

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique**  
**Université Saad Dahleb - Blida 1**  
**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie**  
**Département de Biotechnologie et Agro-écologie**



**En vue d'obtenir de diplôme de Master Option**  
**Biotechnologie végétale**

**Thème :**

**Effet de l'application des phytohormones exogènes sur la  
germination et la croissance du blé dur (*Triticum durum*  
*desf.*) en condition de stress salin.**

Réalisé par

**BENACHOUR Soumia**  
**YAKOUT Sabrina**  
**BAHRIA Abdelmalek**

Jury:

<b>CHAOUIA C.</b>	<b>Professeur</b>	<b>Présidente</b>	<b>Univ. BLIDA 1</b>
<b>HAMIDI Y.</b>	<b>MCB</b>	<b>Promoteur</b>	<b>Univ. BLIDA 1</b>
<b>ABBAD M.</b>	<b>MCA</b>	<b>Examineur</b>	<b>Univ. BLIDA 1</b>

**2021/2022**

## *Remerciements*

*Tout d'abord nous tenons remercier Dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé, la volonté et la patience de pouvoir réaliser ce travail.*

*A notre promoteur **MR Y.HAMIDI***

*Vous nous avez accordé un grand honneur en nous*

*Confiant cet excellent sujet de travail, nous espérons être à la hauteur*

*Nous la remercions pour ton aide, la confiance et ta patience*

*Vous nous avez toujours réservé le meilleur accueil malgré vos sollicitudes, votre disponibilité et vos précieuses directives*

*Nous gardons les meilleurs souvenirs de votre enseignement brillant et votre compétence.*

*Nos vifs remerciements pour les membres du jury à commencer par **Pr C.CHAOUIA** qui nous a fait l'honneur de présider notre jury.*

*Nous présentons nos profonds respects et nos reconnaissances à professeur c.chaouia de nous*

*avoir accordé du temps et de la patience pour évaluer notre travail.*

***MR M.ABBAD** maître de conférence(B) d'avoir accepté de juger ce travail en qualité d'examinateur. C'est avec sincérité que nous exprimons notre gratitude et notre profond respect.*

*Dédicaces*

*À mes très chers parents, ils ont toujours été à mes côtés, pour me protéger, me soutenir, m'encourager. Vos bénédictions ont été pour moi le meilleur soutien durant ce long parcours.*

*Aucun mot ne saurait exprimer ma reconnaissance et ma gratitude à votre égard*

*À ma chère grande Sœur et la seule qui ne cessait de me soutenir moralement, elle m'a beaucoup aidé dans mon parcours universitaire*

*Sans oublier ma petite nièce, qui est ma plus chère, a une place spéciale dans ma cœur*

*Tout ma famille en générale*

*Mes chers trinôme Sabrina et Abdelmalek et leurs familles*

*Tous les amis de faculté SNV avec lesquels j'ai passé cinq années inoubliables*

***Soumia***

*Je dédie ce travail a.....*

*Ma très chère mère Taleb Zahia pour tout son amour et son dévouement, et Mon  
chère père*

*maamar qui a toujours été la pour moi et qui m'a donné un magnifique modèle  
de persévérance et leurs sacrifices et leurs clairvoyance qui m'a servi et me  
servirait tout au long de ma vie.*

*A mon cher fils Mohamed Amir mon amour et la prunelle de mes yeux que dieux  
le protège inchallah et mon mari Abid Rabeh mon partenaire de vie pour leur  
soutien moral et leurs sacrifices*

*Tout au long de ma formation et ma Belle famille Abid*

*Mes chers frères Merouane, Samir, Mohamed, Farid, Walid*

*Et les femmes de mes frères Mes adorables sœurs Hanane, Ahlem Pour leurs  
appuis et leurs encouragements*

*A mes neveux et mes nièces surtout ma chère Aya Asbar a l'occasion de sa  
réussite au BEM2022*

*Et mes enseignants respectivement*

*Sans oublier mes collègues Benachour soumia et Bahria abdelmalek*

*Tous mes amis et mes collègues de ma promotion de Master (2021/2022)*

***Sabrina***

*Tout d'abord, je remercie Dieu pour la réussite de mon parcours universitaire,*

*Avec un grand plaisir ...je dédie ce mémoire*

*A mes chers parents, KHAIRA ET ABDELKADER pour tous leurs sacrifices,*

*leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes*

*études,*

*A mes chers frères et mes chères sœurs KHALED ET MOHAMED AMINA ET  
SOUAD pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,*

*Je remercie A tous les amis religieux qui sont entrés dans ma vie et m'ont*

*soutenu comme Ayoub , Riadh , Chamso , Nadhir , Abo Baker , Meriam*

*, Jasmine et Romaiissa et .....*

*Et bien sure a mes chers profs MR HAMIDI YUCEF ET MR ABBAD*

*Qui a rendu cette mémoire possible a réaliser et a accompli*

*Je remercie Mr. Walid responsable du laboratoire pour son aide et ses conseils*

*et sa bienvenue sympathique lors des jours de stage.*

*Et en fin que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le*

*fuit de votre soutien infallible,*

*Merci d'être toujours là pour moi.*

***Abdelmalek***

## **Résumé :**

Le blé dur est considéré comme une culture stratégique en Algérie. Toutefois, la germination et la croissance de cette culture sont limitées par différents stress environnementaux nocifs comme le stress salin.

Par conséquent, les chercheurs ont utilisé des phytohormones exogènes comme solution pour diminuer l'effet négatif de la salinité. Le présent travail traite l'impact de trois régulateurs de croissances exogènes (acide gibbérellique, acide salicylique et acide ascorbique) appliqués en deux méthodes (méthode 1 : Priming, méthode 2 : Application direct des traitements), sur des graines de blé dur testées dans des conditions du stress salin causé par 100 mM de NaCl.

Pour les deux méthodes testées, les résultats obtenus montrent que le prétraitement des graines par les phytohormones exogènes AG3, AAs et AS, a amélioré significativement la précocité, le taux final de la germination des graines ainsi que la biomasse fraîche et sèche des jeunes plants.

D'autre part l'analyse des paramètres biochimiques montre que le prétraitement des graines du blé dur augmente la teneur en pigments chlorophylliennes par rapport au témoin, et le pourcentage de la fuite d'électrolyte de tous les traitements diminue par rapport aux plants issus des graines non traitées (Témoin).

L'étude a montré que les phytohormones utilisées ont un effet significatif sur la teneur relative en eau chez les plantes issues des graines prétraitées par la solution hormonale dans les deux méthodes en condition de stress salin.

**Mots Clés :** Blé dur, stress salin, phytohormones exogènes, prétraitement.

## **Abstract :**

Durum wheat is considered a strategic crop in Algeria. However, the germination and growth of this crop are limited by different stresses harmful environmental factors such as salt stress.

Therefore, researchers used exogenous phytohormones like solution to decrease the negative effect of salinity. This work deals with the impact of three exogenous growth regulators (gibberellic acid, salicylic acid and acid ascorbic acid) applied in two methods (Method 1: Priming, Method 2: Direct Application treatments), on durum wheat seeds tested under conditions of salt stress caused by 100 mM NaCl. For the two methods tested, the results obtained show that the pre-treatment of the seeds by the exogenous phytohormones AG3, AAs and AS, significantly improved the precocity, the final rate of seed germination as well as the fresh and dry biomass of young plants.

On the other hand, the analysis of the biochemical parameters shows that the pre-treatment of durum wheat seeds increases the content of chlorophyll pigments compared to the control, and the percentage of electrolyte leakage from all the treatments decreases compared to the plants from the untreated seeds (Control).

The study showed that the phytohormones used have a significant effect on the relative water content in plants grown from seeds pretreated with the hormonal solution in both methods under salt stress conditions.

**Keywords:** Durum wheat, salt stress, exogenous phytohormones, pre-treatment.

## ملخص:

يعتبر القمح الصلب محصولاً استراتيجياً في الجزائر. ومع ذلك ، فإن إنبات ونمو هذا المحصول محدود بسبب الضغوط البيئية الضارة المختلفة مثل الإجهاد الملحي.

لذلك ، استخدم الباحثون الهرمونات النباتية الخارجية كمحلول لتقليل التأثير السلبي للملوحة. يتناول هذا العمل تأثير ثلاثة منظمات نمو خارجية (حمض الجبريليك وحمض الساليسيليك وحمض الأسكوربيك) مطبقة بطريقتين (الطريقة 1: التهيئة ، الطريقة 2: التطبيق المباشر للمعالجات) ، على بذور القمح الصلب المختبرة تحت ظروف إجهاد الملح الناتجة عن 100 ملي مول كلوريد الصوديوم.

بالنسبة للطريقتين المختبرتين ، أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن المعالجة المسبقة للبذور بالهرمونات النباتية الخارجية AG3 و AAs و AS ، حسنت بشكل كبير السرعة والمعدل النهائي لإنبات البذور وكذلك الكتلة الحيوية الطازجة والجافة للنباتات الصغيرة.

من ناحية أخرى ، أظهر تحليل المعلومات البيوكيميائية أن المعالجة المسبقة لبذور القمح تزيد من محتوى أصباغ الكلوروفيل مقارنة بالتحكم ، ونقل نسبة تسرب المنحل بالكهرباء من جميع المعاملات مقارنة بالنباتات من البذور غير المعالجة. (مراقبة).

أظهرت الدراسة أن الهرمونات النباتية المستخدمة لها تأثير معنوي على المحتوى المائي النسبي في النباتات المزروعة من البذور المعالجة بالمحلول الهرموني في كلتا الطريقتين تحت ظروف الإجهاد الملحي.

**الكلمات المفتاحية:** القمح الصلب ، الإجهاد الملحي ، الهرمونات النباتية الخارجية ، المعالجة المسبقة.



# Tables de matière

Introduction générale	1
<b>Partie I : Synthèse bibliographique</b>	
<b>I. Introduction</b>	<b>3</b>
1. Description	3
2. Origine blé dur	4
2.1. Origine génétique	4
2.2. Origine géographique	4
3. Caractéristiques morphologiques de la plante	5
3.1. Le grain	5
3.2. L'appareil végétatif	5
3.3. L'appareil reproducteur	6
4. Classification botanique	7
5. Structure et composition chimique du grain du blé dur	7
5.1. Structure du grain	7
5.2. Composition chimique et histologique	9
5.3. Composition Histologique	9
6. Cycle de développement de la plante	10
6.1 Période végétative	10
6.2 Période reproductrice	11
6.3 Période maturation	11
7. La production du blé dur	12
7.1. Dans le monde	12
7.2. En Algérie	13
<b>II-Stress salin</b>	
1. La salinité	14
1.1. Définition	14
1.2. Type de salinité	14
1.2.1. Salinisation primaire	14
1.2.2. Salinisation secondaire	14

<b>1.3. La salinité dans le monde et en Algérie</b>	15
<b>1.3.1. La salinité dans le monde</b>	15
<b>1.3.2. La salinité en Algérie</b>	16
<b>2. Notions de Stress</b>	16
<b>2.1. Définition</b>	17
<b>2.2. Catégories de stress et conséquences</b>	17
<b>2.2.1. Stress biotique</b>	17
<b>2.2.2. Stress abiotique</b>	17
<b>3. Type de stress</b>	17
<b>3.1. Les stress hydriques</b>	17
<b>3.2. Les stress thermiques</b>	17
<b>4. Stress salin</b>	17
<b>4.1. Définition</b>	17
<b>4.2. Régulation ionique et compartimentation</b>	18
<b>4.3. Effets du stress salin sur la plante</b>	18
<b>4.4. Effet sur la germination</b>	18
<b>4.5. Effet sur la croissance et le développement</b>	19
<b>4.6. Effet du stress salin sur le rendement</b>	19
<b>4.7. Effet sur la morphologie de la plante</b>	19
<b>4.8. Effet sur la physiologie de la plante</b>	20
<b>5. Mécanisme de résistance des plantes au stress salin</b>	20
<b>5.1. L'exclusion</b>	
<b>5.2. L'inclusion</b>	21
<b>5.3. Ajustement osmotique</b>	21
<b>5.4. Régulateur de la croissance</b>	21
<b>III- Les phytohormones et prétraitement</b>	
<b>A. phytohormone</b>	24
<b>1. Définition phytohormones</b>	24
<b>2. Détermination du rôle des hormones</b>	24
<b>3. Différents types d'hormones végétales</b>	25

3.1. Gibbérellines	25
3.1.1 Définition	25
3.1.2. Gibbérellines dans la plante-Répartition -Transport	25
3.1.3. Effets physiologiques	26
3.1.4. Effets des gibbérellines sur la germination	26
3.2. Auxine	27
3.2.2. Rôles de l'auxine et applications	27
3.3. Cytokinines	28
3.4 Acide salicylique	28
3.4.2. Rôle de l'acide salicylique	28
3.4.3 Mode d'action	29
3.5. D'autres phytohormones	29
3.5.1. L'Éthylène	29
3.5.2. L'acide abscissique	29
4.1. Effet des phytohormones sur la plante en condition de stress salin	30
4.1.1. Effet des auxines sur la tolérance au sel	30
4.1.2. Effet de l'acide gibbérellique sur la tolérance au stress salin	30
4.1.3. Effet de l'acide salicylique sur la tolérance au stress salin	30
5. Hormones et rendements agricoles	31
B. Prétraitement des graines et germination	31

## **Partie II : Partie Expérimentale**

1. Objectif de l'étude	33
2. Matériel végétale	33
3. Discription des différents traitements testés	34
3.1. Préparation des différents traitements	34
4. Préparation de la solution Saline	35
5. Préparation des graines pour les tests de germination.	35
5.1. Désinfection des graines.	35
5.2. Application des traitements	35

<b>5.3. Application du stress.</b>	37
<b>5.4. Germination et croissance</b>	38
<b>6. Paramètre étudiés :</b>	40
1.La précocité de germination.	40
2.Pourcentage de germination (G%).	40
3.Biomasse fraîche produite.	40
4.Biomasse sèche produite.	40
5.Taux de la matière sèche.	40
6.Fuite d'électrolyte.	40
7.Teneur relative en eau.	41
8.Dosage de la teneur des feuilles en chlorophylle.	41
9. Analyse des données	41

#### **V. Résultats et discussion.**

1.Le pourcentage de germination (G%).	43
2.La précocité de germination.	44
3. Taux de la matière sèche.	46
4. Teneur relative en eau.	48
5. Fuite d'électrolyte..	50
6. Biomasse fraîche produite.	51
7. Biomasse sèche produite.	53
8.Dosage de la teneur des feuilles en chlorophylle.	55

**CONCLUSION.**

**ANNEX.**



## Liste des tableaux

<b>Tableau n° :01</b>	Classification botanique de blé	<b>07</b>
<b>Tableau n° :02</b>	Composition chimique et histologique	<b>09</b>
<b>Tableau n° :03</b>	Distribution histologique des principaux constituants de grains du blé dur	<b>10</b>
<b>Tableau n° :04</b>	Consommation moyenne de blé en Algérie	<b>13</b>
<b>Tableau n° :05</b>	Caractéristiques morphologiques et culturales du blé dur ( <i>triticum durum Desf</i> ), variété Vitron	<b>33</b>
<b>Tableau n° :06</b>	Résistance du blé dur aux facteurs environnementaux et maladies.	<b>33</b>
<b>Tableau n° : 07</b>	Concentration d'hormone utilisée dans les différents traitements	<b>34</b>

## Liste des figures

<b>Figure n° : 01</b>	Origine du blé	<b>04</b>
<b>Figure n° : 02</b>	Carte de la diffusion de la culture du blé	<b>05</b>
<b>Figure n° : 03</b>	Organisation du système racinaire des céréales	<b>06</b>
<b>Figure n° : 04</b>	Epi de blé dur en floraison	<b>06</b>
<b>Figure n° : 05</b>	Morphologie du blé dur	<b>07</b>
<b>Figure n° :06</b>	Structure du grain	<b>08</b>
<b>Figure n° : 07</b>	Cycle de développement	<b>10</b>
<b>Figure n° :08</b>	Cycle de développement	<b>12</b>
<b>Figure n°:09</b>	Production mondiale de blé par pays	<b>13</b>
<b>Figure n°: 10</b>	Salinisation des sols dans des différentes région du monde	<b>15</b>
<b>Figure n°: 11</b>	Répartition des sols salins du Nord de l'Algérie	<b>16</b>
<b>Figure n°: 12</b>	Le blé dans la région Médéa (photo original)	
<b>Figure n°:12</b>	Désinfection des graines	<b>35</b>
<b>Figure n°:13</b>	Trempage des graines des différentes solutions hormonales	<b>36</b>
<b>Figure n°:14</b>	Séchage des graines dans une étuve ventilée	<b>36</b>
<b>Figure n°:15</b>	Disposition des graines dans des boite pétri	<b>37</b>
<b>Figure n°:16</b>	Application de stress salin sur les graines	<b>37</b>
<b>Figure n°:17</b>	Méthode 02 application les solutions hormonales sur les graines	<b>38</b>
<b>Figure n°:18</b>	Répartition tous les boites de pétri dans l'étuve	<b>38</b>
<b>Figure n°:19</b>	Disposition des graines dans les boites de Pétri	<b>38</b>
<b>Figure n°:20</b>	La germination des graines méthode 01	<b>39</b>
<b>Figure n°:21</b>	La germination des graines méthode 02	<b>39</b>
<b>Figure n°:22</b>	Les graines dans phytotron	<b>39</b>
<b>Figure n°:23</b>	Croissance des plantules	<b>40</b>

<b>Figure n°:24</b>	Extraction et séparation de chlorophylle	<b>42</b>
<b>Figure n°:26</b>	Le taux de germination du blé dur sous l'effet du NaCl	<b>43</b>
<b>Figure n°: 27</b>	Variation des interactions Méthodes × Traitement	<b>44</b>
<b>Figure n°:28</b>	Précocité de la germination des graines (%) du blé en présence des phytohormones exogènes sous l'effet de stress salin.	<b>44</b>
<b>Figure n°:29</b>	Variation des interactions Méthodes × Traitement pour la précocité de germination	<b>46</b>
<b>Figure n°:30</b>	Variations des taux de MS des plantules de blé en fonction des différents traitements hormonal pour les deux méthodes sous l'effet du stress salin.	<b>46</b>
<b>Figure n°:31</b>	Variation des interactions Méthodes × Traitement pour le taux de matière sèche	<b>47</b>
<b>Figure n°:32</b>	Teneur relative en eau dans les plantules de blé dur	<b>48</b>
<b>Figure n°:33</b>	Variation des interactions Méthodes × Traitement pour la teneur relative en eau	<b>49</b>
<b>Figure n°:34</b>	Pourcentages de fuit d'électrolyte en fonction de phytohormones exogènes en condition de stress salin.	<b>50</b>
<b>Figure n°:35</b>	Variation des interactions Méthodes × Traitement pour la fuit d'électrolyte	<b>51</b>
<b>Figure n°:36</b>	Variation de poids frais des jeunes plantules sous l'effet de stress salin.	<b>52</b>
<b>Figure n° :37</b>	Variation des interactions Méthodes × Traitement pour la biomasse fraîche	<b>53</b>
<b>Figure n°:38</b>	Variation du poids sec des jeunes plantules sous l'effet de stress salin.	<b>53</b>
<b>Figure n°:39</b>	Variation des interactions Méthodes × Traitement pour la biomasse sèche	<b>54</b>
<b>Figure n°:40</b>	Quantité des chlorophylles a dans des plantules de blé dur ug/g MF	<b>55</b>
<b>Figure n°:41</b>	Variation des interactions Méthodes × Traitement pour la teneur en chlorophylle (a)	<b>56</b>
<b>Figure n°:42</b>	Quantité de chlorophylle (b) dans les plantules de blé dur (ug/g de MF)	<b>57</b>
<b>Figure n°:43</b>	Variation des interactions Méthodes × Traitement pour la teneur en chlorophylle (b)	<b>58</b>



### Introduction

Les céréales sont un groupe de plantes cultivées appartenant, botaniquement parlant, à la famille des *Poacées* dont les grains présentent par leur abondance et leur composition un intérêt majeur pour l'alimentation de l'homme et des animaux. Ils présentent un rôle social, économique et politique dans la plupart des pays dans le monde (**Ammar, 2015**).

