65,0	XX
T3	7	65,2	XX
T4	7	68,4	X
T1	7	78,4	X

**Tableau de l'ANOVA pour PG par F2 :**

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	3752,38	6	625,397	7,04	0,0003
Intra-groupes	1866,49	21	88,8804		
Total (Corr.)	5618,87	27			

**Tests des étendues multiples pour PG par F2 :**

Méthode : 95,0 % LSD

<i>F2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T0	4	41,6667	X
T2	4	55,0	XX
T4	4	63,3333	XX
T5	4	68,3333	XX
T3	4	68,3333	XX
T6	4	76,6667	X
T1	4	76,6667	X

**Tableau de l'ANOVA pour G% par F2 :**

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	367,549	6	61,2581	2,36	0,0668
Intra-groupes	544,444	21	25,9259		
Total (Corr.)	911,993	27			

**Tests des étendues multiples pour G% par F2 :**

Méthode : 95,0 % LSD

<i>F2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T1	4	86,6667	X
T2	4	88,8889	XX
T0	4	91,1111	XXX
T4	4	91,6667	XXX
T3	4	91,6667	XXX
T6	4	95,5556	XX
T5	4	98,3333	X

**Tableau de l'ANOVA pour RG par F2 :**

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	0,130494	6	0,0217489	2,17	0,0875
Intra-groupes	0,210519	21	0,0100247		
Total (Corr.)	0,341013	27			

**Tests des étendues multiples pour RG par F2 :**

Méthode : 95,0 % LSD

<i>F2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T1	4	3,73579	X
T6	4	3,75937	X
T3	4	3,82244	XX
T0	4	3,86223	XX
T5	4	3,86589	XX
T2	4	3,91958	X
T4	4	3,92647	X

**Tableau de l'ANOVA pour LPR par F2 :**

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	17,0671	6	2,84451	8,68	0,0001
Intra-groupes	6,88282	21	0,327754		
Total (Corr.)	23,9499	27			

**Tests des étendues multiples pour LPR par F2 :**

Méthode : 95,0 % LSD

<i>F2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T6	4	5,31575	X
T0	4	5,92214	XX
T2	4	6,13871	XX
T3	4	6,47036	X
T5	4	6,6124	X
T1	4	7,5109	X
T4	4	7,66928	X

**Tableau de l'ANOVA pour LPF par F2 :**

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	5,88968	6	0,981614	12,88	0,0000
Intra-groupes	1,60045	21	0,0762117		
Total (Corr.)	7,49013	27			

**Tests des étendues multiples pour LPF par F2 :**

Méthode : 95,0 % LSD

<i>F2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T6	4	4,71701	X
T0	4	5,23501	X
T2	4	5,4514	XX
T5	4	5,54125	XX
T3	4	5,80388	XX
T4	4	6,06458	X
T1	4	6,1345	X

**Tableau de l'ANOVA pour PSR par F2 :**

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	201,403	6	33,5672	4,08	0,0072
Intra-groupes	172,673	21	8,22254		
Total (Corr.)	374,077	27			

**Tests des étendues multiples pour PSR par F2 :**

Méthode : 95,0 % LSD

<i>F2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T3	4	23,85	X
T0	4	24,7667	XX
T2	4	27,275	XX
T6	4	27,975	XX
T1	4	28,7	XX
T4	4	28,7	XX
T5	4	32,6667	X

**Tableau de l'ANOVA pour PSF par F2 :**

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	19,7573	6	3,29289	2,58	0,0495
Intra-groupes	26,7967	21	1,27603		
Total (Corr.)	46,554	27			

**Tests des étendues multiples pour PSF par F2 :**

Méthode : 95,0 % LSD

<i>F2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T5	4	9,8325	X
T6	4	9,9	X
T3	4	10,6325	XX
T0	4	11,4333	XX
T4	4	11,65	X
T2	4	11,75	X
T1	4	12,0325	X

