



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة زيان عاشور-الجلفة

Université Ziane Achour –Djelfa

كلية علوم الطبيعة و الحياة

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

قسم البيولوجيا

Département de Biologie

Projet de fin d'étude

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Filière : Biotechnologie

Spécialité: Biotechnologie Végétale

Thème :

Contribution à l'évaluation de l'effet de stress salin sur les réponses écophysiological chez de blé dur (*Triticum durum* Desf).

Présenté par:

- Ben Ahmed Khadidja.

- Messadi Soumia.

Devant le jury composé de :

Président: Mme. Touil S.	MCB	UZA Djelfa
Promoteur: M. Bezini E.	MAA	UZA Djelfa
Examinatrice: Mme. Hadadou D.	MAA	UZA Djelfa
Examinatrice: Melle. Oualha D.	MAA	UZA Djelfa

Année Universitaire : 2019-2020

D é d i c a c e

Je dédie ce modeste travail :

À mes chers parents, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

À mes chères tantes et sœurs, pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral.

À mes chers frères, pour leur appui et leur encouragement.

À toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.

Merci d'être toujours là pour moi.

M. Somia

D é d i c a c e

Je dédie ce modeste travail :

À ma mère et mon père !

À mon fiancé qui a toujours été à mes côtés

À tous mes frères et sœurs,

À toute ma famille

À tous mes amis et collègues

A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer.

B. Khadija



REMERCIEMENT

Avant toute chose nous tenons à remercier Dieu le tout puissant pour nos avoir donné la force et la patience.

Nous tenons surtout à adresser nos plus vifs remerciements à notre promoteur Mr. BEZINI ELHADI pour sa disponibilité, sa compétence et ses recommandations continues pour nous, et pour la confiance qu'il a voulu nous accorder en réalisant ce travail.

Nous exprimons nos sincères remerciements aux membres du jury pour nous avoir fait l'honneur et l'immense plaisir d'accepter d'évaluer notre travail.

Nos remerciements vont également à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Finalement nous adressons tous nos souhaits de réussite à nos collègues de l'université.



Liste des abréviations

Chl *a*: Chlorophylle a

Chl *b*: Chlorophylle b

min: Minutes

mM : Millimolaire

h : heure

SOD: Superoxyde dismutase.

CAT: La catalase

POD: La peroxydase III

ROS: Espèces réactives de l'oxygène

APX: Ascorbate peroxydase.

Liste des tableaux

Tableau 01: Production mondiale du blé dur	14
Tableau 02 : Caractéristiques des variétés étudiées	21
Tableau 03 : Dispositif expérimental utilisé.	23

Liste des figures

Figure 01 : Structure d'un épi et d'un épillet du blé dur	17
Figure 02 : Grain du blé dur et ses composants	18
Figure 03: Stades de développement du blé dur	20

Sommaire

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction.....	1

CHAPITRE I : Généralités sur le stress salin sur les végétaux

I.1. Définition du stress.....	3
I.2. Types du stress	3
I.2.1. Stress biotiques.....	3
I.2.2. Stress abiotiques.....	3
I.3. Salinité.....	4
I.3.1. Définition.....	4
I.3.2. Types et origines de la salinité	4
I.3.2.1. La salinité primaire ou naturelle	4
I.3.2.2. La salinité secondaire ou d'origine humaine.....	5
I. 4. Effets du stress salin sur les plantes	5
I.4.1. Sur la germination.....	6
I.4.2. Sur la photosynthèse.....	6
I.4.3. Sur la biochimie de la plante.....	7
I.4.4. Sur la nutrition minérale des végétaux.....	7
I.4.5. Sur la croissance et le développement.....	7
I.5. Réponses des plantes au stress salin.....	8
I.5.1. Stratégie Inclusion-Exclusion	8
I.5.1.1. Exclusion	8
I.5.1.2. Inclusion.....	9
I.5.2. Ajustement osmotique.....	9
I.5.2.1. Accumulation des sucres solubles.....	9
I.5.2.2. Accumulation de la proline.....	10
I.5.3. Activités enzymatiques antioxydantes.....	10
I.5.3.1. Le superoxyde dismutase.....	11
I.5.3.2. La catalase.....	11
I.5.3.3. La peroxydase III.....	11

CHAPITRE II : Généralités sur le blé dur

II.1. Origine du blé dur	12
II.1 .1.Origine géographique.....	12
II.1 .2.Origine génétique	12
II.2.Importance du blé dur dans le monde et en Algérie	13
II.3.Systématique du blé dur	15
II.4. Biologie du blé dur.....	15
II.4.1.Description.....	15

II.4.2. Caractéristiques morphologiques.....	16
II.4.2.1. Racines.....	16
II.4.2.2. Tiges.....	16
II.4.2.3 Feuilles.....	16
II.4.2.4. Appareil reproducteur (épi).....	17
II.4.2.5. Grain.....	18
II.5. Exigences de la culture du blé dur	18
II.5.1. Eau.....	19
II.5.2. Lumière.....	19
II.5.3. Sol.....	19
II.6. Cycle de développement du blé dur.....	19
II.6.1. Période végétative.....	19
II.6.2. Période reproductrice.....	19
II.6.3 Période de maturité.....	20

CHAPITRE III : Matériel et méthodes

III.1. Matériel végétal.....	21
III.2. Déroulement de l'expérience.....	22
III.2.1. Stérilisation des graines.....	22
III.2.2. Germination des graines.....	22
III.2.3. Repiquage des plantules.....	23
III.2.4. Application du stress salin.....	23
III.2.5. Dispositif expérimental.....	23
III.3. Paramètres étudiés.....	24
III.3.1. Paramètres physiologiques.....	24
III.3.1.1. Poids de la matière fraîche	24
III.3.1.2. Poids de la matière sèche.....	24
III.3.1.3. Teneur en eau.....	24
III.3.2. Paramètres biochimiques.....	24
III.3.2.1. Dosage de la chlorophylle.....	24
III.3.2.2. Dosage de la proline.....	25
III.3.2.3. Dosage des sucres totaux solubles.....	25
III.3.2.4. Dosage des activités enzymatiques antioxydantes.....	26
III.3.2.4.1. Extraction.....	26
III.3.2.4.2. Dosage de l'activité de la catalase (CAT).....	26
III.3.2.4.3. Dosage de l'activité de gaïacol peroxydase (GPOX).....	27
III.4. Analyses statistiques.....	27
Conclusion.....	28
Références bibliographiques.....	29
Résumé	

Introduction

Introduction

Les céréales constituent une part importante des ressources alimentaires de l'homme et de l'animal (Karakas et *al*, 2011 in Bouakez et Hamadouche, 2015). Parmi elles, le blé dur (*Triticum durum* Desf), une des céréales les plus anciennes, est la plus cultivée dans le monde avec plus de 700 millions d'hectares en 2018. Il représente le plus grand marché d'importation dans le bassin méditerranéen, du fait de sa grande consommation et de son adaptation à des environnements arides et semi-arides (Mostefaoui et Mohamadi, 2019).

En Algérie, le blé dur occupe une place primordiale dans le système agricole voir plus de 2 millions d'hectares (FAO, 2018). Les caractéristiques climatiques des zones céréalières d'Algérie font que la culture du blé se trouve en générale exposée aux différents stress environnementaux défavorables (Boumdouha et Krim, 2019) notamment la salinité et le stress hydrique.

La salinité est un problème majeur à l'échelle mondiale. D'après la FAO (2000), 77 millions d'hectares, dont 45 millions en zones irriguées et 32 millions en zones non irriguées, sont touchés par une salinisation d'origine anthropique (Dehni, 2018).

L'Algérie, où une grande partie des régions agricoles se caractérise par un climat aride et semi aride, est touchée par le processus de salinisation des sols dont près de 3,2 millions d'hectares sont affectés (Benmahiol et al., 2009).

L'effet de la salinité se manifeste généralement chez la plupart des plantes cultivées par des changements morphologiques, biochimiques et moléculaires qui affectent négativement la croissance et la productivité végétale (Ashraf et Harris 2004 in Lahouel, 2014). Elle affecte la croissance des végétaux à travers de nombreux mécanismes du métabolisme cellulaire, tels que l'absorption des éléments nutritifs, l'altération de la photosynthèse, la respiration, la synthèse des protéines et des acides nucléiques, l'accumulation des solutés organiques, l'activité des enzymes, l'équilibre hormonal et la disponibilité en eau (Hemmami et Ben Ali, 2018).

Introduction

Le présent travail a pour objectif de contribuer à l'étude de l'influence des concentrations croissantes de NaCl sur certains paramètres physiologiques et biochimiques chez deux variétés de blé dur cultivées en Algérie : Mohammed Ben Bachir (une variété locale) et GTA- dur (une variété introduite).

Ce document est structuré, outre l'introduction et la conclusion, de la manière suivante :

- Chapitre 01 : porte sur la contrainte abiotique étudiée c'est-à-dire le stress salin, ses effets et les réponses adaptatives des plantes
- Chapitre 02 : présente l'espèce étudiée, le blé dur.
- Chapitre 03 : concerne la méthodologie de travail : le matériel utilisé, les méthodes suivies ainsi que le déroulement des manipulations.

Chapitre I :

Généralités sur le stress salin chez les végétaux

I.1. Définition du stress

La notion de stress implique, d'une part, une déviation plus ou moins brusque par rapport aux conditions normales de la plante et d'autre part une réaction sensible de l'individu dans les différents aspects de sa physiologie, avec soit une adaptation à la nouvelle situation, soit à la limite une dégradation menant à une issue fatale (Selami et Meddour, 2016).

On désigne par le terme stress, toute condition externe qui affecte la croissance, le développement ou la productivité d'une plante. Le stress peut réduire la productivité des plantes de 65 % à plus de 87 % (Shilpi et Narendra, 2005).

