

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE SAAD DAHLEB BLIDA 1

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Biotechnologies et Agro-Ecologies



Projet de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme du Master académique
en Sciences de la Nature et de la Vie

Option : Biotechnologie Végétale

Thème :

**Impact de priming des graines sur la germination et la
croissance de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) en condition de
stress salin.**

Réalisée par :

ABIDAT Hadil

FELLAGUE CHEBRA Halima

SLIMANE Aboubaker

Devant le jury composé de :

Mme. CHAOUIA C.	Professeur	U. Blida 1	Présidente
Mr. ABBAD M.	MCA	U. Blida 1	Examineur
Mr. HAMIDI Y.	MCB	U. Blida 1	Promoteur

2021 /2022

Remerciements

Au terme de ce modeste travail ; Tout d'abord nous tenons à remercier dieu pour la santé, la volonté et le courage de mener à terme ce travail.

Nous tenons à adresser notre sincère remerciement à Monsieur **Hamidi Youcef** pour l'encadrement de ce travail de recherche, et tous les conseils dont on a pu bénéficier au cours de ce mémoire de fin d'étude.

Nous remercions également tous les membres du jury **Mme. Chaouia** et **Mr. Abbad** de l'honneur que vous nous avez fait en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Remerciement spécial à tous les professeurs qui nous ont enseigné et suivis tout au long de notre parcours et qui par leur compétence nous ont soutenu dans la poursuite d'étude.

Nous tenons à remercies monsieur Walid ingénieure de laboratoire d'amélioration des plantes.

Enfin, un remerciement à toutes personnes qui ont contribué à la réalisation de notre travail.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire

A mes très chers parents pour leurs amours, leurs prières, leurs encouragements et leur soutien inconditionnel à la fois moral et matériel je vous remercie beaucoup pour ce que vous faites pour moi.

A mon frère Hamid et sa femme Roumaïssa et mes sœurs N. Houda et Oumaima qui m'avez toujours soutenu et encouragé durant ces années d'études.

Aux petits chouchou de la famille Youcef, Mohamed et Israa.

A mon trinôme Halima et Aboubaker

A tous mes collègues et mes meilleurs amis

Hadil.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire :

À ma très chère mère.

À mon cher père.

À mon frère **Younes**, à ma sœur **Douaà**, à ma cousine **Meriem**.

À toute ma famille et à tous mes amis.

A mes Amies qui en partagés une résidence universitaire **Mamika, Naila** et **Selma**.

A mon trinôme **Hadil** et **Aboubaker**.

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou du loin dans la réalisation de ce modeste travail.

Halima.

Dédicaces

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

A l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher père.

A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir. À cette mère exigeante et ambitieuse, qui a guidé mes pas et qui est à l'origine de toutes mes réussites. À ma Maman qui m'a tout donné, je t'aimerais toujours. Puisse ton âme reposer en paix.

À mes amis **Raouf, Mouatez, Ibrahim, Nadir, Ayoub, Amine, Bilal, Kousila, Djamal, Khaled, Ishak** et sans oublier **Aïssa** et **Sidali** qui n'ont pas cessée de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études. Que Dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur.

A la famille de **SLIMANE** et **ESCHOUF**, Que Dieu leur donne une longue et joyeuse vie.

A tous les cousins, les voisins et les amis que j'ai connu jusqu'à maintenant.

Merci pour leurs amours et leurs encouragements.

Sans oublier mon trinôme **Hadil** et **Halima** pour leurs soutien moral, leurs patience et leurs compréhension tout au long de ce projet.

Aboubaker.

Résumé :

L'orge est l'une des cultures les plus importantes dans le monde. En Algérie, elle occupe la deuxième place en production de grains après le blé. Comparativement au blé (dur et tendre). L'orge est considéré comme une espèce tolérante à la salinité. La croissance et le développement de cette espèce sont cependant affectés par les excès de sel.

La présente étude porte sur l'impact des trois phytohormones exogènes (acide gibbérellique (AG3), acide salicylique (AS) et acide ascorbique (AAs) appliqués sur la germination et la croissance des graines d'orge testées dans des conditions du stress salin causé par 100 mM du NaCl.

Les résultats obtenus montrent que le prétraitement des graines par les phytohormones exogènes AG3, AS, AAs, provoque une augmentation de la précocité et le taux final de la germination des graines, la croissance en longueur de la partie racinaire et la partie aérienne, ainsi que la biomasse fraîche et sèche.

L'analyse de certains composés biochimiques montre que le priming des graines d'orge par les phytohormones augmente la teneur en pigments chlorophylliens et diminue le pourcentage de la fuite d'électrolyte de la membrane par rapport au témoin non traité.

Mots clés : Orge, Phytohormones, Priming, stress salin, NaCl, AG3, AS, AAs.

Abstract :

Barley is one of the most important crops in the world. In Algeria, it ranks second in grain production after wheat. Compared to wheat (hard and soft). Barley is considered a salinity-tolerant species. However, the growth and development of this species is affected by excess salt.

The present study focuses on the impact of three exogenous phytohormones (gibberellic acid (AG3), salicylic acid (SA) and ascorbic acid (AAs) applied on the germination and growth of barley seeds tested under salt stress conditions. caused by 100 mM NaCl.

The results obtained show that the pretreatment of the seeds by the exogenous phytohormones AG3, AS, AAs, causes an increase in the precocity and the final rate of the germination of the seeds, the growth in length of the root part and the aerial part, as well as fresh and dry biomass.

The analysis of certain biochemical compounds shows that the priming of barley seeds by phytohormones increases the content of chlorophyll pigments and decreases the percentage of electrolyte leakage from the membrane compared to the untreated control.

Keywords : Barley, Phytohormones, Priming, salt stress, NaCl, AG3, SA, AAs.

ملخص:

يعتبر الشعير من أهم المحاصيل في العالم، وفي الجزائر يحتل المرتبة الثانية في إنتاج الحبوب بعد القمح (الصلب واللين). يعتبر الشعير من الأنواع التي تتحمل الملوحة. ومع ذلك، فإن نمو وتطور هذا النوع يتأثران بالملح الزائد.

تركز الدراسة الحالية على تأثير ثلاثة هرمونات نباتية خارجية حمض الجبريليك (AG3) وحمض الساليسيليك (SA) وحمض الأسكوربيك (AAs) المطبقة على إنبات ونمو بذور الشعير المختبرة تحت ظروف الإجهاد الملحي .

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن المعالجة المسبقة للبذور بواسطة الهرمونات النباتية الخارجية AG3 ، AS ، AAs، تؤدي إلى زيادة سرعة الإنبات والمعدل النهائي لإنبات البذور، ونمو طول الجذور والجزء الجوي، وكذلك الكتلة الحيوية الطازجة والجافة.

أظهر تحليل بعض المركبات الكيميائية الحيوية أن تحضير بذور الشعير بواسطة الهرمونات النباتية يزيد من محتوى أصباغ الكلوروفيل ويقلل من نسبة تسرب المنحل بالكهرباء من الغشاء مقارنة بالتحكم غير المعالج.

الكلمات المفتاحية: الشعير، الهرمونات النباتية، فتيلة، إجهاد الملح، كلوريد الصوديوم.

Liste des tableaux

Tableau 01 : Principaux pays producteurs d'orge en millions de tonne de 2015 à 2020.....	14
Tableau 02 : Production des céréales et d'orge en Algérie de 1900 à 2016.....	15
Tableau 03 : Variétés d'orge cultivées en Algérie.....	16
Tableau 04 : Distribution régionale des sols salin et sols sodiques en millions d'hectares.....	28
Tableau 05 : Classification de la qualité des eaux d'irrigation.....	29
Tableau 06 : Caractéristiques morphologiques et culturales d'orge variété FAOUARA.....	41
Tableau 07 : Résistance de l'orge aux facteurs abiotiques	42
Tableau 08 : Concentration des différents traitements utilisés	47

Liste des figures

Figure 01 : Croissant fertile.....	4
Figure 02 : Épis d'orges à deux et à six rangs.....	5
Figure 03 : Vue ventrale et dorsale du grain d'orge.....	6
Figure 04 : Coupe longitudinale du grain de l'orge (<i>Hordeum vulgare</i> L).....	7
Figure 05 : Description morphologique d'orge	8
Figure 06 : Epillet d'orge à deux rangs à gauche et d'orge à six rangs à droite	9
Figure 07 : La phase semis levée.....	10
Figure 08 : La phase levée –début tallage	11
Figure 09 : La phase début tallage –début montée	11
Figure 10 : Différences entre GA3 et les autres molécules de GA	20
Figure 11 : Structure de l'acide salicylique	22
Figure 12 : Résistance aux pathogènes	22
Figure 13 : Biosynthèse de la proline	36
Figure 14 : Les graines de l'orge (<i>Hordeum vulgare</i> L.)	42
Figure 15 : Etapes de préparation d'une solution d'acide gibbérellique... ..	44
Figure 16 : Étapes de préparation d'une solution saline	45
Figure 17 : La désinfection, rinçage et séchage des grains.....	45
Figure 18 : Trempage des graines dans les différentes solutions hormonales.....	46
Figure 19 : Disposition des graines dans les boites de pétri... ..	47
Figure 20 : Application de stress salin sur les graines... ..	48
Figure 21 : Mise en germination dans des boites de Pétri à l'étuve (à 25°C).....	48
Figure 22 : La mesure de différentes parties de la plantule par le digimizer	49
Figure 23 : Séchages des plantules dans étuve	50
Figure 24 : Détermination de fuite d'électrolyte	51
Figure 25 : Détermination de chlorophylles... ..	52
Figure 26 : Méthode de détermination de CRE	53

Liste des abréviations

AAAs : Acide Ascorbique.

ABA : Acide Abscissique.

AIA : Acide Indole Acétique.

AS : Acide Salicylique.

CE : Conductivité Electrique.

CEC : Capacité d'échange cationique

CRE : Contenant relative en eau.

EL : Fuite d'électrolyte.

AG3 : Acide Gibbérellique 3.

LF : La longueur de la partie foliaire.

LR : La longueur de la partie racinaire.

LSD : Least significant difference (Test des entendus multiples).

MS : Matière sèche.

Mt : Millions de tonnes.

PF : Poids frais.

PS : Poids sec.

PT : poids à la turgescence.

SAR : Résistance Systématique Acquise.

SSR : Simple Séquences Répétées.

FAO : *Food and Agriculture Organization* .

Table des matières

Remercîments

Dédicaces

Résumé

Abstract

المخلص

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction1

Partie I : Synthèse bibliographique

Chapitre 1 : Généralités sur l'espèce étudiée.

1. Orge (<i>Hordeum vulgare</i> L.)	3
2. Origine génétique et géographique de l'orge.....	3
3. Les types de l'orge.....	4
4. Classification botanique.....	5
5. Description morphologique de l'orge.....	5
5.1. Graine.....	6
5.2. Appareil végétatif.....	7
5.2.1. Appareil aérien.....	7
5.2.2. Appareil racinaire.....	8
5.3. Appareil reproducteur.....	8
6. Cycle de développement de l'orge.....	9
6.1. période végétative.....	9
6.2. Période reproductrice.....	12
6.3. Période de maturation.....	12
7. Importance économique de la culture de l'orge.....	13
7.1. Dans le monde.....	13
7.2. En algérie.....	15
8. Variétés d'orge cultivée en Algérie.....	16

9. Utilisation de l'orge.....	17
-------------------------------	----

Chapiter 2: phytohormones

1. Phytohormones ou hormone végétale.....	19
2. Différents types des phytohormones	19
2.1. Acide gibbérellique	19
2.1.1. Rôles physiologiques des gibbérellines	20
2.2. Acide salicylique	21
2.2.1. Rôles physiologiques d'acide salicylique	22
2.3. Acide ascorbique	23
2.3.1. Rôle de l'acide ascorbique	23
3. Effet des phytohormones sur la plante en condition de stress salin.....	24
3.1. Effet de auxines.....	24
3.2. Effet d'acide gibbérellique.....	24
3.3. Effet de l'acide abscissique.....	24

Chapitre 3 : stress salin

1. Généralités sur les stress.....	26
1.1. Stress salin	26
1.2. Stress hydrique	27
1.3. Stress ionique	27
1.4. Stress nutritionnel.....	27
2. Généralités sur la salinité	27
2.1. Salinité dans le monde et en Algérie	27
2.2. Origine de la salinité	29
2.2.1. Salinisation primaire	29
2.2.2. Salinisation secondaire	30
2.3. Causes de la salinité	30
2.4. Effets de la salinité sur la plante	31
2.5. Effet de la salinité sur la germination	31
2.6. Effets de la salinité sur la croissance des plantes	32
2.7. Effets de la salinité sur l'anatomie des feuilles.....	32
2.8. Effets de la salinité sur la photosynthèse des plantes	33
2.9. Mécanisme d'adaptation des plantes au sel.....	33
2.9.1. Inclusion.....	33
2.9.2. Exclusion.....	33

2.9.3. Sélectivité ionique : efficacité d'utilisation de k^+	34
2.9.4. Ajustement osmotique.....	34
2.9.5. Accumulation de la proline.....	35
2.9.6. Accumulation des sucres solubles.....	36

Chapitre 4: Prétraitement des graines

1. Prétraitement des graines.....	37
1.1. Traitements physique	37
1.2. Traitements chimique	37
1.2.1. A base d'acide sulfurique (H_2SO_4) (Scarification chimique)	37
1.2.2. A base des hormones	38
1.2.2.1. Acide gibbérellique (AG3)	38
1.2.2.2. Acide salicylique.....	38
1.2.2.3. Acide ascorbique.....	38
1.3. Autres traitements	39
1.3.1. La stratification.....	39
1.3.2. Chaleur sèche.....	39
1.3.3. Scarification thermique (Eau bouillante)	39
1.3.4. Micro-ondes.....	40
1.3.5. Les traitements prégerminatifs des semences (ou priming)	40

Partie II : Partie expérimentale.

Chapitre 5 : matériel et méthode

1. Objectif de l'essai	41
2. Présentation du site de l'essai	41
3. Matériel végétale	41
4. Description des différents traitements testés	42
5. Préparation des différents traitements	43
6. Préparation de la solution saline.....	44
7. Préparation des graines pour les tests de germination.....	45
8. Paramètres étudiés.....	48
8.1. Calcul de pourcentage de germination des grains.....	48
8.2. Indice de vigueur.....	49
8.3. Biomasse fraîche produite.....	49
8.4. Longueur de la partie racinaire.....	49
8.5. Longueur de la partie foliaire.....	49

8.6. Biomasse sèche.....	49
8.7. Taux de la matière sèche.....	50
8.8. Fuite d'électrolyte	50
8.9. Dosage de la teneur des feuilles en chlorophylle	51
8.10. Contenu relative en eau.....	52
9. Analyse des données	53

Chapiter 6: Résultats et Discussion

1. Taux de germination.....	54
2. Longueur de la partie foliaire	55
3. Longueur de la partie racinaire.....	56
4. Indice de vigueur	57
5. Poids frais des plantules	58
6. Taux de la matière sèche	59
7. Biomasse sèche	60
8. Conteneur relative en eau (CRE)	61
9. Fuite d'électrolyte (EL%)	62
10. Teneur en chlorophylle "a"	63
11. Teneur en chlorophylle " b"	64
Conclusion et prespective.....	65
Références bibliographiques	66
Annexes.....	81

INTRODUCTION.

Les céréales constituent une part importante des ressources alimentaires de base d'une grande partie de la population du globe. Elles constituent dans les pays pauvres entier 75% des calories nécessaire par personnes (Saulnier, 2016).

En Algérie la culture céréales occupe une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale, elles sont cultivées pratiquement dans toutes les régions des hauts plateaux situées dans les zones semi-arides et sub-humides. La production des céréales occupe environ 80% de la superficie agricole utile (SAU) du pays. Les importations des céréales représentent 43% des valeurs globales des pays des importations. (Smadhi et Zella, 2009)

L'orge (*Hordeum vulgare* L.) est l'une des céréales les plus anciennement cultivée depuis le néolithique. Au plan mondial, l'orge figure au quatrième rang des céréales après le blé et le riz et le maïs avec une production assez stable qui dépasse 140 millions tonnes. C'est une culture qui peut s'adapter à plusieurs régions et elle est populaire dans les régions tempérées, ou elle est cultivée comme culture d'été. Dans les régions tropicales est produite comme culture d'hiver. L'orge aime le temps frais mais n'est particulièrement pas résistante à l'hiver (Nov, 2009).

En Algérie, l'orge (*Hordeum vulgare* L.) est la deuxième céréale la plus cultivée après le blé. Cette culture joue un rôle important dans l'équilibre de l'économie algérienne, elle est susceptible de contribuer à l'accroissement de la production fourragère, en particulier dans les zones semi-arides où elle montre une adaptation par rapport aux autres céréales, mais malgré cette importance économique, la culture de l'orge est confrontée à plusieurs contraintes d'ordre climatiques et techniques qui affectent fortement les rendements et limitent son extension (Ben Mohemed, 2004).

La salinité est une contrainte environnementale qui cause le plus de dommage à la production agricole. Les fortes doses de sel peuvent causer un déséquilibre ionique et une toxicité chez les plantes déterminer par une diminution de croissance de l'appareil végétatif, par la réduction du nombre des feuilles et de surface foliaire ce qui peut affecter certains processus métaboliques vitaux tel que la teneur des feuilles en chlorophylle (Gad Allah, 1999), chez les glycophytes, il en résulte un développement anormal des plantes et une diminution de rendement. (Salama et al, 1994).

Le prétraitement c'est une technique basée sur l'ajout des traitements spécifiques dans le but de levée de la dormance, homogénéisation de la germination, résistance aux stress (Bradford, 1986).

Au cours des dernières décennies, un protecteur exogène tel que l'hormone végétale s'est avéré efficace pour atténuer les dégâts induits par le sel sur la plante. Les phytohormones comme l'acide gibbérellique (AG3), l'acide ascorbique (AAs) et l'acide salicylique (AS), jouent un rôle essentiel dans la croissance et le développement des plantes et ils contrôlent plusieurs processus biochimiques et physiologique (Iqbal et al, 2013). Ces régulateurs améliorent la croissance des plantes dans des conditions des stress y compris le stress salin (kaya et al, 2013).

L'application exogène des hormones végétales produit un certain effet d'atténuation des effets néfastes du stress salin et améliore également la germination, la croissance et le développement et le rendement.

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet de l'application exogène par priming de trois régulateurs de croissance (AG3, AS et AAs) à différentes concentrations sur la germination des graines d'orge (*Hordeum Vulgare* L.) dans des conditions de stress salin causé par 100 Mm du NaCl.

**SYNTHESE
BIBLIOGRAPHIQUE.**

**CHAPITRE 1:
GENERALITES SUR
L'ESPECE.**

Chapitre 1 : Généralités sur l'espèce

1. Orge (*Hordeum vulgare* L.) :

L'orge (*Hordeum vulgare* L.), une plante modèle et une plante d'intérêt agronomique, est l'une des céréales les plus importantes du monde. Elle est l'une des premières cultures domestiquées et a été utilisée pendant des siècles pour l'alimentation humaine (Badr et al, 2000). Aujourd'hui, l'orge occupe le quatrième rang dans la production céréalière mondiale. Elle est utilisée pour l'alimentation animale, les malts de brassage et l'alimentation humaine (Akar et al, 2004). L'orge est aussi une culture qui s'adapte bien à des environnements différents.

2. Origine génétique et géographique de l'orge:

L'orge est une espèce très ancienne, son origine remonte aussi loin qu'à 7000 ans avant J.C (Harlan, 1975). L'orge cultivée (*Hordeum. vulgare* L.), de constitution génomique diploïde ($2n=14$) est une espèce très ancienne, elle est l'une des cultures fondatrices de l'agriculture du vieux monde et l'une des premières cultures domestiquées au Proche-Orient (Robinson, 2007). Mais les tétraploïdes ($2n = 4x = 28$) et les hexaploïdes ($2n = 6x = 42$) sont également fréquents. L'autoploïdie se trouve chez deux espèces, *H. bulbosum* et *H. brevisubulatum* (Bothmer et al, 2003).

La recherche archéologique et génétique a indiqué que le Croissant fertile du Moyen-Orient ainsi que le Tibet et l'Éthiopie (Hauts plateaux d'Abyssinie) sont le centre d'origine de l'orge (Newman et Newman, 2006; Feuillet et al, 2008), trouvant sa trace au Proche-Orient au moins 7 000 ans avant notre ère et en Éthiopie il y a près de 10 000 ans (Botineau, 2010), au Sahara, elle était cultivée dans les oasis en 100-300 ans avant J.C. (Brink et Belay, 2006).

Des études basées sur l'analyse des gènes nucléaires et des simples séquences répétées (SSR) chloroplastiques suggèrent que l'origine de domestication de l'orge était le Maroc (Molina-Cano et al, 1999). Ceci est contesté par l'étude de Blattner et al., (2001) qui soutient l'idée que c'est le Moyen-Orient qui est le centre géographique de domestication de cette espèce, alors que l'étude de Orabi et al., (2007) suggère plutôt que c'est l'Éthiopie et l'Érythrée qui sont les centres primaires de domestication (Bensemane, 2015).



Figure n° 01 : Croissant fertile

3. Types d'orge :

L'orge est classée selon les types printemps ou hiver (sensible au gel ou au contraire résistant au froid environ jusqu'à -15°C), sa classification est basée sur la fertilité des épillets latéraux, la densité de l'épi et la présence ou l'absence des barbes (Rasmusson, 1992)

On y distingue deux types selon la forme de leur épi (figure 02) :

- L'orge à 2 rangs ou l'orge distique : a un épi aplati Composé de 2 rangées d'épillets fertiles, un sur chaque axe du rachis, entouré de 4 épillets stériles. Dans ce type existent surtout des variétés de printemps.
- L'orge à 6 rangs ou orge hexastique : encore appelé exourgeon, à une section rectangulaire, sur chaque axe du rachis les 3 épillets sont fertiles. Dans ce type n'existent pratiquement que des variétés d'hivers (Soltner, 2005).



Figure n° 02 : Épis d'orges à deux et à six rangs

4. Classification botanique :

L'orge appartient au genre *Hordeum* de la tribu des Triticées, de la famille des Poacées (communément connue sous le nom de graminées) (Badr et *al.*, 2000). D'après Feillet (2000) cités par Souilah (2009) l'orge cultivée appartient à la classification botanique suivante:

Règne : *Plantae*

Famille : Poaceae

Division : Magnoliophyta

Sous famille : Pooideae

Classe : Liliopsida

Tribu : Triticeae

Sous classe : Commelinidae

Sous tribu : Hordeinae

Ordre : *Poale*

Genre : *Hordeum*

Espèce : *Hordeum vulgare L*

5. Description morphologique de l'orge :

L'orge est une graminée annuelle qui peut croître jusqu'à une hauteur de 1 m. (Nyabyenda, 2005). La plante d'orge cultivée est constituée de racines, de tiges (chaume) cylindriques avec 5 à 7 noeuds, et de feuilles alternées. L'épi au sommet de la tige est constitué de fleurs disposées en épillets simples (portant chacun deux glumes et la fleur). Trois épillets sont attachés à chaque noeud sur un rachis en zigzag plat. Ils sont tous fertiles dans les cultivars à six rangs. Dans les cultivars à deux rangs, les deux épillets

latéraux sont stériles. Comme dans les autres céréales, le grain est un caryopse (Gallais et Bannerot, 1992).