La salinité compte parmi les stress abiotiques majeurs qui limitent la production végétale suite à la dégradation des terres dans plusieurs zones du globe terrestre (**Munns et Tester, 2008**). En moyenne, le monde perd 10 hectares de terres cultivables par minute, dont 3 hectares à cause de la salinisation (**Hasan et al., 2015**). 10 à 15% des surfaces irriguées (20 à 30 millions hectares) souffrent, à des degrés divers, de problèmes de salinisation comme indiqué par **Mermoud, (2006)**.

En région méditerranéenne, la salinité constitue une contrainte dans beaucoup de périmètres de grandes cultures où la qualité de l'eau joue un rôle majeur et où la recherche de plantes adaptées à des seuils élevés de salinité devient un impératif pour la production agricole **Benmahioul et al., (2009)**. L'Algérie, qui offre toutes les variantes du climat méditerranéen, n'échappe pas à ce phénomène, où la sécheresse, observée depuis longtemps a conduit manifestement au processus de salinisation des sols sur 3.2 millions hectares affectés **Benmahioul et al., (2009)**.

Le blé qui pousse dans les conditions où le sol est affecté par la salinité, est soumis à des perturbations d'ordre physiologiques et biochimiques (**Benmahioul et al., 2009**). L'amélioration génétique du blé dans les zones sèches reste basée sur la recherche d'une meilleure tolérance aux stress abiotiques, pour adopter la plante à la variabilité du milieu de production (**Amokrane, 2001**). La tolérance à la présence des sels tel que le chlorure de sodium (NaCl), est alors une qualité largement recherchée chez les végétaux d'intérêt agronomique afin d'élargir leur culture dans ces régions (**Alaoui et al., (2013)**).

Il y a des contraintes majeures pour la croissance et le développement des plantes de blé dur cultivées dans les zones arides et semi-arides. De ce fait, certaines stratégies telles que

l'application exogène pour quelque phytohormones 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 (**Ruiz-Lozano et al., 2012; Porcel et al., 2012; Foo et al., 2013; Miransari et al., 2014; Colebrook et al., 2014**). Les hormones végétales impliquées dans divers processus de croissance et de développement de la plante, tels que l'expansion des feuilles, l'élongation de la tige, l'augmentation du nombre et de la taille de la fleur. Plusieurs travaux ont confirmé l'importance des hormones végétales dans l'amélioration de la synergie et de la performance des cultures en conditions de salinité. Il y a eu des progrès remarquables dans le décryptage du système de signalisation des phytohormones et leurs interactions avec sous contrainte saline (**Yuan et al., 2011**).

Notre travail, consiste à déterminer l'effet de l'application exogène des régulateurs de croissance (AG, AS, AAs) à différentes concentration sur la germination des graines du blé dur, dans des conditions du stress salin NaCl.



## GENERALITE SUR LE BLE DUR

### I. Introduction :

Les céréales occupent à l'échelle mondiale une place primordiale dans le système agricole. Elles sont considérées comme les principales sources de la nutrition humaine et animale (**Slama et al, 2005**).

Les céréales sont les principales sources caloriques pour les différentes couches sociales de la population quel que soit leur niveau de vie. Elles assurent 60% de cet apport et 71% de l'apport protéique (**Padilla et Oberti, 2000 cités par Kellou, 2008**).

Le blé occupe la première place pour la production mondiale et la deuxième, après le riz, comme source de nourriture pour les populations humaines (**Bajji, 1999**). Le blé occupe une surface de 219 millions d'hectares produisant une récolte de 760 millions de tonnes (**FAO, 2022**), ce qui le rend la céréale la plus cultivée au monde.

En Algérie, les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. Cette caractéristique est perçue d'une manière claire à travers toutes les phases de la filière. 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 million d'ha. Les superficies annuellement récoltées représentent 63 % des emblavures. Elle apparaît donc comme une spéculation dominante (**Djermoun, 2009**).

### 1. Description du blé dur :

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 à 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**).

Les graines se différencient par la friabilité de l'amande, qui est plus importante pour le blé tendre et permet la transformation en farine, alors que le blé dur est plus apte à se transformer en semoules. (**Feillet, 2000**).

## 2. Origine du blé dur :

### 2-1 Origine génétique :

Le blé est une monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des *Poaceae* (ex. *Gramineae*). C'est une céréale dont le grain est un fruit sec indéhiscant, appelé caryopse, constitué d'une graine et de téguments (**Feillet, 2000**). Il existe plusieurs blés, dont deux ont une importance économique : le blé dur (*Triticum. Turgidum ssp. durum*) espèce tétraploïdes utilisée pour produire les semoules et les pâtes alimentaires, et le blé tendre (*Triticum aestivum L.*), espèce hexaploïdes utilisée pour la panification (**Samouelian et al., 2009**). Les espèces du genre *Triticum* se différencient par leur degré de ploïdie : blés diploïdes à génome AA, blés tétraploïdes AA et BB, blés hexaploïdes AA, BB et DD, ainsi que par leur nombre de chromosomes qui sont respectivement, 14, 28 et 42 chromosomes (**Feillet, 2000**).

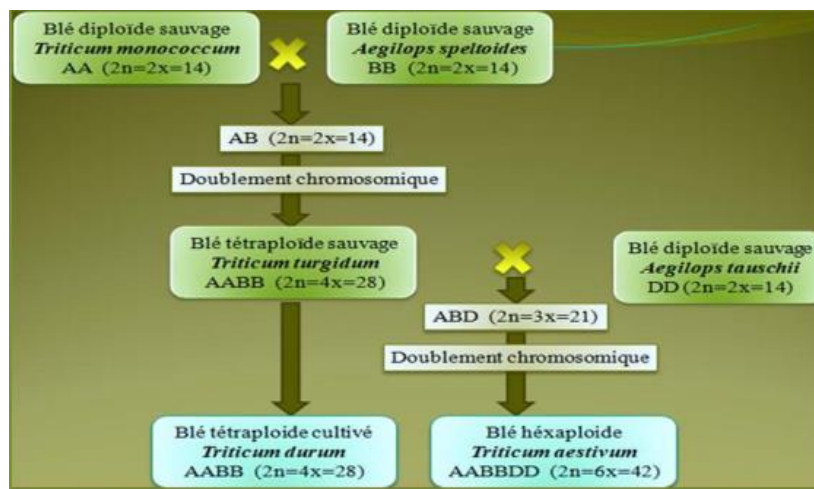


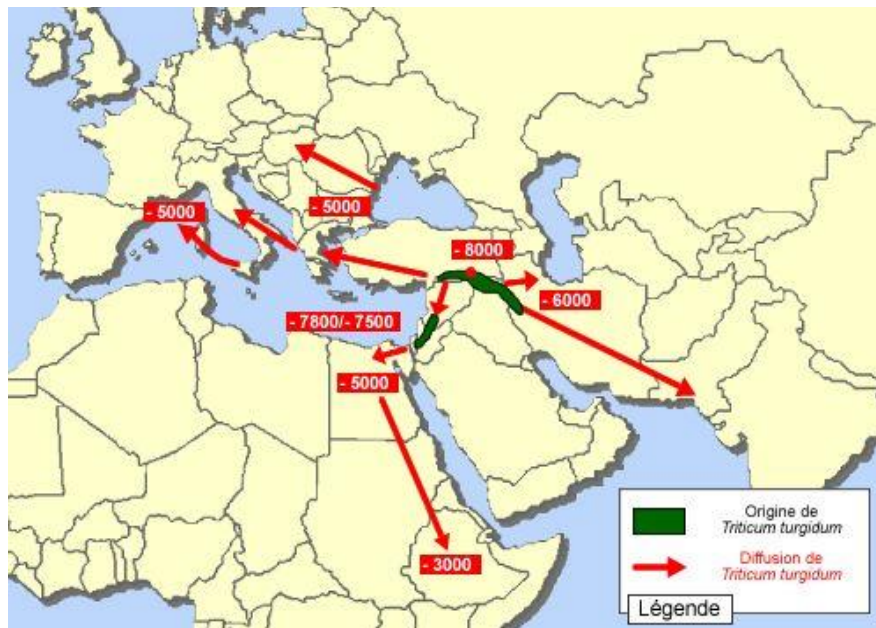
Figure n° 01 : Origine du blé (Samouelian et al., 2009)

### 2.2. Origine géographique :

L'origine du blé est difficile à déterminer en raison d'opinions de différentes taxonomies. Encore une fois, il y a des changements morpho physiologiques considérables, et seuls quelques taxons qui sont actuellement cultivés dans la même région où ils sont domestiqués (**Bonjean, 2001**).

La culture du blé s'est diffusée vers le Nord-Ouest par les plaines côtières du bassin méditerranéen et arrivée jusqu'au Balkans (URSS) puis en suivant la vallée du Danube (Allemagne) pour se fixer aussi dans la vallée du Rhin (France) entre 5000 et 6000 ans avant J.C. Les restes archéologiques montrent que le blé a atteint l'Ouest de l'Europe environ 5000 ans avant J.C. Dans le même temps, il est introduit en Asie et en Afrique. Son introduction en

Amérique, et plus encore en Australie, n'est que très récente. L'évolution du blé s'est donc produite dans de nombreux écosystèmes (**Figure 02**), de manière relativement indépendante jusqu'au XIX siècle (**Bonjean, 2001**).



**Figure n° 02** : Carte de la diffusion de la culture du blé (**Bonjean, 2001**).

### 3. Caractéristiques morphologiques de la plante :

#### 3.1. Le grain

Dans un grain de blé (caryopse) on distingue communément l'amande et les enveloppes qui protègent la graine. Il protège la première feuille et l'apex caulinaire. Il s'allonge davantage chez les plantes cultivées à l'obscurité. Par contre les premières feuilles ont une croissance sensiblement égale à la lumière et à l'obscurité, la différence porte essentiellement sur la couleur (synthèse de chlorophylle et photosynthèse) (**Soltner, 2005**).

#### 3.2. L'appareil végétatif

L'appareil végétatif est constitué de deux parties, l'une aérienne et l'autre racinaire. (**Figure n°03**) Le système aérien est formé de la tige issue du caryopse et des talles partant du plateau de tallage. La tige ou chaume est constituée d'entre-nœuds séparés par des nœuds ou zones méristématiques à partir desquelles s'allongent les entre-nœuds et servent comme point d'attache des feuilles. Les feuilles sont alternées, comportant chacune une portion supérieure et une portion inférieure correspondant respectivement au limbe et à la gaine (**Hubert, 1998 ; Jouve et Daoudi, 2001**).

L'appareil racinaire, chez le blé est formé de deux systèmes racinaires successifs, un système séminal dont les racines fonctionnent au cours du cycle de la plante (Grignac, 1965). Les racines séminales sont au nombre de 6 (Colnenne et al.1988) Ce système est secondé par le système racinaire adventif qui assure la nutrition de la plante pendant la période active.

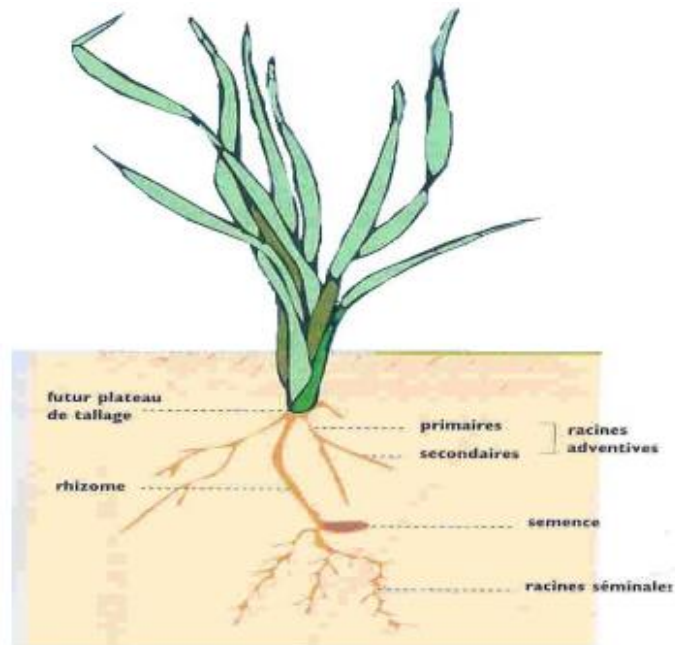


Figure n° 03 : Organisation du système racinaire des Céréales

### 3.3. L'appareil reproducteur

Les fleurs sont regroupées en inflorescence correspondant à l'épi (Figure n°04) dont l'unité morphologique de base est l'épillet, constitué de grappe de fleurs enveloppées de leurs glumelles et incluses dans deux bractées appelées les glumes (inférieure et supérieure)



Figure n°04 : Epi de blé dur en floraison (Gate, 1995).

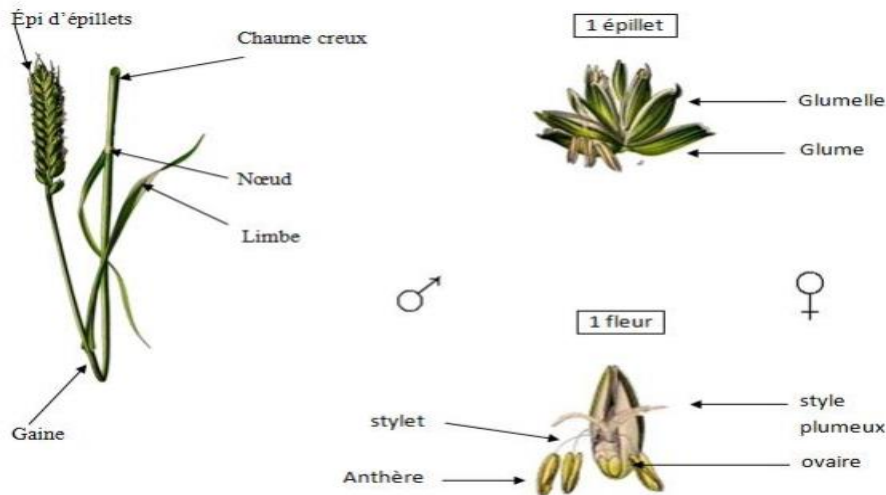


Figure n° 05 : Morphologie du blé

4- Classification botanique :

D’après (Feillet, 2000) le blé dur appartient à la classification botanique suivante :

Tableau n°1 : Classification botanique

Règne	Plantae
Sous-règne	Cormophyte
Embranchement	Spermaphytes
Sous-Embranchement	Angiospermes
Super- Ordre	Commeliniflorales
Ordre	Poales
Classe	Monocotyledones
Famille	Graminées
Genre	<i>Triticum</i>
Espèces	<i>Triticum durum</i>

5- Structure et composition chimique du grain du blé dur :

5-1 Structure du grain :

Le grain de blé a une forme ovoïde et présente sur la face ventrale un sillon qui s'étend sur toute la longueur (Figure n°06). Il est obtenu après le battage, c'est-à-dire une fois que les balles enveloppant le grain ont été supprimées. A la base dorsale du grain, se trouve le germe qui est surmonté par une brosse. Le grain de blé mesure entre 5 et 7 mm de long et entre 2,5 et



3,5 mm d'épaisseur, pour un poids compris entre 20 et 50 mg (Surget et Barron, 2005). Par ailleurs, selon (Calvel, 1983), la couleur de blé varie du roux au blanc. En rapport avec le pays d'origine, le sol, la culture et le climat. En outre, d'après (Emillie, 2007).

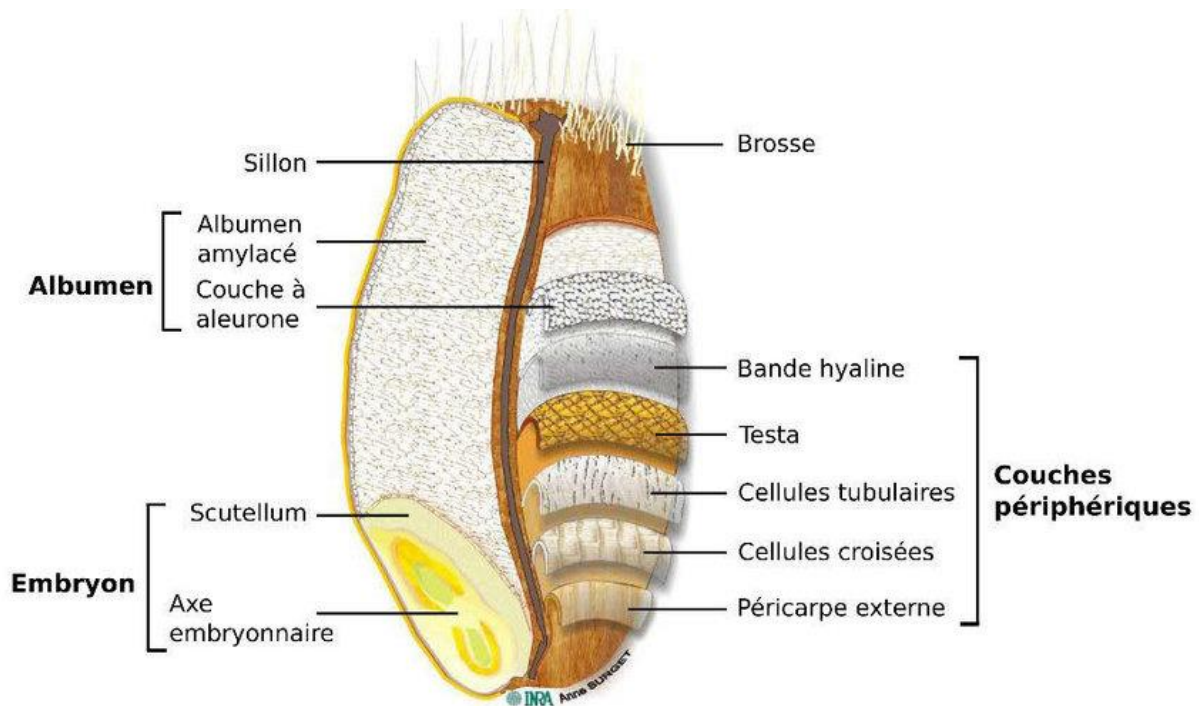


Figure n° 06 : Structure du grain (Surget et Barron, 2005)

Le grain de blé se compose de trois parties :

- **Enveloppe** : Formées de six tissus différents : épiderme du nucelle, tégument séminal ou testa (enveloppe de la graine), cellules tubulaires, cellules croisées, mésocarpe et épicarpe (13-17%).
- **Le germe** : Il représente 3% du poids du grain et il est riche en vitamines et en lipides. Il est constitué de 2 parties :
  - **l'embryon** : Formé du coléoptile, de la gemmule, de la radicule, du coléorizhe et de la coiffe (feillet, 2000).
  - **le scutellum** : Qui entoure l'embryon, le protège, et joue un rôle nourricier (Fredo, 2005)

- **L'albumen** : C'est la partie du grain qui donne la farine. Elle est blanche et farineuse dans le blé tendre, tend vers le jaune et vitreux dans le blé dur. Elle est constituée d'un ensemble de cellules renfermant les grains d'amidon (70% de l'amidon total) réunis entre eux par un réseau de nature protéique et le gluten. Elle représente 80% du poids du grain et sa partie inférieure est délimitée par le germe.

### **5-2 Composition chimique et histologique**

Le grain de blé est principalement constitué d'amidon (environ 70%), de protéine (10 à 15% selon les variétés et les conditions de culture) et de pentosanes (8 à 10%) : les autres constituants, pondéralement mineurs (quelques % seulement), sont les lipides, la cellulose, les sucres libres, les minéraux et les vitamines (**Feillet, 2000**).

**Tableau n° 2** : Composition chimique du grain de blé

<b>Nature des composants</b>	<b>Teneur (%ms)</b>
Protéines	10-15
Amidon	67-71
Pentosanes	8-10
Cellulose	2-4
Sucres libres	2-3
Lipides	2-3
Matières minérales	1.5-2.5

(**Feillet, 2000**).