I.2. Types du stress

Les plantes sont généralement soumises à deux types de stress :

I.2.1. Stress biotiques

Ils sont dus à une agression par un autre organisme. Ils ont pour origine les virus, les organismes phytophages et les pathogènes. Afin d'y faire face, la plante met en place un système de défense qui fait intervenir une chaîne de réactions. Les protéines végétales défensives produites font office de rempart contre les agents nuisibles (Bouhabila, 2016).

I.2.2. Stress abiotiques

Les stress abiotique sont causés par un excès ou un déficit dans l'environnement physique ou chimique de la plante. Parmi les conditions environnementales qui peuvent causer un stress abiotique, on distingue : les inondations, la sécheresse, les basses ou hautes températures, la salinité excessive des sols ou des eaux, la présence d'un minéral inadéquat dans le sol, l'excès de lumière, le cas de faible éclaircissement, les radiations UV, les composés pyrototoxiques comme l'ozone qui est un haut réacteur oxydant, la pollution de l'air.

La sécheresse, le froid et la salinité sont les stress les plus fréquents et les plus étudiés. Ils peuvent imposer aux plantes des modifications métaboliques, physiologiques et phénologiques (Attabi et Taiba, 2019).

I.3. Salinité

I.3.1. Définition

Selon Mermoud (2006), la salinité signifie une accumulation de sels à la surface du sol et dans la zone racinaire qui occasionne des effets nocifs sur les végétaux et le sol; il s'en suit une diminution des rendements et, à terme, une stérilisation du sol.

Ainsi, d'après Marlet et Job (2006), la salinisation est un terme générique caractérisant une augmentation progressive de la concentration des sels dans les sols sous l'influence d'apport d'eau d'irrigation salée, de l'aridité du climat ou de conditions hydrologiques particulières (lessivage insuffisant, proximité de la nappe...). Cette concentration de la solution du sol conduit ainsi à la précipitation successive de minéraux qui modifie sa composition et détermine différentes voies d'évolution des sols en fonction de l'abondance relative des différents ions majeurs dans la solution de départ. Ces ions majeurs sont le calcium, le magnésium, le sodium, le potassium, le chlorure, le sulfate et les carbonates.

I.3.2. Types et origines de la salinité

I.3.2.1. La salinité primaire ou naturelle

La salinité primaire s'explique par l'accumulation des sels dans le sol ou dans les eaux souterraines sur une longue période de temps par deux processus naturels:

- L'altération des matériaux de base contenant des sels solubles : les roches se décomposent en libérant des sels solubles de divers types, principalement des chlorures de sodium, de calcium et de magnésium, et dans une moindre mesure, les sulfates et les carbonates. Le chlorure de sodium est le sel le plus soluble.
- Le dépôt de sels océaniques effectué par le vent et la pluie : les sels cycliques sont des sels de l'océan amenés par le vent et déposés par la pluie, et sont principalement le chlorure de sodium. L'accumulation de chlorure de sodium dans le sol serait considérable au cours des millénaires. La quantité de sel stocké dans le sol varie en fonction du type de sol, étant faible pour les sols sableux et élevée pour les sols contiennent un pourcentage élevé de minéraux argileux. Il varie aussi inversement avec la pluviométrie (Noomene, 2011).

I.3.2.2. La salinité secondaire ou d'origine humaine

La salinisation secondaire est le résultat des activités humaines qui modifient l'équilibre hydrologique du sol entre l'eau appliquée (irrigation ou de pluie) et l'eau utilisée par les cultures (Noomene, 2011). Elle est définie comme étant un processus d'enrichissement d'un sol en sels solubles causé notamment par l'approvisionnement en eau pour l'irrigation et qui aboutit à la formation d'un sol salin. Cette salinisation est le processus de dégradation de la qualité des sols le plus rapide dans les périmètres agricoles irrigués (Dilmi et Marhoune, 2019).

L'irrigation altère le bilan hydrique du sol, en générant un apport d'eau supplémentaire. Cet apport est toujours associé à un apport de sels. En effet, même une eau douce de meilleure qualité contient des sels dissous et, si la quantité de sels apportée par cette eau peut sembler négligeable, les quantités d'eau apportées au fil du temps entraînent un dépôt cumulé de sels dans les sols qui peut s'avérer considérable. Les échanges de cations entre le sol et l'eau d'irrigation sont le début de la salinisation du sol (Bouزيد, 2009).

I. 4. Effets du stress salin sur les plantes

Les sels sont un facteur limitant majeur de la production végétale car leurs fortes concentrations dans le sol affectent les mécanismes physiologiques des plantes (Tahraoui, 2015). Un stress est reconnu par une plante quand il est perçu au niveau cellulaire puis transmis à la plante entière. Le changement dans l'expression des gènes qui s'ensuit modifie la croissance et le développement, et influence les capacités reproductives de la plante (Shilpi et Narendra, 2005). Le stress salin perturbe le développement des végétaux en limitant l'assimilation des éléments nutritifs et en réduisant la qualité de l'eau à disposition pour les racines. Un niveau de salinité élevé des sols provoque le flétrissement des plantes du fait d'une augmentation de la pression osmotique et des effets toxiques des sels. Il affecte le métabolisme des organismes du sol et mène à une réduction importante de la fertilité du sol (Sustainable Agriculture and Soil Conservation, 2007 in Kadri et Midoun, 2015).

I.4.1. Sur la germination

La plupart des plantes sont plus sensibles à la salinité durant leurs phases de germination et de levée. Le stade de germination se montre le plus sensible que les autres stades. Bien que les halophytes possèdent une teneur très élevée en sel dans leurs tissus au stade adulte, leurs graines ne sont pas aussi tolérantes au sel au stade de germination. Parmi les causes de l'inhibition de la germination en présence de sel, la variation de l'équilibre hormonal a été évoquée (Bouchoukh, 2010 in Mahrouz, 2013).

I.4.2. Sur la photosynthèse

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.

Le stress salin cause des effets à long et à court terme sur la photosynthèse :

- Les effets à court terme se manifestent après quelques heures jusqu'à un à deux jours de l'exposition au stress, et la réponse est importante ; il y a complètement arrêt de l'assimilation du carbone (Bouزيد, 2009).
- 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 (Parida et Das, 2005 in Marweni, 2015).

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 hydractive 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 (Parida et Das, 2005 in Marweni, 2015).

I.4.3. Sur la biochimie de la plante

Le stress salin provoque une perturbation de la formation des lipides et des protéines au niveau de la membrane cellulaire, ce qui affecte sa stabilité. Cela veut dire que dans des conditions salines, il y a une modification au niveau du schéma d'expression des gènes ce qui provoque des changements qualitatifs et quantitatifs de synthèse (Alem et Amri, 2005).

I.4.4. Sur la nutrition minérale des végétaux

Les sels affectent l'équilibre nutritionnel des plantes, s'ils sont présents dans des proportions excessives. La présence excessive d'ions sodium, chlorure et borique augmente le pH du sol, ce qui rend impossible l'absorption des ions nécessaires à la croissance des plantes (Boukourt, 2016).

D'après Haouala et al (2007), l'accumulation des ions Na^+ dans la plante limite l'absorption des cations indispensables tels que K^+ et Ca^{2+} . Il y aurait une compétition entre Na^+ et Ca^{2+} pour les mêmes sites de fixation apoplasmique. Ainsi, l'augmentation de la concentration en Na^+ s'accompagne d'une réduction de la concentration en Mg, N et P dans la plante. Ce déséquilibre nutritionnel est une cause possible des réductions de croissance en présence de sels.

I.4.5. Sur la croissance et le développement

L'effet du stress salin se manifeste généralement chez la plupart des plantes cultivées par une conséquence dépressive sur la croissance et le développement (Chougui et al., 2004 in Lemekeddem et Debbache, 2014). La comparaison des plantes vivantes dans un milieu non salé et celles des milieux salés, montre que les fortes concentrations de sels solubles dans l'environnement racinaires provoquent la formation des plantes naines (Elmekkaoui, 1987 in Ayed et Tiaiba, 2017).

La salinité provoque un changement anatomique au niveau foliaire touchant l'épiderme, la mésophylle et le nombre des stomates (Omami, 2005 in Elouail et Bachar, 2017). Un retard de croissance important est signalé chez la plupart des glycophytes dès 50 mM/l de NaCl dans la solution du sol. Par contre, la croissance des halophytes ne semble diminuer que pour des concentrations beaucoup plus élevées.

Parmi les modifications morphologiques observées chez les plantes sous stress salin, il y a une faible ramification, une diminution de la longueur, du diamètre et du poids sec des tiges et des

racines, un raccourcissement de l'entre-nœud et une diminution du nombre de nœuds, une réduction du nombre de feuilles et la surface foliaire (Larher et al., 1987 in Lemekeddem et Debbache, 2014).

Les racines peuvent sembler être la partie de la plante la plus à risque car elles sont directement exposées au sel ou à un sol sec, mais elles sont étonnamment puissantes. Leur croissance ne s'affecte pas comme le taux de croissance des bourgeons. Leur contenance en ions n'augmente pas avec le temps, comme c'est le cas dans les feuilles. Elles ont souvent une concentration plus faible de sodium et de chlorure que la solution externe (Gorham et al., 1990 in Munns, 2002).

I.5. Réponses des plantes au stress salin

Les plantes peuvent répondre aux stress de diverses façons :

- ✓ elles accomplissent leur croissance durant les périodes de moindre stress
- ✓ ou bien ne peuvent pas le supporter et subissent des lésions
- ✓ ou bien, subissent des modifications spécifiques de leur métabolisme leur permettant d'éviter ou de tolérer les effets de stress.

Les plantes réagissent à l'action de la salinité dans le biotope par le déclenchement des mécanismes de résistance. La quantité de sels dans le sol que les plantes peuvent supporter, varie avec les familles, les genres et les espèces, mais aussi les variétés considérées (Elmeddah et Kassous, 2016).

I.5.1. Stratégie Inclusion-Exclusion

I.5.1.1. Exclusion

La plante empêche le sel de remonter jusqu'aux feuilles; une première barrière existe au niveau de l'endoderme, couche interne de cellules de la racine. Cependant, cette barrière peut être interrompue. D'autres mécanismes limitent le passage de sel des racines vers les feuilles mais les gènes qui les gouvernent sont encore largement inconnus (El Madidi et al., 2003).