5.1. Graine :

Le grain est un caryopse de section arrondie ou ovale, de poids moyen variable selon les espèces et les variétés. Dans l'orge, le grain est vêtu dans la mesure où il reste inséré dans les glumelles au cours de la dissémination où la glumelle inférieure correspond à la face dorsale du grain. Elle présente une nervure médiane et deux nervures latérales dorsales. Elle est prolongée par une barbe. Alors, que la glumelle supérieure correspond à la face ventrale du grain. Celui-ci présente une dépression ou sillon à la base duquel est insérée une baguette (Figure 03) (Souilah, 2009).

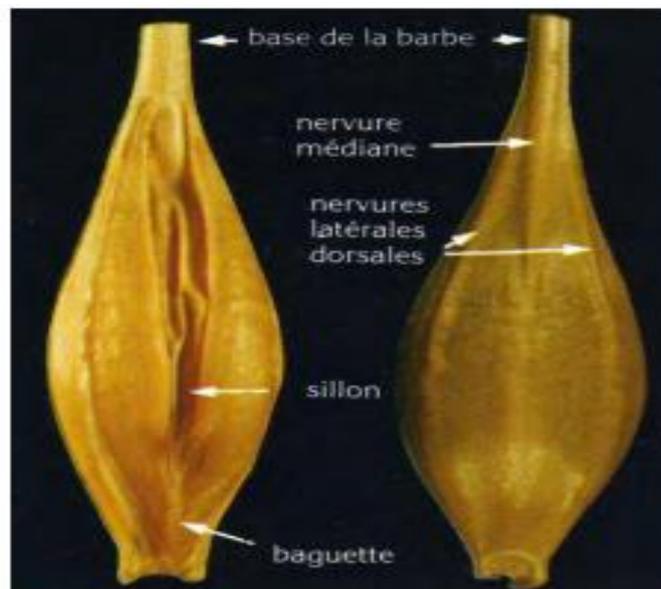


Figure n° 03 : Vue ventrale et dorsale du grain d'orge.

Le grain d'orge se compose de l'extérieur vers l'intérieur les parties suivantes (Figure 4) :

- **Le péricarpe ou l'enveloppe** il est constitué de l'extérieur vers l'intérieur par le péricarpe (parois de l'ovaire), le tégument, et l'assise protéique.
- **L'endosperme ou l'amande** constitue presque tout l'intérieur du grain et se compose principalement de minuscules grains d'amidon. Le blé tendre possède une amande farineuse de couleur blanche.

- **Le germe ou l'embryon comprend 2 parties** : la plantule (future plante) et le cotylédon (réserve de nourriture très facilement assimilable, destinée à la plantule) qui contient l'essentiel des matières grasses du grain (Souilah, 2009).

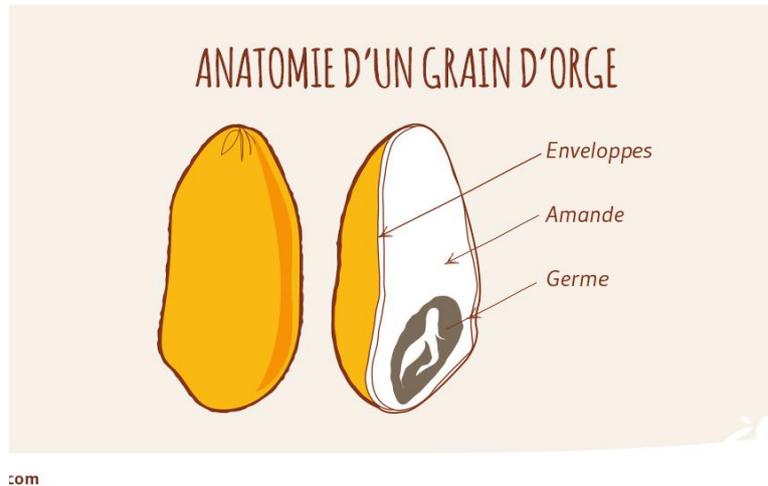


Figure n° 04 : Coupe longitudinale du grain de l'orge (*Hordeum vulgare L.*).

5.2. Appareil végétatif :

5.2.1. Appareil aérien :

La tige est creuse et formée d'entre-nœuds, séparées par des nœuds, zones méristématiques à partir desquelles s'allongent les entre-nœuds et se différencient les feuilles. Chaque nœud est le point d'attache d'une feuille. La hauteur de la tige varie selon les espèces, les variétés, et les conditions de culture. Où elle s'étend entre 60 cm à 150 cm (Soltner, 1990 ; Pétrequin et Baudais, 1997)

Les feuilles sont glabres, Laisse rugueuse lancéolée vert clair plus large avec de petites ligules, Les oreillettes sont remarquables, la Gaine en serrant le Inter-nœud en dessous. Elle survient à partir de nœuds portés alternativement sur les côtés opposés (Mukund, 2015).

L'inflorescence est toujours en épi cylindrique de 5-10 cm de long, composée de groupes de 3 épillets disposés de façon alterne (Brink et Belay, 2006).

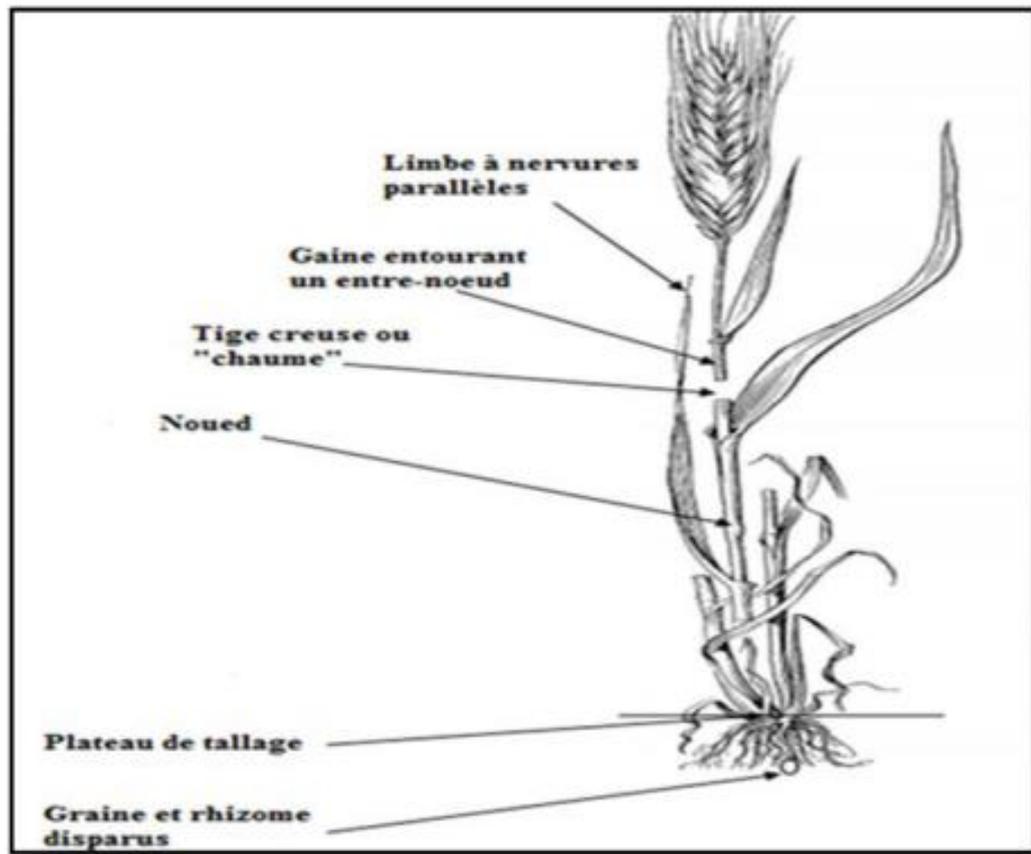


Figure n° 05 : Description morphologique d'orge (Soltner, 2005).

5.2.2. Appareil racinaire :

Il est composé de deux systèmes racinaires successifs :

- **Système primaire (racines séminales, embryonnaires, radicules ou radicules selon les auteurs)** fonctionnel de la levée au début du tallage. Ce système est constitué d'une racine principale et de deux paires de racines latérales, soit 5 racines ; éventuellement se développe une sixième racine à partir de l'épi blast.
- **Système secondaire (racine adventive, de tallage)** qui naît habituellement près de la surface du sol, et provient des nœuds de l'axe principal et de ses ramifications (Miège, 1938).

5.3. Appareil reproducteur :

L'orge se caractérise par des épillets à fleur unique constitués de 3 (1 central, 2 latéraux) disposés en alternance sur chaque couche de l'axe. Les épillets latéraux normalement développés (3+3 alternés) donnent la morphologie "6 rangs d'orge" ce sont l'orge hexagonale. Lorsque les épillets latéraux sont réduits à des restes (glumes, glumelles,

sans le grain), on a la forme classique de l'orge à 2 rangs, ou " paumelle" autrefois (Gallais et Bannerot, 1992).

Chacune constituée d'une anthère attachée à un filament et d'un ovaire recouvert de deux stigmates plumeux. Les anthères sont les organes reproducteurs mâles des fleurs qui produisent des grains de pollen. Les fleurs commencent dans le tiers supérieur de l'épi et s'étendent sur tout l'épi. L'orge est généralement auto-pollinisatrice, c'est-à-dire que les anthères libèrent la majeure partie du pollen dans leurs fleurs d'origine, induisant ainsi l'auto-pollinisation (Jacquard, 2007).

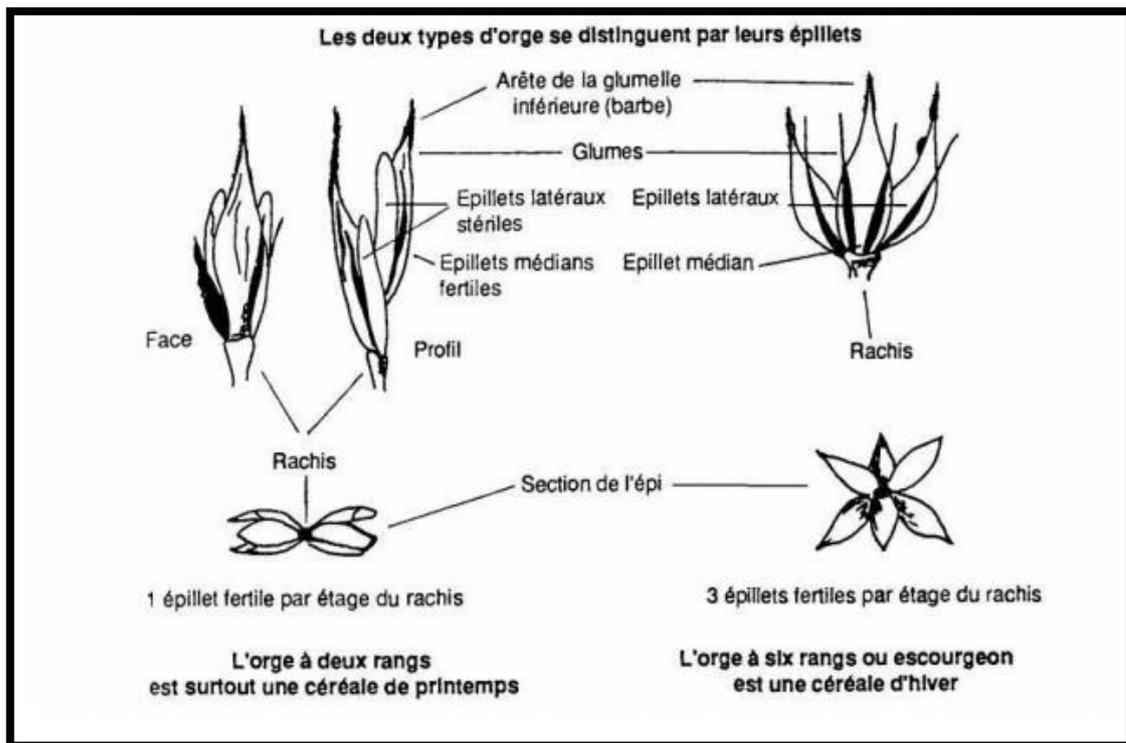


Figure n° 06 : Epillet d'orge à 02 rangs à gauche et à 06 rangs à droite (Soltner, 2005).

6. Cycle de développement de l'orge :

L'orge (*Hordeum vulgare* L.) c'est une plante annuelle herbacée, effectuant leur cycle évolutif en trois grandes périodes (période végétative, période reproductrice et période de maturation).

6.1. Période végétative :

Cette période commence avec la germination des graines et se termine avec l'ébauche de l'épi, durant 120 à 140 jours (Mostefoui, 2011).

- **Phase semis-levée** : commence lorsque le grain passe d'un état de croissance lente à un état de croissance Vie active pendant la germination qui se traduit par l'émergence de la radicule et des racines séminales et celle du coléoptile. Dès que la première feuille a percé le coléoptile, ce dernier s'arrête de croître et se dessèche (Heller, 1982 ; Mazliak, 1982 ; Boufenar et Zaghouane, 2006). Les principaux facteurs édaphiques qui interviennent dans la réalisation de cette phase sont, la chaleur, l'aération et l'humidité (Eliard, 1979). Le zéro de germination de l'orge (*Hordeum vulgare L.*) est de 0°C (Clément, 1981).

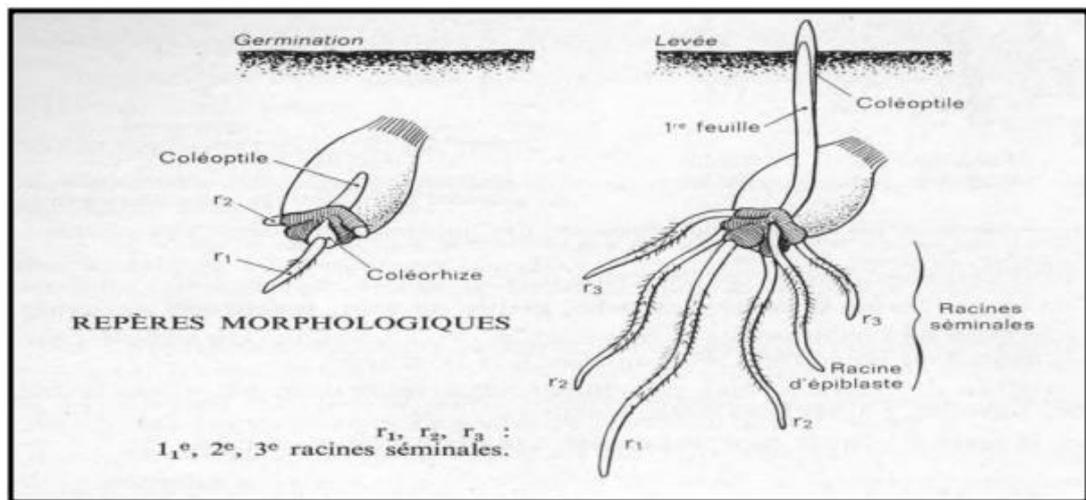


Figure n° 07 : Phase semis-levée (Moule, 1971).

- **Phase levée-début tallage** : La première feuille fonctionnelle s'allonge, puis la second, jusqu'à la quatrième dans des positions alternées. Celles-ci, imbriquées les unes dans les autres, partant toutes d'une zone située au proche de la surface du sol appelée plateau de tallage, constituée par l'empilement d'un certain nombre d'entre-nœuds et reliées à la semence par le rhizome (Clément, 1981). Pendant toute cette phase, la vitesse de croissance des feuilles dépend essentiellement de la température. D'autre part, sur le plan nutritif, la plantule dépend uniquement de son système primaire de racines et de ses réserves (Moule, 1971).

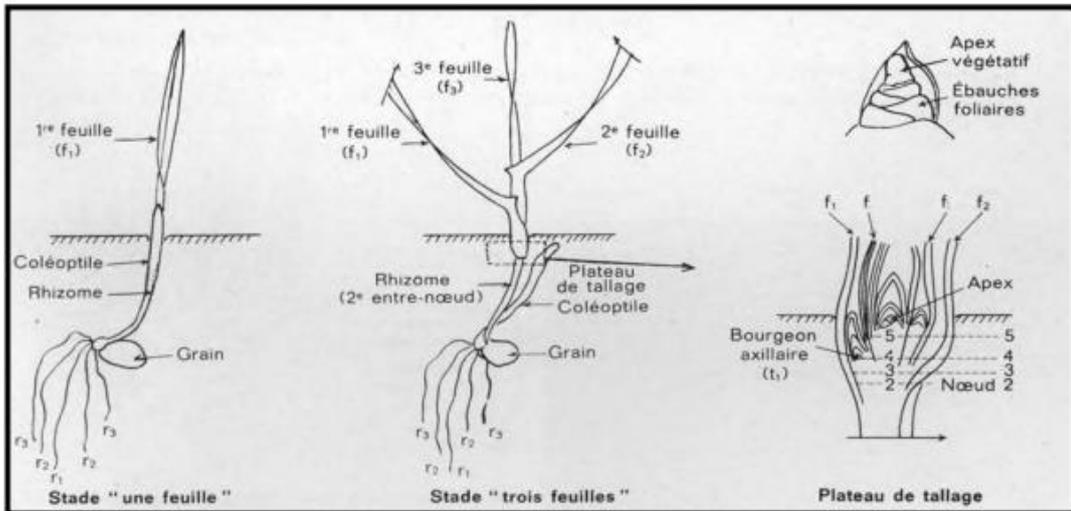


Figure n° 08 : Phase levée –début tallage (Moule, 1971).

- Phase début tallage- début montaison** : Le tallage est caractérisé par l'entrée en croissance de bourgeons différenciés à l'aisselle de chacune des premières feuilles : il s'agit donc d'un simple processus de ramification. La première talle (t_1) apparaît généralement à l'aisselle de la première feuille lorsque la plante est au stade « 4 feuilles » (Moule, 1971). Le nombre de talles émises par plante est fonction de l'espèce (l'orge talle beaucoup plus que le blé tendre), de la variété, du climat, de l'alimentation de la plante en azote, de la profondeur de semis (Soltner, 1990). Le facteur nutritionnel peut modifier la vitesse du tallage herbacé, la durée du tallage et le nombre de talles (Austin et Jones, 1975). Le fin tallage est celle de la fin de la période végétative, elle marque le début de la phase reproductrice (Hadria, 2006).

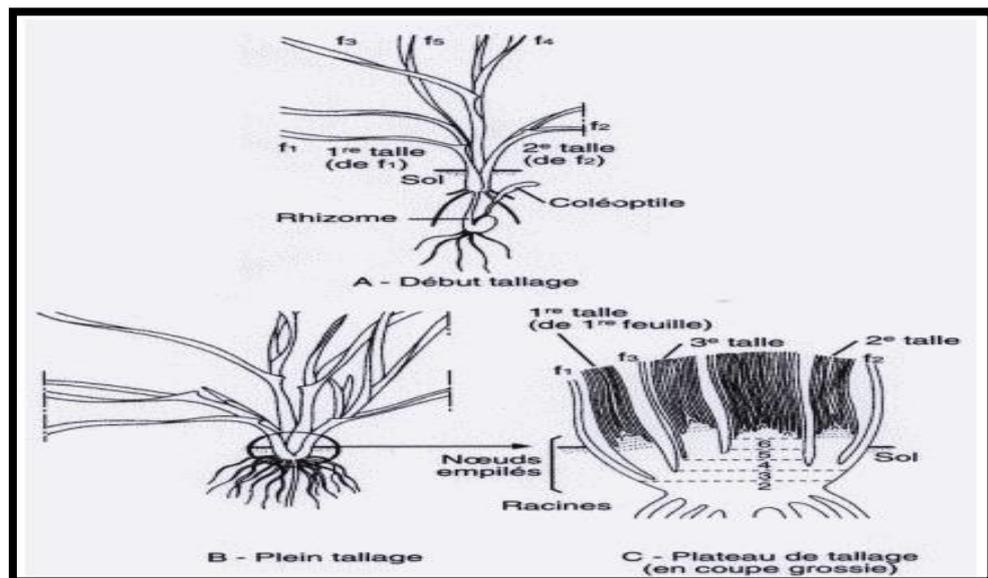


Figure n° 09 : Phase début tallage –début montée (Moule, 1971).

6.2. Période reproductrice :

Elle s'étend de la montaison à la fécondation

- **Phase de la montaison- gonflement :** Ce stade est repérable une fois l'ébauche de l'épi du brin maître, atteint 1cm de hauteur. Un certain nombre de talles herbacées vont évoluer vers des tiges couronnées d'épis, tandis que d'autres commencent à régresser. La croissance entaille et en matière sèche est alors active. Cette phase se termine au moment de la différenciation des stigmates. La durée de cette phase est de 29 à 30 jours. Cette phase s'achève une fois l'épi prend sa forme définitive à l'intérieur de la gaine de la feuille étendard qui gonfle (stade gonflement) (Clément et Prat, 1970 ; Giban et *al*, 2003).
- **Phase de l'épiaison :** Est la période allant de l'apparition des premiers épis jusqu'à la sortie complète de tous les épis hors de la gaine de la dernière feuille (Giban et *al*, 2003).
- **Phase floraison :** est la sortie des premières étamines hors des épillets au milieu de l'épi sur 50% des épis la formation du grain se fait quand les grains du tiers moyen de l'épi parviennent à la moitié de leur développement. Ils se développent en deux stades :
 - Le stade laiteux où le grain vert clair, d'un contenu laiteux atteint cette dimension définitive ; (le grain contient encore 50% d'humidité et le stockage des protéines touche à sa fin).
 - Le stade pâteux où le grain, d'un vert jaune, s'écrase facilement. (Le grain a perdu son humidité et l'amidon a été constitué).

6.3. Période de maturation :

Au cours de cette dernière période, l'embryon se développe et l'albumen se charge de substances de réserves.

On observe une augmentation du volume et du poids des grains. La phase se termine par le stade laiteux (le grain s'écrase facilement en laissant apparaître un liquide blanchâtre).

Ensuite, le poids frais des grains continue à augmenter alors que celui des tiges et des feuilles diminue. La phase se termine par le stade pâteux. Le grain à ce stade s'écrase en formant une pâte.

Enfin, le grain devient dur et de couleur jaunâtre. C'est le stade de la maturation physiologique (Boufenar et Zaghouane, 2006).

L'orge est prête à être récoltée lorsque le taux d'humidité du grain atteint 35-40%, la récolte se fait à la main à l'aide d'une faucille, ou à la moissonneuse batteuse (Brink et Belay, 2006).

7. Importance économique de la culture de l'orge :

7.1. Dans le monde

L'orge (*H. vulgare* L.) figure parmi les sept céréales les plus cultivées au monde. Elle occupe la quatrième position de par sa production après le maïs, le blé tendre et le riz et avant le sorgho, l'avoine et le seigle (FAO, 2012). La superficie totale récoltée d'orge au cours de la campagne 2017/ 2018 était de 47,01 millions d'hectares dans le monde (FAOSTAT, 2018).

FAOSTAT (2018) enregistre une production record dans 243 pays à travers le monde. La production d'orge s'est élevée à 147,4 millions de tonnes 2017/ 2018, soit un rendement moyen de 3,14 t/ ha. L'utilisation de l'orge est également estimée à 7,4 millions de tonnes pour l'alimentation humaine, 98,3 millions de tonnes pour l'alimentation animale, 31,6 millions de tonnes à usage industriel (principalement du malt) et environ 8 millions de tonnes pour l'ensemencement (Bendada, 2021).