Ces constituants se répartissent de manière inégale au sein des différentes fractions histologiques du grain (Tableau 3). L'amidon se retrouve en totalité dans l'albumen amylicé, les teneurs en protéines du germe et de la couche à aleurone sont particulièrement élevées ; les matières minérales abondent dans la couche à aleurone

### **5-3 Composition Histologique**

Le grain de blé est de forme ovoïde plus ou moins allongée, son examen révèle : -une face dorsale plus ou moins bombée. -Une face ventrale, comportant un sillon profond. - à sa partie supérieure, de courts poils forment la brosse. - à sa partie inférieure, le germe est visible sur la face dorsale. -La couleur des blés varie du roux au blanc, en rapport avec le pays d'origine, le sol, la culture, et le climat (**Leslie Jacquemin, 2012**)

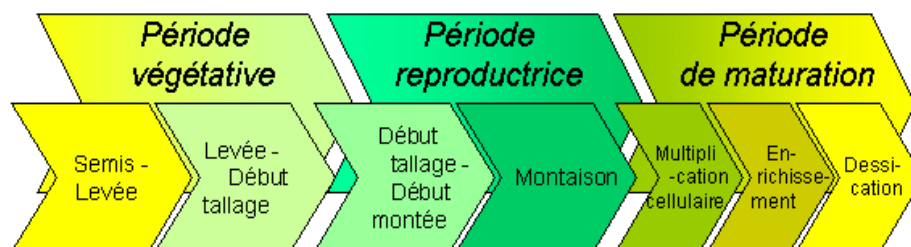
**Tableau n° 3 :** Distribution histologique des principaux constituants des grains du blé dur en %

	Grain %	Péricarpe%	Aleurone %	Albumen %	Germe %
<b>Amidon</b>	68.9	0	0	82	0
<b>Sucres réducteurs</b>	2.4	0	01.8		30
<b>protéines</b>	13.7	10	30	12	31
<b>Lipides</b>	2.7	0	9	2	12
<b>pentosanes</b>	7.4	43	46	1.6	7
<b>cellulose</b>	2.8	40	3	0.1	2
<b>Minéraux</b>	1.9	7	12	0.5	6

(Feillet, 2000)

## 6- Cycle de développement de la plante :

Le cycle du blé dur se divise en trois périodes (une période végétative, La période reproductive, La période de maturation). La réalisation des différents stades est sous le contrôle de la somme des températures journalières (degré-jour) subie par la plante (**figure n°07**).



**Figure n° 07 :** Cycle de développement du blé dur (Hamadache, 2013).

Selon **Moule (1971)**, plusieurs étapes séparées par des phases repères.

### 6-1-Période végétative :

Elle se caractérise par le développement strictement herbacé et s'étend du semis jusqu'à fin du tallage.

\* La phase semi-levée, la germination se traduit par la sortie des racines séminales de la coleorhize et à l'opposé, par la croissance d'un pré feuille, la coléoptile.

\* La phase levée-début tallage dès que la première feuille a percé l'extrémité de la coléoptile, celui-ci s'arrête de croître et peu à peu se dessèche. Le plateau de tallage celui-ci est formé de 4 à 5 nœuds sa hauteur ne dépassant pas 3 à 4mm.

\* La phase début tallage-début montée, le tallage est caractérisé par l'entrée en croissance de bourgeon différencié à l'aisselle de chacune des premières feuilles. Il s'agit donc d'un simple processus de ramification.

\* La production des feuilles et des talles augmente rapidement peu après la levée (**Mouille, 1971**).

\* La montaison se produit le début de développement de l'épi, parallèlement les entrenœuds s'allonge (**Bebba, 2011**).

### **6-2 Période reproductrice :**

Dite aussi période de montée, elle est dominée par l'apparition de l'épi et la formation du grain. Elle comprend :

\* Phase montaison-gonflement : La montaison débute à la fin du tallage, elle est caractérisée par l'allongement des entre-nœuds et la différenciation des pièces florales. A cette phase, un certain nombre de talles herbacées commence à régresser alors que, d'autres se trouvent couronnées par des épis. Pendant cette phase de croissance active, les besoins en éléments nutritifs notamment en azote sont accrus (**Grancourt et Prats, 1971**). La montaison s'achève à la fin de l'émission de la dernière feuille et des manifestations du gonflement que provoque les épis dans la gaine.

\* Phase épiaison-floraison : Elle est marquée par la méiose pollinique et l'éclatement de la gaine avec l'émergence de l'épi. C'est au cours de cette phase que s'achève la formation des organes floraux (l'anthèse) et s'effectue la fécondation. Cette phase est atteinte quand 50% des épis sont à moitié sortis de la gaine de la dernière feuille (**Gate, 1995**). Elle correspond au maximum de la croissance de la plante qui aura élaboré les trois quarts de la matière sèche totale et dépend étroitement de la nutrition minérale et de la transpiration qui influencent le nombre final de graines par épi (**Masle-Meynard, 1980**).

### **6-3 Période maturation :**

Après fertilisation, le développement du grain va passer par 3 phases : d'abord une phase de divisions cellulaires, puis le remplissage des cellules en amidon et protéines pour

finir par une phase de maturation ou dessiccation du grain (Acevedo et al., 2002). A ce stade le poids sec du grain à atteint sa valeur maximum et définitive. Après se stade le grain devient de plus en plus dur et peut être récolté : c'est la maturité de récolte (Gate, 1995).

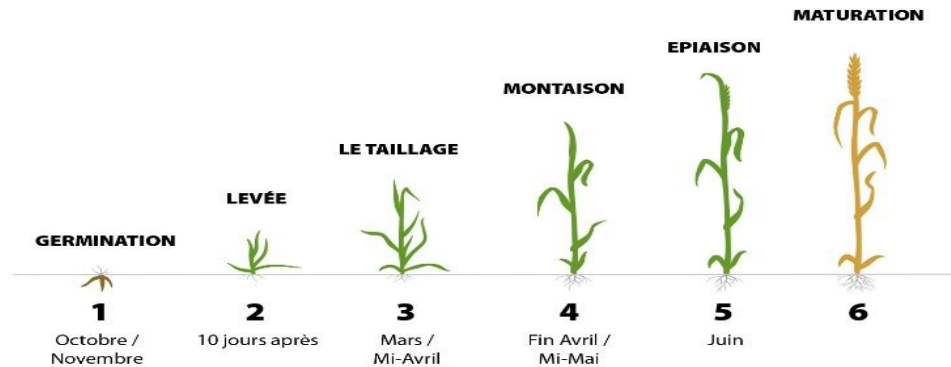


Figure n°08 : Cycle de développement de blé dur.

## 7- La production du blé dur :

### 7-1. Dans le monde

Selon Kantety et al. (2005), le blé dur est cultivé sur 10% des superficies réservées aux céréales (blé dur, tendre, riz et maïs).

La production moyenne annuelle de blé dur dans le monde est de 29.3 millions de tonnes pour la période 1988/1997 (ADE, 2000). Les plus grands producteurs de blé dur dans le monde sont l'Union Européenne avec une moyenne de production de 7,9 millions de tonnes (1987/1997).

Cette production réalisée par quatre pays membre : l'Italie, la Grèce, la France et l'Espagne, avec une production moyenne annuelle respectivement égale à : 4,1 ; 1,5 ; 1,4 et 0,9 millions de tonnes. En dehors, de la Communauté Européenne les autres pays gros producteurs sont la Turquie, le Canada, les États-Unis d'Amérique dont la production est respectivement 4,3 ; 4,0 ; et 2,5 millions de tonnes.

Selon les dernières prévisions de la FAO pour 2019, la production mondiale des céréales devrait atteindre un taux de 2,714 milliards de tonnes. L'utilisation mondiale de céréales en 2019-2020 devrait atteindre 2,709 milliards de tonnes, ce qui est un nombre record. Les projections des stocks mondiaux de céréales à la fin de 2020 (décembre) des récoltes ont augmenté de 14 millions de tonnes (1,6 pour cent) par rapport au mois précédent et se sont élevées à 863 millions de tonnes, mais à ce niveau, c'est la troisième valeur la plus élevée jamais enregistrée (FAO, 2019)

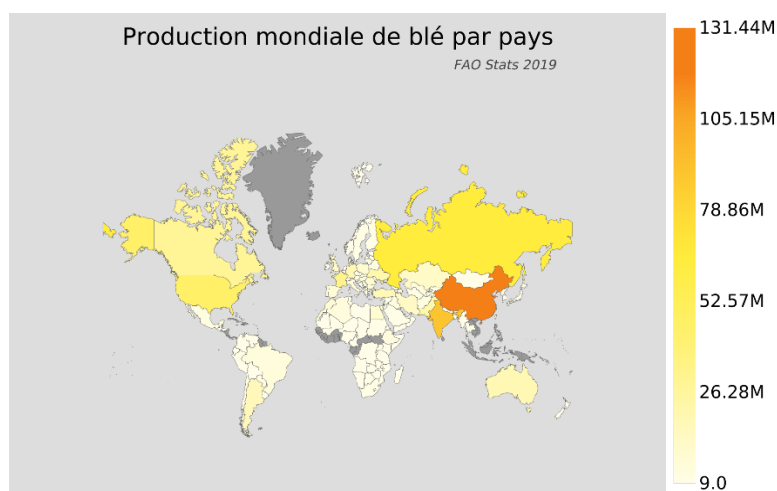


Figure n°09 : Production mondiale de blé par pays (FAO, 2019)

**7-2 En Algérie :**

En Algérie, les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. Cette caractéristique est perçue d'une manière claire à travers toutes les phases de la filière (Djermoun,2009)

En Algérie la céréaliculture constitue la principale activité, notamment dans les zones arides et semi-arides. Les terres annuellement emblavées représentent 3,6 millions d'hectares. Le blé dur est une ancienne culture dont l'origine remonte à la venue des arabes (Ducellier, 1931). La superficie occupée par le blé dur est en moyenne de 1.3 millions d'hectares durant la période 2000-2010 (MADR, 2011)

Selon Djermoun, (2009), la production des céréales, jachère comprise, occupe environ 80% de la superficie agricole utile (SAU) du pays et la superficie emblavée annuellement en céréales se situe entre 3 et 3,5 millions d'ha. Les superficies annuellement récoltées représentent 63% des emblavures

L'Algérie est un grand importateur de blé (Tableau 04) et se trouve dépendante du marché international. Cette situation risque de se prolonger à plusieurs années, faute de rendements insuffisants et des besoins de consommation sans cesse croissants devant une forte évolution démographique (Chellali, 2007).

Tableau n° 04 : Consommation moyenne (kg/hab/an) algérienne de blé

périodes	1961	1970	1980	1990	2000	2003	2005
Consommation	110	120	182	193	190	201	215

(FAO, 2007)

## GÉNÉRALITÉS SUR LE STRESS SALIN

### 1-La salinité :

#### 1-1-Définition :

On définit ordinairement sous le terme salinité, le processus pédologique suivant lequel le sol s'enrichit anormalement en sels solubles acquérant ainsi un caractère salin (**Servant, 1975**). D'après **Herrero et Synder (1997)** salinité des sols plutôt un phénomène dynamique que statique. donc plusieurs mesures sont nécessaires pour évaluer son statut. Les principales manifestations de l'installation de ce phénomène sont les quantités importantes des sels plus solubles que le gypse dans la solution du sol. Mais également l'importance du sodium sur le complexe d'échange. Il est généralement établi une fois l'apparition de ce phénomène est souvent accompagnée par la formation des sols sodique. La salinité déclencherait un stress environnemental très significatif chez les plantes cultivées, dont le blé, qui constitue un obstacle majeur sur la productivité agricole.

#### 1-2-Types de salinité :

La salinité représente l'accumulation des sels dissous dans la solution du sol à un niveau qui inhibe la croissance et le développement des plantes. On compte généralement deux formes de salinité :

##### 1-2-1 : 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**).

##### 1-2-2 : 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) (effet sur le développement des plantes par la pression osmotique (**Cheverry Et rbert, 1998**).

Les principales causes de la salinisation secondaire sont :

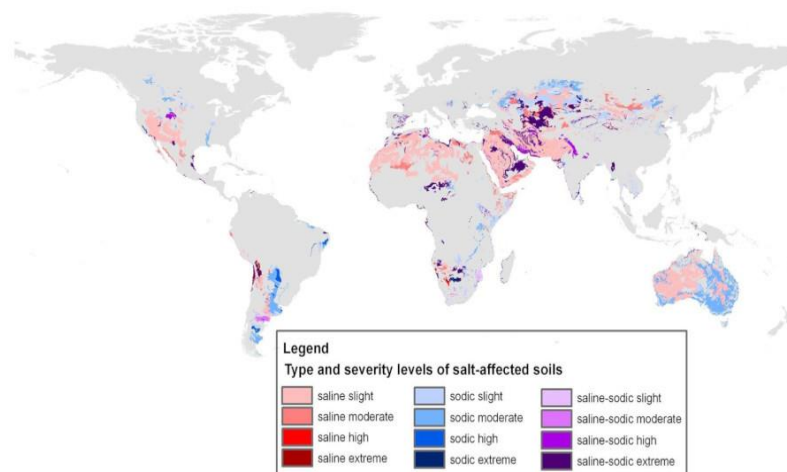
- Le mauvais fonctionnement des systèmes de drainage/assainissement
- La remontée de la nappe phréatique salée et la forte évapotranspiration

- L'irrigation avec des eaux à forts risques de salinisation et de modification et l'absence d'exutoire naturel pour l'évacuation des excès d'eau de drainage et d'assainissement (**Badraoui et al., 2000**).

### 1.3. La salinité dans monde et en Algérie :

#### 1.3.1. La salinité dans le monde :

Selon les estimations de la FAO, la salinisation affecte déjà au moins 400 millions d'ha et en menace gravement une surface équivalente (**Legros, 2009**). La plupart de ces terres affectées par le sel sont situés dans les zones arides et semi-arides, en Afrique du Nord, en Asie orientale, en Asie centrale et du Sud de l'Asie (**Fao, 2006**). Les sols salés sont principalement situés dans les zones arides, et leur proportion est notablement élevée au proche (Egypte, Tunisie) et moyen orient (Iran, Pakistan, Bangladesh), en Asie centrale (Ouzbékistan), au nord de la Chine et en Argentine. Les sols sodiques sont particulièrement étendus en Australie, mais aussi dans certaines situations spécifiques, comme en Hongrie ou en Ouzbékistan. Par comparaison, le développement d'une salinité liée aux activités humaines ne concernerait que 77 millions d'hectares (**Marlet Et Job, 2006**).



**Figure n°10 :** Salinisation des sols dans les différentes régions du monde



### 1.3.2. La salinité en Algérie :

Selon, (Djili 2000) les sols salés sont localisés au Nord qu'au Sud Algérien, et s'expriment mieux entre les isohyètes 450 mm qui semblent être la limite supérieure des sols fortement sodiques. Selon (L'insid 2008), la salinité est observée dans les plaines et vallées de l'Ouest du pays (Mina, Cheliff, Habra Sig, Maghnia), dans les hautes plaines de l'Est (Constantine, Sétif, Bordj Bou Arreridj, Oum El Bouagui), aux abords des Chotts et de Sebkhass (Chott Chergui, Chott Gharbi, Chott Hodna, Chott Melghir, Sebkhass d'Oran, de Benziane, Zemmoul, Zahrez Gharbi et Chergui, etc..) et dans le grand Sud (dans les Oasis, le long des oueds, etc). Les sels les plus fréquents, dans les régions arides et semi- arides, sont surtout les chlorures, les sulfates de sodium, les sulfates de magnésium et à un moindre degré les carbonates de sodium (Halitim, 1988).

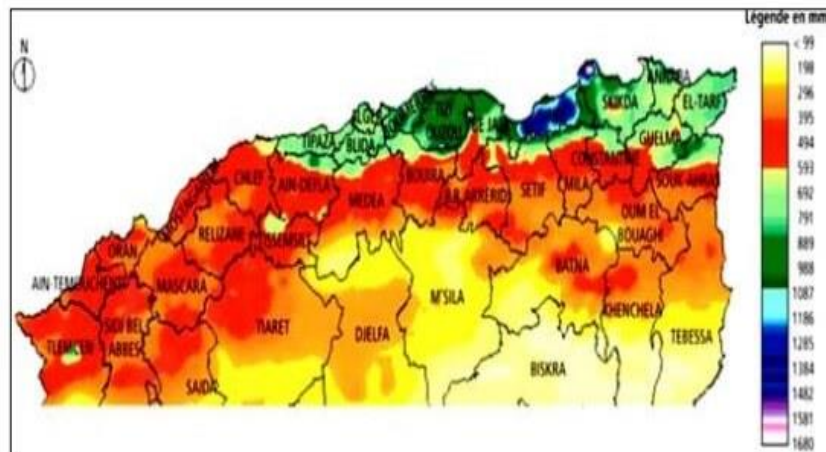


Figure n°11 : Répartition des sols salins du Nord de l'Algérie (INSID, 2008)

### 2-Notions de stress :

On peut considérer que la notion de stress implique, d'un part, une déviation plus ou moins brusque par rapport aux conditions normales (moyennes) de la plante ou de l'animal et d'autre part une réaction sensible de l'individu dans les différents aspects de sa physiologie laquelle change sensiblement avec, soit adaptation à la nouvelle situation, soit à la limite dégradation menant à une issue fatale (Leclerc, 1999) (Kherfi W, Brahmi I; 2011).

**2.1. Définition**

Le stress est un ensemble de condition qui provoque des changements de processus physiologique résultant éventuellement en dégâts dommages, blessures, inhibition de croissance ou de développement (**Menacer, 2007 et Kherfi et Brahmi, 2011**).

**2.2. Catégories de stress et conséquences :**

On distingue deux grandes catégories de stress :

**2-2-1-Biotique** : imposé par les organismes (insectes, herbivores....etc.).

**2-2-2-Abiotique** : provoqué par un défaut ou excès de l'environnement physico-chimique comme la sécheresse, les températures extrêmes, la salinité.

**3- Types de stress :****3-1-Stress hydrique :**

Une forte concentration saline dans le sol est tout d'abord perçue par la plante comme une forte diminution de la disponibilité en eau. Cela nécessite un ajustement osmotique. En dépit d'un ajustement osmotique correct, la toxicité ionique survient lorsque l'accumulation de sels dans les tissus perturbe l'activité métabolique (**Ben mansor et beddiar 2011**).

**3-2- Stress thermique :**

La température est l'un des principaux facteurs qui conditionne la productivité des plantes. Les plantes qui poussent dans régions désertiques et dans des régions cultivées semi-arides sont soumises à des températures élevées en même temps qu'à des niveaux de radiations élevées, à des faibles humidités du sol et effet de stress hydrique.

**4. Stress salin****4.1. Définition :**

Le stress salin est une brusque augmentation de la concentration en sels qui conduit d'un part, un afflux plus élevé d'ions dans la cellule suite à la chute de la concentration du milieu externe, d'autre part, à une perte d'eau par voie osmotique. Une abondance de sels dissous s'observe bien sur en milieu marin, mais aussi dans beaucoup de milieux terrestres (**Ben Hebireche et Djafour, 2011**).

#### 4.2. Régulation ionique et compartimentation :

- **La compartimentation vacuolaire :**

Consiste à évacuer du cytoplasme les ions  $\text{Na}^+$  en excès vers la vacuole afin d'éviter leur effet toxique et inhibiteur à l'encontre des processus enzymatiques (**Flowers et al., 1977**). Ce mécanisme de compartimentation vacuolaire est assuré par l'action d'un antiport vacuolaire sodium/proton ( $\text{Na}^+/\text{H}^+$ ) dont l'énergie est fournie par les pompes à proton ATPases.

Mais en réalité, du fait de l'existence des autres cations dans la cellule, l'accumulation de sodium dans la vacuole est réalisable contre son gradient de concentration seulement 4 à 5 fois plus élevé (**Hanana et al., 2009**). Ainsi, grâce à ce processus de compartimentation de sodium au sein de la vacuole, la cellule parvient à maintenir une faible concentration de sodium dans le cytoplasme, minimisant ainsi son effet toxique, et d'autre part, l'augmentation concomitante de la concentration de sodium dans la vacuole va engendrer une forte pression osmotique qui va favoriser l'absorption d'eau et donc améliorer la turgescence des cellules (**Glenn et al., 1999 ; Apse et Blumwald, 2007**).