**Tableau de l'ANOVA pour RAPP-PF/PR par F2 :**

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	0,0395793	6	0,00659654	2,29	0,0743
Intra-groupes	0,0605924	21	0,00288535		
Total (Corr.)	0,100172	27			

**Tests des étendues multiples pour RAPP-PF/PR par F2 :**

Méthode : 95,0 % LSD

<i>F2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T4	4	0,795095	X
T1	4	0,819991	XX
T5	4	0,844495	XX
T0	4	0,884839	X
T6	4	0,888515	X
T2	4	0,890422	X
T3	4	0,898548	X

**Tableau de l'ANOVA pour TMS PR par F2 :**

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	723,586	6	120,598	12,13	0,0000
Intra-groupes	208,766	21	9,94124		
Total (Corr.)	932,353	27			

**Tests des étendues multiples pour TMS PR par F2 :**

Méthode : 95,0 % LSD

<i>F2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T0	4	18,7973	X
T1	4	22,2176	XX
T2	4	24,0279	XX
T6	4	27,7511	XX
T3	4	29,3135	X
T4	4	31,8403	XX
T5	4	34,2563	X

**Tableau de l'ANOVA pour TMS PF par F2 :**

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	44,1282	6	7,3547	10,73	0,0000
Intra-groupes	14,3924	21	0,685353		
Total (Corr.)	58,5206	27			

**Tests des étendues multiples pour TMS PF par F2 :**

Méthode : 95,0 % LSD

<i>F2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T6	4	13,7312	X
T0	4	14,5254	X
T1	4	15,8445	X
T5	4	16,1737	XX
T2	4	16,8726	XX
T3	4	17,0699	X
T4	4	17,3336	X

## II. Analyse statistiques Stress salin :

**Tableau de l'ANOVA pour CHL A par F2 :**

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	3,5606	6	0,593433	5,77	0,0033
Intra-groupes	1,43988	14	0,102848		
Total (Corr.)	5,00047	20			

**Tests des étendues multiples pour CHL A par F2 :**

Méthode : 95,0 % LSD

<i>F2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T6	3	0,25176	X
T3	3	0,39242	X
T0	3	0,44148	X
T1	3	0,63412	XX
T2	3	1,0475	XX
T4	3	1,11138	XX
T5	3	1,44558	X

**Tableau de l'ANOVA pour CHL B par F2 :**

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	1,47827	6	0,246379	10,16	0,0002
Intra-groupes	0,339558	14	0,0242541		
Total (Corr.)	1,81783	20			

**Tests des étendues multiples pour CHL B par F2 :**

Méthode : 95,0 % LSD

<i>F2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T3	3	0,034885	X
T6	3	0,071775	XX
T0	3	0,146677	XX
T1	3	0,19943	XX
T2	3	0,335875	X
T5	3	0,623295	X
T4	3	0,781885	X

**Tableau de l'ANOVA pour CHL C par F2 :**

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	0,28216	6	0,0470267	34,66	0,0000
Intra-groupes	0,0189926	14	0,00135661		
Total (Corr.)	0,301153	20			

**Tests des étendues multiples pour CHL C par F2 :**

Méthode : 95,0 % LSD

<i>F2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T6	3	0,090495	X
		5	
T3	3	0,137507	X
T4	3	0,213464	X
T0	3	0,238979	X
T1	3	0,304688	X
T2	3	0,350204	X
T5	3	0,454187	X

**Tableau de l'ANOVA pour PRO par F2 :**

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	0,535718	6	0,0892863	22,72	0,0000
Intra-groupes	0,0550275	14	0,00393054		
Total (Corr.)	0,590745	20			

**Tests des étendues multiples pour PRO par F2 :**

Méthode : 95,0 % LSD

<i>F2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T1	3	0,05766	X
T2	3	0,11966	X
T4	3	0,16368	XX
T5	3	0,24149	XX
T6	3	0,29481	XX
T3	3	0,38874	X
T0	3	0,560893	X