La Russie occupe le premier rang des producteurs d'orge avec 13,98 % de la production totale, suivie de l'Australie (9,16%), de l'Allemagne (7,36%) et de la France de 7,15%. Les pays restants produisent chacun entre 5,62% (Ukraine) et 0,27% (Danemark) de la production mondiale. Les plus grands importateurs sont l'Arabie saoudite, la Chine et le Japon. La production, la consommation et les stocks mondiaux d'orge ont diminué de 149,78 millions de tonnes (2015/2016), de 150,35 millions de tonnes (2016/2017) et de 26,34 millions de tonnes (2015/2016) à 141,32, 142,67 et 17,70 millions de tonnes en 2018/2019, respectivement (USDA, 2018) (tableau 1). La production totale d'orge augmente malgré la diminution de la superficie récoltée, peut être attribuée à l'amélioration

Généralités sur l'espèce

des géotypes grâce à diverses méthodes de sélection et à des nouvelles pratiques culturales, telles qu'un contrôle plus efficace des adventices, une utilisation équilibrée d'engrais et la conduite de l'irrigation. Il est également possible que les superficies qui ont été retirées de la production d'orge aient été moins productives que celles maintenues en production (Newman et Newman, 2008).

Tableau 01 : Les dix principaux pays producteurs d'orge en millions de tonne de 2015 à 2020

Pays	2015 (mt)	2016 (mt)	2017 (mt)	2018 (mt)	2019 (mt)	2020 (mt)
Fédération de Russie	17.5	18	20.6	17	20.5	20.9
France	13.1	10.4	12.1	11	13.6	10.3
Allemagne	11.6	10.7	10.8	9.6	11.6	10.8
Australie	8.7	9	13.5	9.2	8.8	10.1
Ukraine	8.3	9.4	8.3	7.3	8.9	7.6
Canada	8.2	8.8	7.9	8.4	10.4	10.7
Turquie	8	6.7	7.1	7	7.6	8.3
Royaume-Uni	7.4	6.6	7.2	6.5	8	8.1
Espagne	6.7	9.2	5.8	9.5	7.74	11.5
USA	4.6	4.3	3.1	3.3	3.7	3.6

(FAO, 2022).

7.2. En Algérie :

En Algérie, la production des céréales est en accroissement de la demande. Ceci exige une amélioration des rendements aussi bien en milieux favorables qu'en milieux contraignants (Meziani et *al*, 2011 ; Adjabi et *al*, 2014).

L'orge est une espèce très adaptée aux systèmes de cultures pratiqués en zones sèches. Cette adaptation est liée à un cycle de développement plus court et à une meilleure vitesse de croissance en début du cycle. La culture de l'orge s'insère bien dans les milieux caractérisés par une grande variabilité climatique (Bouzerzour et *al*, 1998 ; Abbas et Abdelguerfi, 2008).

La culture de l'orge en Algérie est localisée au sud des hauts plateaux à la limite de la zone réservée à la culture du blé dur qui est relativement plus exigeante. Les superficies réservées à cette espèce sont relativement constantes et se situent au-dessus d'un million d'hectares. Quant aux quantités récoltées, elles restent très variables et ce, suites aux effets des contraintes agro-climatiques, notamment les effets des stress de fin de cycle (Benbelkacem, 2013).

Près de (35%) de la superficie céréalière est consacrée à la culture de l'orge qui est concentrée entre les isohyètes 250 et 450 mm (Menad et *al*, 2011). Confrontée à des contraintes d'ordre climatiques et techniques, la production algérienne d'orge est faible et surtout variable dans l'espace et le temps (Bouzerzour et Benmahammed, 1993).

L'orge est la deuxième céréale cultivée après le blé dur en Algérie sur les 115 années (1901-2016), la moyenne de rendement de l'orge stagne à une valeur de 9.54 qx/ha. Elle varie en fonction des années de 1.3 qx/ha (1945) et 17.61qx /ha (2009). Le suivi de l'évolution de la production met en évidence l'importance des fluctuations inter annuelles. La production se caractérise par une grande variabilité allant de 1.9 millions de quintaux en 1966 à 22,3 millions quintaux et 9,2 millions quintaux en 2009 et en 2016 respectivement (Tableau 2).

Tableau 02 : Production des céréales et d'orge en Algérie de 1900 à 2016 (ITGC, 2002 et FAO, 2017).

Années	Production 10 ⁶ qx			Superficie 10 ⁶ ha	Rendement qx/ ha
	Total	Orge	%	Orge	Orge
1901-1910	19,2	9,2	47,9	1,4	6,6
1920	18,2	7,9	43,4	1,3	6,1
1930	16,8	7	41,7	1,1	6,4
1940	17,8	6,9	38,8	1,2	5,7
1950	17,8	5,6	31,5	1	5,6
1960	14,8	7,8	52,7	1,3	6
1970	21,3	4,42	20,8	0,7	5,88
1980	18,3	4,96	27,1	0,8	6,00
1990	18,8	7,20	38,3	1,0	7,02
2000	16,2	7,80	48,1	0,8	8,76
2010	34,9	10,98	31,5	0,8	13,43
2011	37,3	12,58	33,7	0,9	14,76
2012	51,4	15,92	31,0	1,0	15,45
2013	49,1	14,99	30,5	0,9	16,69
2014	34,6	9,39	27,2	0,8	11,86
2015	34,3	10,31	30,0	0,8	12,84
2016	34,8	9,20	26,4	0,7	13,02
Moyenne	26,80	8,95	35,33	0,97	9,54

8. Les variétés d'orge cultivées en Algérie :

En Algérie, Les variétés d'orge cultivées sont des variétés locales et des variétés introduites. Les variétés locales sont résistantes aux conditions climatiques et environnementales, mais elles sont sensibles aux maladies. Alors que, les variétés introduites sont résistantes aux maladies et donnent de hauts rendements, mais elles ne sont pas adaptées aux conditions sédapho-climatiques du pays telles que les variétés : Mirande et Jaidor (ITFC, 1979).

Selon boufenar et zaghouane (2004), les variétés saida, Rihane et tihedrett ont une large distribution en Algérie. D'autres variétés existent mais elles sont peu demandées telles que Jaidor (dahbia), Barberousse (Hamra), Acsad (Nailia) et El Fouara, qui ont une distribution qui obéit à la demande des agriculteurs.

Tableau 03 : Variétés d'orge cultivées en Algérie (boufenar et zaghouane, 2006).

Variétés	Caractéristiques
Jaidor (dahbia)	A paille courte, fort tallage, bonne productivité, tolérante aux maladies et à la verse, sensible au gel.
Rihane 03	A paille courte, précoce, fort tallage, bonne productivité, à double Exploitation
Ascad68(Remada)	Précoce, à fort tallage et bonne productivité, tolérante aux rouilles et à la verse, adaptée aux zones des plaines intérieures.
Ascad 60 (Bahria)	A paille courte et creuse, précoce, fort tallage, bonne productivité, Sensible à la jaunisse nanisant et résistante à la verse.
Ascad176 (Nailia)	Variété précoce, résistante à la verse et tolérante à la sécheresse, Sensible aux maladies (rouille brune, oïdium helminthosporiose, rhynchosporiose)
Saida 183	Variété locale, semi-tardive, à paille moyenne et creuse, tallage Moyen, bonne productivité, sensible aux maladies.
Tichedrette	Variété locale, à paille moyenne, précoce, tallage moyen, bonne Productivité et rustique
El-Fouara	A paille courte ou moyenne, fort tallage, bonne productivité, tolérante Au froid, à la sécheresse et à la verse, adaptée aux Hauts-plateaux.

9. Utilisation de l'orge :

Les céréales complètes contiennent de nombreux composants utiles à la santé, notamment des fibres alimentaires, de l'amidon, des acides gras essentiels, des antioxydants, des vitamines, des minéraux, des lignanes et des composés phénoliques dont l'effet a pu être mis en relation avec une réduction des risques de maladies cardiaques, de cancer, de diabète et d'autres maladie chroniques. Récemment, cependant, on a constaté un regain d'intérêt pour l'orge en tant que céréale destiné à la consommation humaine, car les consommateurs sont plus conscients de l'importance d'une bonne nutrition et recherchent davantage les aliments et les ingrédients alimentaires riches en fibres (Izydorczyk et Dexter, 2008).

A l'échelle mondiale, par ordre d'importance, l'orge est utilisée en alimentation du bétail, pour le maltage (notamment en brasserie) et en alimentation humaine. Dans les régions tropicales et subtropicales, c'est surtout pour l'alimentation humaine qu'elle est produite. En Ethiopie et en Erythrée, la plus grande partie de l'orge en grains sert à confectionner un pain local qui ressemble à une crêpe ; mais on en fait aussi bien des bouillies et des soupes que des boissons alcoolisées (Ceccarelli et Grando, 2006).

Aujourd'hui, en particulier dans les pays d'Europe de l'Est, la farine d'orge est généralement mélangée à celle du blé et d'autres céréales pour la fabrication de galettes et de pain. En Amérique du Nord et en Europe de l'Ouest, 20-25 % seulement de la production est utilisée directement pour la préparation de farine destinée à la confection de pain et d'autres mets pour l'alimentation humaine. Environ 45-50 % de la production annuelle d'orge est utilisée pour l'alimentation animale (Ceccarelli et Grando, 1996).

En Algérie, la culture d'orge était très importante car l'orge était destinée à l'autoconsommation humaine et servait de complément fourrager pour les troupeaux dans les régions steppiques (Hakimi, 1993). Actuellement, l'orge est utilisée dans l'alimentation humaine selon les régions sous formes de galette, de couscous et de soupe (Rahal-Bouziane et Abdelguerfi, 2007). L'orge occupe une place importante parmi les espèces fourragères. Par sa production en vert, en foin (en association avec d'autres espèces), en ensilage et par son grain et sa paille, l'orge est l'élément clé de toute la production fourragère en Algérie (Belaid, 1986)

CHAPITRE 2: PHYTOHORMONES.

Chapitre 2 : Phytohormones

1. Phytohormones ou hormone végétale :

Les phytohormones ou hormones végétale ce sont des substances chimiques organique de poids moléculaires moyen ; diffusables et cristallisables ; produites par certaines cellules dans la plante, elles régulent la croissance et le développement ou qui intervient dans la communication entre les individus végétaux différents. Certains agissent en tant vecteur d'information pour réagir aux stress environnementaux (Aya et *al*, 2011).

Pour qu'une substance soit qualifiée d'une phytohormone elle doit d'être :

- Endogène (c'est à dire fournie par l'environnement).
- Oligo dynamique (agire à faible dose).
- Vectrice d'une information.

Ces paramètres permettent de faire la distinction entre une phytohormones et substance trophique.

2. Les différents types des phytohormones :

2.1. Acide gibbérellique :

Les gibbérellines (de *Gibberella fujikuroi*) sont une famille de phytohormones. Le composé actif est appelé acide gibbérellique. Les gibbérellines sont nommées G ou AG suivi d'un chiffre (de 1 à 110), et l'AG3 est la mieux connue.

On connaît actuellement 70 dérivés de ce type qui ont des rôles importants dans la germination des semences, la croissance des racines, des feuilles et des fruits, la floraison, l'activité cambiale, l'expression des sexes et la sénescence. (Richards et *al*, 2001).

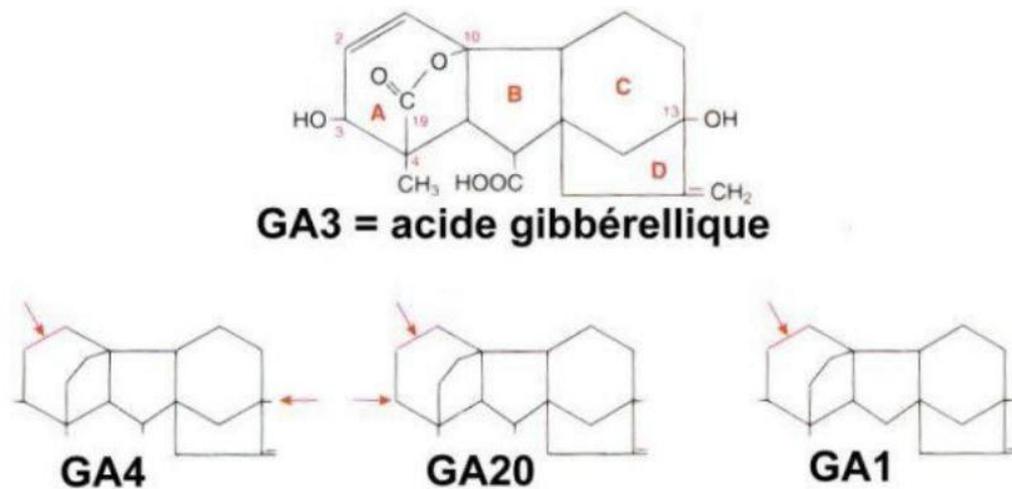


Figure n° 10 : Différences entre GA3 et les autres molécules d'AG (Richards et al, 2001).

2.1.1. Rôles physiologiques des gibbéréllines :

- **Stimulation de la croissance :**

L'application d'AG entraîne une augmentation des entrenœuds sur les plantes naines à l'inverse des auxines, AG à une action sur les plantes entières plutôt que les tissus excisés.

Les gibbéréllines agissent sur l'élongation des entrenœuds, déterminant parfois des résultats spectaculaires (pour exemple : on a obtenu des choux dont la tige était de 3 m), mais pas pour toutes les espèces. Seulement quelques variétés naines des certaines espèces peuvent atteindre des tailles normales à la suite de l'application de AG, vu que, généralement, les variétés naines ne réagissent pas à l'effet d'élongation obtenu suite à l'application de l'acide gibbéréllique (Gokani et Thaker, 2002 ; Sorrells et Setter, 1990).

- **Stimulation de la floraison :**

Rôle pas clair, en général allongement de la tige avant floraison, mais pas toujours, on trouvait que l'AG pouvait remplacer jour long et période de froid (vernalisation) pour induire la floraison. Cependant dans certains cas, des inhibiteurs de AG peuvent bloquer l'allongement des tiges induit par la photopériode sans interférer avec la floraison (La Mantia et Nieddu, 1998 ; Patil et Rudriah, 1980 ; Bodson et Mougou, 2003).

Pour d'autres espèces, qui ont également besoin de températures basses pour fleurir, la présence des gibbéréllines induit seulement l'allongement des tiges, sans la formation des fleurs (les betteraves). Ces contradictions apparentes ont une explication simple : en

cas des plantes présentées ci-dessus, le froid agissent seulement sur la croissance de la tige, tandis que dans l'autre cas, il agit sur le processus de floraison. (Inglese et *al*, 1998 ; Patil et Rudriah, 1980).

- **Germination des graines :**

- Effet sur la dormance.
- Rôle dans la mobilisation des réserves des graines.
- Mobilise les réserves de l'endosperme au cours de la germination, stimulation transcriptionnelle de la production d'alpha amylase pour l'hydrolyse de l'amidon.
- Chez certaines graines, la levée de la dormance par les AG, remplace les signaux de lumière ou de froid.
- Stimule l'élongation de la radicule, facilite la rupture du tégument des graines (Bruinsma et Karssen, 1987 ; Swain et Kamiya, 1997).

- **Mûrissement du fruit :**

Le GA retarde la sénescence chez le citron, on peut le laisser plus longtemps sur l'arbre et ainsi augmente la période de commercialisation (Chudasama et Thaker, 2007).

2.2 . Acide salicylique :

L'acide Salicylique a été isolé en 1838, à partir de l'écorce de saule blanc par Pierre Joseph Leroux ; il baptisa ce composé Salicine, la première production commerciale du AS synthétique a débutée en 1874 en Allemagne. Son dérivé acétylé (acide acétylsalicylique) a été introduit sous le nom commercial d'aspirine par l'entreprise Bayer en 1898 et est rapidement devenu le médicament le plus vendu dans le monde (Raskin, 1992). Des récentes découvertes scientifiques suggèrent que l'acide salicylique jouerait un rôle essentiel dans les mécanismes de défense des plantes contre les infections et les agressions extérieures (Hopkins, 2003).

L'acide salicylique, très largement rependu dans les plantes, est considéré comme une phytohormone d'une nature phénolique impliquée dans la résistance systématique acquise (SAR) lors une réaction d'une hypersensibilité et participe dans la régulation des procès physiologiques ou en repense au divers stress (UV, ozone, blessures,...) (Lepoivre, 2003 ; Macheix, 2017 ; Sakhabutdinova et *al*, 2003).

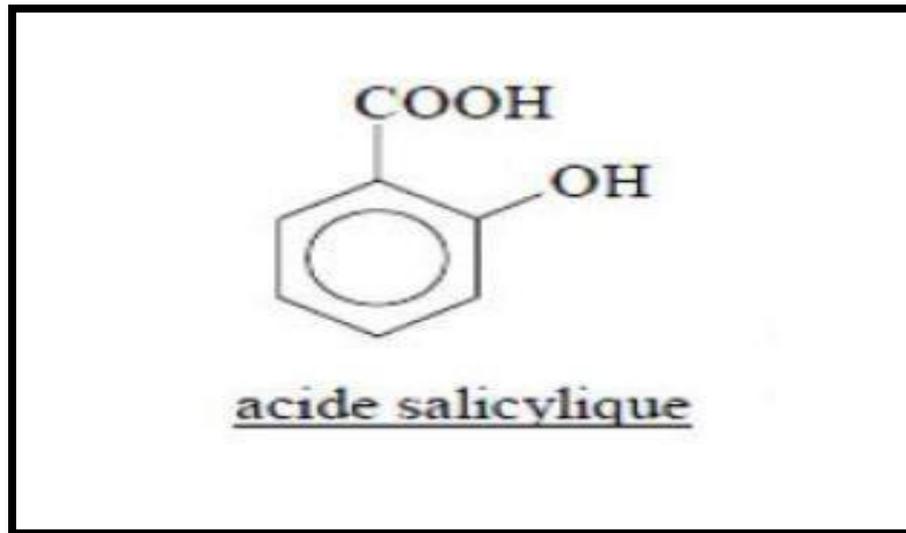


Figure n°11 : Structure de l'acide salicylique (Lepoivre, 2003).

2.2.1. Rôle physiologique d'acide salicylique :

- **Facilite la résistance aux pathogènes :**

Impliquée à la fois dans la mise en place d'une résistance locale acquise, et dans la transmission de signaux intracellulaires, menant au déclenchement de la résistance systémique acquise.

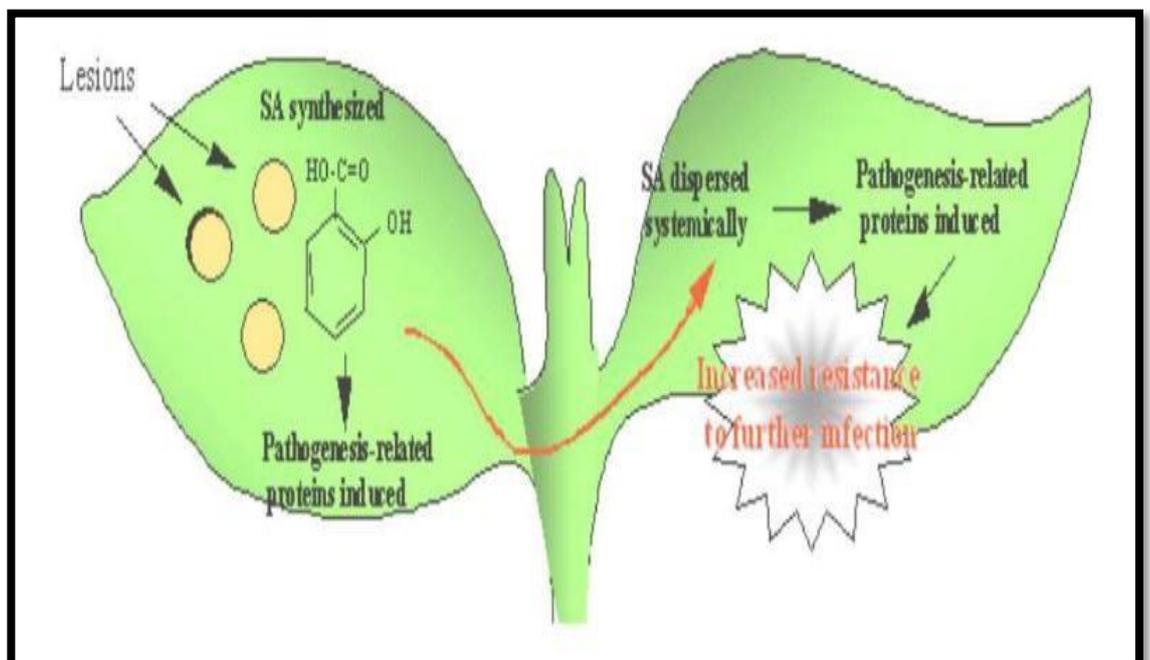


Figure n°12 : Résistance aux pathogènes (Baghoula, 2021).

- Inhibe production d'éthylène donc prolonge durée de vie des fleurs et fruits.
- Inhibe aussi l'acide abscissique (Baghoula, 2021).

2.3. Acide ascorbique :

L'acide ascorbique ou nommé aussi la vitamine C, l'acide L-thréo-hex-2-énoïque-gamma-lactone et l'acide L-xyloascorbique ; sont structure chimique de l'acide ascorbique (noté AAs) fut établie par Haworth en 1932. Sa structure chimique est $C_6H_8O_6$. Il possède une fonction éné-diol, deux fonction alcool et une fonction lactone qui unit les carbone C1 et C4. Sa forme oxydée est l'acide déhydroascorbique (noté DHA), de formule chimique $C_6H_6O_6$.

L'acide ascorbique joue plusieurs rôles dans l'organisme, notamment grâce à ses propriétés antioxydantes et hydroxylantes. Il intervient dans la synthèse du collagène, de la Tyrosine, de la carnitine, du cholestérol et des acides biliaires. Il participe également au Métabolisme du fer et a un rôle dans l'élimination des carcinogènes et des nitrosamines Cancérigènes (Cognard et *al*, 1984).

2.3.1. Rôle de l'acide ascorbique (AAs) :

L'acide ascorbique est une petite molécule relativement abondante chez les plantes.

Elle joue des rôles multiples :

Dans la croissance et de développement des plantes, dans le Processus de division cellulaires ainsi que dans l'expansion des parois pectocellulosiques.

Cette molécule constitue également une clé dans l'activité des enzymes antioxydantes telle que le glutathione et la détoxification par le H_2O_2 et contribue ainsi à la protection des structures cellulaires contre les effets des formes d'oxygène réactifs produit par la réaction de Mehler et la photo respiration (Noctor et *al*, 1998).

Plusieurs auteurs signalent le rôle des phytohormones et des antioxydants tels que l'acide Salicylique et l'acide ascorbique dans l'amélioration de faculté germinative des graines de plusieurs espèces lors d'une contrainte saline (Nasiri et *al*, 2014 ; Behairy et *al*, 2012).

3. Effet des phytohormones sur la plante en condition de stress salin :

3.1. Effet des auxines :

Le stress salin induit une accumulation d'auxine chez *Arabidopsis* et sa redistribution à la pointe de la racine, entraînant une inhibition primaire de la croissance des racines, une réduction marquée de la formation de primordia des racines latérales et une augmentation significative de l'allongement des racines latérales existantes (Wang et *al*, 2009).

Zörb et *al*. (2013) ont montré des différences dans les niveaux d'AIA endogènes dans les feuilles et les racines en expansion de deux cultivars de maïs. Ces chercheurs ont observé que le génotype résistant au sel a significativement augmenté les niveaux d'AIA dans les feuilles et a maintenu sa teneur dans les racines.

3.2. Effet de l'acide gibbérellique :

Afin d'améliorer la performance des plantes sous contrainte saline, l'attention des chercheurs s'est portée maintenant sur l'utilisation des régulateurs de croissance, comme l'AG3, qui jouent un rôle important dans la régulation de la réponse des plantes à l'environnement externe et dans le contrôle de l'expression génétique sous stress salin (Naqvi et *al*, 1999).