- **Exclusion des ions toxiques :**

L'autre stratégie permettant aux plantes de survivre en condition de stress salin consiste à exclure le sodium du cytoplasme vers l'extérieur de la cellule. Dans ce cas, les plantes limitent l'entrée des éléments salins et les rejettent dans le compartiment apoplasmique (**Blumwald et al., 2004 ; Munns, 2005**). La régulation qualitative et quantitative du transport des ions permet de maintenir la concentration ionique dans une gamme de valeurs compatibles avec un métabolisme cellulaire normal. L'exclusion commence avec la sélectivité de la membrane racinaire, ce qui peut résulter d'une réduction de la perméabilité passive, de la présence de transporteurs sélectifs et d'un transport vers le milieu extérieur des ions déjà absorbés (**Apse et Blumwald, 2007**).

#### 4.3. Effets du stress salin sur la plante

#### 4.4. Effet 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**). Le chlorure de sodium présent dans le sol ou dans l'eau de l'irrigation affecte la germination des glycophytes dont le blé de deux manières, il diminue la

vitesse de germination et réduit le pouvoir germinatif. Cet effet dépend de la nature de l'espèce (dur ou tendre), de l'intensité du stress salin et de sa durée d'application. La réduction du pouvoir germinatif est due à l'augmentation de la pression osmotique de la solution du sol, qui ralentit l'imbibition et limite l'absorption de l'eau nécessaire au déclenchement des processus métaboliques impliqués dans la germination (**Hajjlaoui et al., 2007**).

#### **4.5. Effet sur la croissance et le 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**). La salinité provoque le plus souvent un retard dans le développement (**Gill, 1979 ; Elmekkaoui, 1990**). La sélection pour la tolérance induit, certes, une baisse des rendements sous contrainte, mais cette baisse est cependant moins importante chez les génotypes tolérants comparativement à celle notée chez les génotypes sensibles (**Bahlouli et al., 2005**).

#### **4.6. Effet du stress salin sur le rendement :**

Les effets de la salinité se manifestent principalement par une diminution de la croissance de l'appareil végétatif, caractérisé par la faible ramification, le faible diamètre des organes, le nombre réduit des noeuds et les réductions du nombre des feuilles et de la longueur de la tige et par conséquent l'augmentation du rapport racine/tige. Une baisse des poids de matière fraîche et sèche est aussi démontrée (**Rush et al., 1981**).

La salinité provoque le plus souvent un retard dans le développement (**Gill, 1979 ; Elmekkaoui, 1990 et Boukachabia, 1993**) et d'une manière générale la hauteur, le diamètre des tiges des différentes espèces, ainsi que le gosseur des fruits, diminues d'une façon importantes avec l'augmentation de la salinité (**Khan et al., 1997**).

#### **4.7. Effet sur la morphologie de la plante :**

- **Effet du stress salin sur la partie aérienne**

La salinité affecte toute la plante mais ralentit la croissance des parties aériennes (**Munns, 2002**). Selon **Munns et Rawson (1999)**, l'effet de la salinité se traduit généralement par Croissance végétative réduite (hauteur de la tige, nombre de talles et feuille), qui est fonction

de la division et de l'élongation des cellules. Ça retarde la croissance Les pousses sont plus sensibles au sel que les racines, mais il pousse Les plantes mûrissent.

- **Effet du stress salin sur la partie racinaire**

Selon (**Leviagneron et al. (1995)**), la racine est la première à réagir. Selon **Bayolo et al. (2002)**. Une salinité excessive dans l'environnement racinaire conduit à la croissance des plantes naines et la masse racinaire était plus affectée par la salinité que les feuilles, les tiges et pétiole (**Bayuelo et al., 2002**).

#### **4.8. Effet sur la physiologie de la plante :**

L'effet de la salinité sur la physiologie végétale repose sur deux paramètres :  
Photosynthèse et échanges gazeux et reproduction.

- **Effet du stress salin sur la photosynthèse et les échanges gazeux**

D'après (**Alem et al.,2002**), la salinité affecte l'activité physiologique de la feuille, et plus particulièrement la photosynthèse, qui présente la cause principale de la réduction de la productivité végétale.

Selon (**Munns, 2008**), la réduction de la photosynthèse est liée à la diminution du potentiel hydrique foliaire, qui est à l'origine de la fermeture des stomates, qui cause la réduction de la conductance stomatique. La diffusion du CO<sub>2</sub> à l'intérieur des stomates devient alors limitée et sa fixation au niveau des chloroplastes diminue par conséquence la régénération du RuBP (Ribulose Biphosphate) devient limitée (**Allen, 1995**) in (**Lahouel, 2014**).

- **Effet du stress salin sur la physiologie de la reproduction**

Selon **Hu, (2005)**, la salinité réduit le taux de croissance de la plante et ses organes reproducteurs. Ils ont étudié l'effet de la salinité sur la physiologie de la reproduction, ils ont constaté que le nombre du pollen dans deux différents types de cultivars de l'orge a été réduit de 24 à 37%. Des études réalisées par **Munns et Rawson, (1999)**, sur l'effet de l'accumulation du sel dans le méristème de l'orge sur la reproduction et le développement, montrent que les courtes périodes de stress salin pendant l'organogenèse peuvent avoir des conséquences irréversibles sur la fertilité de l'épi, elle provoque l'avortement des ovaires.

#### **5. Mécanismes de résistance des plantes au stress salin :**

Beaucoup d'informations sont disponibles sur les adaptations morphologiques et anatomiques en réponse à la salinité (**Poljakof-Maybe, 1975**). Les plantes poussant dans les conditions où

le sol est affecté par la salinité subissent des perturbations d'ordre physiologique et biochimique (**Ben Naceur et al., 2001**).

Selon **Levitt (1980)**, les plantes sont réparties en deux groupes en halophytes et en glycophytes selon leur sensibilité à la salinité. Les halophytes sont des plantes qui peuvent se développer en présence des concentrations élevées de sels et ont un avantage concurrentiel par rapport aux plantes non-halophytes dans cet environnement. Les Glycophytes sont les plantes sensibles aux concentrations relativement faibles en sels. Presque toutes les espèces.

### **5.1. L'exclusion :**

La plante empêche le sel de remonter jusqu'aux feuilles. Une première barrière existe au niveau de l'endoderme, couche interne des cellules de la racine, ainsi que le transport sélectif permet d'adsorber les ions nutritifs utiles et de réexcréter les ions Na<sup>+</sup> (**Sentenac et Berthomieu, 2003**)

D'autres mécanismes limitent le passage de sel des racines vers les feuilles mais les gènes qui les gouvernent sont encore largement inconnus (**Lahouel, 2014**).

### **5.2. L'inclusion :**

La plante capte le sel qui parvient aux feuilles au même titre que l'eau par le mouvement ascendant de la sève dans les vaisseaux, le sel est alors stocké dans les vacuoles grâce à des systèmes de "pompes moléculaires" et ainsi le sel est isolé des constituants cellulaires vitaux (**Levitt., 1980; Genoux et al., 1991; Berthomieu et al., 2003**).

### **5.3. Ajustement osmotique :**

Régulation osmotique après pression osmotique induite par la présence de NaCl dans le milieu extérieur par l'accumulation de solutés organiques, où Composés qui s'accumulent lors du stress salin, on retrouve des acides aminés comme la proline **Hassani et al (2008)** et les sucres (fructose, saccharose) et leurs dérivés alcooliques (glycérol, mannitol, pinitol) et méthylamine (glycine bêtaïne) (**El Midaoui et al., 2007**).

### **5.4. Régulation de la croissance :**

Ils ont montré que les réponses physiologiques à divers stress, comme la sécheresse ou la salinité, avec des caractéristiques similaires, entraînant toutes deux une augmentation des concentrations d'ABA dans les parties aériennes ou Cytokinine (**Lahouel, 2014**). **Zhu (2001)**, soutient que la réduction de la croissance est une capacité d'adaptation Nécessaire à la survie des plantes exposées au stress abiotique. Effectivement ce retard. Le développement permet

aux plantes d'accumuler de l'énergie et des ressources pour limiter Les effets du stress avant les déséquilibres internes et externes de l'organisme Augmente jusqu'au seuil auquel les dommages sont irréversibles (**Zhu, 2001**).

## PHYTOHORMONES ET PRETRAITEMENT

### A- Phytohormones

#### 1. Définition des phytohormones :

Selon **Aya 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) ou déclencher la différenciation des bourgeons, des tiges et des racines.

### **3. 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**).

#### **3.1. 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.

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. 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. Auxine :**

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. 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. Acide salicylique :**

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 une réaction d'une hypersensibilité et participe dans la régulation des procès 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 quel que 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).

**4.1. 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 responsables 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'altération 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 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 le 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 montrée pour contribuer à la croissance des plantes sous stress abiotique. L'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 en régulant certaines protéines régulées par le sel comme la glutamyl-ARNt réductase, l'énolase, la 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 de la croissance, le développement et l'interaction avec d'autres organismes et les réponses de la défense à stress environnementaux (Sampath Kumar *et al.*, 2015).

L'application de AS sur les semis de concombre protégés 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 atténuent 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 les 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**).

### **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.

### **B- Prétraitement des graines (Priming)**

Un prétraitement est le traitement préliminaire ou préparatoire de quelque chose avec un produit avant utilisation. L'amorçage des graines avant le semis consiste à amorcer les graines dans de l'eau avec ou sans sels organiques et inorganiques dans un environnement contrôlé, suivi d'un séchage à l'ombre avant le semis. Tout comme l'hydratation des graines, l'amorçage aide à réduire l'impact des stress environnementaux grâce à un meilleur établissement des plantes, ce qui se traduit par un meilleur résultat des cultures. L'amorçage des graines aide à atténuer le stress hydrique en adaptant plusieurs stratégies telles que la mobilisation précoce

des réserves alimentaires des graines, l'allongement des cellules embryonnaires, l'affaiblissement de l'endosperme, etc., ce qui améliore les activités métaboliques de pré-germination résultant en des pourcentages de germination uniformes et élevés (**Chen et Arora, 2011**). Dans les graines, le stress précédant la germination provoque une mémoire de stress, permettant aux graines de faire face au stress dans leurs habitats (**Tanou et al., 2012**). L'amorçage a une fonction essentielle pour améliorer la germination et la croissance d'une variété de cultures sous divers facteurs de stress abiotiques (**Paparella et al., 2015 ; Zheng et al., 2016 ; Hussain et al., 2017**). Il active de nombreux gènes sensibles au stress, permettant une germination plus précoce et une plus grande tolérance au stress abiotique (**Manonmani et al., 2014 ; Paparella et al., 2015 ; Wojtyla et al., 2016**). En outre, cela implique une régulation à la hausse des protéines et des gènes impliqués dans la division cellulaire, la modification du cytosquelette, l'expression de l'ARN, la mobilisation des réserves, la réponse au stress oxydatif et les transporteurs d'eau, ainsi que la réparation de l'ADN et de la membrane (**Rajjou et al., 2012 ; Bewley et al., 2013 ; Kubala et al., 2015b**). L'amorçage supprime le développement des ROS et induit une tolérance croisée aux stress abiotiques par l'activation des enzymes et l'ajustement osmotique. Cette méthode de tolérance au stress sert de «mémoire d'amorçage» qui se réactive lors de l'exposition au stress et aide les individus à réagir plus efficacement à la tolérance au stress subséquente dans les générations suivantes (**Chen et Arora, 2013; Hussain et al., 2016; Ibrahim, 2016**).



## MATERIELS ET METHODE

### 1. Objectif de l'étude :

L'objectif de notre essai consiste à étudier l'effet de l'application exogène des phytohormones sur la germination et la croissance du blé dur en condition de stress salin.

Note expérimentation a été réalisée au laboratoire Physiologie Végétale, Département de Biotechnologie et Agro-Ecologie, Université de Blida 1.

### 2. Matériel végétal :

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 n°05 :** caractéristiques morphologiques et culturales du blé dur (*Triticum durum* Desf.), variété Vitron.

Origine	Espagne sélection ITGC
Précocité	Précoce
Tallage	Moyen à court
PMG	Bon
Compacité de l'épi	Compact
Couleur de l'épi	Blanc
Hauteur de la plante à la maturité	90-100cm
Alternativité	Hiver
Cycle végétatif	Semi-aride

(ITGC,2006)

**Tableau n°06 :** 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

### 3- Description des différents traitements testés :

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

**Tableau n° 07 :** Concentration d'hormone utilisée dans les différents traitements

Traitement	Concentration
T0 : Eau distillée (témoin)	///
T1 : Acide gibbérellique	50mg/l
T2 : Acide gibbérellique	75mg/l
T3 : Acide salicylique	50mg/l
T4 : Acide salicylique	75mg/l
T5 : Acide ascorbique	50mg/l
T6 : Acide ascorbique	75mg/l

### 2-Préparation des différents traitements :

Traitement 0 : Eau distillé

Traitement 1 : 50mg/l d'acide gibbérellique dissoudre dans 1L d'eau distillée

Traitement 2 : 75mg/l d'acide gibbérellique dissoudre dans 1L d'eau distillée

Traitement 3 : 50mg/l d'acide salicylique dissoudre dans 1L d'eau distillée

Traitement 4 : 75mg/l d'acide salicylique dissoudre dans 1L d'eau distillée

Traitement 5 : 50mg/l d'acide abscissique dissoudre dans 1L d'eau distillée

Traitement 6 : 75mg/l d'acide abscissique dissoudre dans 1L d'eau distillée

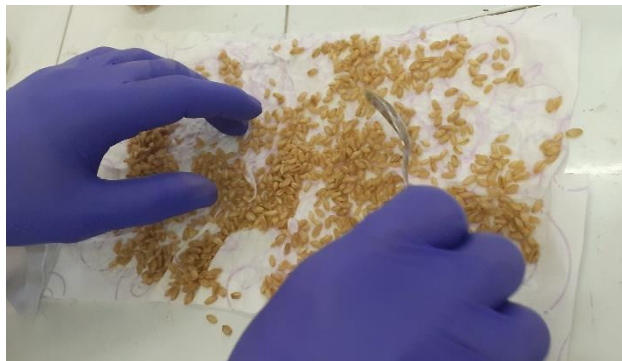
#### **4- Préparation de la solution Saline :**

La solution saline utilisée dans notre expérimentation est obtenue par la dissolution de 100mM de NaCl soit 5.84 g dans un litre d'eau distillée.

#### **5- Préparation des graines pour les tests de germination :**

##### **5-1- Désinfection des graines :**

Les graines ont été sélectionnées selon leur taille et leur forme. L'eau de Javel ou (NaOCl) constitue un moyen facile, peu onéreux et efficace pour stériliser les graines. Les semences ont été trempées dans une solution d'hypochlorite de sodium à une concentration de 2,5% pendant 10 min, puis rincées abondamment à l'eau distillée pour éliminer les traces de chlore.



**Figure n° 12 :** Désinfection des graines (Photo personnelle, 2022)

##### **5-2- Application des traitements :**

Dans notre étude, l'application des phytohormones exogènes est réalisée selon deux méthodes, à savoir :

###### **Méthode 01 :**

Les différents traitements ont été appliqués par la technique du priming qui consiste à faire tremper les graines du blé dans les solutions hormonales préparées à différentes concentrations pendant 3h, les graines sont ensuite bien séchées sur papier filtre et mises dans étuve ventilée à 50 °C pour revenir au taux d'humidité initial des graines.



**Figure n° 13 :** Trempage des graines dans des différentes solutions hormonales



**Figure n° 14 :** Séchage des graines dans une étuve ventilée

**Méthode 02 :**

Après la désinfection et le séchage de lot de semence, les graines sont mises directement dans les boites de pétri de 90mm diamètre et les différents traitements hormonaux sont appliqués directement au moment de la mise en germination sans retour au séchage des graines.



**Figure 15 :** Disposition des graines dans les boîtes pétri

### 5-3- Application du stress :

L'étude de la réponse des graines et des plantules au stress salin est réalisée par l'imbibition de 50 boîtes de pétri pour chaque méthode avec une solution de 100 mM de NaCl.

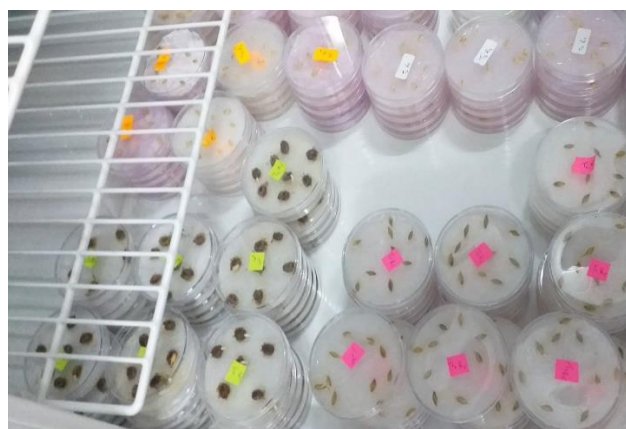
Pour la méthode 2 (application directe des traitements) l'arrosage des graines par la solution saline (l'eau distillée + NaCl) est appliqué 24h après la mise en germination.



**Figure 16 :** Application de stress salin sur les graines



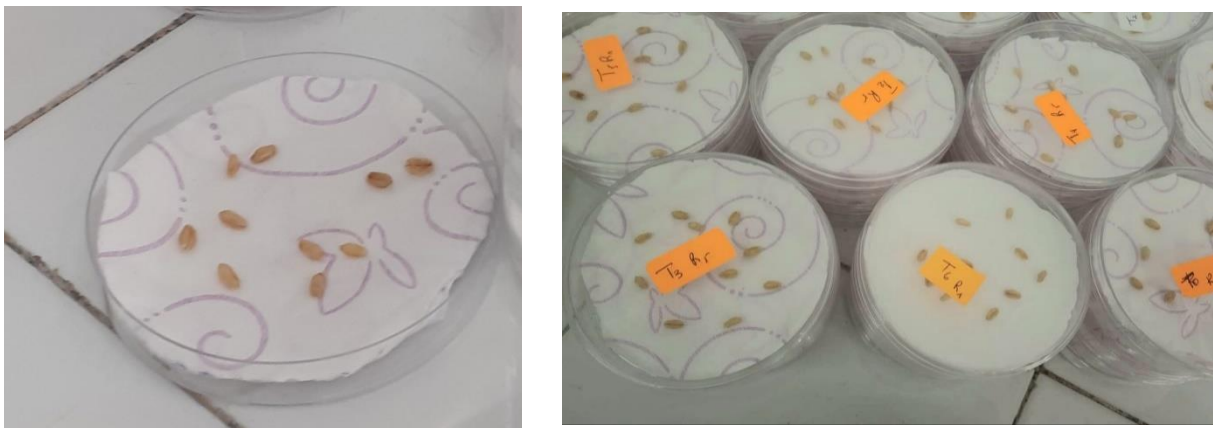
**Figure n° 17 :** Méthode 02 application les solutions hormonales sur les graines



**Figure n° 18 :** Répartition tous les boites de pétri dans l'étuve

#### 5-4- Germination et croissance :

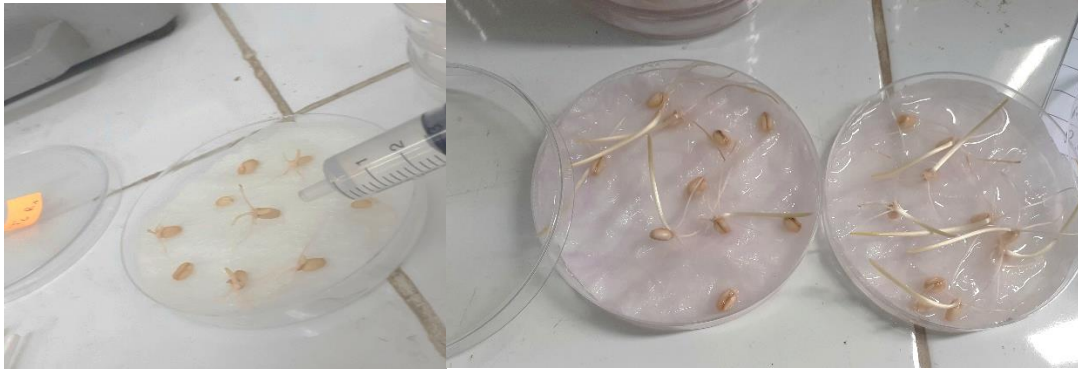
Les graines sont mises en germination dans une étuve à l'obscurité et à une température ambiante d'environ 25°C, afin de provoquer le gonflement de caryopses. Nos essais porte sur 50 graines par traitement, soit 10 graines par boîte de pétri × 05 répétitions.