**Tableau de l'ANOVA pour CRE par F2 :**

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	2193,65	6	365,609	22,24	0,0000
Intra-groupes	230,125	14	16,4375		
Total (Corr.)	2423,78	20			

**Tests des étendues multiples pour CRE par F2 :**

Méthode : 95,0 % LSD

<i>F2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T0	3	50,7226	X
T1	3	53,1602	XX
T4	3	57,3989	XXX
T6	3	57,5246	XXX
T5	3	59,2303	XX
T2	3	61,7945	X
T3	3	84,1648	X

**Tableau de l'ANOVA pour EL% par F2 :**

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	1418,05	6	236,342	10,80	0,0001
Intra-groupes	306,38	14	21,8843		
Total (Corr.)	1724,43	20			

**Tests des étendues multiples pour EL% par F2 :**

Méthode : 95,0 % LSD

<i>F2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T1	3	47,0862	X
T5	3	51,9444	XX
T4	3	59,855	XX
T6	3	60,3247	X
T3	3	62,9167	X
T0	3	67,3606	XX
T2	3	73,3941	X

**Tableau de l'ANOVA pour PG par F2 :**

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	2282,54	6	380,423	3,07	0,0256
Intra-groupes	2600,0	21	123,81		
Total (Corr.)	4882,54	27			

**Tests des étendues multiples pour PG par F2 :**

Méthode : 95,0 % LSD

<i>F2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T4	4	0	X
T0	4	1,66667	X
T6	4	11,6667	XX
T5	4	15,0	XXX
T3	4	15,0	XXX
T2	4	18,3333	XX
T1	4	28,3333	X

**Tableau de l'ANOVA pour G% par F2 :**

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	978,836	6	163,139	22,56	0,0000
Intra-groupes	151,852	21	7,23104		
Total (Corr.)	1130,69	27			

**Tests des étendues multiples pour G% par F2 :**

Méthode : 95,0 % LSD

<i>F2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T4	4	82,2222	X
T3	4	88,8889	X
T2	4	91,1111	XX
T1	4	95,0	XX
T6	4	95,5556	X
T5	4	100,0	X
T0	4	100,0	X

**Tableau de l'ANOVA pour RG par F2 :**

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	0,0939326	6	0,0156554	2,16	0,0884
Intra-groupes	0,152042	21	0,00724009		
Total (Corr.)	0,245974	27			

**Tests des étendues multiples pour RG par F2 :**

Méthode : 95,0 % LSD

<i>F2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T1	4	3,75035	X
T3	4	3,7537	X
T2	4	3,75984	XX
T6	4	3,8028	XX
T5	4	3,87113	XX
T4	4	3,88212	X
T0	4	3,88355	X

**Tableau de l'ANOVA pour LPR par F2 :**

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	51,1258	6	8,52097	12,32	0,0000
Intra-groupes	14,5256	21	0,691695		
Total (Corr.)	65,6514	27			

**Tests des étendues multiples pour LPR par F2 :**

Méthode : 95,0 % LSD

<i>F2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T4	4	2,43322	X
T3	4	2,81667	X
T0	4	3,2657	X
T5	4	5,22815	X
T6	4	5,36826	X
T2	4	5,63265	X
T1	4	5,80908	X

**Tableau de l'ANOVA pour LPF par F2 :**

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	55,8474	6	9,3079	18,80	0,0000
Intra-groupes	10,3991	21	0,495194		
Total (Corr.)	66,2465	27			

**Tests des étendues multiples pour LPF par F2 :**

Méthode : 95,0 % LSD

<i>F2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T0	4	2,00586	X
T4	4	2,28562	X
T3	4	2,87386	X
T1	4	4,18947	X
T2	4	4,84843	XX
T6	4	5,34741	X
T5	4	5,8071	X

**Tableau de l'ANOVA pour PSR par F2 :**

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	219,699	6	36,6165	41,43	0,0000
Intra-groupes	18,5583	21	0,88373		
Total (Corr.)	238,257	27			

**Tests des étendues multiples pour PSR par F2 :**

Méthode : 95,0 % LSD

<i>F2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T0	4	5,35	X
T4	4	6,9	X
T3	4	6,9	X
T1	4	10,6	X
T2	4	11,2667	XX
T6	4	12,3	XX
T5	4	12,9667	X

**Tableau de l'ANOVA pour PSF par F2 :**

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	909,839	6	151,64	23,27	0,0000
Intra-groupes	136,867	21	6,51746		
Total (Corr.)	1046,71	27			

**Tests des étendues multiples pour PSF par F2 :**

Méthode : 95,0 % LSD

<i>F2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T5	4	23,3667	X
T2	4	24,1	XX
T0	4	26,7	XXX
T3	4	27,7	XXX
T1	4	29,7333	XX
T6	4	30,4667	X
T4	4	41,7333	X

**Tableau de l'ANOVA pour RAPP-PF/PR par F2 :**

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	0,775305	6	0,129218	6,84	0,0004
Intra-groupes	0,396778	21	0,0188942		
Total (Corr.)	1,17208	27			

**Tests des étendues multiples pour RAPP-PF/PR par F2 :**

Méthode : 95,0 % LSD

<i>F2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T0	4	0,63661	X
T2	4	0,910911	X
T4	4	0,941048	XX
T1	4	0,951948	XX
T6	4	1,00856	XXX
T5	4	1,12606	XX
T3	4	1,19852	X

**Tableau de l'ANOVA pour TMS PR par F2 :**

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	109,274	6	18,2123	20,78	0,0000
Intra-groupes	18,4074	21	0,876544		
Total (Corr.)	127,681	27			

**Tests des étendues multiples pour TMS PR par F2 :**

Méthode : 95,0 % LSD

<i>F2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T4	4	5,98658	X
T0	4	6,68812	XX
T1	4	7,90257	XX
T3	4	8,10515	X
T6	4	9,93354	X
T2	4	10,224	X
T5	4	12,0278	X

**Tableau de l'ANOVA pour TMS PF par F2 :**

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	9355,89	6	1559,32	76,42	0,0000
Intra-groupes	428,508	21	20,4051		
Total (Corr.)	9784,4	27			

**Tests des étendues multiples pour TMS PF par F2 :**

Méthode : 95,0 % LSD

<i>F2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T5	4	27,7505	X
T2	4	34,8508	X
T6	4	44,5164	X
T1	4	45,8413	X
T3	4	53,3918	X
T0	4	59,115	X
T4	4	88,4007	X

**Tableau de l'ANOVA pour PPR par F2 :**

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	17046,1	6	2841,02	11,24	0,0000
Intra-groupes	10615,6	42	252,753		
Total (Corr.)	27661,7	48			

**Tests des étendues multiples pour PPR par F2**

Méthode : 95,0 % LSD

<i>F2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T0	7	85,8	X
T3	7	106,429	X
T4	7	114,25	X
T5	7	114,8	X
T2	7	121,714	XX
T6	7	132,667	XX
T1	7	149,8	X

**Tableau de l'ANOVA pour PPF par F2 :**

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	10969,0	6	1828,17	31,27	0,0000
Intra-groupes	2455,65	42	58,4679		
Total (Corr.)	13424,7	48			

**Tests des étendues multiples pour PPF par F2 :**

Méthode : 95,0 % LSD

<i>F2</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T4	7	44,25	X
T0	7	44,3329	X
T3	7	50,2	X
T2	7	66,5	X
T1	7	67,4	X
T6	7	73,1667	X
T5	7	87,0329	X

*Synthèse*

*Bibliographique.*

*Partie*  
*Expérimentale.*

*Résultats*

*&*

*DISCUSSION.*

*CONCLUSION.*

# *INTRODUCTION.*

*ANNEX.*

*RÉFÉRENCES*

*BIBLIOGRAPHIQUE.*