La réduction de la croissance des plantes sous l'effet de la sécheresse ou de la salinité peut être due, au moins en partie, à la baisse de la production des gibbérellines ou de l'incapacité de la plante à répondre à cette hormone (Llanes et *al*, 2016). Ainsi, plusieurs études ont montré que les niveaux endogènes des GAs ont nettement diminué sous l'effet de la sécheresse, il paraît que la présence du stress a inhibé la biosynthèse des GAs et/ou a augmenté sa dégradation (Llanes et *al*, 2016).

3.3. Effet de l'acide abscissique :

L'exposition des plantes à la salinité est connue pour induire une augmentation des niveaux d'ABA. Par exemple, l'ABA a augmenté dans les feuilles des plantes de

Phaseolus vulgaris (Cabot et al, 2009) et de maïs (*Zea mays*) (Cramer et al, 2002) traitées par le sel.

Saeedipour, (2011), a testé deux cultivars (sensible et résistante) du riz Indica sous des conditions de salinité (0 et 100 mM NaCl) par rapport aux témoins non-stressés. La variété tolérante a pu avoir une plus grande capacité à produire d'ABA que le cultivar sensible, une teneur élevée en ABA chez les feuilles de la variété tolérante pourrait jouer un rôle positif dans la réduction des effets du stress. Dans d'autres études, l'efficacité d'ABA dans la lutte contre les effets toxiques du stress salin (0, 50 et 75 mM de NaCl) chez le riz a été démontrée par (Gurmani et al. 2011).

CHAPITRE 3:

STRESS SALIN.

Chapitre 3 : Stress salin

1. Généralités sur les stress :

Le stress est l'ensemble des conditions qui provoquent des changements des processus physiologiques résultant éventuellement en dégâts, dommages, blessures, inhibition de la croissance ou de développement.

Le stress est fondamentalement un concept mécanique défini par les ingénieurs et les physiciens comme étant une force exercée par unité de surface d'un objet en réponse au stress, l'objet oppose une déformation ou un changement de dimensions (Hopkins, 2003).

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

On distingue deux grandes catégories de stress :

- **Biotique** : Provoqué par les autres organismes vivants (virus, bactéries, insectes, herbivores...) (Ramade, 2003).
- **Abiotique** : Provoqué par un déficit ou un excès de l'environnement comme la sécheresse, la température extrême, la salinité (Hopkins, 2003 ; Wangxia et al, 2003).

Les stress abiotiques ou environnementaux affectent la croissance et le rendement des plantes contrairement aux animaux qui peuvent se déplacer lorsque les conditions de vie ne leur sont plus favorables, les plantes ont développées des stratégies d'adaptations pour répondre aux chocs chimiques ou physiques engendrés par l'environnement en contrôlant et en ajustant leur systèmes métaboliques (Hamza, 1980).

1.1 Stress salin :

La salinité constitue l'un des facteurs abiotiques les plus répandus dans les zones arides et semi arides ce qui limite fortement les rendements agricoles (Khales et Baaziz, 2006). Le terme de stress salin s'applique essentiellement à un excès d'ions, mais pas exclusivement, aux ions Na^+ et Cl^- dans la rhizosphère et dans l'eau (Parida et Das., 2005). Le stress salin déclenche à la fois un stress osmotique et un stress ionique (Flowers, 1986 ; Flowers, 1988 ; Flowers, 2004 ; Rains, 1972). Il est accompagné souvent d'une baisse importante du potentiel hydrique (Kinet et al, 1998).

Le stress salin peut directement ou indirectement affecter le statut physiologique des plantes en changeant le métabolisme, la croissance et le développement des plantes (Khan *et al*, 2004 ; Manchanda et Garg, 2008 ; Bedrane, 2018).

1.2. 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 (Hopkins, 2003).

1.3. Stress ionique :

En dépit d'un ajustement osmotique correct, la toxicité ionique survient lorsque l'accumulation de sels dans les tissus perturbe l'activité métabolique.

1.4. Stress nutritionnel :

Des concentrations salines trop fortes dans le milieu provoquent une altération de la nutrition minérale. En particulier, vis-à-vis des transporteurs ioniques cellulaires, le sodium entre en compétition avec le K^+ et le Ca^{2+} , les Cl^- avec les nitrates (NO_3^-), les phosphates (PO_4) et les sulfates (SO_4) (Levigneron *et al*, 1995).

2. Généralités sur la salinité :

La salinité est un facteur écologique constitué par la teneur en sel (NaCl) dans des eaux ou dans des sols. Dans de nombreux écosystème, la salinité est facteur limitant.

L'excès des sels dans les sols empêche le développement d'une végétation normale, seule quelques plantes halophiles étant capables d'y croître (Ramade, 2002).

En pédologie, la salure du sol et la salinité de ses solutions sont deux notions tout à fait différentes. En effet, la salure du sol correspond à la quantité de sels solubles retenus par le sol. La salinité de solutions du sol dépend de son humidité (Durand, 1983), elle s'exprime en CE à 25 °C (conductivité électrique) en millimhos ou en micromhos.

La salinisation est un ensemble de mécanismes suivant les quels le sol s'enrichit en sels solubles et acquière, à un degré plus ou moins fort, le caractère salé (Lozer et Mathieu, 1990).

2.1. Salinité dans le monde et en Algérie :

Dans le monde :

Les zones arides et semi-arides constituent environ les deux tiers de la surface du globe terrestre. Dans ces zones souvent marquées par des périodes sévères de sécheresse,

la salinisation des sols est considérée comme l'un des principaux facteurs limitant le développement des plantes. A l'échelle mondiale, il est estimé que presque 800 millions d'hectares de terres sont affectés par le sel, que ce soit par la salinité (397 millions d'ha) ou par les conditions de sodisation associées aux teneurs en sodium (434 millions ha). En effet, la salinité s'étend sur plus de 6 % de la superficie totale de la planète, dont 3.8 % sont situés en Afrique. Ce phénomène devient de plus en plus inquiétante car la salinité réduit la superficie des terres cultivables et menace la sécurité alimentaire dans ces régions (Benidire et *al*, 2015).

La salinisation des terres doit être considérée comme un risque majeur susceptible d'affecter environ 25% des superficies irriguées ou 10% de la production alimentaire mondiale. Au-delà du processus de dégradation des ressources en sol et en eau, il met plus généralement en péril la viabilité des exploitations agricoles et la durabilité des systèmes d'irrigation. Ce risque est particulièrement élevé dans certains pays arides pour lesquels l'irrigation représente la principale source de développement agricole et de satisfaction des besoins alimentaires (Marlet et Job, 2006).

Tableau 04 : Distribution régionale des sols salés et sols sodiques en million d'hectares

Régions	Superficie totale (10 ⁶ ha)	Sols salés (10 ⁶ ha)	%	Sols sodiques (10 ⁶ ha)	%
Afrique	1899.1	38.7	2.0	33.5	1.8
Asie, Pacifique et Australie	3107.2	195.1	6.3	248.6	8.0
Europe	2010.8	6.7	0.3	72.7	3.6
Amérique latine	2038.6	60.5	3.0	50.9	2.5
Proche orient	1801.9	91.5	5.1	14.1	0.8
Amérique du Nord	1923.7	4.6	0.2	14.5	0.8
Total	12781.3	397.1	3.1	434.3	3.4

(Marlet et Job, 2006).

En Algérie :

Les sols salins, qui contiennent ou ont contenu aux premiers stades de leur évolution un excès de sels solubles, sont très répandus dans le Tell algérien (où la salinité des sols est le principal problème de la mise en valeur) et dans les Hautes Plaines où ils forment de vastes placages aux alentours des chotts. Ce sont surtout des solontchak où les chlorures de sodium sont en quantités telles (plus de 0,2 %) que la végétation naturelle de

la région laisse place à une végétation halophile qui disparaît elle-même lorsque la proportion de sels augmente trop (Benchetrit, 1956).

Les sols d'Algérie sont caractérisés en général par une conductivité électrique supérieure à 7dS/m et un pourcentage de sodium échangeable qui varie de 5 à 60 % de la C.E.C (Aubert, 1975). Daoud et Halitim (1994) notent qu'en Algérie la salinisation secondaire à la suite de l'irrigation avec des eaux diversement minéralisées a entraîné une extension de la salure dans de nombreux périmètre irrigués.

Tableau 05 : Classification de la qualité des eaux d'irrigation .

Conductivité électriques (dS/m)	Concentration (g/l)	Evolution américaine	Evolution russe	Evolution de Durand pour l'Algérie
CE < 0.25	< 0.2	Faiblement salée	Bonne qualité	Non salin
0.25 < CE < 0.75	0.2-0.5	Moyennement salée		Salinité moyenne
0.75 < CE < 2.25	0.5-1.05	Fortement salée	Risque de salinisation	Forte salinité
2.25 < CE < 5	1.5-3	Très Fortement salée		Très forte salinité
5 < CE < 20	3-7	Salinité excessive	Ne peut être utilisée sans lessivage	Salinité excessive

(Daoud et Halitim, 1994)

2.2. Origine de la salinité :

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

2.2.1. 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).

2.2.2. 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 ; Pansu et Gautheyrou, 2003). Cette salinisation liée à l'irrigation se traduit par une accumulation de sels avec des effets sur les propriétés chimiques, physiques (dispersion des argiles, instabilité de la structure) et biologiques (effet sur le développement des plantes par la pression osmotique (Cheverry et Rbert, 1998 ; Collin et Schawer, 1992).

2.3. Causes de la salinité :

Les rares précipitations, l'évaporation élevée, l'irrigation avec de l'eau saline, et les pratiques culturelles sont parmi les facteurs principaux qui contribuent à la salinité croissante. La salinisation secondaire, en particulier, aggrave le problème où une fois que les superficies agricoles productives deviennent impropres à la culture due à la qualité inférieure de l'eau d'irrigation (Ashraf et Foolad, 2007). La salinité excessive affecte la rhizosphère et limite la répartition des plantes dans leur habitat naturel. Le fort éclaircissement et les rares pluies dans les régions semi-arides et arides accentuent la salinisation des périmètres irrigués et les rendent impropres aux cultures (Denden et *al*, 2005).

L'eau saline occupe 71% de la surface de la terre. Environ la moitié des systèmes d'irrigation existant du monde sont sous l'influence de la salinisation. De tels sols défavorables de faible fertilité sont généralement peu convenables pour la production agricole, entraînant la réduction inacceptable de rendement. En raison du besoin accru de distribution de production alimentaire et d'augmentation des sols affectés par salinité, la recherche sur des réponses des plantes à la salinité a rapidement augmenté en quelques dernières décennies (Madhava Rao et *al*, 2006). Le phénomène d'invasion marine, qui peut s'étendre sur plusieurs kilomètres à l'intérieur des terres est d'un grand risque pour les régions côtières tributaires des eaux souterraines pour leur approvisionnement en eau. Sous certaines conditions, l'eau salée se propage à l'intérieur des terres et contamine les eaux de la nappe située à proximité de la mer. Par ailleurs, l'invasion des eaux douces par les eaux salées aura pour effet une dégradation des sols et une salinisation par suite des irrigations avec ces eaux.

En Algérie, ce problème s'est peu posé dans le passé mais durant les dernières années, on a décelé des intrusions des eaux marines dans les nappes côtières d'Annaba et d'Oran (phénomène analogue au niveau de la sebkha). L'exploitation intensive et

anarchique des nappes par l'agriculture a créé localement des problèmes de pollution et de dégradation du sol (Morsli, 2007).

2.4. Effets de la salinité sur la plante

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

La salinité est un facteur environnemental très important qui limite la croissance et la productivité (Allakhverdiev et *al*, 2000 in Parida et Das, 2005). Durant le début et le développement du stress salin à l'intérieur de la plante, tous les processus majeurs tels que : la photosynthèse, la synthèse des protéines, le métabolisme énergétiques... sont affectés. La première réponse est la réduction de la vitesse d'extension de la surface foliaire, suivi par l'arrêt de l'extension avec l'intensification du stress (Parida et Das, 2005).

2.5. Effets de la salinité sur la germination

La germination est régulée par des caractéristiques génotypiques mais aussi par les conditions environnementales et en particulier par la disponibilité de l'eau dans le sol et la présence de sels (Ndour et Danthu, 2000). Ainsi, la germination des graines est le stade le plus sensible aux stress salin et hydrique (Boulghalagh et *al*, 2006). On peut considérer que la plupart des plantes sont plus sensibles à la salinité durant leurs phases de germination et de levée (Maillard, 2001). Parmi les causes de l'inhibition de la germination en présence du sel, la variation de l'équilibre hormonal (Debez et *al*, 2001). Plusieurs auteurs ont montré un retard de la germination causé par la salinité chez plusieurs espèces (Benata et *al*, 2006), même chez des plantes halophiles (Belkhoja et Bidai, 2004 ; Rahmoune et *al*, 2008). Des travaux effectués sur des halophytes ont montré que l'effet inhibiteur du NaCl sur la germination serait essentiellement de nature osmotique, le sel empêchant l'imbibition de la graine (Debez et *al*, 2001).

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

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

2.6. Effets de la salinité sur la croissance des plantes

La réponse immédiate du stress salin est la réduction de la vitesse de l'expansion de la surface foliaire ce qui conduit à l'arrêt de l'expansion si la concentration du sel augmente (Wang et Nil, 2000). 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 accrue est accompagnée par une réduction significative dans la biomasse racinaire, la hauteur de la plante, le nombre de feuilles par plante, la longueur des racines et la surface racinaire chez la tomate (Mohammad et al, 1998). Le taux élevé de NaCl se manifeste par une croissance dans la biomasse des racines, tiges et feuilles et une augmentation dans le ratio partie racinaire/partie aérienne chez le coton (Meloni et al, 2001).

2.7. Effets de la salinité sur l'anatomie des feuilles

La salinité cause une augmentation de l'épaisseur de l'épiderme, l'épaisseur du mésophylle, la longueur des cellules palissadiques le diamètre des cellules palissadiques dans les feuilles du haricot, du coton et de l'atriplex (Longstreth et Nobel, 1979 in Parida et Das, 2005). La salinité réduit aussi l'espace intercellulaire dans les feuilles (Delphine et al, 1998 in Parida et Das, 2005).

L'épaisseur du mésophylle et de l'épiderme ainsi que l'espace intercellulaire diminuent significativement dans les feuilles traitées avec le NaCl de la mangrove *B. parviflora* (Parida et Das, 2005).

Le stress salin cause le développement de la vacuolisation et un gonflement partiel du réticulum endoplasmique, le gonflement de la mitochondrie, la vésiculation et la fragmentation du tonoplaste et la dégradation du cytoplasme par le mélange de la matrice

cytoplasmique et vacuolaire des feuilles de la patate douce (*Ipomoea batatas*) (Mitsuya et *al*, 2000 in Parida et Das, 2005).

2.8. Effets de la salinité sur la photosynthèse des plantes

Le développement des plantes est le résultat de l'intégration et la régulation des processus physiologiques dont le plus dominant est la photosynthèse. La croissance du végétal autant que la production de biomasse est une mesure de la photosynthèse nette et comme les stress environnementaux affectent la croissance donc affectent la photosynthèse.

L'effet à long terme s'exprime après plusieurs jours de l'exposition au sel, et la diminution de l'assimilation du carbone est due à l'accumulation du sel dans les feuilles en développement (Munn et Termatt, 1986 in Parida et Das, 2005). Aussi on a rapporté qu'il y a suppression de la photosynthèse sous les conditions d'un stress salin (Kao et *al*, 2001 in Parida et Das, 2005) et qu'elle ne diminue pas mais plutôt stimulée par de petites concentrations de sel (Kurban et *al*, 1999 in Parida et Das, 2005). La diminution de la vitesse photosynthétique est due à plusieurs facteurs : la déshydratation des membranes cellulaires ce qui réduit leur perméabilité au CO₂, la toxicité du sel, la réduction de l'approvisionnement en CO₂ à cause de la fermeture hydroactive des stomates, la sénescence accrue induite par la salinité et le changement dans l'activité des enzymes causé par le changement dans la structure cytoplasmique (Iyengar et Reddy, 1996 in Parida et Das, 2005).

2.9. Mécanisme d'adaptation des plantes au sel

2.9.1 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. A l'intérieur des cellules, le sel est alors stocké dans les vacuoles grâce à des systèmes de pompe moléculaire. Les vacuoles sont des compartiments fermés au sein de la cellule. Le sel est ainsi isolé des constituants cellulaires vitaux (Berthomieu et *al*, 2000).

2.9.2 Exclusion

La plante empêche le sel de remonter jusqu'aux feuilles. Une première barrière existe au niveau de l'endoderme, couche interne de cellule de la racine. Cependant, cette

barrière peut être interrompue, en particulier lors de l'émergence des ramifications de la racine (Levent Tuna et *al*, 2007) ; d'autres mécanismes limitent le passage de sel des racines vers les feuilles mais les gènes qui gouvernent sont encore largement inconnus (Berthomieu et *al*, 2000).

2.9.3. Sélectivité ionique : efficacité d'utilisation de K^+ :

L'absorption ionique et la compartimentation sont importantes non seulement pour la croissance normale mais aussi pour la croissance sous des conditions de salinité (Adams et *al*, 1992 in Parida et Das, 2005) parce que le stress perturbe l'homéostasie ionique. Les plantes qu'elles soient glycophytes ou halophytes, ne peuvent tolérer une grande quantité de sel dans le cytoplasme, et par conséquent sous des conditions de salinité, elles limitent l'excès de sel dans la vacuole ou compartimentent les ions dans différents tissus pour faciliter leurs formes métaboliques (Zhu, 2003).

Les glycophytes limitent l'absorption ou la translocation du sodium dans les tissus âgés qui servent de compartiments de stockage qui sont éventuellement sacrifiés. (Cheeseman, 1988 in Parida et Das, 2005). La suppression du sodium du cytoplasme ou la compartimentation dans les vacuoles est réalisée par des enzymes induites par le sel : le transporteur membranaire (antiport) Na^+/H^+ (Apse et *al*, 1999 in Parida et Das, 2005).

Deux pompes H^+ électrogéniques, le type H^+ -ATPase vacuolaire (V-ATPase) et la pyrophosphatase vacuolaire (V-PPase), coexistent dans la membrane de plantes (Dietz et *al*, 2001 in Parida et Das, 2005). La V-ATPase est indispensable pour le développement des plantes dans des conditions normales du à son rôle en activant le transport secondaire, le maintien de l'homéostasie des solutés et probablement faciliter la fusion des vésicules. Sous des conditions de stress : salinité, sécheresse, froid, anoxie, l'excès des métaux lourds dans le sol, la survie des cellules dépend fortement du maintien de l'activité de la V-ATPase.

Dans le stress salin, les plantes maintiennent de fortes concentrations de K^+ et de faibles concentrations de Na^+ dans le cytosol et cela par la régulation de l'expression et de l'activité des transporteurs de K^+ et Na^+ et les pompes H^+ qui produisent la force qui agit sur le transport (Zhu et *al.*, 1993 in Parida et Das, 2005).

2.9.4. Ajustement osmotique :

Face à l'augmentation des forces de rétention de l'eau dans un sol en cours de dessiccation, un ajustement osmotique peut se manifester, mais à des degrés variables, chez la plupart des végétaux. Les métabolites impliqués dans cet ajustement sont assez

variés. Ces solutés ont des propriétés physiques et biologiques compatibles, même à forte concentration, avec les fonctions métaboliques (Tahri et *al*, 1998).

L'un des principaux caractères physiologiques de tolérance aux contraintes du milieu est l'ajustement osmotique. Celui-ci est réalisé grâce à une accumulation de composés osmo régulateurs conduisant à une réduction du potentiel osmotique permettant ainsi le maintien du potentiel de turgescence.

L'accumulation de ces composés a été mise en évidence chez plusieurs espèces végétales soumises à la contrainte saline. Cette accumulation varie dans de larges proportions suivant l'espèce, le stade de développement et le niveau de la salinité. Les différences d'accumulation des solutés (acides aminés libres, proline et sucres solubles totaux) entre les plantes témoins et les plantes soumises au stress salin sont très importantes (El Midaoui et *al*, 2007).

L'ajustement osmotique apparaît aujourd'hui comme un mécanisme majeur d'adaptation aux stress ionique et osmotique qui s'exprime par la capacité d'un végétal à accumuler, au niveau symplasmique et de manière active des ions tels que les K^+ , Na^+ et Cl^- ou des composés organiques tels les sucres solubles (fructose, glucose, tréhalose, raffinose, fructanes) et certains amino-acides (proline, glycine bétaine, β -alaninebétaine, prolinebétaine) (Tahri et *al*, 1998).

2.9.5. Accumulation de la proline

La proline (acide pyrrolidine -2 carboxilique) est un acide aminé cyclique, faisant partie avec l'hydroxyproline de la classe des acides aminés à fonction amine secondaire. Très répandu dans la nature, il est abondant dans les prolamines végétales (zéine, gliodine), et la gélatine (Polonovski, 2000). Une accumulation de proline s'observe chez les plantes soumises à la sécheresse tandis qu'une concentration élevée en proline, glycine, bétaine caractérise les halophytes. Dans les deux cas, c'est pour la plante, le moyen de maintenir une pression osmotique, supérieure à celle du sol sans faire appel à une trop grande quantité d'ions minéraux toxiques (Guignard, 2000).

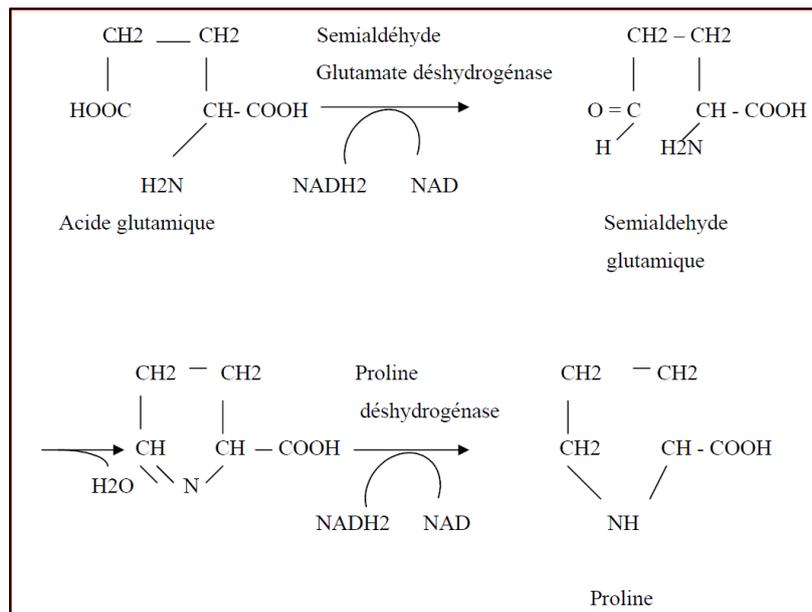


Figure n°13 : Biosynthèse de la proline (Krunh, 1979).

2.9.6. Accumulation des sucres solubles

Les teneurs en saccharose et en amidon des racines et des feuilles semblent indicatrices de degré de résistance des espèces à la salinité. Ainsi des polyols peuvent être accumulés dans le cytoplasme lors d'un stress salin.

Par réduction du groupement aldéhyde ou cétone en fonction alcool, on obtient des polyalcools (ou polyols). C'est ainsi que la réduction du D-glucose donne le D-glucitol (plus couramment appelé sorbitol), celle du D-mannose donne le mannitol. Le composé à trois atomes de carbone, le glycérol, que l'on peut considérer comme le produit de réduction du glycéraldéhyde ou de la dihydroxyacétone est un trialcool (Weil et *al*, 2001).

CHAPITRE 4: PRETRAITEMENT.