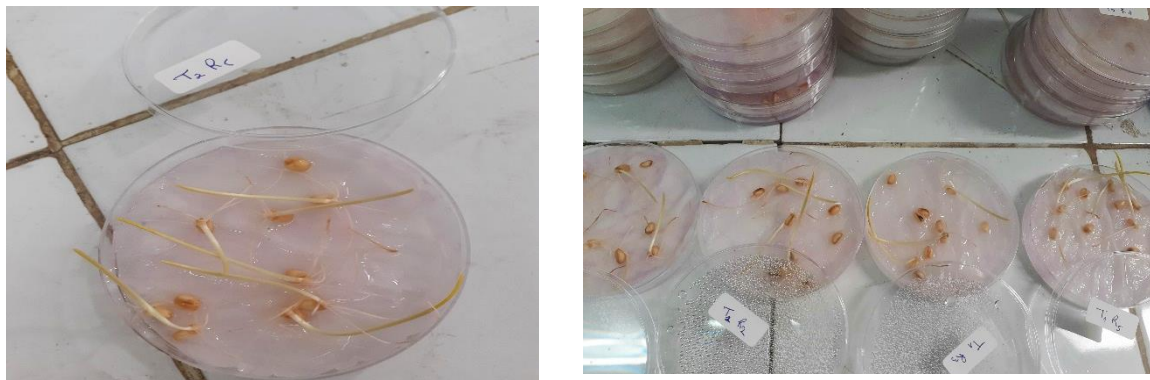
**Figure 19 :** Disposition des graines dans les boites de Pétri



La germination débute par la sortie de la radicule suivie très rapidement de l'émergence de coléoptile. Celui-ci grandit essentiellement par élongation cellulaire. Il protège les premières feuilles et l'apex caulinaire. Il s'allonge davantage chez les plantes cultivées à l'obscurité. Par contre, les premières feuilles ont une croissance sensiblement égale à la lumière et à l'obscurité.



**Figure n° 20 : Méthode 01 La germination des graines**



**Figure n° 21 : Méthode 02 la germination des graines**

Un comptage des graines est effectué chaque jour et pendant 8 jours. Après le teste de germination, les jeunes plants sont ensuite placés dans une chambre de culture à une température ambiante de 25°C et une humidité de 50 %.



**Figure n° 22 : les graines dans phytotron**

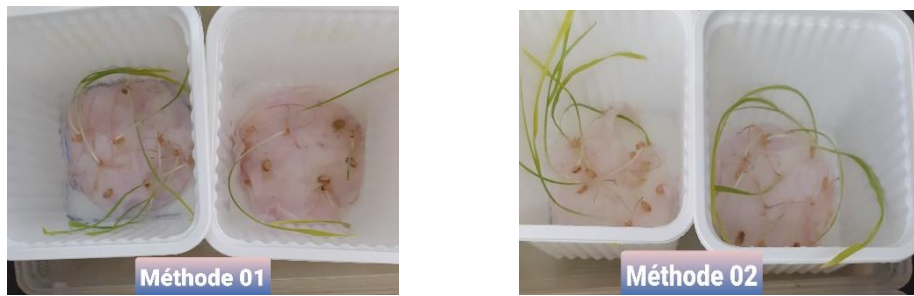


Figure n° 23 : Croissance des plantules

## 6. Paramètres étudiés :

### 1-Précocité de germination :

Ce paramètre correspond au pourcentage des graines germées après 24h de la mise en germination. Précocité de germination = (nombre des graines germées dans le premier jour / nombre total de graines utilisées) \*100

### 2-Pourcentage de germination (G%) :

Les pourcentages ont été calculés en tant que nombre total de graines germées par nombre total de graines utilisées sur 100.

### 3-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).

### 4-Biomasse sèche :

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

### 5-Taux de la matière sèche :

Le Taux de la matière sèche est exprimé en pourcentage (%). Il est calculé comme suit :

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

Où :

PS : Poids sec. PF : Poids frais.

### 6-Fuite d'électrolyte (EL%) :



La fuite d'électrolyte a été mesurée selon la méthode de Nanyar 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 relatif pendant 24h, 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.

#### **7-Teneur relative en eau :**

Selon Turner et al., (1981) La teneur relative en eau a été calculé à 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 la teneur relative en eau ont été mesurés entre 12h et 14h.

#### **8-Dosage de la teneur des feuilles en chlorophylle :**

Le dosage de la chlorophylle est réalisé par la méthode de (Vernon et Seely 1966) améliorée par (Hegazi et al 1998). L'échantillon végétal est traité par un mélange de 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 48h. La densité optique est lue à 622 nm pour la chlorophylle (b) et 644 nm pour la chlorophylle (a) 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)



**Figure n°24 :** Extraction et séparation de chlorophylle

### **7. Analyse des données :**

Les résultats obtenus ont été traités par analyse de la variance multifactorielle 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%.

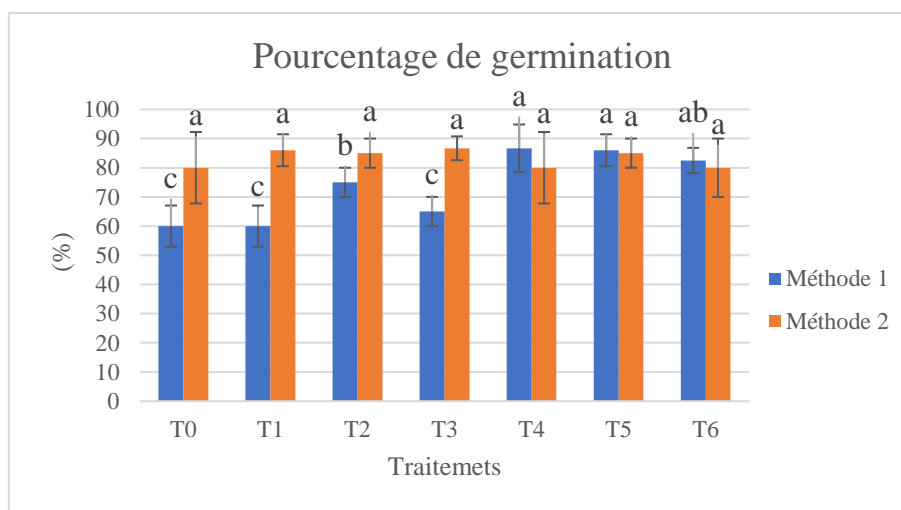
## RESULTATS ET DISCUSSION

### 1. Pourcentage de germination :

La figure n°25 illustre les variations dans les taux de germination des graines de blé dur en condition d'un stress salin pour les deux méthodes et en présence de phytohormones exogènes de différentes concentrations.

L'analyse de la variance révèle une différence hautement significative ( $p=0.0000$ ) entre les pourcentages de germination des graines pour la première méthode. Au contraire, un effet non significatif est révélé ( $p>0.05$ ) pour la deuxième méthode.

En effet, le teste LSD montre qu'il y a trois groupes homogènes (a, c, et b) pour la première méthode et un seul groupe homogène (a) pour la deuxième méthode



**Figure n°26 :** Le taux de germination du blé dur sous l'effet du NaCl

Pour la première méthode, les graines traitées par l'AS à une concentration de 75mg/l (T4) et l'AAs à des concentrations de 50mg/l (T5) et 75mg/l (T6) ont marqué les meilleurs taux de germination avec 86.6%, 86% et 82.5% de graines germées respectivement. Suivis par les graines traitées avec l'AG3 concentré à 75mg/l (T2) avec un taux de 75%. Tandis que les valeurs minimales ont été enregistrées chez les graines traitées par l'AS à 50mg/l (T3), l'AG3 à 50mg/l (T1) et les graines témoin (T0) avec des pourcentages de germination respectifs de 65 et 60% pour les deux derniers.

On ce qui est de la deuxième méthode, les résultats obtenus montrent que l'application exogène des phytohormones n'a exercé aucun effet significatif sur le taux de germination des graines en condition de stress.

Cependant un scientifique signale que le traitement des semences de blé avec différentes phytohormones, y compris les gibbérellines, présence des taux de germination accrus (Nazima et al., 2016). L'application de certain bio régulateur de croissance dont l'acide gibbérellique augmente la tolérance au stress salin de beaucoup de plantes cultivées (Hoque et Haque, 2002 ; Atia et Chhim, 2011). Rajasekaran et al. (2022) déclarent que l'AS n'a pas un effet intensifiant sur le taux final de germination.

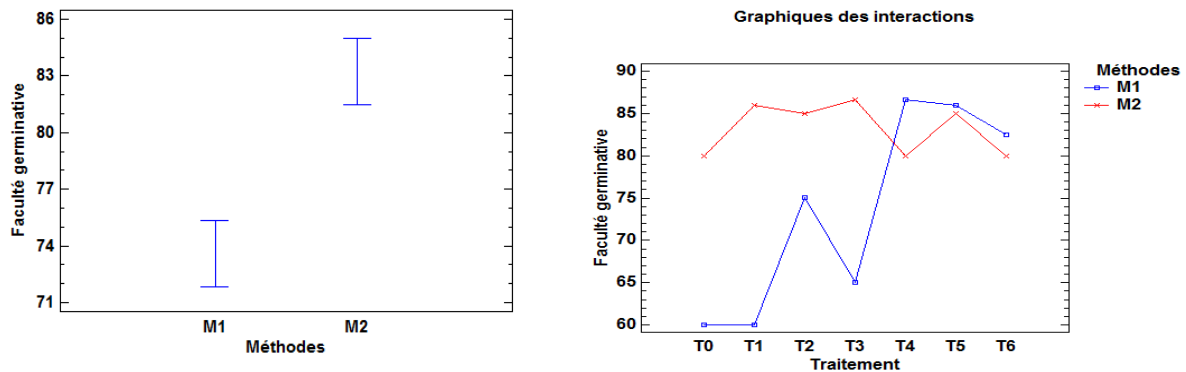


Figure n°27 : Variation des interactions Méthodes X Traitement pour le taux de germination.

Nous remarquons que dans les deux méthodes, les graines de blé dur présentent des Taux de germination importants. Toutefois, l'application directe des traitements (méthode 2) semble être la plus efficace.

## 2. Précocité de la germination :

La figure n°28 montre l'indice de précocité de la germination des graines de blé dur sous l'effet du stress salin pour les deux méthodes.

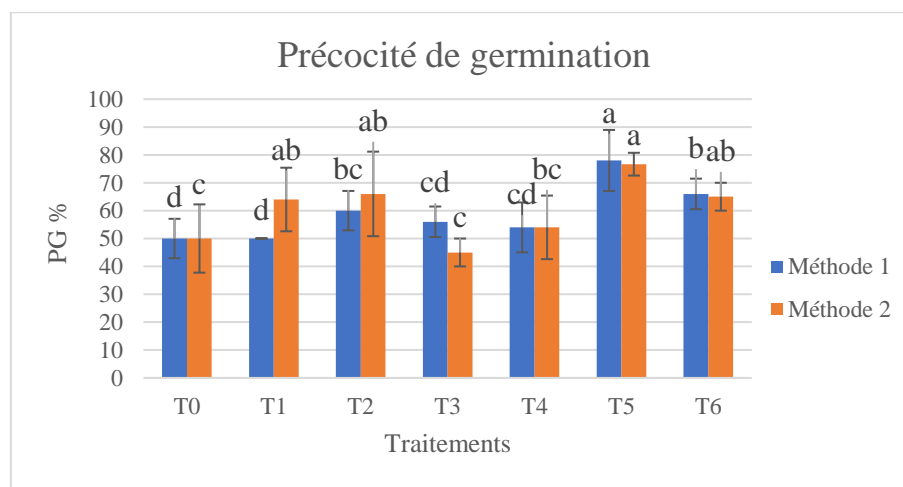


Figure n° 28 : Précocité de la germination des graines (%) de blé dur en présence des phytohormones exogènes sous l'effet de stress salin.

L'analyse de la variance dévoile un effet significatif ( $P < 0.005$ ) du facteur traitement sur le paramètre mesuré et ceci dans les deux méthodes.

Selon le teste LSD, il existe cinq groupes homogènes (a, b, bc, cd et d) pour la méthode de priming et quatre groupes homogènes (a, ab, bc, et c) pour la méthode directe.

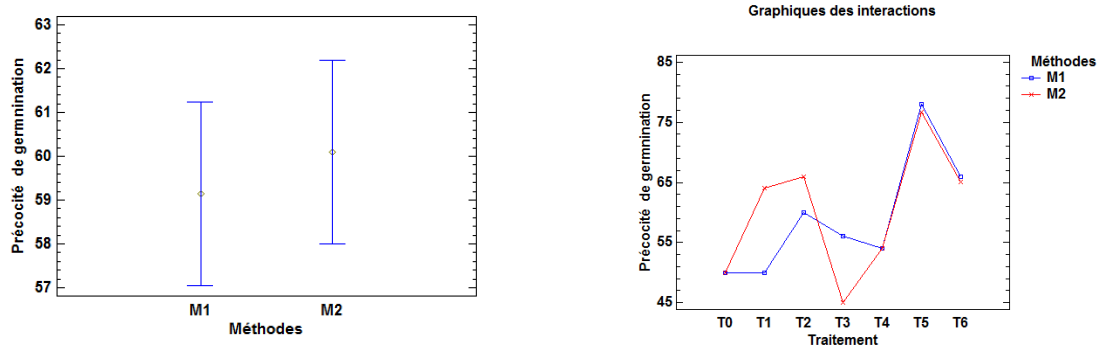
Dans le premier cas (priming), les graines traitées par l'AAs à 50mg/l (T5) ont une meilleure précocité de germination avec 78% de graines germées, cette précocité diminue jusqu'à 66% lorsque la concentration de l'hormone augmente à 75mg/l (T6). L'AG3 concentré à 75mg/l (T2) réduit le paramètre mesuré jusqu'à 60% de graines germées. Les traitements T3 et T4 quant à eux, ils ne présentent aucune différence statistiquement significative avec des valeurs moyennes de 56% et 54% respectivement.

Cependant, la précocité de germination la plus faible est observé au niveau du traitement T0 (témoin) et T1 (50mg/l AG3) avec un taux de germination 50%.

Concernant la deuxième méthode (application directe des traitements), la précocité de germination chez les graines traitées par l'AAs concentré à 50mg/l est de 76.6%. Ce taux diminue à 66%, 65% et 64% pour les graines traitées par le T2 le T6 et le T1 respectivement. C'est valeurs sont statistiquement similaire (même groupe homogène).

La précocité de germination la plus faible est observée au niveau du (T4) concentré à 75mg/l avec un pourcentage moyen de 54% suivi du T0 et du T3 avec respectivement 50 et 45%.

**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.



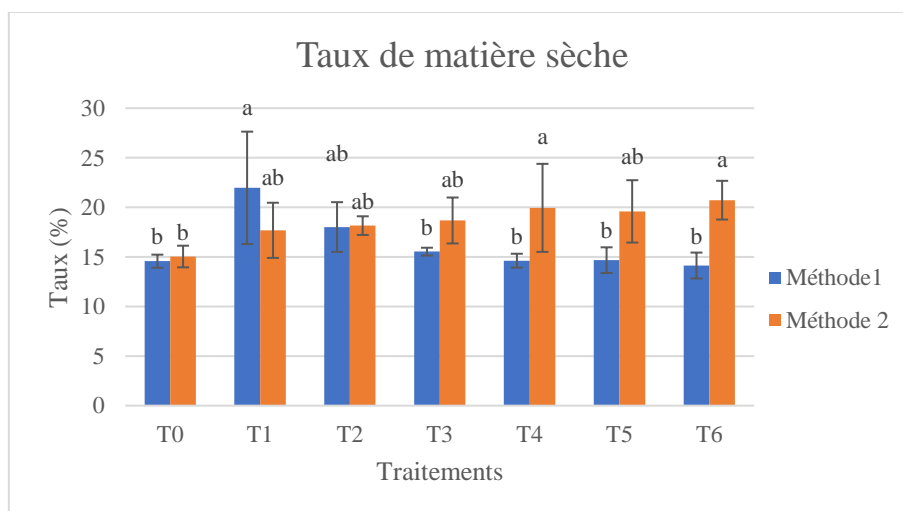
**Figure n°29 :** Variation des interactions Méthodes X Traitement pour la précocité de germination.

Il est à noter que l’application des traitements hormonaux améliore significativement le démarrage de la germination des graines de blé dur dans les deux méthodes. Cependant la deuxième méthode semble être plus efficace (figure n°29).

**3. Taux de matière sèche :**

Les résultats de la figure n°30 désignent les variations des taux de matière sèche des plantules élevées dans un milieu salin et ceci dans les deux conditions d’application des phytohormones exogènes.

L’analyse de la variance concernant le paramètre mesuré montre qu’il y a un effet significatif ( $p=0.01$ ) du facteur traitement sur le taux de matière sèche final des plantules issues des graines de blé dur prétraitées et un effet non significatif ( $p>0.05$ ) pour les graines qui ont subi une application directe des traitements (méthode 2).



**Figure n° 30 :** variations des taux de matière sèche des plantules de blé en fonction des différents traitements hormonaux pour les deux méthodes sous l’effet du stress salin.

Le test LSD révèle l'existence de trois groupes homogènes (a, ab et b) pour la première méthode et de trois groupes (a, ab et b) pour la deuxième méthode.

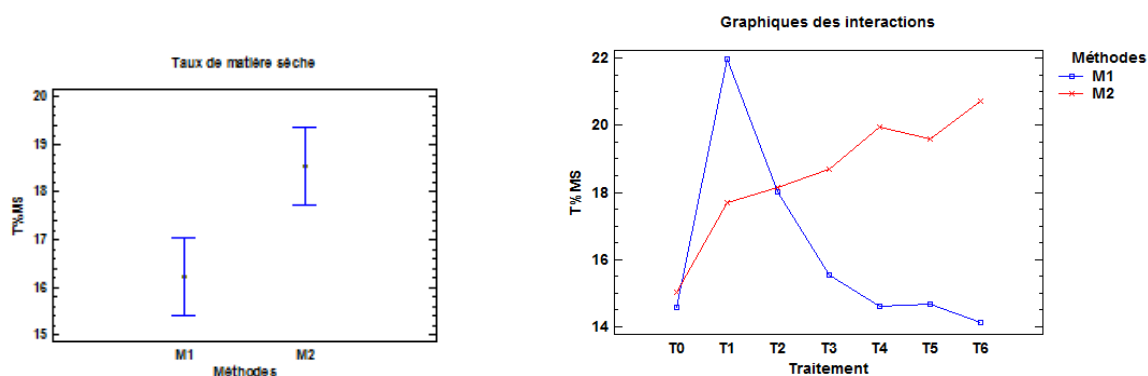
Dans la première méthode, les plantules dont les graines ont été prétraitées par l'hormone AG3 concentré à 50mg/l (T1) donnent le taux de matière sèche le plus élevé avec une valeur de 21.9%, cette dernière diminue jusqu'à 18% lorsque la concentration en AG3 augmente à 75mg/l (T2).

Par contre, le taux de matière sèche le plus faible a été observé au niveau des traitements T3, T4, T5, T6 et T0 (témoin) avec un taux de matière sèche moyen de 14%, même groupe homogène (b).

Dans la deuxième méthode, la valeur de matière sèche la plus élevée est calculée chez les plantules issues des graines traitées directement par l'AAs concentré à 75mg/l (T6) avec un taux moyen de 20.7%, suivi de près par le traitement (T4) avec 19.9%. Les taux de matière sèche chez les plantules traitées avec l'AAs à 75mg/l (T5), l'AS à 50mg/l (T3) et l'AG3 à 50mg/l et 75mg/l (T1 et T2 respectivement) sont presque similaires avec une moyenne générale de 18.52%. Le témoin (T0) quant à lui enregistre la valeur la plus faible avec un taux de 15%.