I.5.1.2. 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 "pompes" moléculaires. Les vacuoles sont des compartiments fermés au sein de la cellule. Le sel est ainsi isolé des constituants cellulaires vitaux (El Madidi et al., 2003).

I.5.2. Ajustement osmotique

L'ajustement osmotique est défini comme un abaissement du potentiel osmotique par l'accumulation de solutés organiques dans les cellules en réponse à un stress salin. Il apparaît aujourd'hui comme un mécanisme majeur d'adaptation qui peut intervenir à tous les stades de développement et son caractère inductible suggère qu'il n'a pas (ou peu) d'incidence sur le rendement potentiel (Kara et Bellkhiri, 2011). Il joue un rôle primordial dans la résistance ou la tolérance de la plante à un stress. Les végétaux sont capables de supporter le déficit hydrique engendré par le stress salin, en ajustant plus ou moins rapidement leur potentiel osmotique avec celui du milieu extérieur, de manière à maintenir un gradient de potentiel hydrique entre la plante et le milieu salin (Chamekh, 2010). Ceci est possible via la synthèse des solutés organiques (sucres solubles, proline, ...) permettant l'ajustement du potentiel hydrique des cellules (Belfakih et al., 2013).

I.5.2.1. Accumulation des sucres solubles

Les sucres solubles jouent un rôle crucial dans le développement et le fonctionnement des cellules vivantes. Ils constituent la source préférentielle d'énergie et de carbone pour les cellules eucaryotes. Chez les plantes, les sucres sont impliqués dans la régulation des processus développementaux, tels que le développement de l'embryon et de la graine (Hills, 2004 in Ramel, 2009), l'organogenèse post-embryonnaire (Gibson, 2005 in Ramel, 2009) et les processus de sénescence (Rolland et al., 2002 in Ramel, 2009).

Le stress salin induit une forte accumulation de sucres solubles, généralement interprétée comme une réponse adaptative (Korn et al., 2008 in Ramel, 2009) où les sucres jouent un rôle de soluté compatible, intervenant dans la stabilisation des protéines et des membranes (Crowe et al., 1990 in Ramel, 2009). Généralement, on pense que l'accumulation de sucres solubles peut avoir comme origine l'hydrolyse de réserves mais aussi une modification du métabolisme carboné, la dégradation de polysaccharides et une réduction de l'utilisation de

carbohydrates plus importante que la réduction de la photosynthèse (Salmi, 2015). Les sucres pourraient contribuer à plus de 50% à l'ajustement osmotique des glycophytes soumises aux conditions de salinité (Farissi et al., 2014).

I.5.2.2. Accumulation de la proline

L'accumulation de la proline est l'une des manifestations les plus remarquables chez les plantes soumises au stress salin. C'est un véritable mécanisme de tolérance à la salinité et la déficience en eau (Slama, 2000 in Bouatrous, 2013). Cette accumulation a pour objectif l'ajustement du potentiel osmotique dans le cytoplasme et le maintien et l'amélioration de la stabilité des membranes cellulaires (Tadrent, 2017). Les teneurs en proline s'accroissent rapidement chez de nombreuses mono- ou dicotylédones soumises à un stress salin (Yoshida et al., 1999 in Khouildat et Benzahi, 2014). L'augmentation de la concentration de proline cytoplasmique est consécutive à la stimulation de sa synthèse, résultant d'une élévation des quantités des messagers codant pour l'enzyme qui convertit le glutamate semi-aldéhyde en proline. Il existe deux voies de biosynthèse de la proline chez les plantes, celle de l'ornithine et celle du glutamate. Cette dernière semble être prédominante sous conditions de stress (Silva-Ortega et al., 2008 in Khouildat et Benzahi, 2014).

I.5.3. Activités enzymatiques antioxydantes

Une conséquence des stress environnementaux, comme le stress salin, est l'apparition du stress oxydatif (Hernandez et al., 2001 in Chamekh, 2010). C'est-à-dire l'accumulation d'espèces réactives d'oxygène (ROS) à des concentrations élevées (Azevedo et al., 2006 in Chamekh, 2010), qui endommagent les structures cellulaires (Parten et al., 2008 in Chamekh, 2010). Ces derniers sont à l'origine du dysfonctionnement de l'appareil photosynthétique et les autres troubles métaboliques (Rahnama et Ebrahimmzdeh, 2005 in Chamekh, 2010). La plupart d'entre eux sont des peroxydes d'hydrogène, des radicaux hydroxyles et des anions superoxyde (Azevedo et al., 2006 in Chamekh, 2010). Les plantes se défendent contre ces espèces réactives de l'oxygène par l'induction de l'activité de certaines enzymes antioxydantes comme la catalase (CAT), la peroxydase (POD), la glutathion réductase (GR) et la superoxyde dismutase (SOD), qui éliminent les espèces réactives de l'oxygène (Hemmami et Ben Ali, 2018).

I.5.3.1. Le superoxyde dismutase

Le superoxyde dismutase (SOD) est une métallo-enzyme se retrouvant dans tous les organismes aérobies. C'est la première enzyme antioxydante de défense contre le stress oxydatif biotique ou abiotique. Elle catalyse la dismutation de deux anions superoxydes en dioxygène et en peroxyde d'hydrogène (Arora et al., 2002 in Benhamdi, 2014).

1.5.3.2. La catalase

La catalase (CAT) est une enzyme indispensable pour la détoxification des radicaux libres durant le stress. Cette enzymes peroxysomale assure la dismutation du peroxyde d'hydrogène en eau et en dioxygène (Arora et al., 2002 in Benhamdi, 2014).

1.5.3.3. La peroxydase III

La peroxydase (POD) est une hémoprotéine qui catalyse la réduction du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) par de nombreux substrats, tels que les composés phénolique et les précurseurs de lignine (Halusková et al., 2010 in Benhamdi, 2014). Dans les cellules végétales, la peroxydase est impliquée dans plusieurs processus physiologique : la lignification et la synthèse de la paroi cellulaire, le catabolisme des auxines et la lutte contre le stress environnemental (Kim et al., 2010 in Benhamdi, 2014).

Chapitre II :

Généralités sur

le blé dur

La culture des céréales a permis l'essor des grandes civilisations, car elle a constitué l'une des premières activités agricoles. En effet, Il ya plus de trois millions d'années, l'homme préhistorique était nomade, pratiquait la chasse et la cueillette des fruits pour assurer sa nourriture. Le nomadisme a progressivement laissé la place à la sédentarité qui a permis la culture des céréales.

Le blé est l'une de ces céréales connue depuis l'antiquité. Sa culture remontée au mésolithique vers 7000 avant Jésus-Christ. Le terme blé vient probablement du gaulois blato (à l'origine du vieux français blaie, blee, blaiier, blaver, d'où le verbe emblaver, qui signifie ensemercer en blé) et désigne les grains qui broyés, fournissant de la farine, pour des bouillies (polenta), des crêpes ou du pain. On trouve sous le nom de blé des espèces variées: le genre *Triticum* (du latin Tritus, us= broiement, frottement): le blé moderne (froment), l'orge (*Hordeum*), le seigle (*Secale* céréale) et le blé noir (sarrasin) (Gouasmi et Badaoui, 2017).

II.1. Origine du blé dur

II.1.1. Origine géographique

Le blé sauvage tétraploïde était largement répandu au Proche-Orient, où les humains ont commencé à le récolter dans la nature (Bousnane, 2012 in Amrouche et Mesbah, 2017). La plupart des recherches archéologiques ont confirmé que les origines du blé se situent dans les zones du Croissant fertile (Boulal et *al.*, 2007 in Amrouche et Mesbah, 2017) plus précisément au sud de l'Anatolie et au nord de la Syrie. C'est à partir de cette zone que le blé a été diffusé vers l'Afrique, l'Asie et l'Europe. La route la plus ancienne de diffusion des céréales vers les pays du Maghreb fut à partir de la péninsule italienne et de la Sicile (Bonjean., 2001 in Amrouche et Mesbah, 2017). Certains auteurs affirment que le monde Romain a largement contribué à la diffusion des céréales du bassin méditerranéen vers l'Europe centrale et l'Europe de l'Ouest.

II.1.2. Origine génétique

Le blé a été à l'état sauvage puis cultivé depuis le néolithique dans le croissant fertile où se substitut à ce jour des blés sauvages (Kadri et Sidi Yakoub, 2006 in Sali et Ben Riche, 2018).

La filiation génétique des blés est complexe et incomplètement élucidée. L'observation du comportement des chromosomes pendant la méiose et les résultats d'expériences d'hybridation a montré que les génomes (jeux complets de matériel génétique) des graminées peuvent souvent être regroupés en trois types distincts. Chaque type a reçu un nom A, B ou D. Les graminées qui partagent le même génome seront plus ou moins interfertile et peuvent être traités par les botanistes comme une seule espèce (Oudjani, 2009). Il est acquis que le génome A provient de *Triticum monococcum*, le génome B d'un *Aegilops* (*bicornis*, *speltoïdes*, *longissima* ou *searsii*) et le génome D d'*Aegilops squarrosa* (également dénommé *Triticum tauschii*).

Un premier croisement survient il ya des millions d'années entre un blé sauvage : *Triticum monococcum* et une herbe sauvage *Aegilops* sépaloïdes (Kadri et Sidi Yakoub, 2006 in Sali et Ben Riche, 2018) qui a permis l'apparition d'un blé dur sauvage de type AABB (*Triticum turgidum* ssp. *dicoccoides*) qui a ensuite progressivement évolué vers *T. turgidum* ssp. *dicoccum* puis vers *T. durum* (blé dur cultivé) (Hamel, 2010).

Les blés tendres cultivés (AA BB DD) seraient issus d'un croisement, également naturel, entre *T. turgidum* ssp. *dicoccum* (AA BB) et *Aegilops squarrosa* (DD) (Feuillet, 2000 in Aouragh et Megrerouche , 2016).

II.2. Importance du blé dur dans le monde et en Algérie

Le blé occupe la première place dans la production mondiale et la deuxième après le riz, comme source de nourriture pour les populations humaines, il assure 15% de leurs besoins énergétiques. Il représente 30% de la production mondiale des céréales, 20% de la ration alimentaire consommée par la population mondiale (Bajji, 1999 in Bouakez et Hmadouche, 2015). Environ 80 % des superficies cultivées en blés dans le monde sont réservées au blé dur dont 70 % sont localisée en conditions méditerranéennes (FAOSTAT, 2007 in Douib, 2013).

L'Allemagne, l'Australie, le Pakistan, le Canada, la France, les Etats-Unis, la Russie et l'Inde sont les premiers producteurs durant l'année 2018 (FAOSTAT, 2018).

Chapitre II : Généralités sur le blé dur

Tableau 01: Production mondiale du blé dur.

Pays	Production (tonnes)
Allemagne	20263500
Australie	20941134
Canada	31769200
États-Unis d'Amérique	51286540
Fédération de Russie	72136149
Inde	99700000
Pakistan	25076149

La production mondiale de blé fut en croissance constante durant les cinquante dernières années et s'élève pour la campagne 2010-2011 à 691,5 millions de tonnes (Terrones et Burny, 2012). La consommation totale est stable et se maintient à 688 millions de tonnes en 2014 du fait d'une contraction de 2 % que connaît l'utilisation aux fins de l'alimentation animale et 1,4 % de l'utilisation aux fins de l'alimentation humaine.

En Algérie, les céréales et plus particulièrement le blé sont très importantes sur le plan agronomique et économique que social, de même qu'elles occupent une place privilégiée dans les habitudes alimentaires des populations aussi bien dans les milieux ruraux qu'urbains (Sanah, 2015).

Le blé dur, est la première céréale cultivée dans le pays. En termes de superficies, il occupe plus de 2 millions d'hectares (FAO STAT, 2018). La production algérienne de blé dur est très instable d'une année à l'autre (Mazouz, 2006). Elle est très fortement dépendante des conditions climatiques.

Ainsi, la production nationale qui avoisine les 3.98 millions de tonnes (FAO, 2018), demeure tout de même loin du niveau réel de la consommation, elle ne couvre que 30 à 35% des besoins (Haddad et al, 2016). Cette faiblesse de production associée à une forte demande alimentaire fait que le pays se présente comme un gros importateur potentiel. Elle est due à des contraintes abiotiques (pluviométrie surtout), biotiques (adventices surtout) et humaines (itinéraires techniques appliqués etc...) (Amrouche et Mesbah 2017).

II.3. Systématique du blé dur

Selon Gouasmi et Badaoui (2017), la systématique du blé dur est la suivante :

Règne : Plantae.

Sous-règne : Cormophyte.

Embranchement : Spermaphytes.

Sous- embranchement : Angiospermes.

Classe : Monocotyledones.

Ordre : Poales.

Famille : Poaceae.

Genre : *Triticum*

Espèces : *Triticum durum*

II.4. Biologie du blé dur

II.4.1. Description

Le blé est une plante herbacée, appartient à la classe des monocotylédones de la famille des poacées (Parts et al, 1971 in Lemekddem et Debbache, 2014). C'est une espèce que s'adapte à des sols et à des climats varies. les principaux caractères des espaces de blé que l'homme a cherche à sélectionner sont : la robustesse de l'axe de l'épi qui ne doit se casser lors e la récolte, la séparation facile des enveloppes du grain, la grand taille des grains et la compacité des épis (plus maniable que l'épi lâche), mais également la productivité et la résistance au froid ou aux maladies (Siou, 2013).

Le principal représentant des blés tétraploïdes à grains nus : le blé dur, est une plante de climats chauds et secs. Sa hauteur moyenne pouvant atteindre jusqu'à 1.5 m selon les variétés (Bozzini, 1988 in Boumdouha et Krim, 2019). L'épi a généralement de longues barbes, et une section carrée ou comprimée. L'épillet a 2-5 fleurs. Les glumes n'ont pas d'arêtes. Le grain nu est translucide et très dur (Aknouche et Laib, 2017).

II.4.2. Caractéristiques morphologiques

II.4.2.1. Racines

Les racines sont de deux sortes:

➤ **Racines primaires ou séminales**

Elles sont issues de la semence qui se développe au moment de la germination : la radicule qui débouche la première et la première paire des racines qui va sortir en même temps et la deuxième paire des racines. Ces racines, qui sont constitués que de tissus primaires, vont nourrir la plantule jusqu'au stade tallage (Sadouki et Boutouchent, 2017).

➤ **Système racinaire fasciculé**

Assez développé (racines adventifs ou coronaires), ce type de racines est produit par le développement de nouvelles talles (Soltner, 1990 in Sadouki et Boutouchent, 2017). Elles peuvent atteindre jusqu'à 1,50m.

II.4.2.2. Tiges

Elles sont constituées de chaumes, ayant une forme cylindriques, souvent creux par résorption de la moelle centrale mais chez le blé dur est pleine. Ils se présentent comme des tubes cannelés, avec de longs et nombreux faisceaux conducteurs de sève. Ces faisceaux sont régulièrement entrecroisés et renferment des fibres à parois épaisses, assurant la solidité de la structure. Les chaumes sont interrompus par des nœuds qui sont une succession de zones d'où émerge une longue feuille (Lounes et Guerfi, 2010).

II.4.2.3. Feuilles

Les feuilles engainent la tige puis s'allongent en un limbe étroit à nervures parallèles lancéolées. La gaine est un cylindre qui permet d'attacher le limbe au nœud le plus bas. Son rôle est chlorophyllien et la conservation d'eau et d'air. Ainsi, avant l'allongement des talles, les gaines protégeant l'apex qui se trouve en cercle concentrique au plateau de tallage.

Les oreillettes ou stipules sont des organes membranaire dépourvus de chlorophylle dont le rôle n'est pas encore bien déterminer (elles forment des joins empêchant particulièrement l'eau de pluie ou de rosée de s'infiltrer à l'intérieur de la gaine). La ligule est un organe membranaire qui se forme à l'adjonction entre le limbe et la gaine (Prats et al., 1971 in Lounes et Guerfi, 2010, 2010). Chez toutes les graminées la présence et la forme des oreillettes ou stipules et de la ligule, permet de déterminer l'espèce avant l'apparition de l'épi (Soltner, 1990 in Lounes et Guerfi, 2010).

II.4.2.4. Appareil reproducteur (épi)

L'inflorescence du blé dur est un épi muni d'un rachis portant des épillets séparés par de courts entrenœuds (Figure 01). Chaque épillet comporte deux glumes (bractées) renfermant de deux à cinq (souvent trois) fleurs distiques sur une rachéole (Ouared, 2016). Chaque fleur est dépourvue de pétales, et est entourée de deux glumelles (pièces écailleuses non colorées). Elle contient trois étamines qui ont la forme en x (pièces mâles), un ovaire surmonté de deux styles plumeux dichotomique (les pièces femelles). La fleur du blé est dite cléistogame (Prats, 1966 in Aknouche et Laib, 2017). C'est-à-dire que, le plus souvent, le pollen est relâché avant que les étamines ne sortent de la fleur. Il s'attache alors aux stigmates, où peut se produire la fécondation.

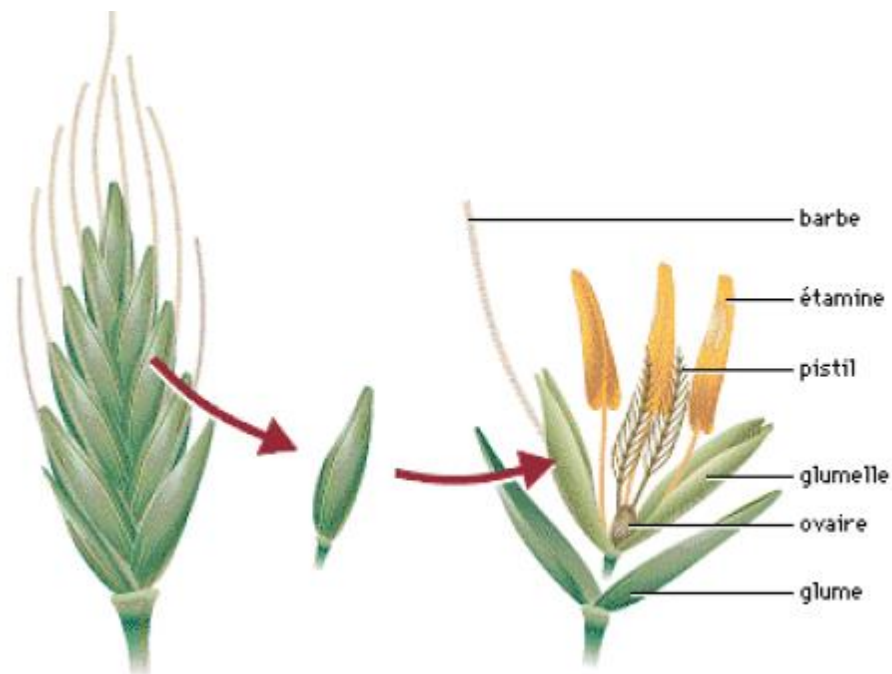


Figure 01 : Structure d'un épi et d'un épillet du blé dur (Oudjani, 2009)

À cause du caractère cléistogame de la fleur, l'autofécondation est le mode de reproduction le plus fréquent chez les blés : ce sont les anthérozoïdes issus du pollen d'une fleur qui fécondent l'oosphère et la cellule centrale du sac embryonnaire de l'ovaire de cette même fleur (les cellules sexuelles femelles sont protégées dans un sac embryonnaire fermé au sein d'un ovule) (Aknouche et Laib, 2017).

II.4.2.5. Grain

Le grain de blé est constitué de trois grandes parties : le germe, l'albumen et les enveloppes (Figure 02). Il est constitué majoritairement d'amidon qui représente environ 70% de sa matière sèche du grain et qui est situé dans l'albumen. Les protéines représentent entre 10 et 15% de la matière sèche et se retrouvent dans tous les tissus du grain de blé (Pomeranz, 1988 in Boumdouha et Krim, 2019).

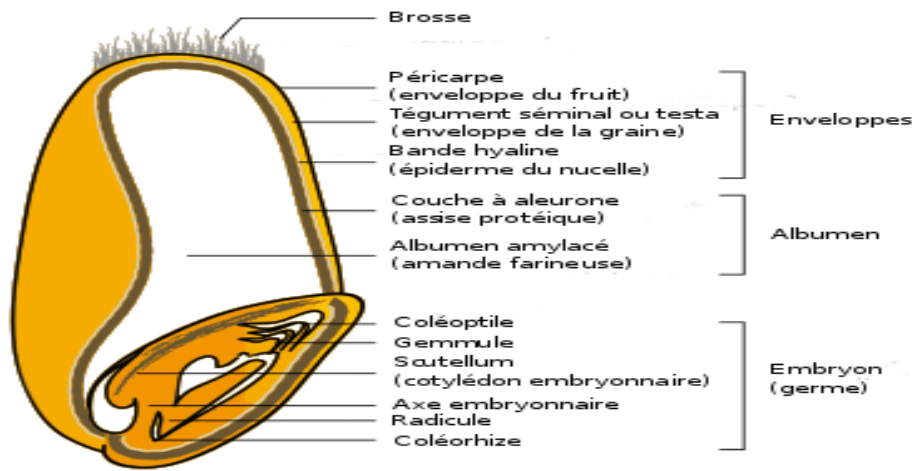


Figure 02: Grain du blé dur et ses composants (Aknouche et Laib, 2017).

II.5. Exigences de la culture du blé dur

Le blé dur n'a pas les mêmes exigences que le blé tendre. Il a un besoin élevé en ensoleillement, une faible résistance au froid et à l'humidité (Bennasseur, 2003 in Ferras, 2015). Il peut être cultivé dans toutes les régions, cependant, les pluies importantes au cours de la maturation peuvent affecter la qualité des grains. Il exige une terre bien drainante mais pas trop sujette au stress hydrique surtout pendant la période de l'accumulation des réserves dans le grain (Clément, 1981 in Ferras, 2015). La mise en place de la culture de blé dur sur des terres se ressuyant males, favorise l'infestation par les maladies cryptogamiques telles que le piétin et les fusarioses (Bennasseur, 2003 in Ferras, 2015). Les principaux facteurs influant la culture et le développement du blé sont la température, la lumière, l'eau et le sol (Soltner, 1988 in Ferras, 2015).

II.5.1. Eau

L'eau est un facteur limitant de la croissance du blé. Ce dernier exige l'humidité éternelle durant tout le cycle de développement. Pendant les différentes phases de son cycle, le blé a besoin de 600 à 1.500 mm d'eau par an et surtout bien répartie. Les besoins sont plus élevés au vu des conditions climatiques défavorables (Amrouche et Mesbah, 2017).

II.5.2. Lumière

La lumière est le facteur qui agit directement sur le bon fonctionnement de la photosynthèse et le comportement du blé. Un bon tallage est garanti si le blé est placé dans les conditions optimales d'éclairement (Soltner, 1988 in Mihoub, 2009).

II.5.3. Sol

Les sols qui conviennent le mieux au blé sont les sols drainés et profonds; des sols limoneux, argilo-calcaires, argilo-siliceux et avec des éléments fins. La culture du blé dur est sensible au calcaire et à la salinité. Un pH de 6,5 à 7,5 semble favoriser l'assimilation de l'azote (Soltner, 1988 in Mihoub, 2009).

II.6. Cycle de développement du blé dur

Le cycle biologique du blé est une succession de périodes subdivisées en phases et en stades (Figure 03).

II.6.1. Période végétative

Elle débute par la germination qui correspond à une activation métabolique de l'embryon décelable par les échanges respiratoires de la graine. C'est un processus préparatoire à l'élongation de la radicule et de la coléoptile. La levée est définie par l'apparition de la première feuille. Le stade début tallage est repéré dès que la plante possède trois à quatre feuilles et une tige sur le maître brin à l'aisselle de la feuille la plus âgée (Belagrouz, 2013).

II.6.2. Période reproductrice

La période reproductrice se caractérise par la formation et la croissance de l'épi. Elle s'étend du stade épi-1cm- montaison au stade de floraison. La montaison débute à la fin du tallage. Elle se distingue par l'allongement des entre-nœuds et la différenciation des pièces florales (Fetilina et Helis, 2017).

Chapitre II : Généralités sur le blé dur

Le stade de l'épiaison – floraison se réalise au stade méiose pollinique. La gaine de la dernière feuille s'écarte progressivement suite à l'allongement des derniers entre-nœuds de la tige, elle s'éclate et le sommet de l'épi sort de la dernière gaine (Belagrouz, 2013).

II.6.3. Période de maturité

Le cycle végétatif s'achève par la maturation qui dure en moyenne 45 jours. Les grains vont progressivement se remplir et passer par différents stades tels que : maturité laiteuse, maturité pâteuse et maturité complète.

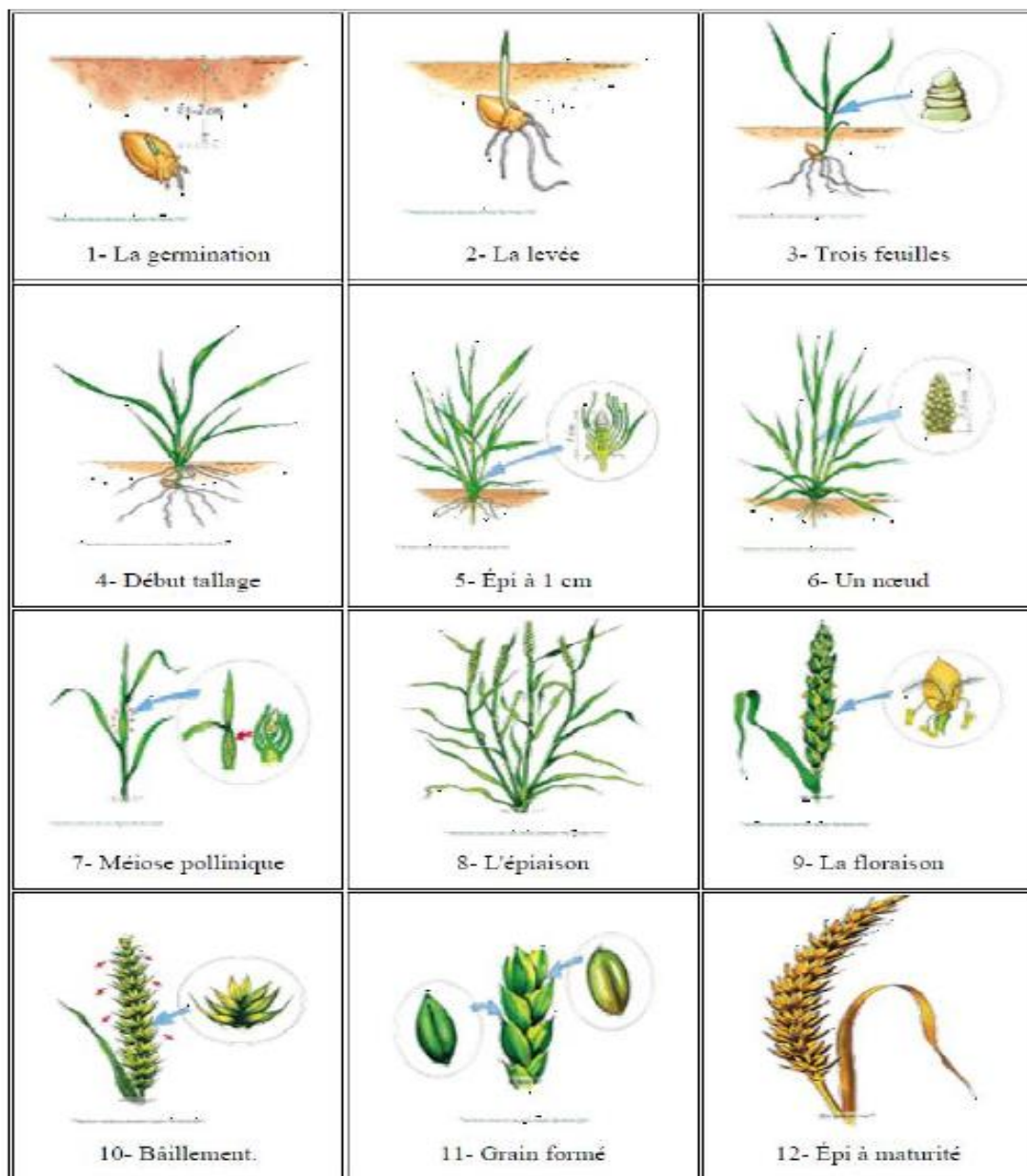


Figure 03 : Stades de développement du blé dur (Tirane et Khaldi, 2017).

Chapitre III :

Matériel et Méthodes

Chapitre III : Matériel et méthodes

Notre travail vise à évaluer l'effet du stress salin sur la germination des graines de blé dur (*Triticum durum* Desf) représenté par deux variétés Mohamed Ben Bachir (locale) et GTA-dur (introduite).

La partie pratique de ce mémoire, qui devait avoir lieu au niveau des laboratoires de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie à l'Université Ziane Achour de Djelfa, a été malheureusement, suspendue suite aux mesures sanitaires prises (confinement) face à la Pandémie du Covid 19.

III.1. Matériel végétal

Le matériel végétal de la présente étude est composé de deux variétés de blé dur, la première locale (Mohammed Ben Bachir) tandis que la seconde est introduite (GTA-dur). Les graines des variétés nous été aimablement fournies par l'Institut Technique des Grandes Cultures.

Les caractéristiques des deux variétés sont récapitulées dans le tableau 02.

Tableau 02: Caractéristiques des variétés étudiées.

Variété		GTA-dur	Mohamed Ben Bachir
Caractéristiques			
Origine		Mexique	Algérie
Année d'inscription		2001	2001
Pédigrée		Gaviota x durum	Sélection de la population locale
Première feuille	Pigmentation anthocyanique	Nulle à très faible	Nulle à très faible
Plante	Port au tallage	Mi dressé	Dressé
	Présence des plantes ayant la dernière feuille retombant.	Faible	Nulle à très faible
	Hauteur (tige, épi et barbe).	Moyenne	Longue
Epoque de l'épiaison	Epillet visible sur 50 % des plantes	Précoce	Tardive
Tige	Pilosité du dernier nœud	Nulle à très faible	Nulle à très faible
Barbe	Distribution	Sur toute la longueur	Sur toute la longueur
	Couleur	Noire	

Chapitre III : Matériel et méthodes

Epi	Couleur à la maturité	Blanc	Faiblement coloré
	Forme en vue de profil	Pyramidale	Pyramidale
	Compacité	Moyenne	Moyenne
Graine	Forme	Allongée	Allongée
	Coloration au phénol	Moyenne	Nulle à très faible
Type de développement		Hiver	Hiver
Résistance	au froid	Résistante	Résistante
	à la verse	Résistante	Sensible
	à la sécheresse	Résistante	Tolérante
Résistance aux maladies	Rouille jaune	Résistante	Tolérante
	Rouille brune	Moyennement résistante	Sensible
	Rouille noire	Résistante	Sensible
	Piétin verse	Résistante	Tolérante
	Piétin échaudage	Résistante	Tolérante
	Oïdium	Résistante	Assez sensible
	Septoriose	Résistante	Assez sensible

III.2. Déroulement de l'expérience

III.2.1. Stérilisation des graines

Après nettoyage des graines, les semences de blé sont stérilisées avec l'eau de javel pendant 10 min puis rincées 5 fois abondamment à l'eau distillée.

III.2.2. Germination des graines

Les graines stérilisées sont placées dans des boîtes de Pétri, de 9cm de diamètre, tapissées de papier hygiénique imbibé d'eau distillée. Les boîtes sont ensuite placées dans un incubateur dont :

- la température est réglée à 20°C
- la photopériode est de 16 heures de lumière (et 8 heures d'obscurité) assurée par un dispositif lumineux composés des tubes fluorescents.

Les boîtes sont irriguées quotidiennement avec environ 5 ml d'eau distillée.

III.2.3. Repiquage des plantules

Après dix jours de germination, les jeunes plantules obtenues sont repiquées, avec une densité de 7 plantules/pot, dans des pots en plastique contenant une mince couche de gravier et du sol formé du sable (1/3) et de terre agricole (2/3).

L'ensemble des pots sont placés sur une table à la température ambiante, dans un endroit présentant une bonne intensité lumineuse. Afin de maintenir l'humidité des pots, nous avons procédé à un arrosage régulier avec de l'eau distillée jusqu'au moment de l'application du stress salin.

III.2.4. Application du stress salin

Au stade de la troisième feuille, l'irrigation par l'eau saline est appliquée. Cinq concentrations salines de NaCl sont utilisées pour cette étude : 0 mM (témoin), 86 mM, 172 mM, 258 mM et 344 mM. Les pots sont répartis en 5 lots selon les traitements salins retenus. La durée d'irrigation avec les solutions salines est de 10 jours.

III.2.5. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est complètement aléatoire comme le montrant le tableau 2. Il comportait deux facteurs d'étude : la variété (2 variétés) et la concentration saline (5 concentrations). Le nombre de traitements est donc de 10 traitements (02 variétés × 05 niveaux de salinité), avec 04 répétitions randomisées dont, chaque pot représente une répétition.

Tableau 03 : Dispositif expérimental utilisé (V : variétés ; C : concentrations ; R : répétitions).

V2C3R1	V1C3R2	V2C1R3	V1C0R3
V2C0R3	V2C3R2	V1C2R2	V1C3R1
V1C4R1	V1C0R1	V1C1R2	V2C4R3
V1C1R4	V1C4R3	V2C3R3	V2C4R2
V2C1R1	V1C2R4	V1C3R4	V1C1R1
V2C1R2	V2C2R1	V1C2R3	V2C0R2
V1C4R2	V1C2R1	V2C1R4	V1C3R3
V1C0R2	V2C4R4	V1C1R3	V2C2R4
V2C3R4	V2C4R1	V2C2R3	V2C2R2
V1C4R4	V2C0R1	V2C0R4	V1C0R4

III.3. Paramètres étudiés

III.3.1. Paramètres physiologiques

III.3.1.1. Poids de la matière fraîche

Après la coupure des plantules au niveau du collet, le poids frais des plantules est déterminé par une balance de précision.

III.3.1.2. Poids de la matière sèche

Après la détermination du poids frais des plantules, elles sont placées dans une étuve à 70 C° pendant 78 h. Le nouveau poids représente le poids sec des plantules.

III.3.1.3. Teneur en eau

La teneur en eau (TE) exprimé en pourcentage de la matière fraîche est déterminée par la formule suivante :

$$TE = (MF - MS) \cdot 100/MF$$

dont MF= poids de la matière fraîche, MS= poids de la matière sèche

III.3.2. Paramètres biochimiques

III.3.2.1. Dosage de la chlorophylle

La teneur en chlorophylle est mesurée sur la troisième feuille. Des échantillons de 0,2g de poids frais sont pesés et mis dans 5 ml d'acétone concentrée (80%). Après un séjour de 72h à l'obscurité à une température de 4°C, les concentrations en chlorophylle *a* et *b* sont calculées par les formules de Lichthentaler et al. (1986 in Achour 2016) :

$$Chla \text{ (mg/g PF)} = (12,25 DO_{663} - 2,71 DO_{647}) (V/PF)$$

$$Chlb \text{ (mg/g PF)} = (21,50 DO_{647} - 5,10 DO_{663}) (V/PF)$$

Où :

- V est le volume initial.
- PF est le poids frais initial.
- DO est la densité optique correspondante en utilisant un spectrophotomètre UV-Visible de type Jenway 63000.

III.3.2.2. Dosage de la proline

La teneur en proline est déterminée selon la méthode décrite par Bates et al. (1973 in Ben Yahmed, 2013). 0,2 g de feuilles précédemment broyées dans un mortier en présence d'azote liquide sont placées dans un tube contenant 3 ml d'acide sulfosalicylique à 3%. Après agitation au vortex, le mélange est centrifugé à 9000 rpm pendant 15 minutes et à température ambiante avant d'être filtré avec un papier Whatman. A 2 ml du surnageant, 2 ml d'une solution de ninhydrine acide (1,25 g de ninhydrine + 30 ml d'acide acétique concentré + 20 ml de H₃PO₄ 6M) ainsi que 2 ml d'acide acétique concentré sont ajoutés. Après agitation au vortex, les tubes sont incubés au bain-marie pendant 60 minutes à 90°C.

La coloration rose s'apparait. Après refroidissement, 2ml de toluène sont ajoutés. Les tubes sont agités au vortex, deux phases apparaissent. La phase colorée est récupérée dans un nouveau tube et une pincée de NaCl est ajoutée. La densité optique de la solution est mesurée à 515 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV- Visible de type Jenway 63000.

Les teneurs en proline sont déduites de l'équation de la courbe de référence établie en utilisant une gamme de concentrations connues de proline.

III.3.2.3. Dosage des sucres totaux solubles

La teneur en sucres totaux solubles est dosée selon la méthode de Schield et Burnet (1966 in Bouchelaghem, 2012).

0,2 g de matière végétale sont mis à macérer dans 03 ml d'éthanol à 80 % pendant 48h à la température ambiante. Après l'évaporation de l'éthanol, 20 ml d'eau distillée sont ajoutés dans chaque tube. 2 ml de la solution à analyser sont placés dans un nouveau tube à essai avant d'ajouter 4 ml de réactif d'anthrone composé de 0.3 g d'anthrone dans 150 ml d'acide sulfurique pur et 50 ml d'eau distillée et préparé 4 heures, au moins, avant son utilisation. Cette étape doit se réaliser dans un bac à glace pour éviter l'éclatement des tubes car la réaction est exothermique.

Après agitation, les tubes sont incubés dans un bain-marie à 92 °C pendant 8 minutes puis laisser à refroidir dans un bac de glace à l'obscurité pendant 30 minutes pour éviter l'oxydation des sucres. La densité optique est mesurée à une longueur d'onde de 585 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV- Visible de type Jenway 63000.

Les teneurs en sucres totaux solubles sont déduites de l'équation de la courbe de référence établie en utilisant une gamme de concentrations connues de glucose.

III.3.2.4. Dosage des activités enzymatiques antioxydantes

III.3.2.4.1. Extraction

0,2 g de matière fraîche de plantes sont broyées dans 8 ml de 50 mM SPB (Sodium Phosphate Buffer) (pH 7,0 contenant 1 % (w/v) de polyvinylpyrrolidone) dans un bain de glace. L'homogénat est centrifugé à 15000 g/20 min à 4°C. Le surnageant est utilisé pour la détermination de l'activité enzymatique.

III.3.2.4.2. Dosage de l'activité de la catalase (CAT)

Pour mesurer l'activité de la catalase:

- on mélange 1 ml d'extrait enzymatique dans 10ml H₂O₂ à 0,01N.
- Après 5min, on ajoute 25ml d'H₂SO₄ à 2% pour arrêter la réaction.
- Le titrage du mélange réactionnel s'effectue par le permanganate de potassium (KMnO₄) jusqu'à la stabilité de la coloration rose.

L'activité de la catalase est exprimée en μ Kat/g de MF (μ Kat = disparition d'une μ mole de substrat par secondes) par la méthode de Vassile et al. (2005 in Ben Kaddour, 2014).

$$CAT = (n \times (V_t - V) \times VE) / (t \times PE \times MF)$$

- n : nombre de mole de H₂O₂ oxydées par 1 ml de KMnO₄.
- V_t : volume moyen de permanganate de potassium pour le dosage des témoins (ml).
- V : volume moyen de permanganate de potassium pour le dosage des extraits enzymatiques (ml).
- VE : volume de l'extrait enzymatique brut (ml).
- PE : volume d'extrait enzymatique qui est introduit dans la réaction mesurée (ml).
- T : temps de réaction.
- MF : masse de matière fraîche en gramme.

III.3.2.4.3. Dosage de l'activité de gaïacol peroxydase (GPOX)

La détermination de l'activité de gaïacol peroxydase (GPOX) est effectuée selon la méthode de Mac Adam (1992 in Benkaddour, 2014).

- on mélange 0,1 ml d'extrait enzymatique, 2,7 ml tampon phosphate (100mM, pH 6,5), 0,1 ml gaïacol (18mM) et 0,1ml H₂O₂.
- les changements dans l'absorbance à 470 nm sont lus toutes les 30s pendant 3 minutes.

L'activité de gaïacol peroxydase est exprimée sur une base de matière fraîche.

III.4. Analyse statistique

Il s'agit d'une analyse de la variance à deux facteurs d'étude (ANOVA) suivie d'une comparaison des moyennes par le test de NEWMAN et KEUILS au seuil de 5% pour identifier les groupes homogènes, tout en s'aidant du logiciel STATISTICA.

conclusion

Conclusion

L'objectif du présent travail était d'évaluer l'effet de la salinité appliquée par des doses croissantes de NaCl sur quelques paramètres écophysologiques et biochimique chez le blé dur représenté par une variété locale (Mohamed Ben Bachir) et une autre introduite (GTA-Dur).

Malheureusement, et à cause de la Pandémie Covid 19, les expériences programmées ont été gelées. Néanmoins la recherche bibliographique réalisée nous a permis d'actualiser les statistiques relatives à la production du blé, de mieux comprendre l'itinéraire technique de la culture de blé et de mieux cerner les protocoles expérimentaux les plus utilisables dans les recherches scientifiques couvrant l'aspect écophysologique des plantes notamment cultivées.

En effet, selon la littérature, le stress salin peut induire des modifications physiologiques, biochimiques et moléculaires chez les végétaux.

La réponse (résistance ou adaptation) dépend de leur capacité à maintenir en vie dans des conditions contraignantes, en évitant ou en tolérant le stress. Cette réponse est variable en fonction de la sévérité du stress, de l'espèce et de la durée d'exposition au facteur stressant.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Achour A, 2016-** Caractérisations physiologique et biochimique du gombo (*Abelmoschus esculentus L.*) sous stress salin. Thèse de Doctorat. Université Oran, 101p.
- Aknouche D et Laib R, 2017-** Amélioration de la production du blé dur : cas de la zone sud de Constantine. Mémoire de Master. Université Constantine, 95p.
- Alem C et Amri A, 2005-** Importance de la stabilité des membranes cellulaires tolérance à la salinité chez l'orge. Maroc. 4: 20-32.
- Amrouche I et Mesbah E, 2017-** Effet du stress abiotique sur l'accumulation des protéines, totales chez deux variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mémoire de Master. Université Constantine, 57p.
- Aouragh K et Megrrouche A, 2016-** Estimation de la variabilité génétique du blé dur et du blé tendre par des marqueurs biochimiques. Mémoire de Master. Université Constantine, 44p.
- Attabi K et Taiba B, 2019-** Effet de la salinité sur les caractères morpho-physiologiques de quelques variétés d'haricot (*Phaseolus vulgaris L.*). Mémoire de Master. Université Khemis Miliana, 51p.
- Ayed K et Tiaiba E, 2017-** Variabilité intra et interspécifique de réponses au stress salin chez le genre *Artemisia*. Mémoire de Master. Université M'sila, 58p.
- Belagrouz A, 2013-** Analyse du comportement du blé tendre, variété El Wifak (*Triticum aestivum L.*) conduite en labour conventionnel, travail minimum et semis direct sur les hautes plaines Sétifiennes. Mémoire de Magister. Université Sétif, 69p.
- Belfakih M, Mohammed I et Abdelmjid Z, 2013-** Effet de la salinité sur la paramètres morpho-physiologiques de deux variétés de bananier « grande naine » et « petite naine » et leur nutrition minérale au Maroc. Journal of Applied Biosciences 63: 4689 – 4702.
- Ben Kaddour M, 2014-** Modification physiologique chez des plantes de blé (*Triticum durum*, Desf) exposées à un stress salin. Thèse de Doctorat. Université Annaba, 74 p.
- Ben Yahmed, 2013-** Etude des propriétés de tolérance au déficit hydrique et au stress salin de génotypes appartenant au genre *Poncirus* et au groupe des mandariniers. Thèse de Doctorat. Université Montpellier, 178p.
- Benhamdi A, 2014-** Etude des enzymes de stress oxydatif chez *Hedysarum pallidum* Desf. et *Lygeum spartum L.* en réponse à pollution du sol par l'antimoine. Thèse de Doctorat. Université Constantine, 82p.
- Benmahioul B, Daguin F et Kaid-Harche M, 2009-** Effet du stress salin sur la germination et la croissance in vitro du pistachier (*Pistacia vera L.*). C.R biologies 322: 752-758.

Références bibliographiques

- Bouakez D et Hamadouche I, 2015** - Effet du stress hydrique au stade de germination sur la croissance de quelque génotype du blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mémoire de Master. Université Constantine, 47p.
- Bouatrous Y, 2013**- Effet du stress salin et l'haplo diploïdisation chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Thèse de Doctorat. Université Rennes 1, 129p.
- Bouchelaghem S, 2012**- Contribution à l'étude de l'impact d'un engrais couramment utilisé en Algérie (NPK) sur la croissance, le métabolisme et le développement racinaire d'un modèle végétal: blé dur (*Triticum durum* Desf.). Thèse de doctorat. Université Annaba, 106p.
- Bouhabila I, 2016**- Effet du stress salin sur l'expression de deux facteurs de transcription chez la luzerne annuelle *Medicago truncatula* : cas du NAC969 et du BHLH32. Mémoire de Master. Université Constantine, 41p.
- Boukortt Y, 2016**- Effet de la salinité sur les caractéristiques physico-chimiques d'un sol du périmètre du bas cheliff et sur le comportement écophysologique de la courgette (*Cucurbita pepo*). Mémoire de Magister. Université Mostaganem, 81p.
- Boumdouha S et Krim K, 2019**- Quelques caractères physiologique et morphologique de tolérance de blé dur (*Triticum durum* Desf.) de deux génotypes (Waha et GTA) à la salinité. Mémoire de Master. Université M'sila, 48p.
- Bouzi S, 2009**- Étude de l'effet de la salinité et de la présence du molybdène sur le comportement écophysologique de deux variétés de plantes de l'espèce *Phaseolus vulgaris* L). Mémoire de Magistère, Université Constantine, 178p.
- Chamekh Z, 2010**- Analyse de la réponse de quelques génotypes de blé dur (*Triticum turgidum ssp durum*) à la contrainte saline dans trois Gouvernorats du centre de la Tunisie. Mémoire de Master, Université Tunisie, 58p.
- Dehni A, 2018**- Télédétection de la salinité des sols à l'aide des techniques de traitement d'image satellitaires – Application à la région d'Oran. Thèse de Doctorat. Université d'Oran, 196p.
- Dilmi K et Marhoune S, 2019**- Effet de la salinité sur la Germination et la croissance de quelques variétés de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) introduites et cultivées en Algérie. Mémoire de Master. Université M'sila, 73p.
- Douib A, 2013**- Contribution à l'étude de quelques marqueurs physiologiques de tolérance au déficit hydrique chez le blé dur : taille de semences en tant que critère de sélection. Mémoire de Magister. Université Annaba, 106p.

Références bibliographiques

- El Madidi S, El baroudi B et Bani Aameur F, 2003-** Variation de la tolérance à la salinité chez l'orge pendant la germination et la croissance des plantes. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 23: 109-115.
- Elmeddah N et Kassous A, 2016 -** Effet du stress salin sur la croissance et la solubilisation du phosphate par des rhizobactéries . Mémoire de Master. Université Mostaganem, 70p.
- Elouail D et Bachar L, 2017-** Lutte contre le stress salin chez 7 variétés de blé (dur et tendre) par intrant microbien : cas d'une souche (*Bacillus* sp.). Mémoire de Master., Université Djelfa, 71p.
- Farissi F, Aghire M, Bouizgaren A, Bargaz A, Makoudi B et Ghoulam C, 2014-** Growth, nutrients concentrations and enzymes involved in plants nutrition of alfalfa populations under saline conditions. *J. Agr. Sci. Tech.* (2014)16:301-314.
- Ferras K, 2015-** L'efficience d'utilisation de l'eau pluviale chez des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) en environnement semi-aride. Mémoire de Magister. Université Sétif, 80p.
- Fetilina F et Helis R, 2017-** Etude des caractères d'adaptation du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au stress abiotique. Mémoire de Master. Université Djelfa, 85p.
- Gouasmi R et Badaoui N, 2017–** Etude biochimique de l'influence du séchage sur la valeur nutritionnelle de deux variétés de blé dur Algériennes (Boussalem, Simeto). Mémoire de Master. Université Khemis Miliana, 61p.
- Haddad L, Bouzerzour H, Benmahammed A, Zerargui H, Hannachi A, Bachir A, Salmi M, Oulmi A, Fellahi Z, Nouar H, and Laala Z, 2016 –** Analysis of genotype ×environment interaction for grain yield in early and late sowing date on Durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes. *Jordan Journal of Biological Sciences*. 9: 139-146.
- Hamel L, 2010 -** Appréciation de la variabilité génétique des blés durs et des blés apparentés par les marqueurs biochimiques. Mémoire de Magister .Université Constantine, 70p.
- Haouala F, Ferjani H et Hadj S B, 2007-** Effet la salinité sur la répartition cation (Na^+ , K^+ , Ca^{2+}) et du chlore (Cl) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent. *Biotechnol. Agron. Soc. Envir.* 11: 235-244.
- Hemmami I et Ben Ali H, 2018-** La culture du quinoa dans la région d'Oued Souf vis-à-vis le problème de la salinité d'étude morpho physiologique. Mémoire de Master. Université El Oued, 83p.
- Kadri A et Midoun N, 2015 -** Effet du stress salin sur quelques paramètres biochimiques de la luzerne cultivée (*Medicago sativa* L.). Mémoire de Master. Université Ouargla, 71p.

Références bibliographiques

- Kara Y et Bellkhiri C, 2011-** Etude des caractères d'adaptation au déficit hydrique de quelques variétés de blé dur et d'espèces sauvages apparentées: intérêt potentiel de ces variétés pour l'amélioration de la production. *Courrier du savoir*, 11: 119- 126.
- Khouildat A et Benzahi A, 2014-** Dosage de la proline pour une espèce halophyte dans deux biotopes différents. Mémoire de Licence. Université Ouargla, 17p.
- Lahouel H, 2014 -** Contribution à l'étude de l'influence de la salinité sur le rendement des céréales (cas de l'orge) dans la région de Hemadna à Relizane. Mémoire de Master. Université Tlemcen, 104p.
- Lemekeddem H et Debbache, 2014-** Synthèse bibliographique sur l'effet du stress salin sur la germination de blé. Mémoire de Licence. Université Ourgala, 32p.
- Mahrouz F, 2013 -** Effet du stress salin sur la croissance et la composition chimique de l'*Atriplex canescens*. Mémoire d'ingénieur d'Etat. Université d'Ouargla, 57p.
- Marlet S et Jop J.O, 2006-** Processus et gestion de la salinité des sols. In: *Traité d'irrigation* Seconde édition. Ed : Tiercelin J.R. et Vidal A, Tec & Doc Lavoisier.
- Marweni H, 2015-** Effet de l'irrigation par l'eau magnétisée sur la tomate. Mémoire de Licence. Université Sfax, 38p.
- Mazouz L, 2006-** Etude de contribution des paramètres phénol-morphologiques dans l'adaptation du blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans l'étage bioclimatique semi-aride. Mémoire de Magister. Université Batna, 81p.
- Mermoud A, 2006-** Cours de physique du sol. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. 30p.
- Mihoub A, 2009-** Effet de la fertilisation phosphatée sur la nutrition azotée et la productivité d'une culture de blé dur (*Triticum durum* L. var. *carioca*) (dans la région d'El- Goléa-Ghardaia). Mémoire d'Ingénieur d'Etat. Université Ourgla, 91p.
- Mostefaoui W et Mohamadi A, 2019-** Etude de la diversité morphologique de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf). Mémoire de Master. Université M'sila, 37p.
- Munns R. 2002-** Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* 25: 239-250
- Noomene H, 2011-** Etude de la salinité des sols par méthode de détection électromagnétique dans le périmètre irrigué de kalaçât Landalous en Tunisie : cas d'une parcelle de courge. Mémoire de Master, Université Manouba, Tunisie.
- Ouared R, 2016-** Etude de la variabilité de doses d'apports d'azote aux stades : tallage et début floraison sur deux variétés de blé dur (Boussalem, Simeto) dans les conditions agro-pédologiques de la région de Tiaret. Mémoire de Master. Université Mostaganem, 50p.

Références bibliographiques

- Oudjani W, 2009** - Diversité de 25 géotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) : étude des caractères de production et d'adaptation. Mémoire de Magister. Université Constantine, 131p.
- Ramel F, 2009**- Implication des sucres solubles dans les réponses aux stress xénobiotique et oxydatif chez *Arabidopsis thaliana*. Thèse de Doctorat. Université Constantine, 199p.
- Sadouki M et Boutouchent Y, 2017**- Etude de la variabilité morpho-physiologique du blé dur (*Triticum durum* Desf) dans les conditions climatique du haut Chélif. Mémoire de Master. Université Khemis Miliana, 46p.
- Sali Y et Ben Riche C, 2018**- Etude comparative de quelques variétés de blé tendre oasien sous système traditionnel. Mémoire de Master. Université Adrar, 58p.
- Sanah M, 2015**- Inventaire des maladies fongiques sur les céréales dans la région de Constantine. Mémoire de Master. Université Constantine, 60p.
- Selami F et Meddour Z, 2016**- Effet du stress salin sur la germination des graines de quelques plantes spontanées sahariennes (*Retama retam*, *Genista saharae* *Asphodelus tenuifolius* et *Oudneya africana*). Mémoire de Master. Université Ouargla, 57p.
- Shilpi M et Narendra T, 2005**- Cold, salinity and drought stresses: an overview. Archives of Biochemistry and Biophysics. 444 (2) : 139-158.
- Siou D, 2013**- Développement épidémique de la fusariose des épis de blé et conséquences des interactions entre espèces du complexe fusarien. Thèse de Doctorat. Université Paris, 153p.
- Tadrent F, 2017**- Dosage de la proline et la glycine bêtaïne chez quatre variétés de lentille (*Lens culinaris*. L) sous stress salin. Mémoire de Master. Université Constantine, 34p.
- Tahraoui S, 2015**- Effet des sels solubles sur la production de la biomasse et l'absorption des éléments minéraux chez l'orge(*Hordium vulgare*) et le blé dur (*Triticum durum*). Mémoire de Magister. Université Biskra, 150p.
- Terrones G et Burny P, 2012**- Evolution du marché mondial du blé au cours des cinquante dernières années (Minnesota). Rapport
- Tirane A et Khaldi S, 2017**- Effet du stress salin sur les réponses physiologiques et biochimiques chez certaines variétés de blé dur et tendre. Mémoire de Master. Université Djelfa, 64p.
- Lounes Y et Guerfi A, 2010**- Contribution à l'étude du comportement agronomique de 27 nouvelles variétés de blé dur en vue de leur inscription au catalogue officiel national. Mémoire d'ingénieur d'Etat. Université Tizi Ouzou, 92p.

ملخص:

- مساهمة في تقييم تأثير الإجهاد الملحي على الاستجابات البيئية و الفيزيولوجية لدى القمح الصلب . *Triticum*

-*durum Desf*

يهدف هذا العمل إلى تقييم تأثير الملوحة على بعض المعايير الفيزيولوجية البيئية في صنفين من القمح الصلب، أحدهما محلي "محمد بن بشير" والآخر مستورد "GTA-Dur". كان مقرراً دراسة تأثير خمسة تركيزات ملحية من كلوريد الصوديوم: 0 ، 86 ، 172 ، 258 و 344 ملي مول على بعض المعايير الفسيولوجية (الوزن ، الطول، المحتوى المائي) والكيميوحيوية (كميات البرولين، الأصبغة اليخضورية و السكريات القابلة للذوبان إضافة الى تقدير النشاطات الانزيمية المضادة للأوكسدة ممثلة بانزيمي CAT و GPOX). إلا أنه وللأسف الشديد فقد تم تعليق الجزء التطبيقي من هذا العمل وبسبب وباء كوفيد 19. اتضح من خلال أبحاث سابقة أن الإجهاد الملحي في معظم الأنواع النباتية، يتمظهر في شكل تغيرات فسيولوجية مثل نقص الوزن، وكيميوحيوية مثل تراكم البرولين والسكريات المعقدة الذاتية وزيادة النشاطية الإنزيمية المضادة للأوكسدة.

الكلمات المفتاحية: قمح صلب ، محمد بن بشير ؛ GTA-Dur ، الاستجابات الفسيولوجية والكيميوحيوية.

Summary:

Contribution to the evaluation of salt stress effect on ecophysiological responses in durum wheat (*Triticum durum* Desf.)

This work aims to evaluate the effect of salinity on some ecophysiological parameters in two varieties of durum wheat, one local "Mohamed Ben Bachir" and the other introduced "GTA-Dur".

It was programmed to study the influence of five NaCl concentrations: 0, 86, 172, 258 and 344 mM on the physiological (weight, length, water content) and biochemical parameters (proline, chlorophylls, soluble sugars and antioxidant enzymatic activities: CAT and GPOX). Nevertheless, and because of the Covid 19 pandemic, the practical part of this work has been, unfortunately, suspended. According to previous researches, salt stress in most plant species results in physiological changes such as weight reduction and biochemical changes such as the accumulation of proline and total soluble sugars and the increase in antioxidant enzyme activities.

Keywords: Durum wheat, Mohamed Ben Bachir, GTA-Dur, physiological and biochemical responses.

Résumé:

Contribution à l'évaluation de l'effet du stress salin sur les réponses écophysologiques chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.)

Ce travail vise à évaluer l'effet de la salinité sur certains paramètres écophysologiques chez deux variétés de blé dur, une locale « Mohamed Ben Bachir » et l'autre introduite « GTA-Dur ».

Il a été programmé d'étudier l'influence de cinq concentrations salines de NaCl: 0, 86, 172, 258 et 344 mM sur certains paramètres physiologiques (poids, longueur, teneur en eau) et biochimiques (proline, chlorophylles, sucres solubles et activités enzymatiques antioxydantes : CAT et GPOX). Néanmoins, et à cause de la Pandémie Covid 19, la partie pratique de ce travail a été ; malheureusement, suspendue.

Selon les recherches antérieures, le stress salin se traduit chez la plupart des espèces végétales par des modifications physiologiques comme la réduction du poids et biochimiques comme l'accumulation de la proline et des sucres totaux solubles et l'augmentation des activités enzymatiques antioxydantes.

Mots clés : Blé dur, Mohamed Ben Bachir, GTA-Dur, réponses physiologiques et biochimiques.