Chapitre 4 : Prétraitement

1. Prétraitement des graines :

La levée des graines est souvent lente et irrégulière, en particulier celle des graines conservées plusieurs années en chambre froide : d'où un faible rendement en pépinière et une grande hétérogénéité des semis qui peut entraîner un déchet important au repiquage (Lebrun, 1970). Pour améliorer la régénération des espèces végétales, plusieurs techniques sont utilisées : sélection variétale, culture in vitro, prétraitement des graines, etc.

Le prétraitement des semences (ou traitement de pré semis) comprendre à faire subir aux semences certains traitements orientés en fonction des objectifs et des résultats souhaites : Levée de la dormance, homogénéisation de la germination, résistance aux stress (sécheresse et froid principalement...) (Bradford, 1986).

1.1. Traitements physiques :

- Scarification mécanique :

Diverses procédés mécaniques sont généralement utilisés pour provoquer des lésions dans les enveloppes séminales comme des incisions manuelles, agitation ou frottement des graines contre des parois rugueuses (Côme, 1970). Ces traitements doivent être manipulés avec précaution afin de ne pas léser l'embryon (Heller et al, 2000). Beaucoup d'auteurs, comme Mbaye (2002) ; Simon et al, (2010) ; Assongba et al, (2013) ont utilisé ce prétraitement sur diverses espèces de graines à enveloppe dure, ce qui a permis d'augmenter le taux et la vitesse de leur germination.

1.2. Traitements chimiques :

1.2.1. A base d'acide sulfurique (H_2SO_4) (Scarification chimique) :

Le trempage dans l'acide sulfurique concentré est la méthode la plus courante de traitement des semences (Jaouadi et al, 2010).

L'amélioration de la germination des graines pourrait s'expliquer par le fait qu'en scarifiant chimiquement à l'acide sulfurique les téguments des graines permet d'augmenter leur perméabilité à l'air et à l'eau, ce qui favoriserait rapidement le processus de la germination (Soumahoro et al, 2014). Un trempage des semences dans l'eau oxygénée ou l'acide sulfurique suffit pour dissocier les enveloppes sans tuer l'embryon et peut fournir pour certaines graines de bons résultats (Côme, 1968). Cette technique de scarification

exige que l'on dispose d'acide sulfurique de qualité commerciale, de récipients, passoirs et tamis résistants à l'acide, et d'eau en abondance pour rincer les graines après le traitement. Il faut prendre de grandes précautions avec l'acide sulfurique, qui est dangereux pour le personnel et pour le matériel, et doit toujours être manipulé avec beaucoup de soin (Moulay, 2012). Le temps de trempage optimum varie selon les espèces. Il est habituellement de 20 à 60 minutes, mais un temps de trempage de 120 minutes a donné de très bons résultats (Jaouadi et *al*, 2010).

1.2.2. A base des hormones :

1.2.2.1 Acide gibbérellique (AG3) :

Les hormones jouent un rôle important dans la germination des graines (Davies, 1990). Les acides gibbérelliques (GA) sont les hormones de croissance généralement utilisées pour lever la dormance dans beaucoup des graines (Ma et *al*, 2003). Il existe un nombre phénoménal de GA. Elles sont désignées par les abréviations AG1... AG125. Les GA sont définis bien plus par leur structure que par leurs activités biologiques. Ce sont toutes des diterpènes cycliques. Celles qui présentent une activité biologique sont assez peu nombreuses. Il s'agirait principalement de AG1, AG3, AG4, AG7, ainsi que de quelques autres (Srivastava, 2002).

1.2.2.2. Acide salicylique (AS) :

L'acide salicylique est un acide carboxylique, considéré comme une phytohormone. Il appartient à un groupe extrêmement divers de composés phénoliques. Il est présent en abondance dans l'écorce et les feuilles des plantes. C'est un régulateur de croissance (Lakache, 2010). L'acide salicylique peut être un activateur de défenses et ces concentrations endogènes peuvent augmenter considérablement, Dans les interactions plante-pathogène (Yalpani et *al*, 1991). Il agirait comme un signal chimique permettant à la plante de résister aux bactéries, virus ou champignons microscopiques qui l'attaquent (Raskin et *al*, 1987). La SA exerce un rôle dans des phénomènes physiologiques comme la photosynthèse, la floraison, la perméabilité de la membrane, la production de chaleur, la croissance et développement des plantes, et les interactions plantes-pathogènes (Hayat et *al*, 2007 ; Raskin, 1992).

1.2.2.3. Acide ascorbique :

L'acide ascorbique est une petite molécule relativement abondante dans les végétaux. Il joue divers rôles : dans la croissance et le développement des plantes, lors de la division cellulaire et dans l'expansion de la paroi pectocellulosique. Cette molécule est

également essentielle à l'activité des enzymes antioxydantes telle que le glutathione et la détoxification par le H₂O₂ et contribue ainsi à la protection des structures cellulaires contre les effets des formes d'oxygène réactifs produit par la réaction de Mehler et la photorespiration (Noctor et *al*, 1998). Ont rapporté le rôle des phytohormones et des antioxydants tels que l'acide salicylique et l'acide ascorbique dans l'amélioration de la capacité des graines à germer pendant le stress salin chez plusieurs espèces (Naciri et *al*, 2014, Behairy et *al*, 2012).

1.3. Autres traitements :

1.3.1. Stratification :

La stratification est une méthode principalement utilisée pour lever la dormance primaire morphologique, physiologique et morphophysiologique (Geneve, 2003). Le processus de la stratification consiste à incuber les graines en conditions humides et à température basse (0-10°C). La température optimale pour de nombreuses espèces est de 4°C (Baskin et Baskin, 1998). La stratification joue un rôle dans la transformation de réserves nutritives à la forme soluble, l'augmentation de la perméabilité du tégument et la maturité de l'embryon et la promotion de l'émergence de la racicule par l'affaiblissement des structures environnantes (Djenidi, 2012).

1.3.2. Chaleur sèche :

L'application de chaleur sèche sur les semences, le plus souvent en les plaçant dans une étuve maintenue à la température désirée. La chaleur sèche est généralement moins efficace que les prétraitements à l'eau chaude ou par scarification, mais des essais effectués avec des légumineuses agricoles semblent indiquer qu'une brève exposition à des températures très élevées (par exemple 155°C pendant 15–20 secondes) améliore la germination (Jaouadi et *al*, 2010 ; Moulay, 2012).

1.3.3. Scarification thermique (Eau bouillante) :

Une technique souvent utilisée consiste à immerger les graines dans 4 à 10 fois leur volume d'eau bouillante (100°C), à arrêter le chauffage et à les laisser tremper dans l'eau qui se refroidit progressivement pendant 12 à 24 heures. Cette méthode est très répandue, mais elle peut donner des résultats irréguliers. La proportion en volume ou en poids des graines par rapport à l'eau à une importance décisive, et le temps de trempage optimum peut varier selon les espèces. La rapidité du refroidissement est grandement influencée par l'échelle de l'opération et par la nature du récipient utilisé, de sorte qu'il est difficile de la contrôler avec précision (Jaouadi et *al*, 2010).

1.3.4. Micro-ondes :

Cette technique récente consiste à chauffer les semences par énergie de micro-ondes. Ce traitement a un effet comparable à celui de l'eau bouillante, mais les semences restent sèches (Jaouadi et *al*, 2010).

1.3.5. Traitements pré-germinatifs des semences (ou priming) :

L'amorçage (priming) ou durcissement est une technique de traitement pré-germinatif. Elle consiste à faire subir aux semences un traitement osmotique (osmopriming) ou hormonal (hormopriming) et/ou une redéshydratation (hydropriming) qui peuvent la levée de la dormance, l'homogénéisation (la synchronisation) de la germination, une meilleure croissance, une floraison plus précoce, et dans certains cas, une tolérance aux stress abiotiques tels que la sécheresse et la salinité. Ces prétraitements consistent tremper les graines, puis à la redéshydrater avant la percée de la radicule, c'est-à-dire au cours de la phase réversible de la germination. Ainsi, la graine peut revenir à son état initial déshydraté sans aucun dommage pour l'embryon (Boucelha et Djebbar, 2015).

PARTIE
EXPERIMENTALE

Chapitre 5 : Matériel et méthode

1. Objectif de l'essai :

L'objectif de notre essai consiste à étudier l'effet de l'application exogène de trois phytohormones (Acide gibbérellique, Acide salicylique, Acide ascorbique) à différentes concentrations sur la germination et la croissance de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) en condition de stress salin.

2. Présentation du site de l'essai :

Nous avons réalisé ce travail au niveau du laboratoire d'Amélioration des plantes, Département de Biotechnologie et Agro-Ecologie, faculté des Sciences de la Nature et de la Vie à l'Université de Blida 1.

3. Matériel végétal :

Le matériel végétal utilisé au terme de cette étude est la semence de l'orge (*Hordeum vulgare* L.), variété FAOUARA. Cette variété est fournie par l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) d'El Harrach, Alger. Les caractéristiques de cette variété sont présentées dans le tableau n° 06.

Tableau n°06 : Caractéristiques morphologiques et culturelles d'orge variété FAOUARA :

Caractéristiques morphologiques	
Compacité de l'épi	Compact
Couleur de l'épi	Blanc
Hauteur de la plante à la maturité	Courte à moyenne
Caractéristiques culturelles	
Altemativité	Hiver
Cycle végétatif	Tradive
Tallage	Forte

(ITGC, 2006).

Tableau n°07 : Résistances aux facteurs abiotiques

Résistances aux facteurs d'environnement	
Au Froid	Tolérante
A la verse	Résistante
A la sécheresse	Tolérante
Résistances aux maladies	
Helminthosporiose	Résistante
Charbon	Résistante
Rhynchosporiose	Tolérante

(ITGC, 2006).



Figure n°15 : Graines d'orge (*Hordeum vulgare L.*) Var. Fouara

4. Description des différents traitements testés :

Dans cette étude, nous avons utilisé trois concentrations différentes de phytohormones comme activateurs de germination.

Tableau n°08 : Concentration d'hormone utilisée dans les différents traitements.

Traitement	Concentration
T0 : Non traité (témoin).	0g/l
T1 : Acide gibbérellique.	0,05 g/l
T2 : Acide gibbérellique.	0,075 g/l
T3 : Acide salicylique.	0,05 g/l
T4 : Acide salicylique.	0,075 g/l
T5 : Acide ascorbique.	0,05 g/l
T6 : Acide ascorbique.	0,075 g/l

5. Préparation des différents traitements :

Pour la préparation des traitements T1, T3 et T5 on a dilué 50mg/l dans un litre de l'eau distillée et pour les traitements T2, T4 et T6 on a dissout 75mg/l d'acide gibbérellique, d'acide salicylique et d'acide ascorbique respectivement dans un litre d'eau distillé.



Figure n°15 : photo original d'un des traitements utilisé

6. Préparation de la solution saline :

La dissolution de 100 mMol, de NaCl soit 5.84g dans un litre d'eau distillée obtient des solutions



Figure n°16 : Étapes de préparation d'une solution saline (photos originale, 2022).

7. Préparation des graines pour le test de germination :

a. Désinfection :

Les graines d'orge ont été désinfectées par un lavage avec l'hypochlorite de Sodium à 2.5% pendant 10 min dans un bécher, puis rincées abondamment à l'eau distillée pour éliminer l'eau javel et les produits de conservation qui y adhéraient, ensuite égoutté les grains sont étalés et placés à sécher sur du papier filtre stérile, puis être sélectionné.

Les étapes de stérilisation sont illustrées dans la figure n°17.



Figure n°17 : La désinfection, rinçage et séchage des grains.

b. Application des traitements

L'application des différents traitements est réalisée par la technique du priming qui consiste à faire tremper les graines d'orge dans des pots stériles pendant 3 heures dans des solutions hormonales préparées à différentes concentrations. Les graines sont ensuite séchées sur du papier filtre stérile et mises dans étuve ventilée à 50 °C pour revenir au taux d'humidité initial des graines. Les boîtes de Pétri sont mises en pré-germination dans une étuve à l'obscurité et à une température ambiante d'environ 25°C, afin de provoquer le gonflement de caryopses.



3h dans des solutions hormonales



Séchées et placées dans des boîtes sur papier filtre stérile



Mise en étuve

Figure n°18 : Trempage des graines dans les différentes solutions hormonales.

c. Mise en germination

Le tri des graines est effectué par inspection visuelle pour s'assurer qu'il n'y a pas de dommages, tels que des graines vides, ensuite, les grains désinfectés sont placés directement, à l'aide d'une pince stérile, dans des boîtes de Pétri contenant du papier filtre stérile.

Nos essais ont porté sur 50 graines par traitement, soit 10 graines par boîte de Pétri avec 05 répétitions.



Figure n°19 : Disposition des graines dans les boîtes de Pétri

d. Application du stress

L'étude de la réponse des graines et des plantules au stress salin est réalisée par l'imbibition de 35 boîtes de Pétri. Ces boîtes contiennent des graines traitées par les différentes solutions hormonales plus le témoin (T0), par une solution de 100 mM du NaCl, ensuite, les boîtes ont été placées à l'obscurité dans une étuve où la température était fixée à 25°C. Au cours des observations, nous avons pris le soin d'imbiber les boîtes en arrosant dès que nécessaire pour maintenir l'hydratation des graines par le NaCl.

Un comptage des graines germées est effectué chaque jour, pendant 08 jours. Après le teste de germination, les jaunes plants sont ensuite placés dans un phytotron avec une photopériode de 16h/8h et une température ambiante de 25°C.

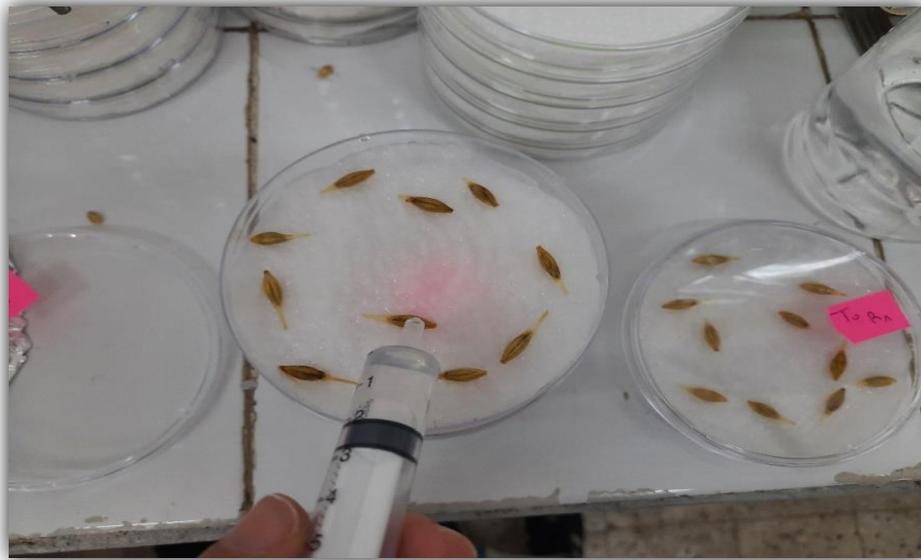


Figure n°20 : Application de stress salin sur les graines



Figure n°21 : Mise en germination dans des boites de Pétri à l'étuve (à 25°C).

8. Paramètres étudiés :

8.1. Calcul de pourcentage de germination des grains :

Le nombre de grains germés est noté pour chaque boite de Pétri après 7 à 8 j d'incubation. A la fin, le nombre total des graines obtenues par échantillon permet de calculer le taux de germination.

$$\text{Taux de germination en \%} = \frac{\text{Nombre de graines germées} \times 100}{\text{Nombre total de graines}}$$

8.2. Index de vigueur :

L'index de vigueur est calculé selon la formule suivante :

$$\text{VI} = \text{Taux de germination} * \text{longueur des plantules}$$

8.3. Biomasse fraîche produite :

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

8.4. Longueur de la partie racinaire :

La longueur de la partie racinaire a été mesurée à l'aide d'un logiciel de digimizer. Version 4.0.0.0.

8.5. Longueur de la partie foliaire :

La longueur de la partie aérienne a été mesurée à l'aide d'un logiciel de Digimizer. Version 4.0.0.0.



Figure n°22 : Mesure de différentes parties de la plantule par le Digimizer.

8.6. Biomasse sèche :

La biomasse sèche d'espèce étudiée a été mesurée après séchage des plantules dans une étuve réglée à 75°C jusqu'au poids stable.



Figure n°23 : Séchages des plantules dans l'étuve.

8.7. Taux de la matière sèche :

Le taux de matière sèche calculée comme suit et il est exprimé en pourcentage % :

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

Où : PS : Poids sèche ; PF : Poids frais

8.8. Fuite d'électrolyte :

Pour déterminer la fuite d'électrolyte on a appliqué la méthode de Neyar et *al* (2005). 0.1g d'échantillons de feuilles fraîches ont été coupés et placés dans des tubes à essai contenant 10 ml d'eau distillée. Les tubes ont été recouverts de bouchons en plastique et placés dans un bain-marie maintenu à la température constante de 32°C. Après 2h, la conductivité électrique initiale du milieu (EC1) a été mesurée à l'aide d'un conductimètre électrique.

Les échantillons ont ensuite été autoclavés à 120 ° C pendant 20 minutes pour tuer complètement les tissus et libérer tous les électrolytes. Les échantillons ont ensuite été refroidis à 25 °C et la conductivité électrique finale (EC2) a été mesurée.

La fuite d'électrolyte (EL) a été exprimée selon la formule :

$$\text{EL} = \text{EC1} / \text{EC2} \times 100.$$



Figure n°24 : Détermination de fuite d'électrolyte

8.9. Dosage de la teneur des feuilles en chlorophylle :

La détermination de teneur en chlorophylle b et caroténoïdes par l'application de la méthode de Lichtenthaler (1987). L'extraction à froid a été réalisée en versant 10ml d'acétone pure dans des tubes à essai recouverts d'un papier aluminium et en ajoutant 0.1g de matière fraîche foliaire. On garde l'ensemble dans l'obscurité à 4°C pendant 48 heures.

La mesure de l'absorbance a été effectuée à 470,663 et 645nm par un Spectrophotomètre. Les calculs de teneur en pigments expriment en mg/g de PF par les équations suivantes :

$$\text{Chl a} = 11,24 \text{ DO (663)} - 2,04 \text{ DO (645)}$$

$$\text{Chl b} = 20,13 \text{ DO (645)} - 4,19 \text{ DO (663)}$$

$$\text{Caroténoïdes} = [1000 \cdot \text{DO (470)} - 1,90 \cdot \text{Chl a} - 63,14 \cdot \text{Chl b}]$$



Figure n°25 : Détermination de chlorophylles par spectrophotomètre.

8.10. Contenu relatif en eau (CRE) :

Le contenu relatif en eau est obtenu selon la méthode décrite par Tumer et *al*, 1981. Les échantillons pesés (0.1g de partie foliaire) ont été mises dans 10 ml de l'eau distillé à l'obscurité et à 4°C pendant 24h puis de nouveau pesée afin d'obtenir leur poids de turgescence (PT). Ensuite les échantillons ont été mis à l'étuve à 70°C pendant 48h ; le poids sec (PS) a alors été mesure et le contenu relatif en eau TRE a été calculé selon l'équation suivante :

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



Figure n°26 : Méthode de détermination de CRE.

9. Analyses des données :

Les résultats de ce travail ont été traités par logiciel STATGRAPHICS- centurion XVI (version 16.1.18) pour l'analyse de variance multifactoriel et les moyennes significativement différentes ont été séparées par le test de Fisher LSD au seuil de probabilité 5%.

RESULTATS ET DISCUSSION.

1. Taux de germination :

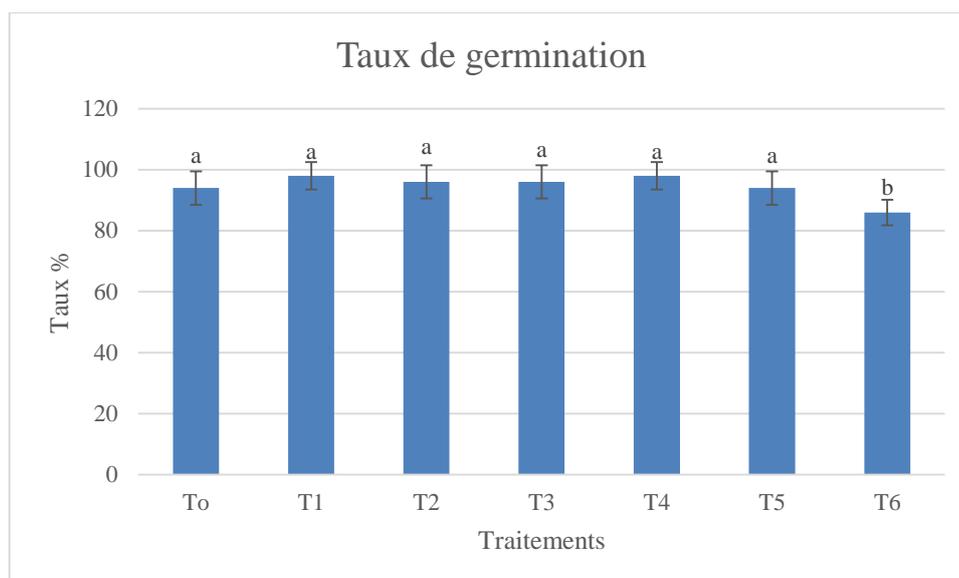


Figure n°27 : Variations de taux de germination des graines d’orge en fonction des hormones végétales en condition de stress salin.

Concernant le taux de germination, l’analyse de la variance montre une différence non significative ($p=0,053$) de facteur traitement sur le paramètre mesuré.

Les graines traitées par T1 (AG3 à 50mg/l) et les graines de T4 (AS à 75mg/l) marquent des valeurs plus élevées par rapport aux autres traitements malgré la différence non significative et ce sont les meilleurs résultats avec 98% des graines germés.

On note une diminution de taux de germination dans les graines traitées par T2 et T3 jusqu’à 96% ; alors que les graines prétraitées par T0 (témoins) et T5 présentent même pourcentage 94%.

Les travaux de (Ghorbani et *al*, 2011 ; Ghamati et *al*, 2005) montre l’apport exogène de l’AG3 sur le renforcement de la tolérance à la salinité a déjà fait l’objet d’autres travaux ayant une réduction des effets négatifs de la salinité sur la faculté germinative et les paramètres de croissance.

En effet, Arbabian et *al*. (2014), signalent une augmentation du taux de germination ainsi que la vitesse de germination à une concentration de 50mg /l de l’AG3.

2. Longueur de la partie foliaire :

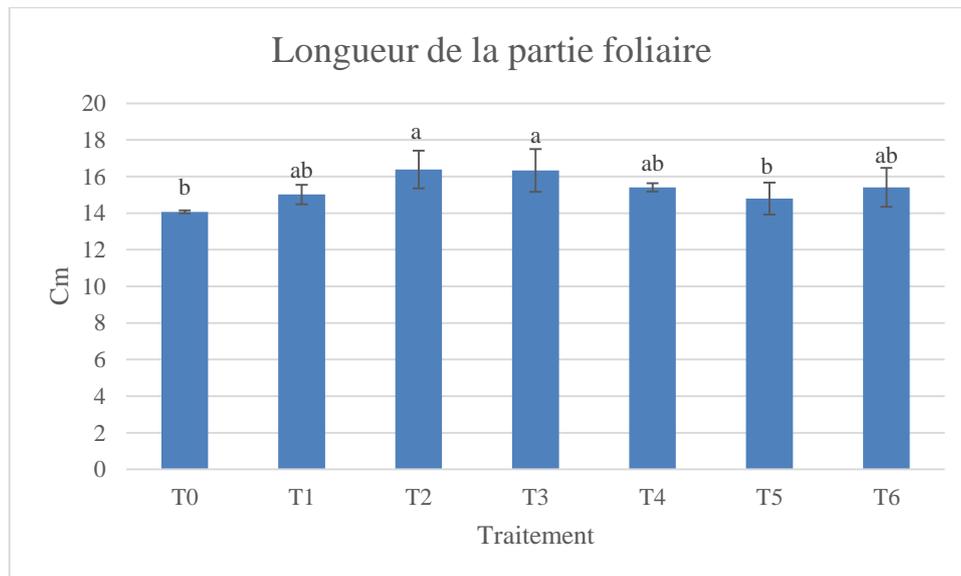


Figure n°28 : Variations des longueurs de la partie foliaire des plantules d'orge en condition de stress salin.