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 plantes (Omena-Garcia et al.,2018)

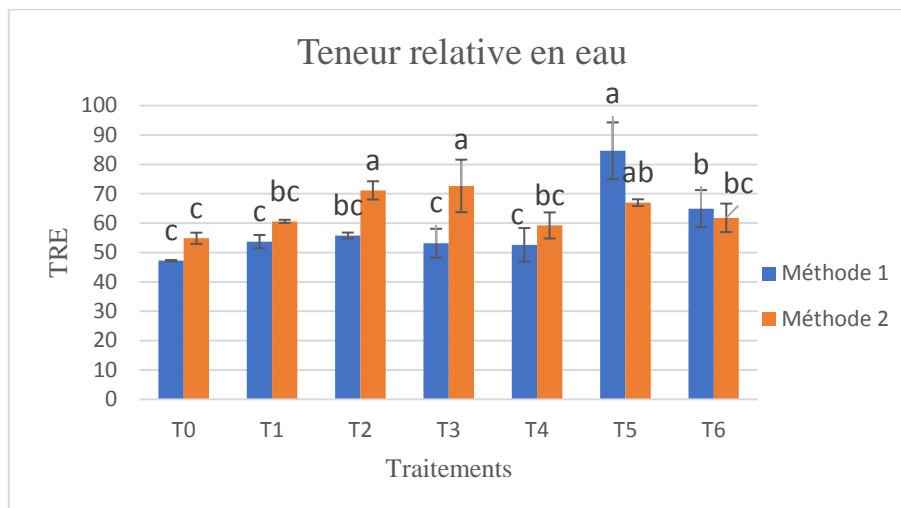


**Figure n°31 :** Variation des interactions Méthodes X Traitement pour le taux de matière sèche.

Selon la figure n°31, le taux de matière sèche le plus élevé est celui obtenu par la méthode 2, cette dernière a enregistré des valeurs plus importantes par rapport à la méthode de priming.

#### 4. Teneur relative en eau :

Les résultats correspondants à la teneur relative en eau des plantules de blé dur sont représentés par la figure n°31.



**Figure n° 32** : Teneur relative en eau dans les plantules de blé dur.

L'analyse statistique de la teneur relative en eau montre qu'il y a une différence significative entre les traitements ( $p=0.0019$  pour la méthode 1 et  $p=0.0448$  pour la méthode 2).

Selon le test des étendus multiples, il existe quatre groupes homogènes (a, b, bc, et c) pour la technique de priming et quatre groupes homogènes (a, ab, bc et c) pour l'application directe des traitements.

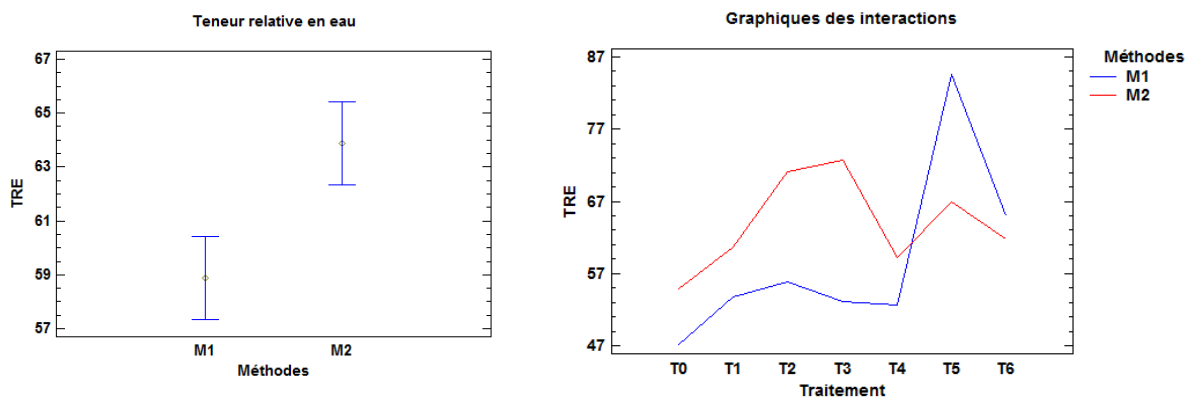
Sous l'effet du stress salin, les plantules issues des graines prétraitées par des hormones exogènes de différentes concentrations enregistrent des teneurs relatives en eau plus importantes, comme c'est le cas pour le traitement T5 (AAs à 50mg/l) qui enregistre 84,64%. Suivi par le T6 (AAs à 75mg/l) dont la valeur a diminué jusqu'à 64,94% lorsque la concentration de l'hormone a augmenté. Ensuite vient le T2 (AG3 à de 75mg/l) avec un taux de 55,78%. Les valeurs les moins importantes ont été enregistrées chez les plantules issues des graines traitées par l'AG3 à 50mg/l (T1), l'AS à 50mg/l (T3) et l'AS à 75mg/l (T4) ainsi que chez les plantules témoins (T0) avec des teneurs relatives en eau de 53,72%, 53,13%, 52,60% et 47,21% respectivement.

On ce qui concerne les graines traitées directement par les hormones exogènes (méthode 2), c'est le traitement T3 (AS à 50ml/l) et le traitement T2 (AG3 à 75ml/l) qui offrent les meilleures moyennes de la teneur relative en eau avec 71,1 et 72,66% respectivement. Ces



valeurs sont moindres lorsque les graines sont traitées par l'AAAs à 50ml/l (T5) avec une teneur de 66,97% et par l'AAAs à 75ml/l (T6) avec une teneur de 61,79%. Au contraire, les moyennes minimales de la teneur relative en eau des plantules de blé dur sont enregistrées chez les graines traitées par l'AG3 concentré à 50ml/l (T1) avec un taux de 60,6% et chez les graines traitées par l'AS concentré à 75ml/l (T4) avec un taux de 59,21% ainsi que chez les graines témoin (T0) avec un taux de 54,85%.

**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. Dans les conditions de notre expérimentation, l'analyse des résultats 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 chez différentes espèces (**Tuna et al., 2008**).

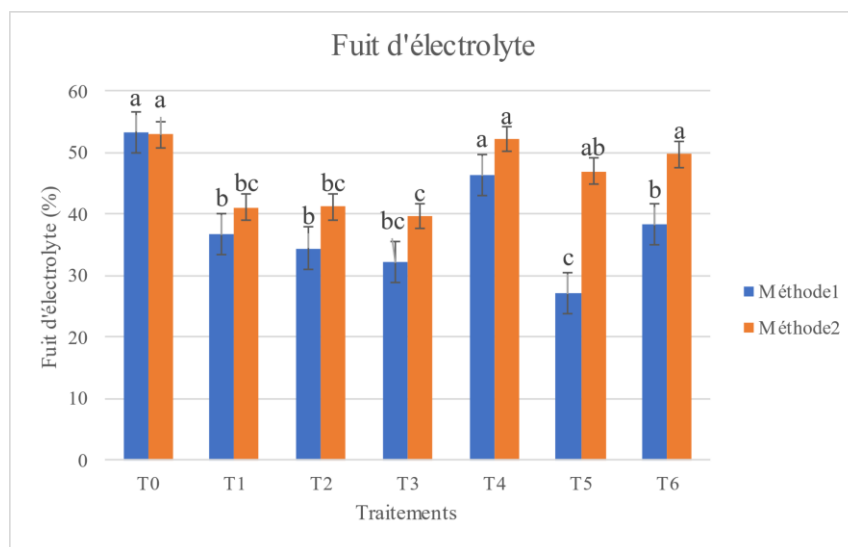


**Figure n° 33** : Variation des interactions Méthodes X Traitement pour la teneur relative en eau.

Lors de la comparaison entre les résultats obtenus dans les deux méthodes étudiées, on remarque que l'AAAs à 50mg/l soit le traitement T5 a un effet plus important dans la première méthode à l'inverse des autres traitements qui ont eu un effet moins important et ceci par rapport au témoin (T0).

### 5. LFuite d'électrolytes (EL%) :

Les moyennes calculées de la fuite d'électrolytes sont représentés dans la figure suivante :



**Figure n°34 :** Pourcentages de fuit d'électrolytes en fonction des phytohormones exogènes en condition de stress salin.

L'analyse de la variance du taux de fuite d'électrolyte chez les plantules de blé dur montre une différence hautement significative entre les traitements dans les deux méthodes étudiées lors de notre expérimentation.

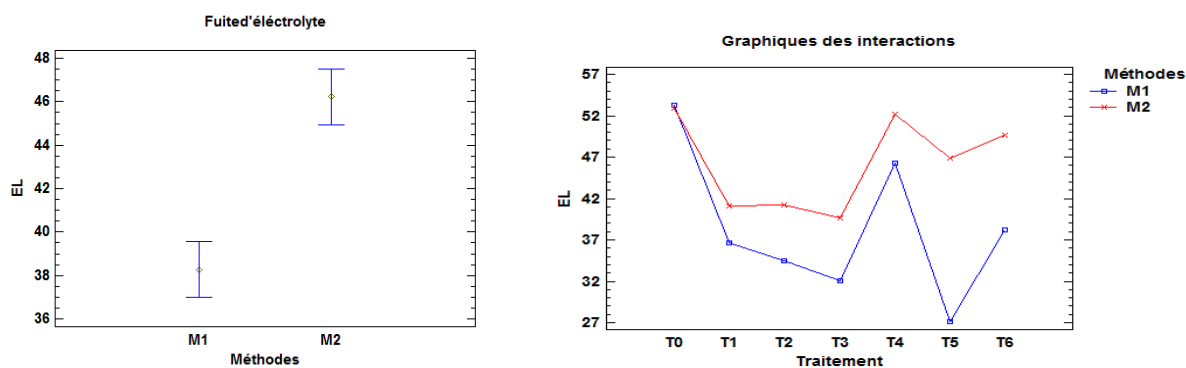
Le teste LSD révèle l'existence de quatre groupes homogènes à savoir (a), (b),(bc) et (c) dans la première méthode et (a),(bc), (c) et (ab) dans la deuxième méthode.

En ce qui est de la méthode de priming, en condition de stress salin, les résultats de la figure n°33 montrent que le pourcentage de fuite d'électrolyte est plus important chez les plantules témoin (T0) (53.2%) suivie par les plantules issues des graines prétraitées par l'AS et l'AAs à des concentrations de 75mg/l (T4 et T6 respectivement) qui affichent des taux légèrement inférieurs 42.2% et 38.2 %. Cependant, des pourcentages moins importants sont signalés au niveau des plantules dont les graines ont été amorcées par les prétraitements T1 et T2 avec des taux qui varient entre (36.6 et 34.4%), ce pourcentage diminue jusqu' à 32% dans les feuilles des plantules du traitement T3.

La fuite d'électrolyte la plus faible est enregistrée chez les plantules issues des graines prétraitées par l'AAs à 50mg/l (T5) avec un pourcentage de 27%.

En ce qui est de la méthode d'application directe des traitements, les résultats illustrés dans la figure n°33 montrent que le pourcentage de fuite d'électrolytes est plus élevé chez les plantules issues des graines témoin (T0) avec un taux de 52.1%, suivi des plantules de graines traitées par la solution (T4) concentré à 75mg/l avec 52.9% et des traitements T6 et T5 qui affichent des taux de 49.6% et 46.9%. Les traitements T2 (41.4%) et T1 (41.5%) semblent être efficaces et laisse causer moins de dommages membranaires en marquant les pourcentages les moins importants. Le traitement T3 quant à lui enregistre le plus faible taux de fuite d'électrolyte de l'ordre de 39% et se classe de ce fait dans la première place.

**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.

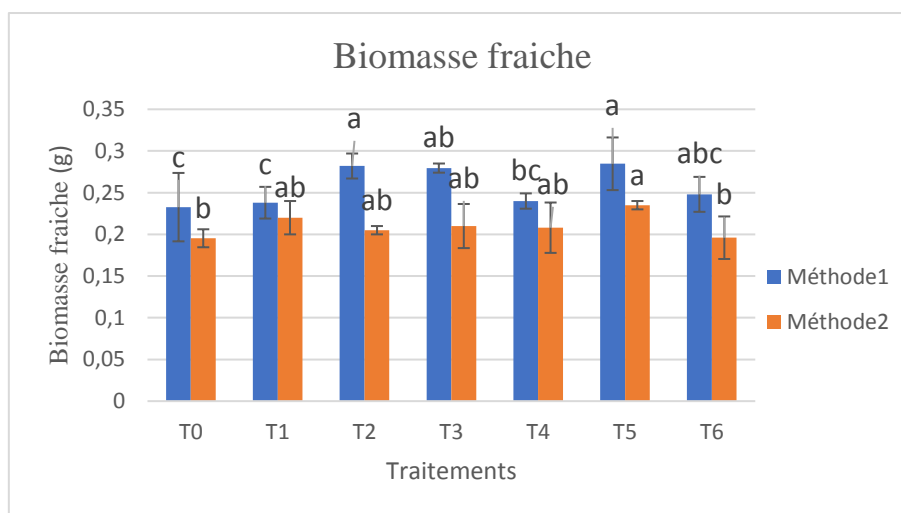


**Figure n° 35 :** Variation des interactions Méthodes X Traitement pour la fuite d'électrolytes.

La comparaison entre les différentes moyennes obtenues de la fuite d'électrolytes montre que la méthode 1, soit la technique d'amorçage des graines de blé dur avec différentes concentration de phytohormones exogènes est celle qui diminue le mieux le pourcentage de la fuite d'électrolyte dans les feuilles.

## 6. Biomasse fraîche :

L'analyse de la variance indique qu'il y a un effet significatif du facteur traitements sur le poids frais des plantules de blé dur dans la première méthode ( $p=0,04$ ) et pour la deuxième méthode un effet non significatif ( $p>0,05$ ) (figure n°35).



**Figure n°36 :** Variations du poids frais des jeunes plantules sous l'effet du stress salin.

Le teste des étendus multiples (LSD), révèle l'existence de quatre groupes homogènes (a, ab, abc et c) pour la première méthode et trois groupes homogènes (a, b et ab) pour la deuxième.

Dans le premier cas, le poids frais le plus important est observé chez les plantules de graines traitées par l'AAs à 50mg/l (T5) avec 0,284g, par l'AG3 à 75mg/l (T2) avec 0,282g et par l'AS à 50mg/L (T3) avec 0,27g, cette valeur baisse jusqu' à 0,248g lorsque la concentration de l'AS atteint les 75mg/l (T6). A l'inverse, les valeurs les moins importantes du poids frais sont enregistrées chez les graines traitées par le T4 avec 0,24g et celles traitées par le T1 avec 0,238g. Le témoin (T0) présente le pourcentage de germination le plus bas égal à 0,232g.

On ce qui concerne le deuxième cas (méthode 2) c'est les traitements T5 et T1 qui enregistrent les meilleurs pourcentages avec 0,23g et 0,22g respectivement. Les traitements T3 et T4 à base d'acide salicylique à 50 mg/l et 75mg/l respectivement donnent des valeurs moindres de l'ordre de 0,21g et 0,20g. Le traitement T6 à base d'acide ascorbique concentré à 75mg/l donne des valeurs approximatives à celles du témoin (T0) avec environ 0,195g.

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. Ces résultats corroborent ceux de (**Selon Sardar et al., 2018**), le poids frais des racines est affecté considérablement par stress salin. L'application exogène de IAAs a un effet positif sur le poids des plantules dans les conditions de stress salin (**Nazima et al., 2016**).

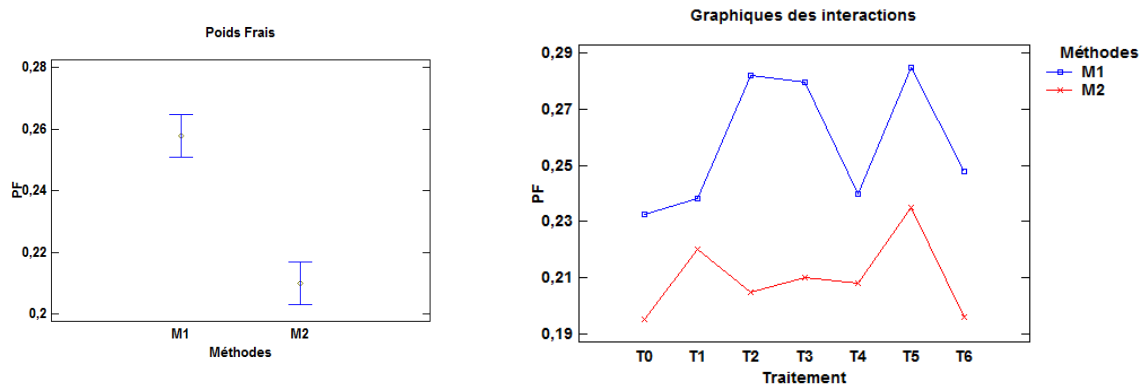


Figure n°37 : Variation des interactions Méthodes X Traitement pour la biomasse fraîche.

Selon la figure n°36, nous remarquons que concernant l’interaction traitements/méthode de traitement, c’est la première méthode qui valorise le mieux les traitements testés par rapport à la deuxième méthode. En effet, selon **Moazz Ali et al. (2020)**, c’est le prétraitement des graines (priming) qui augmente le plus la production de matière fraîche des plantes.

**7. Biomasse sèche :**

L’analyse statistique montre qu’il y a un effet significatif ( $P < 0,05$ ) du facteur traitement sur le poids sec des plantules de blé dur.

Le test des étendues multiples (LSD), indique la présence de quatre groupes homogènes (a, ab, b et bc) pour la première méthode, et trois groupes homogènes (a, ab et b) pour la deuxième méthode.

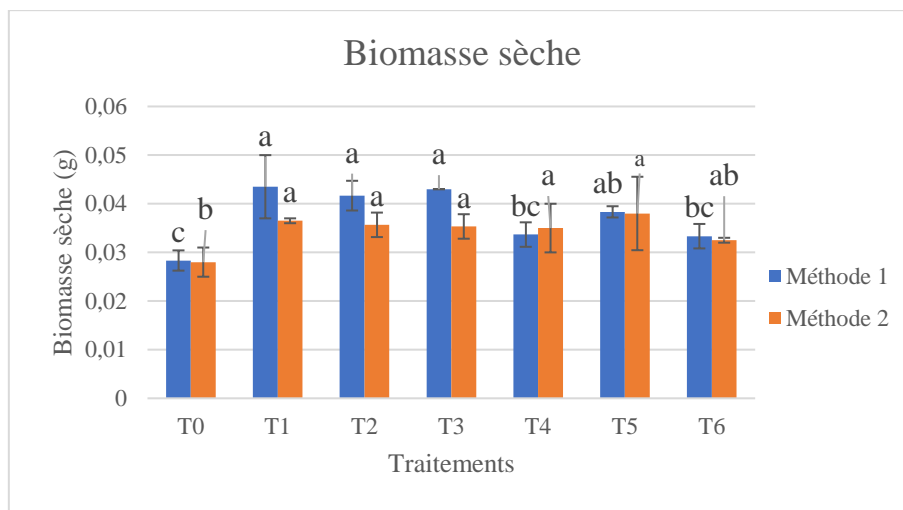


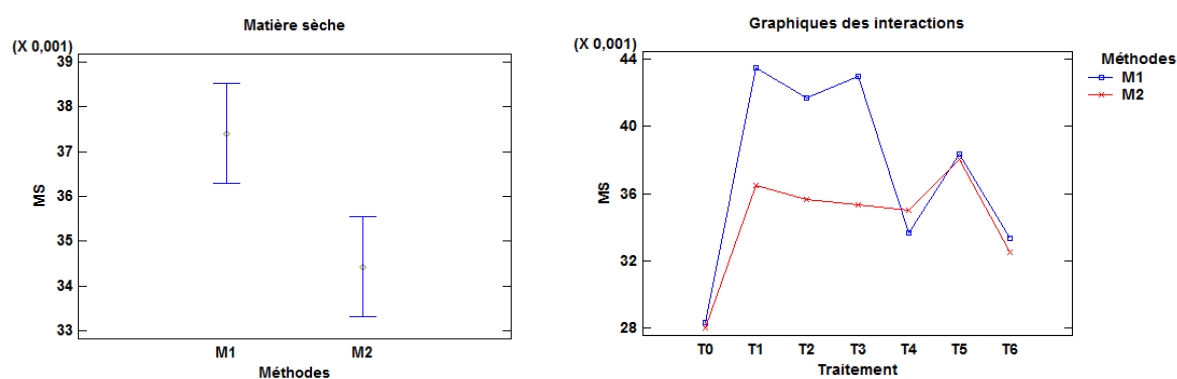
Figure n°38 : Variation du poids sec des jeunes plantules sous l’effet de stress salin.