Pour le paramètre longueur de la partie foliaire, l'analyse statistique a révélé un effet significatif de facteur traitement sur le paramètre étudié ($p=0,0398$). Le test de Fisher (LSD) a fait sortir 03 groupes homogènes (a), (b) et (ab).

Les plantules issues des graines traitées par l'acide gibbérellique à 75mg/l (T2) et l'acide salicylique à 50mg/l (T3), présentent la meilleure longueur avec 16,38cm et 16,33cm respectivement et sont classées dans le même groupe homogène (a).

Cependant, les plantules issues des gaines d'orge prétraitées par les traitements T1 (AG3 à 50mg/l), T4 (AS à 50mg/l), T6 (AAs à 75mg/l) et T5 (AAs à 50mg/l), donnent des valeurs de la longueur qui varient entre 14 et 15cm et les faibles résultats sont remarqués chez les plantules de T0 (Témoins) avec 14.075cm.

3. Longueur de la partie racinaire :

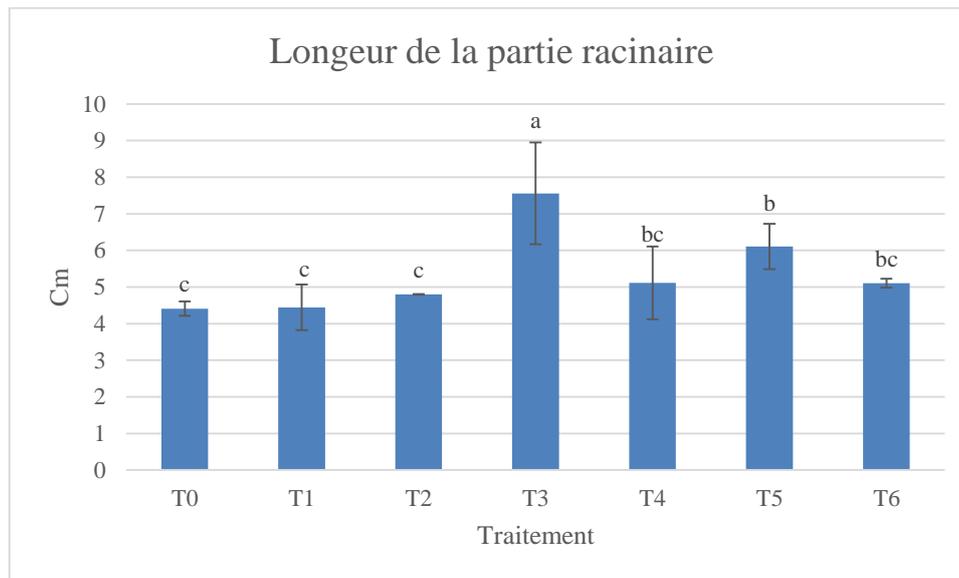


Figure n°29 : Variations des longueurs de la partie racinaire des plantules d’orge sous l’effet du NaCl.

Concernant la longueur de la partie racinaire, l’analyse de la variance pour ce paramètre a révélé une différence significative du facteur traitement ($p=0,0013$). Le test LSD montre la présence de quatre groupes homogènes (a), (b), (c), (bc).

Les meilleurs résultats de la longueur racinaire sont enregistrés chez les plantules issues des graines amorcées par l’acide salicylique à 50mg/l (T3) avec une valeur de 7.56 cm, suivie par les plantules proviennent des graines traitées par l’acide ascorbique à 50mg/l (T5) avec une longueur de 6.106 cm. Les plantules de l’orge traitées par T1, T2, T4 et T6 présentées des valeurs moins importantes et proches (entre 4 et 5 cm). En revanche, le faible résultat est donné par le témoin T0.

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

4. Index de vigueur :

Les moyennes calculées de l'index de vigueur représenté dans la figure suivante :

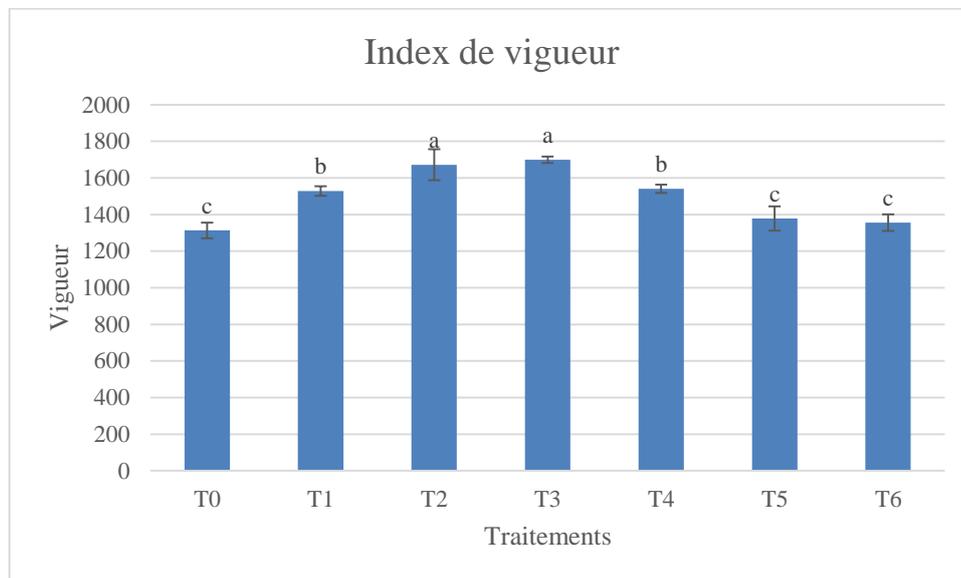


Figure n°30 : Variations de l'index de vigueur en fonction des traitements hormonales et sous l'effet de salinité

Pour ce qui est index de vigueur, l'analyse de la variance dévoile une différence hautement significative ($p=0.0000$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré. Le test des entendus multiples (LSD) montre l'existence de trois groupes homogènes (a), (b) et (c).

Les plantules issues des graines amorcées par l'acide salicylique concentré à 50mg/l donnent les valeurs les plus importantes de l'index de vigueur avec les plantules de traitement T2 qui sont classées dans le même groupe homogène (a). Suivis par les traitements T1 et T4 (l'acide gibbérellique a 50mg/l et l'acide salicylique 75mg/l) avec des valeurs similaires et qui sont classés dans le groupe homogène (b), l'index de vigueur le moins important est enregistré au niveau des traitements T5, T6 et T0, qui se trouvent dans le dernier groupe homogène (c).

Gerra et *al.* (2020), affirment que l'utilisation de l'hormoprimering comme traitement des graines est bénéfique pour la germination et la vigueur des plantules dans des conditions du stress abiotique.

5. Poids frais des plantules :

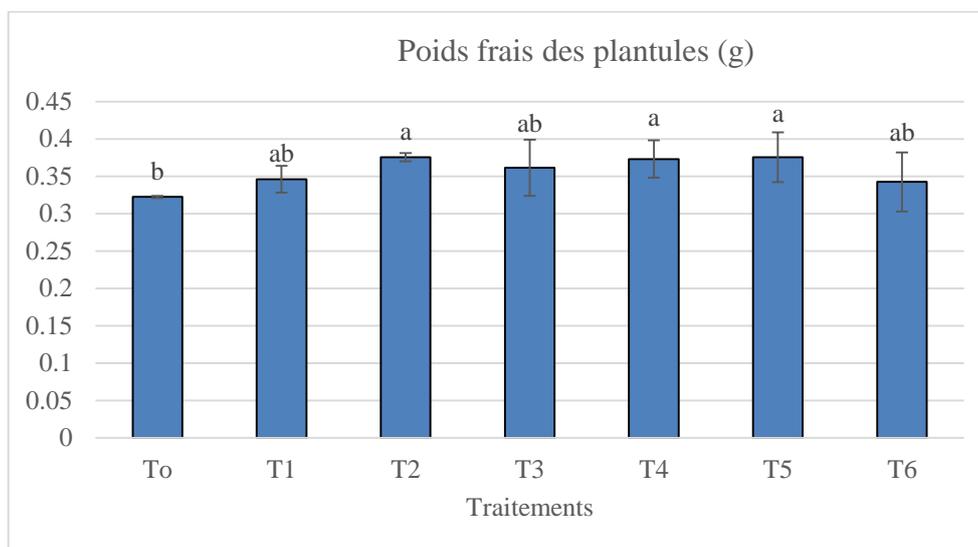


Figure n°31 : Variation du poids frais de la partie racinaire et foliaire des plantules en condition du stress salin.

Pour la biomasse fraîche, l'analyse de variance montre une différence non significative entre les traitements sur le poids frais des plantules sous stress salin. Le test des étendus multiples (LSD) au seuil $\alpha=5\%$ fait ressortir 3 groupes homogènes (a), (b), (ab).

Le poids frais des Plantules le plus élevé est observé chez les Plantules issues des graines prétraitées par 75mg/L d'acide gibbérellique (T2), par 75mg /L d'acide salicylique (T4) et par 50mg/l d'acide ascorbique (T5), avec des valeurs statistiquement similaires et sont classés dans le même groupes homogène (a). Ce pendant les plantules des traitements T1, T3 et T6 sont représentés par le même groupe homogène (ab) et qui ne révèlent pas une différence statistiquement significative avec les traitements de groupe homogène (a) et le témoin classé dans le groupe homogène (b) qui donne les plus faibles valeurs.

Cependant, l'application exogène des hormones de croissance a un effet positif sur le poids frais des plantules dans les conditions de stress salin (Nazima et *al*, 2016) ; le poids frais des jeunes plantules et aussi affecte par le stress salin.

Selon kumar et *al*. (2015), l'AG3 diminue les effets néfastes du stress salin et rétabli la biomasse fraîche des plantes cultivées, et que l'application d'acide salicylique réduit les dommages de salinités et augmente le poids frais.

6. Taux de la matière sèche :

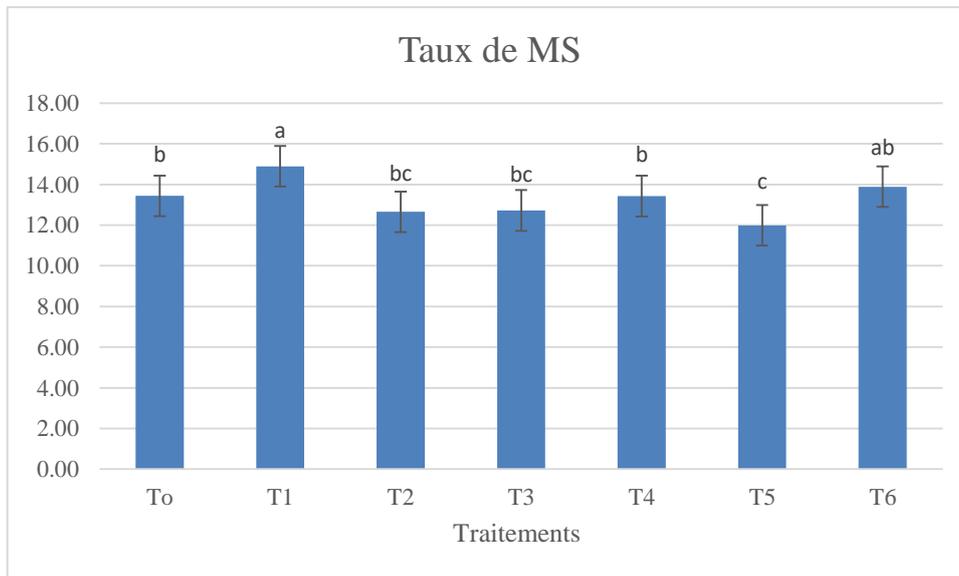


Figure n°32 : Variations de taux de la matière sèche des plantules en fonctions des différents traitements et sous l’effet de stress salin.

Concernant le taux de matière sèche (MS), l’analyse de la variance montre un effet hautement significatif ($p=0,0060$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré. Le teste de Fisher (LSD) affiche qu’il y a 5 groupes homogènes (a), (b), (ab), (bc) et (c).

Le taux de MS le plus élevée chez les échantillons traités par T1 (50mg/L d’acide gibbérellique) avec une valeur de 14,90%, et par le T6 (75mg/L d’acide ascorbique) avec un taux de 13,89%. Suivis par des valeurs moyennes qui varient entre 13,44% et 13,34%, observées chez les plantes de T0 (Témoins) et T4 (75mg/L d’acide salicylique). En revanche, les plantes traitées per T2, T3 et T5, donnent les valeurs les plus faibles avec des taux de 12,66%, 12,72% et 11,99%, et qui ne présentent pas une différence significative entre eux.

Selon Omena-García et *al.* (2018), l’application exogène des hormones végétales améliore la biomasse sèche produite dans les différentes parties de la plante. Les travaux de hallal et *al.* (2018) sur différentes variétés de l’orge ont montré que la biomasse sèche produite en corrélation avec le degré du stress.

7. Biomasse sèche :

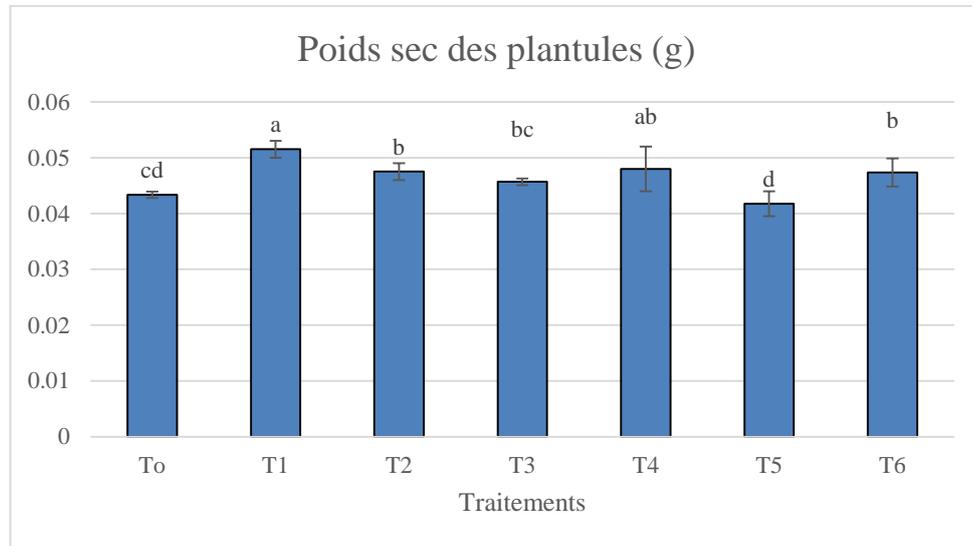


Figure n°33 : Variations du poids sec des jeunes plantules en fonction des hormones végétales exogènes et en condition du stress salin.

Pour ce qui matière sèche, l'analyse de la variance concernant ce paramètre à révéler une différence hautement significative ($p=0,0017$). Le test LSD au seuil $\alpha=5\%$ montre la présence de 6 groupes homogènes dans les conditions de stress Salin.

Il est à remarquer que le poids sec le plus élevée observée chez les plantules issues des graines amorcées par le T1 (acide gibbérellique a 50mg/l) avec un poids de 0.515g suivi par les traitements T4, T2, T6, T5, T0 respectivement, avec des valeurs qui varient entre 0,047g et 0,041g.

Toutefois, Sampath Kumer et *al*, 2015 affiches que l'application des phytohormones exogènes améliore la production de la matière sèche des plantules.

8. Contene relative en eau (CRE) :

Le contene relative en eau a été exprimé en pourcentage % et montré dans la figure n°34.

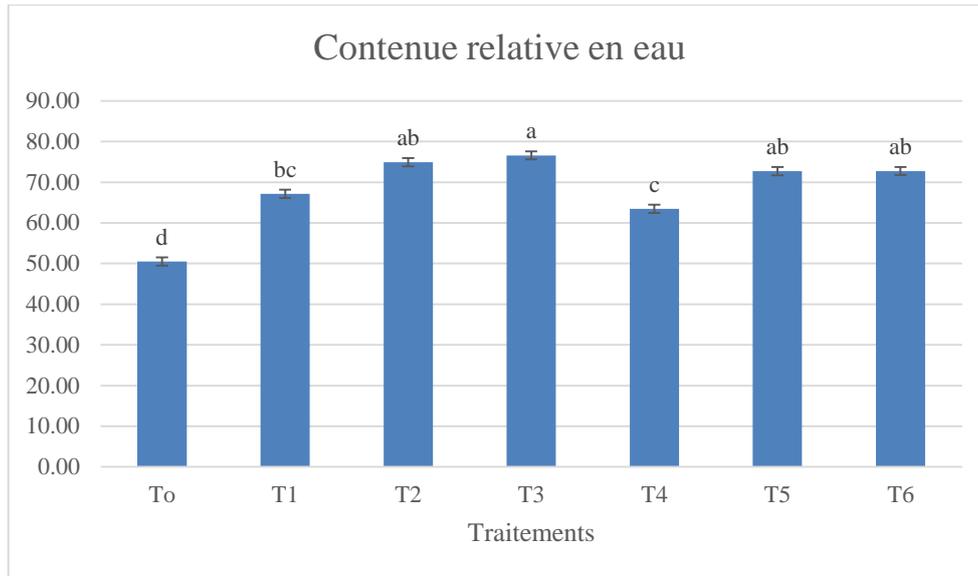


Figure n°34 : Pourcentage de le contene relative en eau en fonction des phytohormones sous l'effet de stress salin.

Pour la CRE, l'analyse de la variance montre une différence hautement significative ($p=0,0001$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré. Le test LSD, fait ressortir 05 groupes homogènes (a), (ab), (c), (bc), (d).

Le contenu relative en eau est nettement élevée chez les échantillons des plantes traitées par l'acide salicylique de 50mg/L (T3) avec une teneur de 76,59%. En revanche, la plus basse valeurs des CRE est observée chez les plantes de T0 (Témoins). Tandis que on note des teneurs en eau remarquable au niveau des plantes de T1, T2, T4, T5 et T6 avec des pourcentages de (67,13%), (74,93%), (63,45%), (72.72%) et 72.75% respectivement.

L'amorçage par l'H₂O distillée, le CaCl₂ et l'IAA (auxine) a augmenté la teneur relative en eau des feuilles du haricot ce qui a montré que ces prétraitement pourraient jouer un rôle important dans la relation eau / haricot sous le stress salin et de maintenir la capacité de rétention d'eau des plantes pour lutter contre la salinité. Cela permet de

maintenir un potentiel hydrique élevé qui est considéré comme un mécanisme développé par la plante pour éviter la déshydratation (Shah, 2021).

9. La fuite d'électrolyte (EL%)

Les résultats de ce paramètre illustrés dans la figure suivante qui représente les variations des pourcentages de la fuite d'électrolyte des plantes de l'orge qui sont traitées par des hormones végétales en condition de stress salin.

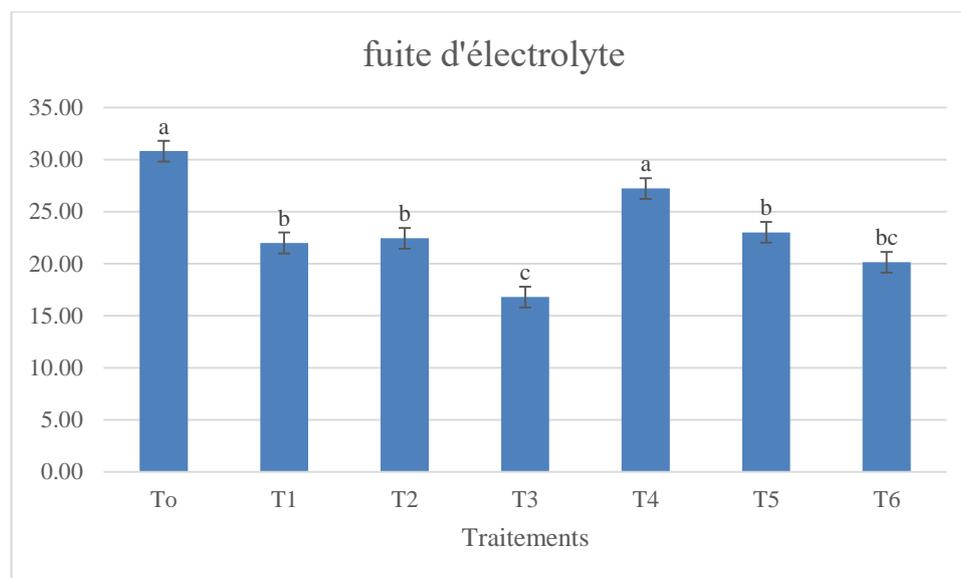


Figure n°35 : Variations de pourcentage de la fuite d'électrolyte des plantes de l'orge.

Concernant la fuite d'électrolytes, l'analyse de la variance montre une différence hautement significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré. Le test des étendus multiples au seuil $\alpha=5\%$ montre l'existence de 4 groupes homogènes (a), (b), (bc), (c).

En condition de stress salin et à la présence des phytohormones les résultats observés dans la figure affichent que le pourcentage le plus élevé de la fuite est enregistré chez les plantes de de T0 30,82% suivie par le traitement T4 d'acide salicylique (75mg/L) avec taux de 27,23%.

Les plantes issues des graines prétraitées par T1, T2, T4 et T5 affichent les pourcentages les plus faibles avec les valeurs (21,98%), (22,44%), (27,23%) et (23,01%) respectivement. Cependant, les plantes de T3 enregistrent le plus faible pourcentage de fuite électrolyte avec (16,78%).

La fuite d'électrolyte est une caractéristique de la réponse au stress dans les cellules végétales intactes. Ce phénomène est largement utilisé comme un test pour les blessures des tissus des plantes induites par le stress et une mesure la tolérance de végétal au stress (Demidchik, 2014).

10. Teneur en chlorophylle a :

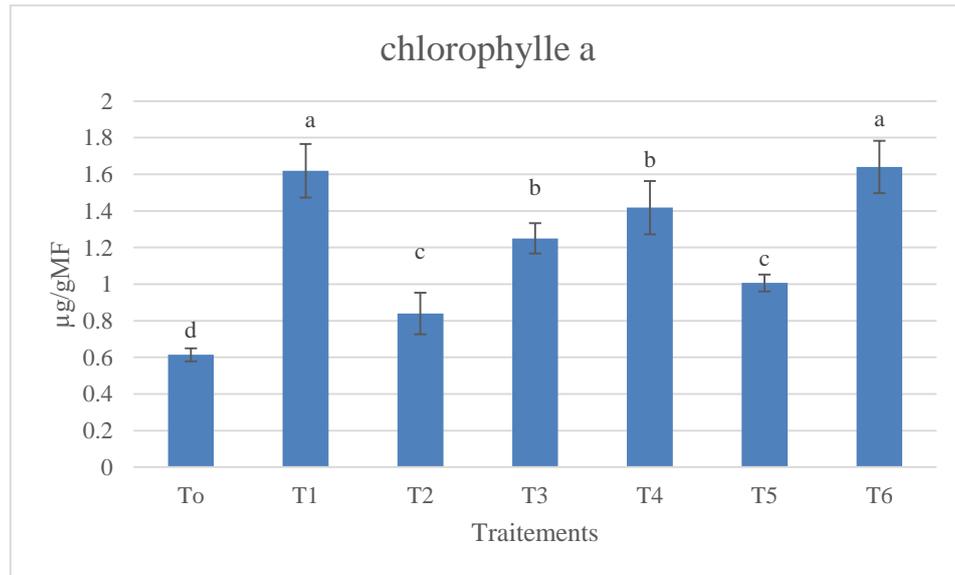


Figure n°36 : Variation de teneur en chlorophylle des plantes de l'orge en fonction des traitements exogène et en condition de stress salin.

L'analyse de la variance a révélé un effet hautement significatif du facteur traitement sur le teneur des feuilles en pigments chlorophylliennes. Le test LSD montre la présence de 4 groupes homogènes(a), (b), (c), (d).

Concernant la teneur de chlorophylle, il a démontré que la quantité substantielle de chlorophylle ont été produite chez les plantes traitées par T6 (acide ascorbique 75mg/l) avec la valeur de 1,6406µg/g de MF et par le T1 (acide gibbérellique 50mg/l) avec la teneur de 1,6196µg/g de MF et sont classés dans le même groupe homogènes (a).

Des valeurs inférieures sont noté chez les traitements T4, T3 et T5 avec des teneurs de (1.418µg/g de MF), (1.2504µg/g de MF) et (1.0068µg/g de MF) respectivement, et la quantité de chlorophylle la plus faible enregistré par le traitement T0 (témoins).

Les travaux de Bencze et *al*, (2010), affirment que sous stress abiotique la teneur en chlorophylle est très affectée.

11. Teneur en chlorophylle b

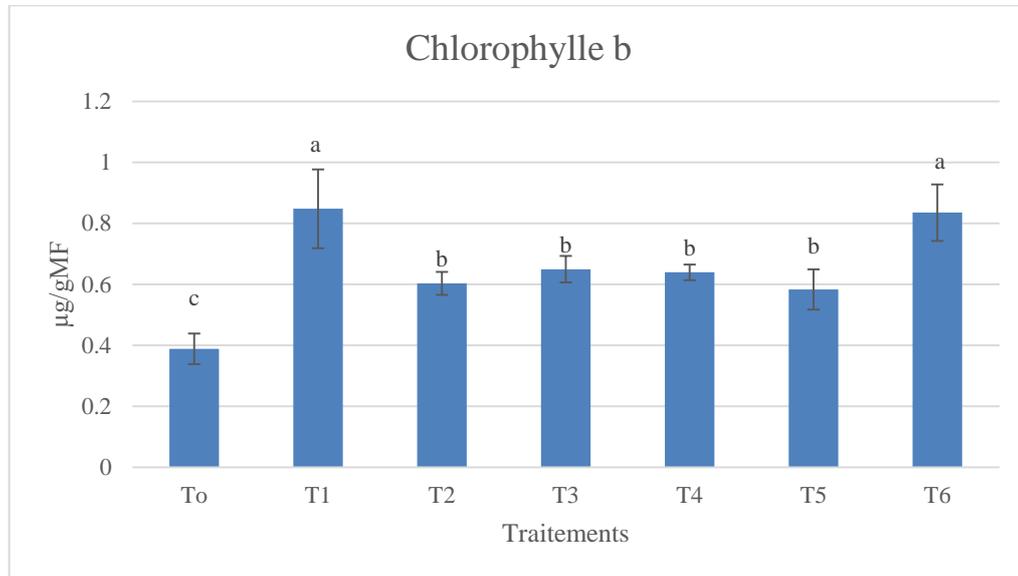


Figure n°37 : Quantité de chlorophylle b dans les plantules de l’orge.

Le test de Fisher (LSD) au seuil $\alpha=5\%$ révèle l’existence de trois groupes homogène (a), (b) et (c), et l’analyse de variance affiche une différence hautement significative sur le paramètre étudié.

Les plantes de l’orge issue des graines prétraité avec le T1 (AG3 à 50mg/l) et le T6 (AAs à 75mg/l) enregistrent les teneurs en chlorophylle (b) les plus importantes avec des valeurs de (0,8480µg/g de MF) et (0,83532µg/g de MF) respectivement et sont classés dans le même groupes homogène (a), suivis par les plantes qui ont traité par le T3 (AS à 50mg/l) et T4 (AS à 75mg/l) avec des teneurs (0,6495 µg/g de MF) et (0,6396 µg/g de MF) respectivement. Alors que le témoin T0 affiche la plus faible quantité en chlorophylle (b) avec une valeur (0,3887 µg/gde MF).

Les travaux de Shah *et al*, (2021), sur le priming par les nanoparticules et l’hydropriming affirment que la technique du priming améliore significativement la teneur des feuilles en pigments chlorophylliennes sous stress salin.

CONCLUSION.

Conclusion :

Les phytohormones ont souvent comme fonction d'assurer la croissance de la plante ou sa morphogénèse. Il est produit par certaines cellules de la plante (souvent les régions méristématiques), elles sont ensuite véhiculées endogène ou via le système vasculaire vers leur lieu d'action.

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

La phase germination et levée et la transplantation des plantules est considérée comme l'une des stades végétatifs sont très sensibles aux stress salins. Une bonne installation des plantules, sous conditions contraignantes, dépend des capacités génétiques de l'orge à tolérer la contrainte et du degré de sévérité de la contrainte en question.

L'objectif de notre travail s'intéresse d'une part à étudier l'effet de l'application des phytohormones exogènes sur la germination de l'orge dans des conditions du stress salin provoqué par 100 mM de NaCl.

Les résultats obtenus confirment les résultats de plusieurs études qui ont montré que l'application des phytohormones exogènes de l'AG3, l'AS et l'AA a augmenté significativement la précocité et le taux final de la germination des graines, la croissance en longueur de la partie racinaire et aérienne ainsi que la biomasse fraîche et sèche produite.

Le prétraitement des graines de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) avec les biorégulateurs de croissance (AG3, AS et AA) a eu un effet positif sur la teneur en pigment chlorophyllien et le pourcentage de la fuite d'électrolyte de la membrane par rapport au témoin.

En conclusion, il est intéressant de signaler l'importance des phytohormones de régulation de croissance pour l'amélioration des caractéristiques de résistance des plantes vis-à-vis des facteurs édapho-climatiques défavorables notamment celui du stress salin.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUE.

Références :

1. **Abbas K et Abdelguerfi A., 2008.** Evaluation of a regenerated natural meadow in a semi-arid area of Algeria. *Option méditerranéennes A.* 79: 179-185.
2. **Acevedo A., Jose T., Joaquim E. F., Clandivan F., Dasilva V., Pauloh et Eneas ., 2000.** Effects of salt stress on plant growth, stomatal response and solute accumulation of Different maize genotypes. *Braz. J. Plant Physiol.* 16; N°.1.
3. **Adjabi A., Bouzerzour H., Benmahammed A., 2014.** Stability analysis of durum wheat (*Triticum durum Desf.*) grain yield. *Journal of Agronomy.*, 13: 131-139
4. **Agastian, P., Kingsley, S. J., Vivekanandan, M. (2000).** Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes. *Photosynthetica* 38, 287–290.
5. **Anonyme, 1997:** Directive sur la bonne pratique phytosanitaire Bulletin OEPP. N° 24: pp 233- 240.
6. **Ashraf M., Foolad M. R. (2007).** Role of glycine betaine and protein in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany.* 59. pp 206- 216.
7. **Assongba F.Y., Djègo J.G., Sinsin B., 2013.** Capacité de germination de *Dialium guineense* Willd (*Fabaceae*) une espèce Agroforestière. *Journal of Applied Biosciences.*62: 4566 – 4581.
8. **Aubert, G. (1975).** Les sols sodiques en Afrique du nord. *Annal de l'INA; Algerie.* PP 185-195.
9. **Austin R. B., Jones H. G., 1975.** The physiology of wheat (Annual Report), Ed. Plant breeds inst. Cambridge inst., England, 327-355 p.
10. **Badr A., Müller K., Schäfer-Pregl R., El Rabey, H., Effgen S., Ibrahim H. H., ... Salamini F., 2000.** *On the origin and domestication history of Barley (Hordeum vulgare).* *Molecular Biology and Evolution.*, 17(4): 499–510.
11. **Baghoula Mourad, 2021,** Cours de croissance et développement des plantes, Université Mohamed 1^{er} faculté pluridisciplinaire Nador, Maroc, p5.
12. **Baghoula Mourad, 2021,** Cours de croissance et développement des plantes, Université Mohamed 1^{er} faculté pluridisciplinaire Nador, Maroc, p19.
13. **Baghoula Mourad, 2021,** Cours de croissance et développement des plantes, Université Mohamed 1^{er} faculté pluridisciplinaire Nador, Maroc, p24.
14. **Baskin C.C. and Baskin J.M., 1998.** Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. Academic Press, San Diego. 666 p.

15. **Bedrane, M. (2018).** Le stress salin.
16. **Behairy R., EL-Dansoury M., Craker L., 2012.** Impact of Ascorbic Acid on Seed Germination, Seedling Growth, and Enzyme Activity of Salt-Stressed Fenugreek. *Journal of Medicinally Active Plants*.vol.1, p.106-112.
17. **Belaid D., 1986.** Aspect de la céréaliculture algérienne. OPU. Alger. 132 p.
18. **Belkhodja, M., Bidai, Y. (2004).** Réponse des graines d'*Atriplex halimus* L. à la salinité au stade de la germination. *Sécheresse* 4(15) :331-334.
19. **Benata, H., Berrichi, A. B., Reda Tazi, M., Abdelmoumen, H., Misbah El Idrissi, M. (2006).** Effet du stress salin sur la germination, la croissance et le développement de trois espèces légumineuses: *Acacia tortilis* var. raddiana, *Leucaena leucocephala* et *Prosopis juliflora*. Le Premier Congrès National sur l'Amélioration de Production Agricole Settat (*Recueil des résumés*).
20. **Benbelkacem A., 2013.** Rapport national des activités du projet INRAA-ICARDA 2012- 2013. 45p.
21. **Benchetrit, M. (1956).** Les sols d'Algerie. *Revue de géographie alpine*. Tome 44 N°4. PP 749-761.
22. **Bendada H., 2021.** Contribution à la sélection de l'adaptation de quelques génotypes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) dans les conditions agro-climatiques semi-arides de la région de Sétif. Thèse de doctorat 3èm cycle (LMD). Université Mohamed Boudiaf - M'sila. 152p.
23. **Benidire L., Daoui K., Fatemi Z.A., Achouak W., Bouarab L., Oufdou K., 2015.** Effet du stress salin sur la germination et le développement des plantules de *Vicia faba* (L.). *Journal of Materials and Environmental Science*, vol. 6 (3), p. 840-851.
24. **Benidire, L., Daoui k., Fatemi, Z A., Achouak, W., Bouarab L., Oufdou k. (2015).** Effet du stress salin sur la germination et le développement des plantules de *Vicia faba* L. *J. Mater. Environ. Sci.* 6 (3). PP 840-851.
25. **Benmahammed A; Kermich A; HassousK.L; Djekoun A. et Bouzezour H., 2003.** sélection multi caractères pour améliorer le niveau et la stabilité du rendement de l'orge en zone semi-aride. *Sciences et Technologie* 19:98-103.
26. **Bensasemane L., 2015.** analyse de l'adaptation de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) sous conditions semi-arides. Thèse de doctorat en science. Université Ferhat abbes de setif 1, 2015 p3.

27. **Benyammi R., 2007.** utilisation de la variation somaclonale en vue de la sélection des plantes d'orge tolérante à la sélection, thèse de magistère session 2006-2007. ENS Kouba. Alger.
28. **Berthomieu, P., Conéjéro, G., Nublat, A., Brackenbury, W.J., Lambert, C., Savio, C., Uozumi, N., Oiki, S., Yamada, K., Cellier, F., Gosti, F., Simonneau, T., Essah, P.A., Tester, M., Véry, A.A., Sentenac, H., Casse, F. (2000).** Functional analysis of AtHKT1 in Arabidopsis shows that Na (+) recirculation by the phloem is crucial for salt tolerance, EMBO J. 22 (9): 2004-14.
29. **Blattner F.R., Weising K., Bänfer G., Maschwitz U., Fiala B., 2001.** Molecular analysis of phylogenetic relationships among myrmecophytic *Macaranga* species (Euphorbiaceae). Mol. Phylogenet. Evol., 19(3): 331-344.
30. **Bothmer R. V., Belay T. V., Knupffer H., Sato K., 2003.** Diversity in barley (*hordeum vulgare*), Ed. Elsevier, Amsterdam, 4-10-13-179-190 p.
31. **Botineau M., 2010.** Botanique systématique et appliquée des plantes à fleurs, Ed. TEC, paris, 224-227 p.
32. **Boucelha L., Djebbar R., 2015.** Influence de différents traitements de prégermination des graines de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Sur les performances germinatives et la tolérance au stress hydrique. Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene. Faculté des Sciences biologiques. Laboratoire de Biologie et Physiologie des Organismes. BP 32. El Alia. 16111 Bab Ezzouar Alger (Algérie). Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 2015 19(2), 160-172.
33. **Boufenar F et Zaghouane O., 2006** - Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie (blé dur, blé tendre, orge et avoine). ITGC d'Alger, 1ère Ed, 152p.
In Souilah N.
34. **Boufenar Fet Zaghouane O., 2004.** La production de semences de pré-base et base de céréales durant la période 1994-2003. Céréaliculture. P41 (5-20).
35. **Boukhris L., 1992.** Identification des bactéries phytopathogènes transmissibles par la semence du blé en algérie. Mémoire Ing. Agro. Département de botanique, INA El harrach, 73 p.
36. **Boulghalagh, J., Berrichi, A., El Halouani, H., Boukroute, A. (2006).** Effet des stress salin et hydrique sur la germination des graines du jojoba (*Simmondsia chinensis* [link] schneider). Recueil des résumés. Le Premier Congrès National sur l'Amélioration de Production Agricole, Settat, Maroc, 24 p.

Références bibliographiques

37. **Bouzerzour H., A. Djekoun, A. Benmahammed, KL. Hassous. 1998.** Contribution de la biomasse aérienne, de l'indice de récolte et de la précocité à l'épiaison au rendement grain de l'orge (*HordeumvulgareL.*) en zone d'altitude. Cahiers de l'Agriculture, 8:133-137.
38. **Bouzerzour H., Benmahammed A., 1993.** Environmental factors limiting barley yield in the high plateau of Eastern Algeria. Rachis, 12 (1) :14 – 19.
39. **Bradford K J., 1986.** Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. University of California, Davis. HortScience: a publication of the American Society for Horticultural Science 21 :1105-1112.
40. **Brink M., Belay G., 2006.** Ressources végétales de l'Afrique tropicale vol. 1: Céréales et légumes secs, Ed. PROTA, Pays-Bas, 92-93-94-95-96 p.
41. **Cavelier M., 1992.** Les maladies de céréales. Ed. Centre de recherche Agronomique de l'état belge. In benchabane K.D. et Ould-mekhloufi L. 1988. Evaluation phénologique de quelques variétés d'orge (*hordeum vulgare L.*) et leur sensibilité vis-à-vis de *drechslera graminea* Rab.Mém. Ing Agro.INA.El-harrach.page 6.
42. **Ceccarelli S. et Grando S., 1996.** *Hordeum vulgare L.* In: Grubben, G.J.H. and Partohardjono, S. (Editors). Plant Resources of South-East Asia. Cereals Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands, 10: 99–102.
43. **Ceccarelli S. et Grando, S., 2006.** *Hordeum vulgare L.* In: Brink, M. & Belay, G. Editeurs.PROTA 1: Cereals and pulses/Céréales et légumes secs. PROTA, Wageningen, Pays Bas, pp.92-97.
44. **Chartzoulakis, K., Klapaki, G. (2000).** Response of two green house pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. Sci. Hortic. 86, 247–260.
45. **Cherbuy, B. (1991).** Les sols salés et leur réhabilitation étude bibliographique. Cemagraf,
46. **Cheverry, C., Rbert, M. (1998).** La dégradation des sols irrigués et de la ressource en eau: une menace pour l'avenir de l'agriculture et pour l'environnement de pays au sud de la Méditerranée.
47. **Chudasama, R. S., & Thaker, V. S, 2007.** Relationship between gibberellic acid and growth parameters in developing seed and pod of pigeon pea. Brazilian Journal of Plant Physiology, 19(1), 43-51.

Références bibliographiques

48. **Clément G., 1981.** Dictionnaire Larousse Agricole, Ed. Librairie Larousse, paris, 1207 p.
49. **Clement-grandcourt et Prat., 1970.** Les céréales. Collection d'enseignement agricole. 2ème édition. P.351-360.
50. **Collin, P. et Schawer, M. (1992).** "Larousse- Environnement et écologie", Ed. Larousse, 196 p.
51. **Côme D., 1968.** Problèmes de terminologie posés par la germination et ses obstacles. Bulletin Société Française Physiologie Végétale. 14(1): 3-9.
52. **Cosgrove, D, 1989.** Geography is everywhere: culture and symbolism in human landscapes. In Horizons in human geography(pp. 118-135): Springer.
53. **Coupe, S.A., Palmer, B.G., Lake, J.A., Overy, S.A., Oxborough, K. and Woodward, F.I., 2006.** Systemic signalling of environmental cues in Arabidopsis leaves. J. Exp. Bot. 57, 329- 341.
54. **Daoud, Y., Halitim, A. (1994).** Irrigation et salinisation au Sahara Algérienne. Sècheresse Vol 5, N°3. PP 151-160.
55. **Davies P.J., 1990.** Plant hormones and their role in plant growth and development. Kluwer Academic, London, 1-12.
56. **Debez, A., Chaibi, W., Bouzid, S. (2001).** Effet du NaCl et de régulateurs de croissance sur la germination d'*Atriplex halimus* L. Agriculture. 2(10): 8-135.
57. **Denden, M., Bettaieb, T., Sahli, A., Mathlouthi, M. (2005).** Effet de la salinité sur la fluorescence chlorophyllienne, la teneur en proline et la production florale de trois espèces ornementales. Tropicultura. Vol. 23 N°4, pp220-226.Documentation – Lavoisier, Paris, 384 p.
58. **DIFALLAH S, REZEKALLAH F et ABBOU A., 2009.** Etude bibliographique de la génétique de la résistance à *drechslera teres*. Mémoire fin **des études supérieures en Biologie**. Université Mohamed Boudiaf de M'sila Algérie.p.6-7.
59. **Difallah S., 2009.** Etudes bibliographique de la génétique de résistance à *drechslerateres*, Université Mohamed Boudiaf de M'sila Algérie. memoire.p.6-7.
60. **Djenidi H., 2012.** Etude du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.): essais de germination, extraction des polyphénols et activité antimicrobienne. Mémoire de magister. Université Mohamed KHEIDER Biskra. 80p.
61. **Durand, J. H. (1983).** "Les sols irrigables", Ed. Agence de coopération culturelle et technique conseil international de la langue française, Paris, 339 p.école. Nat. Renne. 170.

62. **Einhellig FA., 1989.** Interactive effects of allelochemicals and environmental stress in Phytochemical ecology: allelochemicals. In: Chou C.H. and Waller G.R. (eds), *Mycotoxins and Insect Pheromones and Allelomones.*, Taiwan, Academia sinica Monograph Series; 9: 101-118.
63. **El Midaoui, M., Benbella, M., Aït 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.*). *Revue HTE* 136: 29-34.
64. **Eliard J. L., 1979.** Manuel d'agriculture générale, Ed. J. B. Baillière, Paris, 344 p.
65. **FAOSTAT. 2012.** Food and agriculture organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org>.
66. **FAOSTAT. 2017.** Food and agriculture organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org>.
67. **FAOSTAT. 2018.** Food and agriculture organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org>.
68. **FAOSTAT., 2008.** <http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx>.
69. **Flowers, M. R. (1988).** Shared tax sources in a Leviathan model of federalism. *Public Finance Quarterly*, 16(1), 67-77.
70. **Flowers, T. J. (1986).** Salinity resistance in rice (*Oryza sativa L.*) and a pyramiding approach to breeding varieties for saline soils. *Functional Plant Biology*, 13(1), 161-173.
71. **Flowers, T. J. (2004).** Improving crop salt tolerance. *Journal of Experimental botany*, 55(396), 307-319.
72. **Gallais A., Bannerot H., 1992.** Amélioration des espèces végétales cultivées. Objectifs et critères de sélection. Ed: INRA, 768p.
73. **Geneve R.L., 2003.** Impact of temperature on seed dormancy. *Hort Science*, 38: 336 341.
74. **Giban M., Minier B., Malvosi R., 2003.** Stades du blé ITCF.ARVALIS. Institut du végétale. Pp 68. Guignard, J.L; Dupont, F .2004. Botanique Systématique moléculaire. 13 Ed révisée Masson Paris. Pp 116-1.
75. **Gokani, S., & Thaker, V, 2002.** Role of gibberellic acid in cotton fibre development. *The Journal of Agricultural Science*, 138(3), 255-260.
76. **Groot, S. P., Bruinsma, J., & Karssen, C. M, 1987.** The role of endogenous gibberellin in seed and fruit development of tomato: Studies with a gibberellin-deficient mutant. *Physiologia Plantarum*, 71(2), 184-190.

Références bibliographiques

77. **Guignard, J.L. 2000.** “Biochimie végétale”, Ed. Dunod, Paris, 274 p.
78. **Guirra K.S., Torres S.B., Leite M.S., Guirra B.S., Nogueira Neto F.A, Rêgo1 A.L.B. 2020.** Phytohormones on the germination and initial growth of pumpkin seedlings under different types of water. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.24, n.12: 827-83.
79. **Hadria R., 2006.** Adaptation et spatialisation des modèles strics pour la gestion d'un périmètre céréalier irriguée en milieu semi-aride. Thèse de doctorat. Université Cadi AYYAD Samlalia- Marrakech.
80. **Hajlaoui H., Denden M. et Bouslama M., 2007.** Etude de la variabilité intraspécifique de tolérance au stress salin du pois chiche (*Cicer arietinum L.*) au stade germination. Tropicultura, Vol 25 (3), Pp 168-173.
81. **Hakimi M., 1993.** L'évolution de la culture de l'orge: le calendrier climatique traditionnel et les données agro-météorologiques modernes. Proceeding of an International Symposium, Tunis, Ed. Jones M., Marthys G., Rijks D., pp. 157 –166.
82. **Hamza, M. 1982.** Adaptations physiologiques à la salinité des plantes cultivées Bull.Soc. Ecophysiolo.7-2. 169-184.
83. **Harlan J.R., 1975.** Our vanishing genetic resources. Science., 188: 618–621.
84. **Hartmann T.H., Kester D.E., Davies F.T.Jr. and Geneve R.L., 1997.** Plant Propagation: Principles and Practices, 6th ed. Prentice-Hall Inc., Upper Saddle River, New Jersey, U.S.A., 770 p.
85. **Hayat S., Ali B., Ahmad, A., 2007.** Salicylic acid: biosynthesis, metabolism physiological role in plants. Hayat A. Ahmad (eds.), Salicylic Acid – A Plant Hormone, 1–14.
86. **Heler R. Esnault R. Lance C., 2000.** Physiologie végétale et développement 6ème édition. Ed. DUNOD. Paris. 366p.
87. **Heller R., 1982** - Physiologie végétale. Tome 2. Développement. Ed. Masson, Paris, 215 pp.in Souilah N.
88. **Hopkins, W. G. (2003).** Physiologie végétale: De Boeck Supérieur.
89. **Hopkins, W.G. 2003.** Physiologie végétale. 2ème édition. De Boeck, Bruscelles:476p.
90. **Inglese, P., Chessa, I., La Mantia, T., & Nieddu, G, 1998.** Evolution of endogenous gibberellins at different stages of flowering in relation to return

Références bibliographiques

- bloom of cactus pear (*Opuntia ficusindica* L. Miller). *Scientia Horticulturae*, 73(1), 45-51.
91. **ITCF, 1979: in BETKA R et SMAILI Y., 2006:** Etude d'induction de la calogènes d'orge (*Hordeum vulgare* L.), Thèse d'ingénieur d'état agronomie, université de M'sila 2006. p80.
92. **Izydorczyk M.S., and Dexter J.E., 2008.** Barley b-Glucans and Arabinoxylans: Molecular Structure, Physicochemical Properties, and Uses in Food Products—A Review. *Food Research International*, 41, 850-868.
93. **Jacquard C., 2007.** Embryogenèse pollinique chez l'orge (*Hordeum vulgare* L): importance du prétraitement, Thèse de doctorat en biologie et physiologie végétale, université de Reims Champagne-Ardenne, 2007, p2
94. **Jaouadi W., Hamrouni L., Souayeh N & Larbi Khouja M., 2010.** Étude de la germination des graines d'Acacia tortilis sous différentes contraintes abiotiques, *Biotéchnol. Agron. Soc*, 14 :643-652.
95. **Kaoudi k., 2009.** L 'helminthosporiose de l'orge en algérie. Thèse d'étude supérieures. université de jijel. 53p
96. **Karmous C., 2007.** Contribution à l'étude des mécanismes de tolérance à la salinité au stade juvénile chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.): aspects physiologique, biochimique et moléculaire. Thèse de doctorat en agronomie et science de la production végétale. INAT, Tunis: 211p.
97. **Khales, A., & Baaziz, M. 2006.** Etude des peroxydases d'écotypes d'*Opuntia ficus indica* L. en relation avec le développement dans les conditions de stress salin. *Congrès international de Biochimie*.
98. **Khan, M. A., Gul, B., & Weber, D. J. 2004.** Action of plant growth regulators and salinity on seed germination of *Ceratoides lanata*. *Canadian Journal of Botany*, 82(1), 37-42.
99. **Kinet, J. M., Benrebiha, F., Bouzid, S., Lailhacar, S., & Dutuit, P. (1998).** Le réseau Atriplex. Allier biotechnologies et écologie pour une sécurité alimentaire accrue en régions arides et semi-arides. *Cahiers agricultures*, 7(6), 505-509.
100. **Krunh, J. (1979).** "Biochimie, Etudes médicales et biologiques – Métabolisme", Tome II, Ed. Hermann, Paris, 242 p.
101. **LACRIOX M., 2008.** Maladies des céréales et de la luzerne, Ministère de l'Agriculture des Pêcheries et de l'Alimentation (QUEBEC), p.26.

Références bibliographiques

102. **Lakache Z., 2010.** Contribution à l'étude de l'effet de l'acide salicylique sur la réponse Physio-Biochimique des deux variétés de blé dur soumises au stress salin. Thèse de magister en Biotechnologies Végétales. Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie (ex. INA) - El Harrach -Alger. 108 p.
103. **Lebrun C., 1970.** Prétraitement des graines de Douglas à l'eau oxygénée. Revue forestière française, AgroParisTech, 22 (4), pp.473-476. ff10.4267/2042/20381ff. ffhal-03385721
104. **Leclerc, J.C. (1999).** – Ecophysiologie végétale – publications de l'univ.saint
105. **Lepoivre, P, 2003.** Phytopathologie: bases moléculaires et biologiques des pathosystemes et fondements des strategies de lutte: Bruxelles, BE: Ed. De Boeck Université.
106. **Lepoivre, P, 2003.** Phytopathologie: bases moléculaires et biologiques des pathosystemes et fondements des strategies de lutte: Bruxelles, BE: Ed. De Boeck Université.
107. **Levent Tuna, A., Cengiz Kayab, David Higgs, Bernardo Murillo-Amador, Salih Aydemir, Ali R. Girgin. (2007).** Silicon improves salinity tolerance in wheat plants, Environmental and Experimental Botany Elsevier.121: 1-7.
108. **Levigneron, A., Lopez, F., Vansuyt, G., Berthomieu, P., Fourcroy, P., & Casse-Delbart, F. (1995).** Les plantes face au stress salin. *Cahiers Agricultures*, 4(4), 263-273.
109. **Lozer, J. et Mathieu, C. (1990).** "Dictionnaire de science du sol", Ed. Technique et
110. **Ma Y., Feurtado A. and Kermode A.R., 2003.** Effect of solid matrix priming during moist chilling on dormancy breakage and germination of seeds of four fig species. *New Forests*, 25: 49-66.
111. **Mâalem, S., Rahmoune, C. (2009).** Toxicity of the Salt and Pericarp Inhibition on the Germination of Some *Atriplex* Species. *American-Eurasian Journal of Toxicologic Sciences* 1 (2): 43-49.
112. **Maas E. V. et Poss J. A., 1989.** Salt sensitivity of wheat at different growth stages. *Irrig. Sci.* n°10: 30-38 p.
113. **Madhava Rao, K.V., Raghavendra, A. S., Janardhan Reddy, K. (2006).** Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants. P41-99.

Références bibliographiques

114. **Maillard J., 2001.** Le point sur l'irrigation et la salinité des sols en zones salésienne, risques et Recommandation, Handicap. 34 p.
115. **Manchanda, G., & Garg, N. (2008).** Salinity and its effects on the functional biology of legumes. *Acta Physiologiae Plantarum*, 30(5), 595-618.
116. **Marlet, S et Job, J. O. (2006).** Processus et gestion de la salinité des sols. Traité d'irrigation, seconde édition. Tec & Doc Lavoisier. 28P.
117. **Mazliak P., 1982 -** Physiologie végétale II. Croissance et développement. Hermann éd.
118. **Mbaye N., Diop A.T., Guèye M., Diallo A.T., Sall C.E., Samb P.I., 2002.** Etude du Comportement germinatif et essais de levée de l'inhibition tégumentaire des graines de *Zorniglochidiata* Reichb. Ex DC., légumineuse fourragère. Revue Elev. Ed. Vet. Pays trop. 55 (1): 47-52.
119. **Meloni, D. A., Oliva, M. A., Ruiz, H.A., Martinez, C.A. (2001).** Contribution of proline and inorganic solutes to osmotic adjustment in cotton under salt stress. *J. Plant Nutr.* 24, 599–612.
120. **Menad A., Meziani N., Bouzerzour H., Benmahammed A., 2011.** Analyse de l'interaction génotype × milieux du rendement de l'orge (*Hordeum vulgare L.*): application des modèles AMMI et la régression conjointe. *Nature & Technologie*, 51: 99 –106.
121. **Meziani N., Bouzerzour H., Benmahammed A., Menad A., Benbelkacem A., 2011.** Performance and adaptation of Barley genotypes (*Hordeum vulgare L.*) to diverse locations. *Advances in Environmental Biology.*, 5: 1465-1472.
122. **Miège E., 1938.** Etude du développement du système racinaire du Blé. In: Revue de botanique appliquée et d'agriculture coloniale, 18^e année, bulletin n°200, pp. 233-259; doi: <https://doi.org/10.3406/jatba.1938.5850>.
123. **Mohammad, M., Shibli, R., Ajouni, M., Nimri, L. (1998).** Tomato root and shoot responses to salt stress under different levels of phosphorus nutrition. *J. Plant Nutr.* 21, 1667–1680.
124. **Molina-Cano J.L., Moralejo M., Igartua E., Romagosa I., 1999.** Further evidence supporting Morocco as a center of origin of barley. *Theor. Appl. Genet.*, 98: 913–918.
125. **Morsli, B. (2007).** Étude de l'intrusion marine et de ses répercussions sur la dégradation des sols: cas des zones côtières d'Alger Est. Actes des JSIRAUF

Références bibliographiques

126. **MOSTEFAOUI S., 2011.** Mécanismes liés à l'adaptation et à la productivité de l'orge (*Hordeum vulgare L.*) dans les environnements difficiles. Le Diplôme des Etudes Supérieures en Biologie (DES) en biologie et physiologie végétales (BPV). université de m'sila, 2011. P42.
127. **Moulay S., 2012.** Essais des procédés d'amélioration des performances germinatives des graines de l'Acacia raddiana (Fabaceae). Mémoire de fin d'études En vue de l'Obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Agronomie Saharienne. Université Kasdi Merbah-Ouaragla. 35p.
128. **Moule C., 1971.** Phytotechnie spéciale Tome 2: Céréales, Ed. la maison rustique, paris, 14-15-16-17-18 p.
129. **Mukund J., 2015.** Textbook of field Crops, Ed. PHI Learning Pvt. LTD, Dehli, 2-69-278 p.
130. **Munns R. et Rawson H. M., 1999.** Effect of salinity on salt accumulation and reproductive Development in the apical meristem of wheat and barley. Australian Journal of Plant Physiology, 26: 459-464 p.
131. **NACIRI. Y., FEYZI. P., JAVANMARD. A., 2014.** Effects of hydro and Hormonal Seed Priming on Seed Germination of Milk Thistle under Saline Stress Condition, Not Sci Biol, 6(3). P.374-380.
132. **Ndour, P., Danthu, P. (2000).** Effet des contraintes hydrique et saline sur la germination de quelques acacias africains. Projet National de Semences Forestières du Sénégal. 11 p.
133. **Newman C., Newman R., 2006.** A brief history of barley foods. Cereal Foods World., 51:4-7.
134. **Newman R. K., Newman C. W., 2008.** Barley for food and health: science, technology, and products. Wiley, Hoboken.
135. **NOCTOR. G., FOYER., 1998.** Ascorbate and glutathione: Keeping active oxygen under control. Ann.Rev. Plant Physiol.and plant Molr Biol. 49, p.249-279.
136. **Nyabyenda P., 2005.** Les plantes cultivées en régions tropicales d'altitude d'Afrique vol.1, Ed. CTA, Pays-Bas, 190 p
137. **Orabi J., Backes G., Wolday A., Yahyaoui A., Jahoor A., 2007.** The Horn of Africa as a centre of barley diversification and a potential domestication site. Theor. Appl. Genet., 114: 1117-1127.

Références bibliographiques

138. **Pancheva, T., Popova, L., & Uzunova, A, 1996.** Effects of salicylic acid on growth and photosynthesis in barley plants. *Journal of Plant Physiology*, 149(1-2), 57-63.
139. **Pansu, C. et Gautheyrou, J. (2003).** “L’analyse du sol minéralogique, organique et minérale”, Ed. Springer, France, 993p.
140. **Parida, A. K., & Das, A. B. (2005).** Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and environmental safety*, 60(3), 324-349.
141. **Parida, A., Das A. B., Das, P. (2002).** NaCl stress causes changes in photosynthetic pigments, proteins and other metabolic components in the leaves of a true mangrove, *Bruguiera arviflora*, in hydroponic cultures. *J. Plant Biol.* 45, 28–36.
142. **Petréquin P. et Baudain D., 1997.** Les sites littoraux néolithiques de clairvaux- les- lacs (Jura). I problématique générale. L’exemple de la station III. Edition de la maison des sciences de l’homme Paris. 508p
143. **Pierre J., 2001.** la revue de la filière Orge-Malt-Bière livret « Orge, céréale de tradition» adresse URL www.universcereales.com.
144. **Polonovski, J. (2000).** “Dictionnaire de biologie”, Ed. Conseil international de la langue française, Paris, 967 p.
145. **Rahal-Bouziane H. et Abdelguerfi A., 2007.** Caractéristiques agronomiques et Morphologiques d’orges oasiennes (*Hordeum vulgare* L.) de la région d’Adrar (Algérie). *Recherche Agronomique*, Ed. INRA, Alger. 19: 7-13.
146. **Rahmoune, C., Maalem, S., Kadri, K. Ben Naceur, M. (2008).** Etude de l'utilisation des eaux fortement salées pour l'irrigation des plantes du genre *Atriplex* en zones semi arides. *Revue des régions arides*, 21(2): 924-929.
147. **Rains, D. W. (1972).** Salt transport by plants in relation to salinity. *Annual Review of Plant Physiology*, 23(1), 367-388.
148. **Ramade, F. (2002).** “Dictionnaire encyclopédique de l’écologie et des sciences de l’environnement”, Ed. Ediscience international, Paris, 1075 p.
149. **Raskin LA, Ehrmann W, Melander R et Meeuse BJ., 1992.** Salicylic acid: a natural inducer of heat production in arum lilies. *Scien*; 237(4822) :1601-1602.
150. **Raskin, I. (1992).** Role of salicylic acid in plants. *Annual review of plant biology*, 43(1), 439 463.

Références bibliographiques

151. **Raskin, I., Ehmann, A., Melander, W. R., & Meeuse, B. J, 1987.**
Salicylic acid: a natural inducer of heat production in Arum lilies. *Science*, 237(4822), 1601-1602.
152. **Raskin, I., Ehmann, A., Melander, W. R., & Meeuse, B. J., 1987.**
Salicylic acid: a Natural inducer of heat production in Arum lilies. *Science*, 237(4822), 1601-1602.
153. **Rasmusson DC., 1992.** Barley breeding at present and in the future. *In Munck L (ed.): Barley Genetics VI, vol. II. Munksgaard Int. Publ. Ltd., Copenhagen. 865-877.*
154. **Reddy S. M., Madhusundna Rao. M., Reddy A. S., Reddy M. M. et Charry S. J., 2004.** University Botany- III: (Plant Taxonomy, Plant Embryology, Plant Physiology) vol. 3, Ed. new age international limited publishers, new Dehli, 18-38-135-137 p.
155. **Rejili, M., Vadel, M.A., Neffatp, M. (2006).** Comportements germinatifs de deux populations de *Lotus creticus* (L.) en présence du *NaCl*. *Revue des Régions Arides*, 17: 65-78.
156. **Richards, D. E., King, K. E., Ait-Ali, T., & Harberd, N. P, 2001.** How gibberellin regulates plant growth and development: a molecular genetic analysis of gibberellin signaling. *Annual review of plant biology*, 52(1), 67-88.
157. **Richards, D. E., King, K. E., Ait-Ali, T., & Harberd, N. P, 2001.** How gibberellin regulates plant growth and development: a molecular genetic analysis of gibberellin signaling. *Annual review of plant biology*, 52(1), 67-88.
158. **Robinson R.A., 2007.** Crop histories, 2nd ed., Rev. Sharebook Publishing. www.sharebooks.ca.
159. Sauer, M., Robert, S., kleine-Vehn, J., 2013. Auxin: simply complicated. *J. Exp. Bot.* 64, 2565-2577.
160. **Saulnier L., 2012 :** les graines de céréales : diversité et compositions nutritionnelles, Cahier de Nutrition et de Diététique, Volume 47, Issue 1, page S4-S15.
161. **SAYOUD R. et BELKACEM K., 1996.** Situation des maladies des céréales en Algérie. In: Proceeding. Symposium régional sur les maladies des céréales et des légumineuses alimentaires. Actes IAV Rabat, Maroc. p. 69-70.

Références bibliographiques

162. **Smirnoff N., 1995.** Antioxidant systems and plant responses to the environment. In: Smirnoff, ed. Environment and plant metabolism. Flexibility and acclimation. Oxford: Bios Scientific Publishers, 217-243 p.
163. **Soltner D., 1990.** Phytotechnie spéciale, Les grandes productions végétales. Céréales, plantes sarclées, prairies. Sciences et Technique Agricoles éd.
164. **Soltner D., 1995.** Les grandes productions végétales.
165. **Soltner D., 2005.** les grandes productions végétales. 20ème.Ed. CCTA. Pp20-140
166. **Souilah N., 2009.** Diversité de 13 génotypes d'orge (*Hordeum vulgare L.*) et de 13 génotypes de blé tendre (*Triticum aestivum L.*): Etude des caractères de production et d'adaptation. Thèse de magister En Biologie Végétale: universite de mentouri de Constantine, 2009, P 13.29.
167. **Srivastava L.M., 2002.** Plant growth and development hormones and environment. Academic Press, San Diego. 772 p.
168. **Stengel, P., Bruckler, L., Balesdent, J. (2009).** Le sol. Paris, France. 182.
169. **Tahri, E.H., Belabed, A.M., Sadki, K. (1998).** Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum*). Université Mohamed Premier. Maroc. *Bulletin de l'Institut Scientifique*, Rabat, **2**: 81-87.
170. **Tybirk K., 1991.** Régénération des légumineuses ligneuses du Sahel. AAU Reports 28, Botanical Institute, Aarhus University. (1). 28: 13-86.
171. **Wang, Y., Nil, N., 2000.** Changes in chlorophyll, ribulose biphosphate carboxylase– oxygenase, glycine betaine content, photosynthesis and transpiration in *Amaranthus tricolor* leaves during salt stress. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 75, 623–627.
172. **Wangxia, X., Vinocur, P., Altmn, A., 2003.** Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance, plant, Pp1-14.
173. **Weil, J.H., Bounet, J., Boulanger, Y., Chambon, P, Dubertret, G., Florentz, C., Kedinger, C., Lazdunsti, M., Montoriel, J., Patte, J.C., Rebel, G., Rossignol, M., Shechter, E. Wright, M., 2001.** “Biochimie générale”, Ed. Dunod, Paris, 665 p.

Références bibliographiques

174. **Yalpani, N., Silverman, P., Wilson, T., Kleier, D. A., & Raskin, I., 1991.** Salicylic acid is a systemic signal and an inducer of pathogenesis-related proteins in virus-infected tobacco. *The Plant Cell*, 3(8), 809-818.
175. **Zhu, J.K., 2003.** Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Curr. Opin. Plant Biol.* 6, 41–45.

•

ANNEX.

Tableau de l'ANOVA pour PF par Traitement

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	CV	Probabilité
Inter-groupes	0,00743929	6	0,00123988	1,71		0,1909
Intra-groupes	0,0101447	14	0,000724619			
Total (Corr.)	0,017584	20			8,31455	

Tests des étendues multiples pour PF par Traitement

Méthode: 95,0 % LSD

Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
To	3	0,3225	X
T6	3	0,3425	XX
T1	3	0,346	XX
T3	3	0,361333	XX
T4	3	0,373	X
T5	3	0,3755	X
T2	3	0,3755	X

Tableau de l'ANOVA pour PS par Traitement

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	CV	Probabilité
Inter-groupes	0,000186613	6	0,0000311022	6,69		0,0017
Intra-groupes	0,000065125	14	0,00000465179			
Total (Corr.)	0,000251738	20			7,63946	

Tests des étendues multiples pour PS par Traitement

Méthode: 95,0 % LSD

Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
T5	3	0,04175	X
To	3	0,0433333	XX
T3	3	0,0456667	XX
T6	3	0,0473333	X
T2	3	0,0475	X
T4	3	0,048	XX
T1	3	0,0515	X

Tests des étendues multiples pour Taux MS par Traitement

Méthode: 95,0 % LSD

Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
T5	3	11,992	X
T2	3	12,6555	XX
T3	3	12,7239	XX
T4	3	13,4292	X
To	3	13,4374	X
T6	3	13,8877	XX
T1	3	14,8962	X

Tableau de l'ANOVA pour Taux MS par Traitement

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	CV	Probabilité
Inter-groupes	16,1585	6	2,69308	5,05		0,0060
Intra-groupes	7,46842	14	0,533459			
Total (Corr.)	23,6269	20			8,17901	

Tableau de l'ANOVA pour CRE par Traitement

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	CV	Probabilité
Inter-groupes	1480,68	6	246,779	9,82		0,0002
Intra-groupes	351,818	14	25,1299			
Total (Corr.)	1832,5	20			14,0155	

Tests des étendues multiples pour CRE par Traitement

Méthode: 95,0 % LSD

Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
To	3	50,5027	X
T4	3	63,4539	X
T1	3	67,1312	XX
T5	3	72,722	XX
T6	3	72,7477	XX
T2	3	74,9252	XX
T3	3	76,5907	X

Tableau de l'ANOVA pour EL par Traitement

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	CV	Probabilité
Inter-groupes	380,542	6	63,4237	11,30		0,0001
Intra-groupes	78,612	14	5,61515			
Total (Corr.)	459,154	20			20,6529	

Tests des étendues multiples pour EL par Traitement

Méthode: 95,0 % LSD

Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
T3	3	16,7849	X
T6	3	20,1364	XX
T1	3	21,9828	X
T2	3	22,4409	X
T5	3	23,0105	X
T4	3	27,2274	X
To	3	30,8154	X

Tableau de l'ANOVA pour Chl a par Traitement

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	CV	Probabilité
Inter-groupes	2,79029	6	0,465048	37,72		0,0000
Intra-groupes	0,172628	14	0,0123306			
Total (Corr.)	2,96291	20			32,1137	

Tests des étendues multiples pour Chl a par Traitement

Méthode: 95,0 % LSD

Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
To	3	0,6144	X
T2	3	0,84	X
T5	3	1,0068	X
T3	3	1,2504	X
T4	3	1,418	X
T1	3	1,6196	X
T6	3	1,6406	X

Tableau de l'ANOVA pour Chl b par Traitement

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	CV	Probabilité
Inter-groupes	0,445828	6	0,0743047	14,39		0,0000
Intra-groupes	0,0722843	14	0,00516317			
Total (Corr.)	0,518112	20			24,7749	

Tests des étendues multiples pour Chl b par Traitement

Méthode: 95,0 % LSD

Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
To	3	0,3887	X
T5	3	0,583013	X
T2	3	0,6034	X
T4	3	0,639633	X
T3	3	0,6495	X
T6	3	0,83532	X
T1	3	0,848047	X

Tableau de l'ANOVA pour LPF par Traitement

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	CV	Probabilité
Inter-groupes	12,2299	6	2,03832	3,06		0,0398
Intra-groupes	9,33143	14	0,666531			
Total (Corr.)	21,5614	20			6,76544%	

Tests des étendues multiples pour LPF par Traitement

Méthode: 95,0 % LSD

Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
T0	3	14,075	X
T5	3	14,7967	X
T1	3	15,02	XX
T4	3	15,41	XX
T6	3	15,415	XX
T3	3	16,33	X
T2	3	16,3833	X

Tableau de l'ANOVA pour LPR par Traitement

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	CV	Probabilité
Inter-groupes	22,7179	6	3,78632	7,07		0,0013
Intra-groupes	7,49973	14	0,535695			
Total (Corr.)	30,2177	20			22,9182%	

Tests des étendues multiples pour LPR par Traitement

Méthode: 95,0 % LSD

Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
T0	3	4,41167	X
T1	3	4,445	X
T2	3	4,8	X
T6	3	5,105	XX
T4	3	5,115	XX
T5	3	6,10667	X
T3	3	7,56	X

Tableau de l'ANOVA pour Taux % par Traitement

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	CV	Probabilité
Inter-groupes	508,571	6	84,7619	3,34		0,0531
Intra-groupes	710,0	28	25,3571			
Total (Corr.)	1218,57	34			6,33033%	

Tests des étendues multiples pour Taux % par Traitement

Méthode: 95,0 % LSD

Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
T6	5	86,0	X
T0	5	94,0	X
T5	5	94,0	X
T2	5	96,0	X
T3	5	96,0	X
T4	5	98,0	X
T1	5	98,0	X

Tableau de l'ANOVA pour IV par Traitement

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	CV	Probabilité
Inter-groupes	426939,	6	71156,5	29,38		0,0000
Intra-groupes	33908,2	14	2422,01			
Total (Corr.)	460847,	20			10,1299%	

Tests des étendues multiples pour IV par Traitement

Méthode: 95,0 % LSD

Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
T0	3	1313,67	X
T6	3	1355,54	X
T5	3	1378,8	X
T1	3	1528,5	X
T4	3	1541,0	X
T2	3	1672,5	X
T3	3	1699,5	X