Dans le cas du priming, les moyennes de biomasse sèche les plus élevées sont observées chez les plantules de graine amorcées avant germination par l'AG3 à 50mg/l (T1), l'AS à 50mg/l (T3) et l'AG3 à 75mg/l (T3) avec des poids respectifs de 0,0435g / 0,043g / 0,041g. Ces moyennes sont moins importantes, jusqu'à 0,038g pour le T5. L'acide salicylique concentré à 75mg/l (T4) et l'acide ascorbique concentré à 75mg/l (T6) donnent des poids similaires avec une moyenne de 0.33 g chacun. Le témoin (T0) présente le poids sec le plus bas avec 0,028g en moyenne pour chaque plantule.

Dans le cas où les graines ont été traitées directement avec les différentes solutions confectionnées (méthode 2), les meilleurs résultats sont ceux observés chez le T5 (AAs à 50mg/l) avec 0,038g, suivi de près par ordre décroissant du T1, T2, T3 et T4 avec une valeur qui avoisine les 0.035g. Les valeurs minimales du poids sec sont enregistrées chez les graines traitées par l'AAs à 75mg/l (T6) avec 0,032g ainsi que chez les graines témoin (T0) qui présentent 0,028g.

Les effets de la salinité sur la croissance des jeunes plants de *Jatropha* cultivés en conditions semi contrôlées, sous serre dépend de plusieurs facteurs. Ils varient selon la concentration de NaCl appliquée au traitement, selon l'espèce, selon la provenance, selon le stade végétatif et l'organe (Levigneron *et al.*, 1995). Les effets de la salinité se manifestent principalement par un ralentissement de la croissance de l'appareil végétatif.

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



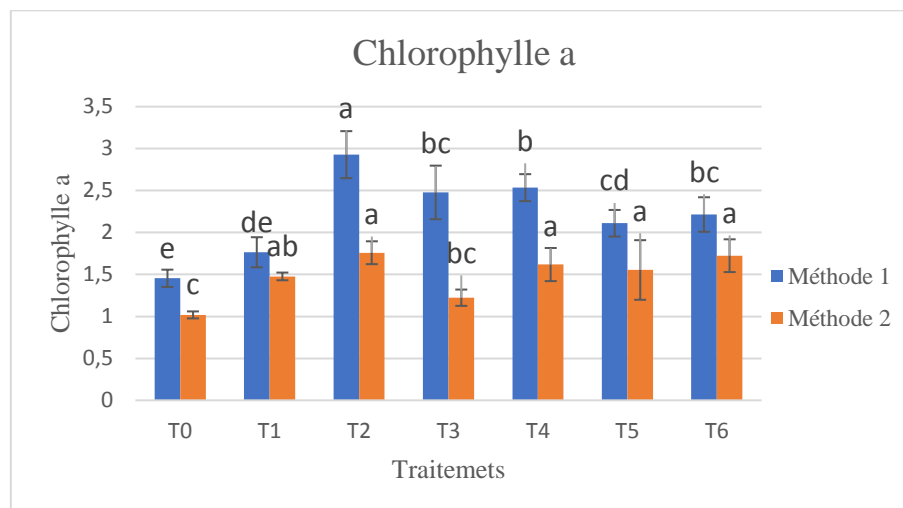
**Figure n°39 :** Variation des interactions Méthodes X Traitement pour la biomasse sèche.

Pour ce qui est de la variation des interactions traitement/ type d'application, la figure ci-dessus montre que c'est les plantules issues des graines traitées par la méthode 1 qui produisent le plus de matière sèche contrairement à la méthode 2, en particulier chez les traitements T1 et T3.

### 8. Teneur en chlorophylle (a et b) :

Les résultats relatifs à la teneur en chlorophylle des feuilles de blé dur sont représentés dans les figures n°40 et n°42.

L'analyse de la variance montre un effet hautement significatif du facteur traitement sur la teneur des feuilles de blé dur en chlorophylle (a) et (b) en conditions de stress salin pour les deux méthodes étudiées.



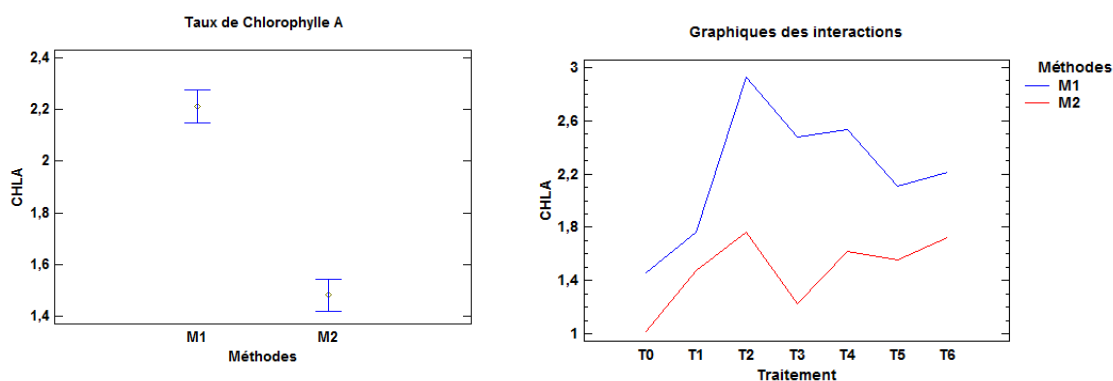
**Figure n°40 :** Quantité de chlorophylle (a) dans les feuilles des plantules de blé dur µg/g MF

Concernant la teneur en chlorophylle (a), le teste LSD montre l'existence de six groupes homogènes (a, b, bc, cd, de et e) pour la première méthode et quatre groupes homogènes (a, ab, bc et c) pour la deuxième méthode.

Les résultats obtenus à partir de la figure n°40 concernant la quantité de chlorophylle (a), nous ont permis de constater que pour la première méthode et en condition de stress salin, il y a eu production d'une quantité très importante de chlorophylle (a). Chez les plantules issues des graines prétraitées par l'AG3 à une concentration de 75mg/l (T2) avec 2.9 µg/g de MF, et chez les plantules issues des graines prétraitées par l'AS à 75mg/l (T4) avec une valeur de 2.5 µg/g de MF. Néanmoins, une performance moins bonne a été notée chez les plantules issues des graines prétraitées par l'AS (T3) avec une teneur de 2.4 µg/g de MF. Les plantules des traitements T6, T5 et T1 quant à elles enregistrent des teneurs moins importantes de l'ordre de 2.2 et 2.1 et 1.7 µg/g MF. Alors que le témoin (T0) affiche la plus faible quantité en chlorophylle (a) avec une teneur qui ne dépasse pas les 1.4 µg/g de matière fraîche.

Pour la deuxième méthode, les résultats obtenus par analyse statistique montrent que les plantules issues des graines prétraitées par l'AG3, l'AA et l'AS à des concentrations de 75mg/l (T2), 75mg/l (T6), 50mg/l (T4) et (T5), enregistrent des quantités importantes de chlorophylle (a) qui varient de 1.75 à 1.55 $\mu$ g/g de MF. Ces dernières sont suivies par le T1 (AG3 à 50mg/l) avec une teneur de 1.47  $\mu$ g/g de MF et par le T3 (AS à 50mg/l) avec 1.22  $\mu$ g/g de MF. Une teneur moindre est enregistrée par le témoin (T0) avec 0.01 $\mu$ g/g de MF.

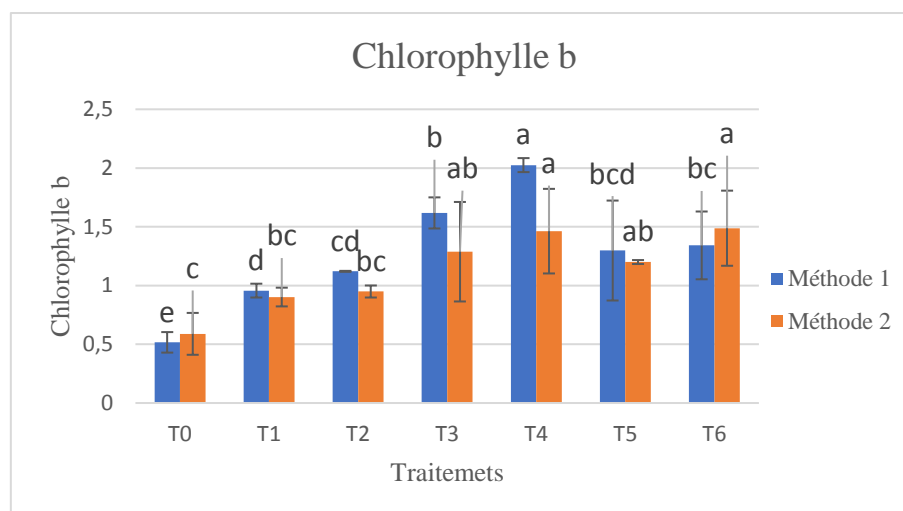
**Bencze et al. (2010)**, affirment que sous un stress abiotique sévère la teneur en proline chlorophylle (A et B) est très affectée. Accompagnée par une augmentation de la teneur en proline dans les différents organes



**Figure n° 41** : Variation des interactions Méthodes X Traitement pour la teneur en chlorophylle (a)

La comparaison entre les résultats illustrés dans la figure ci-dessus indique que les moyennes de chlorophylle (a) obtenues par la méthode 1 sont toujours plus élevées par rapport à la méthode 2 qui se trouvent plus faibles.



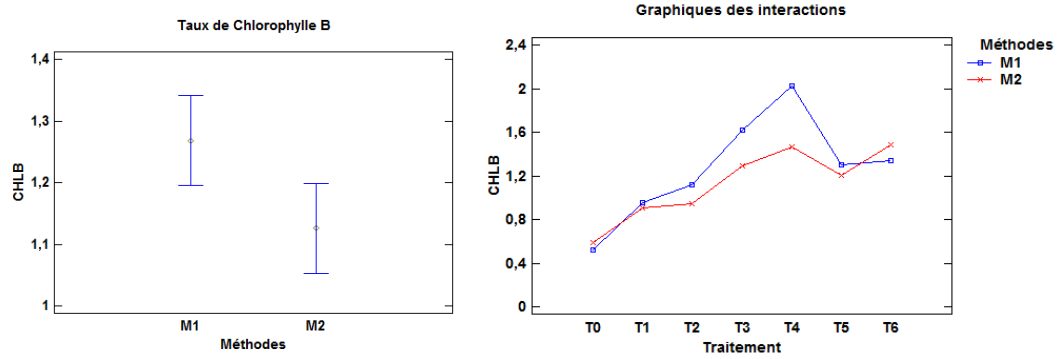


**Figure n° 42 :** Quantité de chlorophylle (b) dans les plantules de blé dur µg/g de MF)

Pour la teneur en chlorophylle (b), le test LSD affiche sept groupes homogènes (a, b, bc, bcd, cd, d et e) pour la première méthode et quatre groupes homogènes à savoir (a, ab, bc et c) pour la deuxième méthode.

Pour la quantité de chlorophylle (b) dans la première méthode (priming), les résultats obtenus dans la figure n°33 montrent que les plantules des traitements T4 et T3 ont enregistrées des quantités plus élevées entre 2.02 et 1.61 µg/g de MF, suivie par les plantules issues des graines traitées par le T6 et le T5 avec des teneurs de l'ordre de 1.34 et 1.29 µg/g de MF. Les plantules des traitements T2 et T1 ont enregistrées des teneurs moins importantes de l'ordre de 1.12 et 0.95 µg/g de MF. Alors que le témoin (T0) affiche la plus faible quantité en chlorophylle (b) avec une teneur ne dépassant pas les 0.51 µg/g de MF.

Pour la deuxième méthode (application directe des traitements), les résultats illustrés par la figure n°41 concernant le dosage de chlorophylle (b) montrent que les plantules issues des graines prétraitées par l'AAs et l'AS à des concentrations de 75 mg/l produisent plus de chlorophylle (b) avec 1.48 et 1.46 µg/g de MF. Les plantules issues des graines traitées par le T3 et le T5 produisent entre 1.28 et 1.20 µg/g de MF. Les traitements T2 et T1 enregistrent des teneurs moins importantes de l'ordre de 0.94 et 0.90 µg/g de MF. A l'inverse, les graines témoin (T0) donnent des plantules moins performantes avec une production de chlorophylle (b) moindre d'une valeur de 0.58 µg/g de MF.



**Figure n°43 :** Variation des interactions Méthodes X Traitement pour la teneur en chlorophylle (b)

Selon la figure n°42 de la variation des interactions traitements/ méthode d’application pour le paramètre teneur en chlorophylle (b), des résultats presque identiques avec ceux de la teneur en chlorophylle (a) sont observés. En effet, c’est toujours la méthode 1 qui a un meilleur impact sur la croissance des plantules de blé dur expérimentés.

## **Conclusion**

La salinité est un phénomène complexe qui conduit souvent à un stress osmotique dû à la diminution des quantités d'eau disponible au niveau de la rhizosphère (**Jagesh et al., 2009**), suite à la réduction de l'aptitude des plantes à absorber l'eau (**Khalova et al., 2009**).

Les phytohormones jouent un rôle de régulateur fondamental lors de la croissance et de développement des plantes, ses applications exogènes permettent de réduire l'effet néfaste de la salinité.

Notre travail 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 cela par la technique de priming et par une application directe des traitements.

Les résultats obtenus démontrent que le prétraitement des graines par les phytohormones exogènes à savoir l'acide gibbérellique, l'acide salicylique et l'acide ascorbique a amélioré significativement la précocité et le taux final de la germination des graines 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 les phytohormones exogènes augmente la teneur en pigments chlorophylliennes par rapport aux plantes non traitées. Cependant, le pourcentage de la fuite d'électrolytes de tous les traitements a diminué par rapport au témoin sous stress salin.

Les résultats obtenus dans notre étude ont montré que les phytohormones utilisées ont un effet significatif sur la teneur relative en eau chez les plantes issues des graines prétraitées par la solution hormonale.

En conclusion, les résultats de cette étude montrent qu'en conditions de stress abiotiques, l'apport exogène des hormones végétales (AG3, AS et AAs) a des effets bénéfiques sur la croissance et les paramètres physiologique et biochimiques des jeunes plantules du blé dur pour les deux méthodes appliquées, avec une performance supérieure remarquable des graines traités par priming par rapport à la deuxième méthode, pour la majorité des paramètres testés.

**Perspectives :**

Compte tenu de l'importance de la culture du blé dur en Algérie, surtout dans les régions arides et semi-arides et à la lumière des résultats 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, d'autres types d'hormones végétales et d'autres méthodes de prétraitement des graines ;

Aussi il est souhaitable de :

- Tester plusieurs génotypes et plusieurs espèces.
- 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.

**Tableau de l'ANOVA pour T%MS M1 par Traitement**

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	CV	Probabilité
Inter-groupes	146,337	6	24,3895	3,98		0,0155
Intra-groupes	85,7464	14	6,12475			
Total (Corr.)	232,084	20			21,0059%	

**Tests des étendues multiples pour T%MS M1 par Traitement**

Méthode: 95,0 % LSD

Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
T6	3	14,1334	X
T0	3	14,5684	X
T4	3	14,6217	X
T5	3	14,6724	X
T3	3	15,5362	X
T2	3	18,0165	XX
T1	3	21,9692	X

**Tableau de l'ANOVA pour T%MS M2 par Traitement**

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	CV	Probabilité
Inter-groupes	63,0314	6	10,5052	1,51		0,2445
Intra-groupes	97,2142	14	6,94387			
Total (Corr.)	160,246	20			15,2614%	

**Tests des étendues multiples pour T%MS M2 par Traitement**

Méthode: 95,0 % LSD

Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
T0	3	15,0412	X
T1	3	17,6852	XX
T2	3	18,1587	XX
T3	3	18,6774	XX
T5	3	19,5945	XX
T4	3	19,9495	X
T6	3	20,7253	X

**Tableau de l'ANOVA pour EL M1 par Traitement**

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	CV	Probabilité
Inter-groupes	1407,12	6	234,519	13,43		0,0000
Intra-groupes	244,473	14	17,4623			
Total (Corr.)	1651,59	20			23,7406%	

**Tests des étendues multiples pour EL M1 par Traitement**

Méthode: 95,0 % LSD

Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
T5	3	27,0642	X
T3	3	32,0922	XX
T2	3	34,4271	X
T1	3	36,6265	X
T6	3	38,2405	X
T4	3	46,2509	X
T0	3	53,2413	X

**Tableau de l'ANOVA pour EL M2 par Traitement**

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	cv	Probabilité
Inter-groupes	563,219	6	93,8698	5,88		0,0031
Intra-groupes	223,661	14	15,9758			
Total (Corr.)	786,88	20			13,5695%	

**Tests des étendues multiples pour EL M2 par Traitement**

Méthode: 95,0 % LSD

Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
T3	3	39,648	X
T1	3	41,0921	XX
T2	3	41,1598	XX
T5	3	46,932	XX
T6	3	49,6438	X
T4	3	52,1586	X
T0	3	52,9395	X

**Tableau de l'ANOVA pour TRE M1 par Traitement**

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	cv	Probabilité
Inter-groupes	2836,34	6	472,723	16,88		0,0000
Intra-groupes	391,985	14	27,9989			
Total (Corr.)	3228,32	20			21,583%	

**Tests des étendues multiples pour TRE M1 par Traitement**

Méthode: 95,0 % LSD

Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
T0	3	47,2107	X
T4	3	52,6021	X
T3	3	53,1398	X
T1	3	53,7277	X
T2	3	55,7884	XX
T6	3	64,942	X
T5	3	84,6494	X

**Tableau de l'ANOVA pour TRE M2 par Traitement**

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	cv	Probabilité
Inter-groupes	773,844	6	128,974	6,55		0,0019
Intra-groupes	275,876	14	19,7055			
Total (Corr.)	1049,72	20			11,339%	

**Tests des étendues multiples pour TRE M2 par Traitement**

Méthode: 95,0 % LSD

Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
T0	3	54,8531	X
T4	3	59,2104	XX
T1	3	60,6012	XX
T6	3	61,7973	XX
T5	3	66,9703	XX
T2	3	71,1454	X
T3	3	72,6684	X

**Tableau de l'ANOVA pour PF M1 par Traitement**

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	cv	Probabilité
Inter-groupes	0,00964483	6	0,00160747	2,95		0,0448
Intra-groupes	0,00763583	14	0,000545417			
Total (Corr.)	0,0172807	20			11,4006%	

**Tests des étendues multiples pour PF M1 par Traitement**

Méthode: 95,0 % LSD

Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
T0	3	0,232667	X
T1	3	0,238	X
T4	3	0,24	XX
T6	3	0,248	XXX
T3	3	0,2795	XX
T2	3	0,282	X
T5	3	0,284667	X

**Tableau de l'ANOVA pour PF M2 par Traitement**

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	cv	Probabilité
Inter-groupes	0,00349514	6	0,000582524	1,44		0,2675
Intra-groupes	0,00565867	14	0,00040419			
Total (Corr.)	0,00915381	20			10,1921%	

**Tests des étendues multiples pour PF M2 par Traitement**

Méthode: 95,0 % LSD

Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
T0	3	0,195333	X
T6	3	0,196	X
T2	3	0,205	XX
T4	3	0,208	XX
T3	3	0,21	XX
T1	3	0,22	XX
T5	3	0,235	X

**Tableau de l'ANOVA pour MS M1 par Traitement**

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	cv	Probabilité
Inter-groupes	0,000600976	6	0,000100163	10,03		0,0002
Intra-groupes	0,000139833	14	0,0000099881			
Total (Corr.)	0,00074081	20			16,2709%	

**Tests des étendues multiples pour MS M1 par Traitement**

Méthode: 95,0 % LSD

Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
T0	3	0,0283333	X
T6	3	0,0333333	XX
T4	3	0,0336667	XX
T5	3	0,0383333	XX
T2	3	0,0416667	X
T3	3	0,043	X
T1	3	0,0435	X

**Tableau de l'ANOVA pour MS M2 par Traitement**

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	cv	Probabilité
Inter-groupes	0,00019431	6	0,0000323849	2,18		0,1082
Intra-groupes	0,000208333	14	0,000014881			
Total (Corr.)	0,000402643	20			13,0324%	

**Tests des étendues multiples pour MS M2 par Traitement**

Méthode: 95,0 % LSD

Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
T0	3	0,028	x
T6	3	0,0325	xx
T4	3	0,035	x
T3	3	0,0353333	x
T2	3	0,0356667	x
T1	3	0,0365	x
T5	3	0,038	x

**Tableau de l'ANOVA pour CHL A M1 par Traitement**

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	cv	Probabilité
Inter-groupes	4,41434	6	0,735723	16,29		0,0000
Intra-groupes	0,632284	14	0,0451632			
Total (Corr.)	5,04662	20			22,7084%	

**Tests des étendues multiples pour CHL A M1 par Traitement**

Méthode: 95,0 % LSD

Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
T0	3	1,4546	x
T1	3	1,76467	xx
T5	3	2,1104	xx
T6	3	2,21447	xx
T3	3	2,47768	xx
T4	3	2,53467	x
T2	3	2,928	x

**Tableau de l'ANOVA pour CHL A M2 par Traitement**

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	cv	Probabilité
Inter-groupes	1,32344	6	0,220573	6,57		0,0018
Intra-groupes	0,469788	14	0,0335563			
Total (Corr.)	1,79323	20			20,2067%	

**Tests des étendues multiples pour CHL A M2 par Traitement**

Méthode: 95,0 % LSD

Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
T0	3	1,01825	x
T3	3	1,22307	xx
T1	3	1,4768	xx
T5	3	1,5536	x
T4	3	1,61827	x
T6	3	1,72387	x
T2	3	1,75916	x

**Tableau de l'ANOVA pour CHL B M1 par Traitement**



Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	cv	Probabilité
Inter-groupes	4,15633	6	0,692722	16,37		0,0000
Intra-groupes	0,5926	14	0,0423285			
Total (Corr.)	4,74893	20			38,4253%	

### Tests des étendues multiples pour CHL B M1 par Traitement

Méthode: 95,0 % LSD

Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
T0	3	0,51645	X
T1	3	0,95685	X
T2	3	1,1208	XX
T5	3	1,29797	XXX
T6	3	1,34166	XX
T3	3	1,61809	X
T4	3	2,02513	X

### Tableau de l'ANOVA pour CHL B M2 par Traitement

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	cv	Probabilité
Inter-groupes	1,93813	6	0,323022	5,00		0,0062
Intra-groupes	0,90443	14	0,0646021			
Total (Corr.)	2,84256	20			33,4931%	

### Tests des étendues multiples pour CHL B M2 par Traitement

Méthode: 95,0 % LSD

Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
T0	3	0,588897	X
T1	3	0,9022	XX
T2	3	0,949245	XX
T5	3	1,20005	XX
T3	3	1,28795	XX
T4	3	1,46283	X
T6	3	1,48803	X

### Tableau de l'ANOVA pour PG M 01 par Traitement

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	cv	Probabilité
Inter-groupes	3034,29	6	505,714	9,83		0,0000
Intra-groupes	1440,0	28	51,4286			
Total (Corr.)	4474,29	34			19,3964%	

### Tests des étendues multiples pour PG M 01 par Traitement

Méthode: 95,0 % LSD

Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
T1	5	50,0	X
T0	5	50,0	X
T4	5	54,0	XX
T3	5	56,0	XX
T2	5	60,0	XX
T6	5	66,0	X
T5	5	78,0	X

### Tableau de l'ANOVA pour PG M 02 par Traitement

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	cv	Probabilité
Inter-groupes	3578,57	6	596,429	5,91		0,0004
Intra-groupes	2826,67	28	100,952			
Total (Corr.)	6405,24	34			22,8396%	

**Tests des étendues multiples pour PG M 02 par Traitement**

Méthode: 95,0 % LSD

Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
T3	5	45,0	X
T0	5	50,0	X
T4	5	54,0	XX
T1	5	64,0	XX
T6	5	65,0	XX
T2	5	66,0	XX
T5	5	76,6667	X

**Tableau de l'ANOVA pour FG M 01 par Traitement**

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	cv	Probabilité
Inter-groupes	4247,74	6	707,956	18,67		0,0000
Intra-groupes	1061,67	28	37,9167			
Total (Corr.)	5309,4	34			16,9798%	

**Tests des étendues multiples pour FG M 01 par Traitement**

Méthode: 95,0 % LSD

Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
T0	5	60,0	X
T1	5	60,0	X
T3	5	65,0	X
T2	5	75,0	X
T6	5	82,5	XX
T5	5	86,0	X
T4	5	86,6667	X

**Tableau de l'ANOVA pour FG M 02 par Traitement**

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	cv	Probabilité
Inter-groupes	285,238	6	47,5397	0,67		0,6745
Intra-groupes	1986,67	28	70,9524			
Total (Corr.)	2271,9	34			9,8205%	

**Tests des étendues multiples pour FG M 02 par Traitement**

Méthode: 95,0 % LSD

Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
T6	5	80,0	X
T4	5	80,0	X
T0	5	80,0	X
T2	5	85,0	X
T5	5	85,0	X
T1	5	86,0	X
T3	5	86,6667	X

**La comparaison :****Tests des étendues multiples pour T%MS par Méthodes**

Méthode: 95,0 % LSD

Méthodes	Effectif	Moyenne MC	Ecart-type MC	Groupe homogène
M1	21	16,2168	0,557815	X
M2	21	18,5474	0,557815	X

**Tests des étendues multiples pour EL par Méthodes**

Méthode: 95,0 % LSD

Méthodes	Effectif	Moyenne MC	Ecart-type MC	Groupe homogène
M1	21	38,2775	0,89227	x
M2	21	46,2248	0,89227	x

**Tests des étendues multiples pour TRE par Méthodes**

Méthode: 95,0 % LSD

Méthodes	Effectif	Moyenne MC	Ecart-type MC	Groupe homogène
M1	21	58,8657	1,06575	x
M2	21	63,8923	1,06575	x

**Tests des étendues multiples pour PF par Méthodes**

Méthode: 95,0 % LSD

Méthodes	Effectif	Moyenne MC	Ecart-type MC	Groupe homogène
M2	21	0,209905	0,00475497	x
M1	21	0,257833	0,00475497	x

**Tests des étendues multiples pour MS par Méthodes**

Méthode: 95,0 % LSD

Méthodes	Effectif	Moyenne MC	Ecart-type MC	Groupe homogène
M2	21	0,0344286	0,000769493	x
M1	21	0,0374048	0,000769493	x

**Tests des étendues multiples pour CHLA par Méthodes**

Méthode: 95,0 % LSD

Méthodes	Effectif	Moyenne MC	Ecart-type MC	Groupe homogène
M2	21	1,48186	0,0432929	x
M1	21	2,21207	0,0432929	x

**Tests des étendues multiples pour CHLB par Méthodes**

Méthode: 95,0 % LSD

Méthodes	Effectif	Moyenne MC	Ecart-type MC	Groupe homogène
M2	21	1,1256	0,0504576	x
M1	21	1,26813	0,0504576	x

**Tests des étendues multiples pour Faculté germinative par Méthodes**

Méthode: 95,0 % LSD

Méthodes	Effectif	Moyenne MC	Ecart-type MC	Groupe homogène
M1	35	73,5952	1,24711	x
M2	35	83,2381	1,24711	x

**Tests des étendues multiples pour Précocité de germination par Méthodes**

Méthode: 95,0 % LSD

Méthodes	Effectif	Moyenne MC	Ecart-type MC	Groupe homogène
M1	35	59,1429	1,47542	x
M2	35	60,0952	1,47542	x

## Références Bibliographies

- Alaoui M. M., Jourmi L., El Ouarzane A., Lazar S., Antri S., El Zahouily M. & Hmyene A. (2013).** Effet du stress salin sur la germination et la croissance de six variétés marocaines de blé. *Journal of Materials and Environmental Science* 4(6), 997-1004.
- Anonyme, 2008.** Agriculture, échanges et environnement. Le secteur des grandes cultures. Ed. OCDE, p 361-366.
- Aya A. N. N'dril, 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.
- Ammar M. (2015).** Organisation de la chaîne logistique dans la filière céréales en Algérie : états des lieux et perspective. Thèse de Doctorat de CIHEAM Montpellier : pp 17-20
- Arbaoui M., Benkhelifa M. & Belkhodja M. (2000).** Réponses physiologiques de quelques variétés de blé dur à la salinité au stade juvénile. *Option Méditerranéenne* 40, 267-270.
- Amokrane A. (2001).** Evaluation et utilisations de trois sources de germoplasme de blé dur (*triticum durum* Desf.). Thèse de Magister, Institut d'Agronomie, Université **Colonel El Hadj Lakhdar**, Batna, 80 p
- Acevedo, E; Silva, P; Silva, H. (2002).** Growth and wheat physiology, development. In: Bread wheat: improvement and production. Edited by Curtis BC, Rajaram S, Gomez Macpherson H: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 567 p
- Benmahioul B., Daguin F. Kaid-Harche M. (2009).** Effet du stress salin sur la germination et croissance in vitro du pistachier (*Pistacia vara L.*), *Comptes Rendus Biologies* 332(8), 752-758.
- Buck H. & Nisi J. (2007).** Wheat production in stressed environments. Proceedings of the 7th international wheat conference, 27 nov-2 Dec 2005, Mar del plata, Argentina developments in plant breeding, volume 12
- Ben Hebireche N. et Djafour H., 2011.** Effet de stress salin sur l'accumulation de la Chlorophylle chez le blé dur, Mémoire de fin d'étude, 9 p

- Bentouati I., Safsaf H. (2019).** Effet du chlorure de sodium (NaCl) sur la germination et les paramètres de croissance du blé (*Triticum sp*). *Mémoire de Master. Algérie : Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A*, 17-34 p.
- Ben mansours, Beddiar s, 2011 :** Etude de la variabilité intra spécifique de la tolérance aux stress salin du blé dur (*Triticum durum*) du stade germination pp13-14.
- Bonjean, A. 2001.** Histoire de la culture des céréales et en particulier de celle du blé. *Dossier de l'environnement de l'INRA.*, 21 :29-37.
- Bakht J, Shafi M, Jamal Y, She H. 2011.** Response of maize (*Zea mays L.*) to seed priming with NaCl and salinity stress. *Span J. Agri. Res.*, 9: 252-261.
- Badraoui , 2000 :** Modélisation de l'impact de l'irrigation sur le devenir salin et sodique des sols. Actes d'atelier du PCSI, Montpellier, France, 28-29 mai 2002. 19p.
- Bahlouli et al. 2005.** Selection of stable and high yielding cultivar of durum wheat under semi-arid conditions. *Pakistan Journal of Agronomy* 4 (4): 360- 365.
- Ben Naceur M., Rahmoune C., Sdiri H., Meddahi M. L. & Selmi M. (2001).** Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé. *Sécheresse* 12, 167-74
- Bajji M. (1999).** Étude des mécanismes de résistance au stress hydrique chez le blé dur : caractérisation de cultivars différant par leurs niveaux de résistance à la sécheresse et de variants somaclonaux sélectionnés *in vitro*. Thèse de Doctorat. Univ. Louvain
- Beba S. (2011)** Essai de comportement de deux variétés de blé dur (*Triticum durum* Lara Carioca et vitro) conduite sous palmier dattier au niveau de région d'Ourgla., université Merbah, Ourgla. Ingénieur d'état agronomie saharienne : 9p.
- Colnenne C.; Masse J. et Crosson P. (1988)-** Rythme d'apparition des racines primaires du blé. *Pers. Agro. 128* : 16-20.compared with conventional selection OCL-Ol. *Corps Gras Lipides* 8:496–501.
- Casal J.J., 2002.** Environmental Cues affecting development. *Current Opinion in Plant Biology* 5, 37-42.
- Djermoun a., 1995** - La distribution des produits céréaliers en Algérie. Cas des produits finis dans la région de Blida. Thèse de Magister, INA, El Harrach, 1994, 303 P

- Djermoun, A.** (2009). La production céréalière en Algérie: les principales caractéristiques. *Nature & Technology*, (1), 45
- 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.
- Emillie. (2007).** Connaissance des aliments Base alimentaire et nutritionnelles de la diététique. ED :Tec et Doc, Lavoisier, paris.
- Faostat (2019).** sites des données statistiques de la FAO : [www.faostat.fao.org](http://www.faostat.fao.org)
- Feillet P. 2000.** « Le grain de blé : composition et utilisation », Editions Quae, p (124 –128).
- Feillet P. 2000.** « Le grain de blé : composition et utilisation », INRA, Paris, p 308
- Feillet. 2000.** « Le grain de blé composition et utilisation ». INRA.Paris 308p.
- Flowers T. J., Troke P. F. & Yeo A. R. (1977).** The mechanisms of salt tolerance in halophytes. *Annual review of plant physiology* 28(1), 89-121.
- Gate, P. 1995.** Ecophysiologie du blé. Ed., ITCF., Technique et Documentation.
- Grignac, PH., (1965)-** Contribution à l'étude de *Triticum durum* Desf. Thèse de Doctorat Université de Toulouse ,240p.
- Grancourt et Prats. (1971)** Les céréales. Ed.J.B. Bailliers et Fils, 360p
- G. Tanou, V. Fotopoulos, A. Molassiotis ;2012** Priming against environmental challenges and proteomics in plants: update and agricultural perspectives
- Granelle A. et Carbonell J.,1996.** Les hormones végétales. *Pour la science*, n°=228, p.42-50.
- Hajlaoui 2007** : Etude de la variabilité intra spécifique de tolérance au stress salin du pois chiche (*ciceraietinum* L.) au stade de germination. *TROPICULTURA*, 35, 3pp168-173.
- Herrero j. et Synder L, 1997:** Aridity and irrigation in argon, Spain. *Journal of aride environnements* 35 Spain. Pp 535-547.
- Hanana et al. (2009).** Mecanismes et strategies cellulaires de tolerance à la salinité (NaCl) chez les plants .*Environmental Reviews*.19 :121-140.

- Hasan M. I., Kibria M. G., Jahiruddin M., Murata Y. & Hoque M. A. (2015).** Improvement of Salt Tolerance in Maize by Exogenous Application of Proline. *Journal of Environmental Science and Natural Resources* 8(1), 13-18
- Hassani. (2008).** Effet de la Salinité Sur L'eau et Certains Osmolytes Chez L'orge (*Hordeum Vulgare*L). *European Journal of Scientific Research. Vol (23)*, 61-69.
- Hamadache A. (2013).** Eléments de phytotechnie générale-Grandes Cultures-Tome 1 : le blé, 11-49.
- Hubert P.,1998-** Recueil de fiches techniques d'Agriculture Spéciale 17 : 23-27.involved. In: Physiology breeding of winter cereals for stressed Mediterranean environments.
- (Jagesh et S.,SHabala, L.,Newman. J.,,2009),** effect of divalent cations on ion fluxes and leaf photochemistry in salinized barley leaves.j.of Exp.Bot.56,415;1369-1378.
- Kherfi w, Brahmi ; 2011 :** Mémoire étude de l'effet du stress salin sur la germination de blé dur (*triticum durum*).
- Khan et al, 1997:** Effect of sodium chloride on growth, photosynthesis and mineral ions accumulation of different types of rice (*Ovsya sativa*). *J. Agronomy and science:* 149- 161
- K. Chen, R. Arora ; 2011.** Dynamics of the antioxidant system during seed osmopriming, postpriming germination, and seedling establishment in spinach (*Spinaciaoleracea*) *Plant Sci.*, 180 (2011), pp. 212-220
- K. Chen, R. Arora ;2013** Priming memory invokes seed stress-tolerance *Environ. Exp. Bot.*, 94 (2013), pp. 33-45
- 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
- Ruiz-Lozano, J. M., Porcel, R., Azcón, C., & Aroca, R., 2012.** Regulation by arbuscular mycorrhizae of the integrated physiological response to salinity in plants: new challenges in physiological and molecular studies. *J. Exp. Bot.* 63, 4033-4044
- Levitt. (1980).** Responses of plants to environmental stresses. Water, radiation, salt, and other stresses, 2.

- Levigneron A, Lopez F, Varisuyt G, Berthomien P, Casse-Delbar T. 1995.** Les plantes face au stress salin. Cahier d'Agriculture, 4: 263-273.
- L. Rajjou, M. Duval, K. Gallardo, J. Catusse, J. Bally, C. Job, D. Job 2012.** Seed germination and vigor Ann. Rev. Plant Biol., 63 (2012), pp. 507-533
- Leclerc, 1999 (Bouatrous Y, 2013) :** Effet du stress salin et l'haploïdisation chez le blé dur (*triticum durum* Desf).
- Levigneron A., Lopez F., Varisuyt G., Berthomien P. et Casse Delbar T., 1995.** Les plantes face au stress salin . cahie Agriculture. (4) :263-273.
- Mermoud A. (2006).** Cours de physique du sol : Maîtrise de la salinité des sols. *Ecole polytechnique fédérale de Lausanne*, 23 p
- Munns R., & Tester M. (2008).** Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology* 59, 651-681
- Munns, R. (2005).** Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytol.* 167(3) : 645-663.
- Maciejewski, 1991 (Kherfi W, Brahmi ; 2011) :** Mémoire étude de l'effet du stress salin sur la germination de blé dur (*triticum durum*).
- Menacer F., 2007.** Contribution à l'étude de l'effet de la salinité sur un marqueur biochimique, cas de la proline chez *Atriplex halimus* L. et *Atriplex confertifolia* (purch) Nntt, Pp99.
- Masle-Meynard J. (1980)** L'élaboration du nombre d'épis chez le blé d'hiver. Influence de différentes caractéristiques de la structure du peuplement sur l'utilisation de l'azote et de la lumière. Thèse de docteur-ingénieur. INA-PG, Paris, 274p.
- Midaoui M, Benbella M, Ait houssa A, Ibriz M, Talouizte A. (2007)** Contribution à l'étude de quelques mécanismes d'adaptation à la salinité chez le tournesol cultivé (*Helianthus annuus* L.). *HTE*, N°136 :29-34
- Moule C. (1971)** Les céréales Tome 2. La maison rustique, paris :1-12-13-14-15-16-17-18-21-22-23-45-46-47 p
- 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.



- **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
- Soltner D. (2005).** Les grandes productions végétales .Ed. *Collection sciences et techniques agricoles*, 472p.
- **Surget A., Baron C. (2005).** Histologie du grain de blé. Industrie des céréales
- Samouelian, F. Gaudin, V. et Boccara, M. 2009.** Génétique moléculaire des plantes. Quae. Paris, 207p.
- Servant, 1975.**Contribution à l'étude pédologique des terrains halomorphe- EDINRA, SES,MONTPLLER
- Stengel, (2009).** Le sol. Paris, France. 182.
- Slama A, Bensalem M, BenNaceur M, Zid E. (2005)** Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. *Sécheresse*, vol 16, N°3 :225-229.
- S. Paparella, S.S. Araújo, G. Rossi, M. Wijayasinghe, D. Carbonera, A. Balestrazzi ;2015** Seed priming: state of the art and new perspectives Plant cell Rep., 34 (2015), pp. 1281 1293
- 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.
- 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.
- U. Conrath. 2011.** Molecular aspects of defense priming Trends Plant Sci., 16 (2011), pp. 524-531
- V. Manonmani, M.A.J. Begum, M. Jayanthi ;2014** Halo priming of seeds Res. J. Seed Sci., 7 (2014), pp. 1-13

- Wangxiaxia, Vinocur P, Altmn A; 2003:** “plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance”, plant, Pp1-14.
- 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.
- Yekhlef, 1999:** effet de l’addition de l’azote et du potassium sur la tolérance du poivron doux à l’eau d’irrigation sale. Séminaire Maghrébin sur la protection de la culture. Novembre 1993, ISN Annaba Algérie
- Yakoubi f.,2014-**Reponse hormonale des graines du gombo (*abelmoschus esculentus* L.).Mem. Mag., Physiologie végétale. Univ. Oran, Algerie,73p.
- Yuan, K., Rashotte, A. M., Wysocka-Diller, J. W., 2011.** ABA and GA signaling pathways interact and regulate seed germination and seedling development under salt stress. Acta Physiol. Plant 33, 261-271.
- Zhu (2001):** plant salt tolerance.trends in plant Sci.pp66-71

# ANNEXES

# **INTRODUCTION**

# CONCLUSION

# **RESULTATS**

## **&**

# **DISCUSSION**

# **Partie**

# **Expérimentale**

# **Synthèse**

# **Bibliographique**



**REFERENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUE**