



DEPARTEMENT DE BIOLOGIE

FILIERE : BIOTECHNOLOGIE VEGETALE POUR L'AMELIORATION
DES PLANTES

MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDE POUR L'OBTENTION DU
DIPLOME DE MASTER

*Sélection des génotypes tolérants au stress salin
pendant la germination, la croissance, et le
développement chez le blé dur (Triticum turgidum
subsp., durum Desf.)*

Présenté Par :

KENZA STIRA

Soutenu le 10 Février 2021 devant le jury:

Pr. Zine El Abidine TRIQUI.....Modérateur
Professeur à la Faculté des Sciences de Rabat

Pr. Abdelghani CHAKHCHAR..... Examineur
Professeur à la Faculté des Sciences de Rabat

Pr. Jalila BENJELLOUN.....Encadrante
Professeur à la Faculté des Sciences de Rabat

Pr. Fatima HENKRAREncadrante
Professeur Assistant à la Faculté des Sciences de Rabat

Dr. Sripada UDUPAEncadrant
Biotechnologist- Généticien INRA/ICARDA-Rabat

Dr. Driss IRAQIEncadrant
Directeur de Research, Biotechnologie Unit, INRA -Rabat

Année Universitaire : 2019-2021



DEPARTEMENT DE BIOLOGIE

FILIERE : BIOTECHNOLOGIE VEGETALE POUR L'AMELIORATION
DES PLANTES

MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDE POUR L'OBTENTION DU
DIPLOME DE MASTER

*Sélection des génotypes tolérants au stress salin
pendant la germination, la croissance, et le
développement chez le blé dur (Triticum turgidum
subsp., durum Desf.)*

Présenté Par :

KENZA STIRA

Soutenu le 10 Février 2021 devant le jury:

Pr. Zine El Abidine TRIQUI.....Modérateur
Professeur à la Faculté des Sciences de Rabat

Pr. Abdelghani CHAKHCHAR..... Examineur
Professeur à la Faculté des Sciences de Rabat

Pr. Jalila BENJELLOUN.....Encadrante
Professeur à la Faculté des Sciences de Rabat

Pr. Fatima HENKRAREncadrante
Professeur Assistant à la Faculté des Sciences de Rabat

Dr. Sripada UDUPAEncadrant
Biotechnologist- Généticien INRA/ICARDA-Rabat

Dr. Driss IRAQIEncadrant
Directeur de Research, Biotechnologie Unit, INRA -Rabat

Année Universitaire : 2019-2021

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Mes parents Monsieur **Stira** et Madame **Rhazi** qui m'ont apporté beaucoup de soutien tout le long de ma vie avec leurs encouragements pour ne jamais baisser les bras, et de tenter ma chance même s'il y'a le risque d'échec. Ils m'ont apporté de l'aide durant les moments difficiles, je vous aime énormément.

Dieu le tout puissant, qui m'a donné la santé et la force pour réaliser ce travail.

Ma sœur **Kaoutar** qui m'apporte de la joie et de la bonne humeur dans mon quotidien, sans son existence ma vie n'aurait aucun sens, je t'aime énormément.

Mes amis chacun par son nom, avec qui j'ai partagé des moments inoubliables qui m'ont marquée à jamais.

Enfin, je dédie ce mémoire à tous les instituteurs, les professeurs et enseignants qui ont contribué à la réussite de ce travail.

Remerciements

À l'issue de ce travail, je tiens à remercier le bon Dieu qui m'a donné la force et le courage pour terminer ce travail.

Je voudrais exprimer ma sincère gratitude à mon encadrante académique, professeur Pr. **BENJELLOUN Jalila**, pour sa supervision, ses conseils, sa disponibilité, sa gentillesse, et sa participation à ce projet de fin d'étude. Je vous prie de bien vouloir trouver ici le témoignage de ma gratitude très reconnaissante.

Mes vifs remerciements s'adressent à mon encadrante externe Dr. **HENKRAR Fatima** qui m'a énormément aidé pour l'accomplissement de ce travail, par ses conseils, sa patience, son orientation scientifique, sa gentillesse, son grand cœur, et ses encouragements.

J'aimerais également remercier sincèrement le Dr. **UDUPA Sripada** pour sa supervision et pour avoir suivi ce travail patiemment, pour sa compréhension, Je vous prie de bien recevoir ici le témoignage de ma gratitude très reconnaissante.

Je remercie sincèrement le Dr **IRAQI Driss** pour sa supervision et sa mise à disposition d'installations à l'INRA-Maroc, ces conseils, et sa disponibilité. Qu'il trouve ici l'expression de ma reconnaissance.

Je remercie également tous **les professeurs** du « Master de biotechnologie végétal pour l'amélioration des plantes », je tiens à vous exprimer ma profonde gratitude pour leurs encouragements, leur compréhension et leur partage des connaissances. Un seul mot merci.

Mes remerciements vont également au **personnel de l'unité Biotechnologie** de l'ICARDA et de l'INRA, pour leur gentillesse et leur aide inconditionnelle.

Mes vifs remerciements vont également aux **membres du jury**, devant lequel j'ai l'honneur de présenter ce travail.

Et enfin, je tiens à remercier les différentes personnes qui ont participé de loin ou de près à la réussite de ce travail.

Résumé

La salinité représente une grave menace pour l'agriculture notamment celle des céréales, entraînant une inhibition et une altération de la germination, la croissance, et le développement. Le blé dur (*Triticum durum Desf*) étant une céréale très consommée dans le monde, nous l'avons choisi pour mener notre étude. Dans la présente expérience, un test germinatif a été effectué pour 70 génotypes montrant un taux de germination élevé, et ils ont été utilisés pour le test de salinité. Ce test a été réalisé sous différents niveaux de salinité (NaCl 45, 90, 135 mM). Ces derniers seraient exposés à différentes niveaux de stress pour ainsi déterminer leur degré de tolérance au sel. Afin d'aboutir à cet objectif, un nouveau protocole expérimental a été mené pour développer une méthode efficace de screening de la tolérance du blé au sel. Dans un premier temps, nous avons réussi à déterminer la concentration médiane LC50 (45mM) sur 4 génotypes seulement, ensuite nous avons soumis les 70 génotypes choisis à des concentrations salines croissantes ; 0, 45, 90, 135 mM de NaCl, ce qui a permis d'évaluer leur degré de tolérance pendant le stade de croissance et développement. Dans un deuxième temps, nous avons évalué le taux de chlorophylle, la taille de la plante et le nombre des feuilles sèches pour les 70 génotypes. Les résultats obtenus ont montré que les concentrations élevées de NaCl entraîneraient une réduction du taux de germination, de la teneur de la chlorophylle, de la taille de la plante, ainsi qu'une augmentation du nombre de feuilles sèches, et la mort des génotypes les plus sensibles. Le test de screening de tolérance au sel au cours de la germination reste peu efficace, par contre il est fiable durant le stade de croissance et de développement de la plante. La caractérisation phénotypique durant cette étude, a montré que certains génotypes étaient tolérants, alors que d'autres étaient sensibles au stress salin. Les données sur la tolérance au stress salin pourraient être utiles pour choisir les cultures possédant le plus grand potentiel de production dans les eaux très salines.

Mots clés : Blé dur, Germination, Croissance et développement, Tolérance à la salinité

Abstract

Salinity is a serious threat to agriculture, especially cereal, causing inhibition and alteration of germination, growth and development. Durum wheat (*Triticum durum* Desf) is a widely consumed cereal in the world, we chose it to conduct our study. In the present experiment, a germination test was performed for 70 genotypes showing a high germination rate were used for salinity test. This test was conducted under various salinity levels (NaCl 45, 90, 135 mM). It would be exposed to different levels of stress to determine their degree of salt tolerance. In order to achieve this objective, a new experimental protocol was carried out to develop an effective method for screening the salt tolerance of wheat. In a first step, we succeeded in determining the median concentration LC50 (45mM) on only 4 genotypes, then we submitted the 70 selected genotypes to increasing salt concentrations; 0, 45, 90, 135 mM NaCl, which allowed us to assess their degree of tolerance during the growth and development stage. In a second step, we evaluated the chlorophyll level, the plant size and the number of dry leaves for the 70 genotypes. The results obtained showed that high NaCl concentrations would lead to a reduction in germination rate, chlorophyll content, plant size, an increase in the number of dry leaves, and the death of the most sensitive genotypes. The salt tolerance screening test during germination is not very effective, but it is reliable during the growth and development stage of the plant. Phenotypic characterization during this study showed that some genotypes were tolerant, while others were sensitive to salt stress. The data on tolerance to saline stress could be useful in selecting crops with the greatest production potential in highly saline waters.

Key words: Durum wheat, Germination, Growth and development, Salinity tolerance

Table de matière

Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Liste des annexes	
Introduction	1
CHAPITRE I : Revue bibliographique	4
1 Généralité sur le blé dur	4
1.1 Historique et répartition géographique du blé dur	4
1.2 Origine génétique du blé	4
1.3 Classification du blé dur	6
1.4 Morphologie et histologie du blé dur	7
1.4.1 Morphologie du blé dur	7
1.4.2 Le grain du blé dur	10
1.5 Cycle de développement du blé dur	12
1.6 Exigences du blé dur	17
1.6.1 Exigences climatiques	17
1.6.2 Exigences édaphiques	18
1.7 Valeur économique du blé dur	19
2 Effet de la salinité sur le blé dur	21
2.1 Notion de stress	21
2.2 Type de stress	22
2.2.1 Stress biotique	22
2.2.2 Stress abiotique	22
2.3 Salinité et stress salin	23
2.4 Effet de la salinité sur la germination, la croissance et le développement	24
2.4.1 Germination	24
2.4.2 Croissance et développement	24
2.5 Mécanismes de tolérance	25
2.5.1 Contrôle de l'absorption et du transport du sodium	25
2.5.2 Perception et transduction du stress salin	27
2.5.2.1 Perception du stress salin	27
2.5.2.2 Transduction du stress salin	28
2.5.2.2.1 Voie de signalisation Salt Overly Sensitive (SOS)	28
2.5.2.2.2 Voie de signalisation par l'acide abscissique (ABA)	29
2.5.2.2.3 Voie de signalisation Mitogen-Activated Protein Kinase (MAPK)	31
2.5.2.2.4 Voie de signalisation par la variation du pH cytoplasmique	33
2.6 Réponses de la plante à la salinité	33

2.6.1	Homéostasie ionique cellulaire.....	33
2.6.1.1	Compartimentation du sodium dans les vacuoles	34
2.6.1.2	Exclusion cytoplasmique du sodium.....	34
2.6.2	Ajustement osmotique.....	35
2.6.2.1	Accumulation de la proline.....	36
2.6.2.2	Accumulation de sucres solubles	36
2.6.2.3	Régulation de la croissance	36
2.7	Mécanismes d'adaptation à la salinité	37
2.7.1	Mécanismes d'adaptation morphologique.....	37
2.7.1.1	Réduction de la surface foliaire	37
2.7.1.2	Développement du système racinaire.....	37
2.7.2	Mécanismes d'adaptation physiologique et biochimique.....	38
2.7.2.1	Synthèse des antioxydants	39
2.7.2.2	Teneurs en chlorophylle	39
2.7.2.3	Régulation stomatique.....	39
	Chapitre II : Partie Expérimentale	43
1	Matériel et méthodes	43
1.1	Matériel végétal utilisé.....	43
1.2	Dispositif expérimental.....	43
1.2.1	Première expérience : Détermination de la concentration létale médiane de sel LC50	43
1.2.2	Deuxième expérience : Détermination des génotypes tolérants et sensibles pendant la germination, la croissance, et le développement.....	44
1.2.2.1	Dosage de la chlorophylle	45
1.2.2.2	La Taille de la plante et le nombre des feuilles sèches.....	45
1.2.2.3	Analyse statistique	47
2	Résultats	47
2.1	Première expérience : Détermination de la concentration létale médiane de sel LC50	47
2.2	Deuxième expérience : Détermination des génotypes tolérants et sensibles pendant la germination, la croissance, et le développement de la plante	51
3	Discussion.....	60
	Conclusion.....	62
	Perspectives	63
	Référence bibliographique	64
	Annexes.....	80

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification botanique du blé (Kalarasse, 2018).....	7
Tableau 2 : Nombre de graines germées (sur 50) pour quatre variétés de blé dur sous différentes concentrations de sel.	48
Tableau 3 : L'analyse de la variance à un facteur pour le taux de chlorophylle.....	53
Tableau 4 : Analyse de la comparaison multiple (test Post Hoc) du taux de chlorophylle	54
Tableau 5 : ANOVA multifactorielle pour le taux de chlorophylle.....	55
Tableau 6 : L'analyse de la variance pour la taille de la plante et le nombre des feuilles sèches.....	55
Tableau 7 : Le test de comparaison multiple DUNCAN des moyennes du taux de chlorophylle pour les 70 génotypes du blé dur dans la concentration NaCl (135 mM)	58

Liste des figures

Figure 1 : Phylogénie du blé (Salmi, 2015).....	5
Figure 2 : Caryotypes de trois espèces de blé (Salmi, 2015).....	6
Figure 3 : Appareil végétatif du blé (Attab, 2014).....	8
Figure 4 : Structure d'un épi et épillet du blé (Lemekeddem et Debbache, 2014)	9
Figure 5 : Fleurs et graine (caryopse) de blé (Mekaoussi, 2015).....	10
Figure 6 : Coupe longitudinale d'un grain de blé (Gouasmi et Badaoui, 2017).....	11
Figure 8 : Evolution de la production mondiale de blé au cours des années (FAOSTAT, 2018).....	19
Figure 9 : Les dix premiers producteurs de blé dans le monde (FAOSTAT, 2018).	20
Figure 10 : Production et importation de céréales (blé, orge, maïs) au Maroc 2000-2018 (ONICL, 2018)	21
Figure 11 : Points de contrôle et régulation du transport des sels au niveau de la plante (Chamekh, 2010).	27
Figure 12 : Induction des voies de signalisation et de régulation de l'homéostasie ionique par la voie SOS (Osmane, 2009).	29
AKT: Arabidopsis K ⁺ Transporter 1, CAX1: H ⁺ /Ca ²⁺ exchanger 1, HKT1: High-affinity K ⁺ Transporter 1, NHX1: Na ⁺ /H ⁺ exchanger 1, PPase: pyrophosphatase, SOS: Salt Overly Sensitive. V-ATPase: Adénosine tri-phosphate ase vacuolaire.	
Figure 13 : Induction des voies de signalisation et régulation de l'homéostasie ionique (Manchanda et Garg, 2008).....	31
Figure 14 : Voie de signalisation Mitogen-Activated Protein Kinase (MAPK) (Danquah et al., 2014).	32
Figure 15 : La compartimentation vacuolaire des ions Na ⁺ au niveau foliaire (Almeida et al, 2017). ..	34
Figure 16 : Ouverture et fermeture des stomates (Renaud, 2015)	41
Figure 17 : Système de plantation utilisé	44
Figure 18 : Les 12 traitements utilisés pendant l'expérience	45
Figure 19 : Etape de dosage de la chlorophylle a et b	46
Figure 20 : Germination des variétés Icamor et Nax1 aux concentrations de sel 0, 60, et 105 (mM). ..	47
Figure 21 : Régression linéaire du nombre de graines germées (sur 50) sous différents niveaux de salinité de quatre variétés de blé dur.	49
Figure 22 : GGE biplot des 4 variétés du blé dur dans 8 concentrations NaCl.	50
Figure 23 : Apparence des plants de blé soumis au stress salin. Témoin (A), 45 mM (B), 90 mM (C) et 135 mM (D).....	51
Figure 24 : Hauteur de la plante de deux génotypes, une tolérante (A), et une sensible (B), sous le stress salin. Contrôle (1), 45 mM (2), 90 mM (3) et 135 mM (4).....	52
Figure 25 : Evolution des moyennes du nombre de la teneur en chlorophylle (A), de la taille de la plante (B), des feuilles sèches (C) en fonction de la concentration en sel.	56
Figure 26 : Relation entre les paramètres sous stress salin en fonction des génotypes. Les génotypes sont marqués par le numéro de variété.....	57

Liste des abréviations

ABA	Acide Abscissique
ABI	Protein phosphatases type 2C (PP2Cs) ABA-INSENSITIVE 1
ATPase	Adenosine triphosphatase
AtrbohD et AtrbohF	Arabidopsis respiratory burst oxidase homologue protein D et F
CAT	Catalases
HKT1	High affinity K ⁺ transporter
HKT, HAK et KUP	K ⁺ uptake permease transporters
ICARDA	International Center for Agricultural Research in the Dry Areas ou Le Centre International de Recherche Agricole dans les zones Aride
INRA	Institut national de la recherche agronomique à Rabat
LC	Concentration létale
MAPK	Mitogen-Activated Protein Kinases
NADP	Nicotinamide Adénine Dinucléotide Phosphate
NHX1	Sodium/hydrogen exchanger 1
QS	Quorum sensing
ROS	Reactive oxygen species
SOD	Superoxydes dismutase
SOS	Salt Overly Sensitive
WUE	Water-use efficiency

Liste des annexes

N°	Titre	Page
1	Les variétés finales utilisé dans le traitement salin	80
2	Composition et préparation des solutions.	83
3	Nombres de feuilles sèches et taille de la plante pour les 70 génotypes dans la concentration 0 et 135 mM	84
4	Le taux de chlorophylle des différentes variétés dans les différentes concentrations de sel.	87

Introduction

Le blé est considéré comme l'une des cultures céréalières les plus importantes dans le monde, a tendance à être appelé le roi des céréales. Il fait partie de la famille des Poacées, consommé depuis des siècles.

En effet, le blé est connu chez l'homme depuis ses débuts, où il a été introduit dans plusieurs pays dans le monde. Il a aussi marqué le temps de l'histoire, par sa morphologie, sa physiologie, son mode de reproduction, son cycle de développement, ses différentes variétés, avant d'être présenté sous sa forme actuel.

Comme toutes les cultures, le blé dur possède des exigences climatiques, comme les besoins en eau, en lumière, et en température, également des exigences édaphiques notamment la nature du sol. Il est nécessaire de connaître ses exigences pour assurer un bon développement et un excellent rendement de l'espèce et aussi de développer des méthodes de lutte contre les maladies infectieuses et les ravageurs.

De point de vue économique, le blé dur occupe une place très importante dans le marché, que ce soit au niveau international où la production ne cesse d'augmenter et atteint presque 772 millions sur 218 hectares de la superficie totale récoltées (**Bourizq, 2019**), ou encore au niveau national avec une production totale de blé de 10,2 millions (**Bouichou et al, 2019**). La consommation des céréales au Maroc dépend toujours de l'importation, en particulier du blé et de l'orge.

Cependant, le stress abiotique (chaleur, froid...) et le stress biotique (champignons, virus...) constituent une grande limite de la production et du développement du blé, qui peuvent agir ensemble ou individuellement. La salinité est un stress biotique majeur qui affecte et inhibe la fertilité des sols et la croissance des céréales, et donc réduit le rendement des cultures.

Le sel présent dans l'eau d'irrigation ou dans le sol, provoque des dégâts qui se manifestent à plusieurs niveaux, tels que l'aspect morphologique et l'état physiologique. Effectivement, il cause un retardement de la germination, réduit l'énergie de cette dernière, ainsi que le nombre et la durée d'émergence des plantules, la croissance végétative, la densité des plantes, le stade de croissance et du développement (maturité, floraison...). Les effets de la salinité varient selon l'espèce, l'intensité du stress et la durée d'application.

Evidemment, la survie des plants de blé et leur capacité à terminer le cycle de développement dans les conditions salines, dépendrait de leur degré de tolérance au sel et leurs modalités d'adaptation, qui diffèrent d'une espèce à une autre, et d'un stade de croissance à un autre.

Certaines plantes poussent dans des environnements à hautes concentrations salines, à cause de la présence de différents mécanismes de tolérance et d'adaptation, d'autres sont cultivées dans des zones non salines et sont sensibles au sel. En l'occurrence, la réponse de la plante au stress salin reste complexe.

Les plantes tolérant le sel mettent en œuvre des mécanismes d'adaptations, qui se traduisent par des changements morphologiques, physiologiques et biochimiques. Ces changements comprennent des augmentations du rapport racine / environnement, de la teneur en chlorophylle, des modifications dans l'anatomie des feuilles pour prévenir la plante de la toxicité des ions foliaires, et des réductions de l'apport en eau afin de limiter sa perte et de maintenir le processus de la photosynthèse.

Ainsi, l'objectif principal de cette étude est de comparer le comportement de différents génotypes de blé dur, sous conditions salines, depuis le stade de germination qui est l'étape la plus critique, jusqu'au stade de la maturation complète. Pour aboutir à cet objectif, trois étapes ont été réalisées :

- i) Définir la concentration létale médiane LC50 de sel qui peut être utilisée efficacement pour cribler les plantes pendant la germination des graines
- ii) Identifier les variétés tolérantes et sensibles pendant la germination, la croissance et le développement.
- iii) Evaluer les différents changements biochimiques et morphologiques des plantes soumises aux divers concentrations de salinité.

Chapitre I :

Revue

Bibliographique

CHAPITRE I : Revue bibliographique

1 Généralité sur le blé dur

1.1 Historique et répartition géographique du blé dur

Durant le Néolithique, il y'a environ 12 000 ans, l'agriculture a pris naissance et a marqué l'histoire de l'humanité. En effet, la communauté chasseurs-cueilleurs a évolué vers l'agriculture et la sédentarisation (**Ardisson, 2019**).

La culture du blé est parmi les premières cultures connues par l'homme, il y'a environ 10 000 à 15 000 ans avant J.C (**Ben Kaddour, 2014**). Le blé dur ou l'amidonner sauvage, *Triticum turgidum ssp dicoccoides*, est considéré comme l'espèce ancestrale à l'origine de la domestication (**Ardisson, 2019**).

L'espèce *Triticum durum* s'est différenciée dans trois centres différents qui sont (**Messaâdi et Samaï, 2016**) :

- ✓ Le bassin occidental de la Méditerranée.
- ✓ Le sud de la Russie.
- ✓ Le Proche Orient.

Par la suite, ces centres ont donné naissance à des groupes de variétés qui se distinguent par des caractéristiques phénologiques, morphologiques et physiologiques (**Messaâdi et Samaï, 2016**).

Les pratiques culturelles évoluent continuellement, ce qui permet de sélectionner des populations de blé plus performantes donnant un meilleur rendement tout en s'adaptant aux conditions environnementales et aux pratiques culturelles (**Ardisson, 2019**).

1.2 Origine génétique du blé

Les espèces de blé se distinguent par leur degré de ploïdie (**Salmi, 2015**) :

- Blés diploïdes : génome AA
- Blés tétraploïdes : génomes AA et BB
- Blés hexaploïdes : génomes AA, BB et DD

Elles se différencient aussi par le nombre de chromosomes (14, 28 ou 42). De plus, leurs natures

polyploïdes auraient aussi apporté un succès à leurs domestications (Salmi, 2015).

En effet, plusieurs espèces de ploïdie appartiennent au genre *Triticum* qui est un exemple classique d'allo polyploïdie (Salmi, 2015).

L'origine génétique des espèces de blé reste très complexe et incomplète. Il a été démontré que le génome A vient de l'espèce *Triticum monococcum*, le génome B vient de l'espèce *Aegilops* (*A. bicornis*, *A. speltoides*, *A. longissima* ou *A. searsii*), et le génome D vient de l'espèce *Aegilops squarrosa* (également dénommé *T. tauschii*) (Salmi, 2015).

Ainsi, le croisement naturel *T. monococcum* (porteur du génome A) × *Aegilops* (porteur du génome B) a donné un blé dur sauvage avec un génome AABB (*T. turgidum* ssp. *dicoccoides*), qui a évolué vers *T. turgidum* ssp. *dicoccum* puis vers *T. durum* qui est un blé dur cultivé (Salmi, 2015) (Figure 1).

Ensuite, le croisement entre l'espèce *T. durum* (porteur de génome AABB) et l'espèce *Aegilops tauschii*, ont donné naissance à l'espèce *T. aestivum* qui a une constitution génomique de nature AABBDD (Salmi, 2015) (Figure 1).

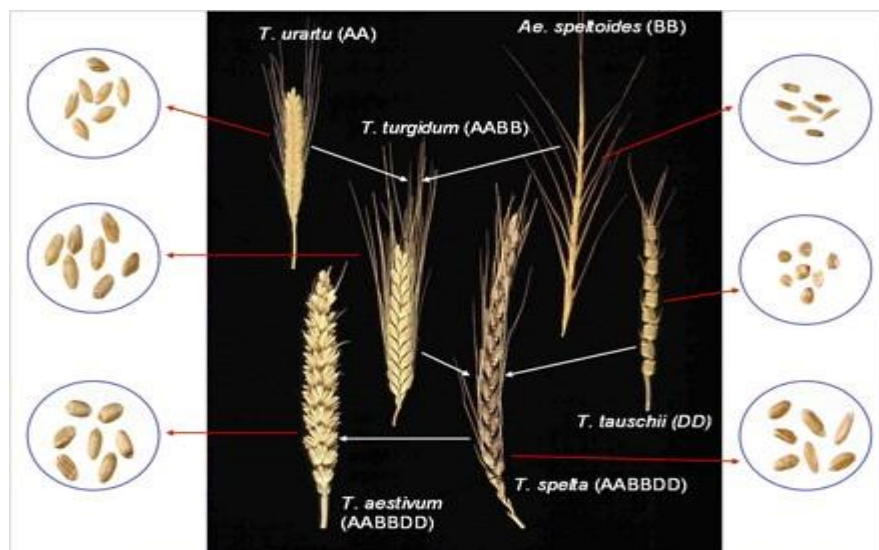


Figure 1 : Phylogénie du blé (Salmi, 2015).

Selon les études cytogénétiques, il y'a différents blés qui formaient une série allo polyploïde avec $X=7$ (Salmi, 2015). Plus tard, des observations cytologiques ont été réalisées

pour classer les chromosomes de trois différentes espèces de blé et d'établir leurs caryotypes (Salmi, 2015) (Figure 2).

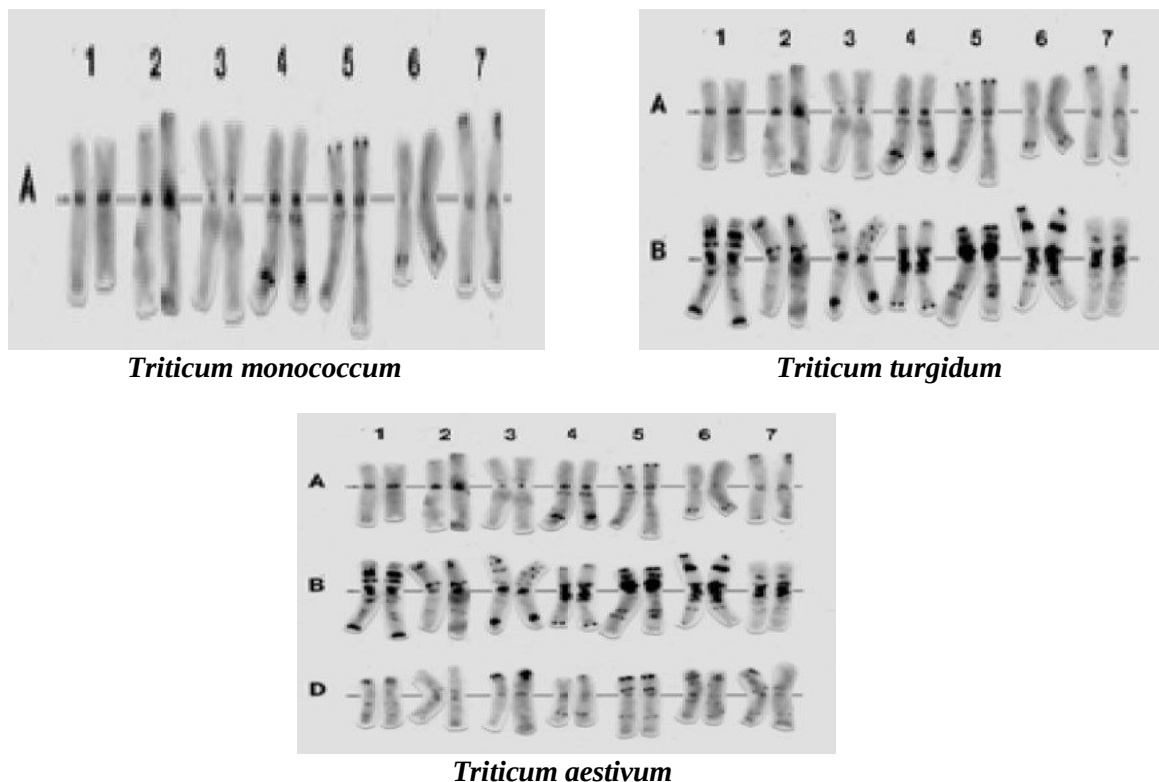


Figure 2 : Caryotypes de trois espèces de blé (Salmi, 2015)

1.3 Classification du blé dur

Le blé est une Angiosperme, Monocotylédone. Il appartient à l'ordre des Poales, famille des Poacées appelée aussi graminées (Zegrar, 2014).

Cette famille rassemble 600 genres et plus de 5000 espèces (Zegrar, 2014).

Le blé est du genre *Triticum*. La classification botanique du blé dur est la suivante :
(Tableau 1)

Tableau 1 : Classification botanique du blé (Kalarasse, 2018)

Embranchement	Angiospermes
Sous embranchement	Spermaphytes
Classe	Monocotylédones
Ordre	Poale
Super ordre	Comméliniflorales
Famille	Poaceae
Tribu	Triticeae
Sous tribu	Triticinae
Genre et espèce	<i>Triticum turgidum subsp., durum Desf.</i>

1.4 Morphologie et histologie du blé dur

1.4.1 Morphologie du blé dur

Le blé dur est considéré comme étant une plante herbacée qui fait partie du groupe des céréales à pailles, dont l'appareil végétatif se distingue par certains critères importants (**Zegrany, 2014**) :

➤ L'appareil racinaire

Les racines sont de type fasciculé engendrant deux systèmes (**Benkrinah et al, 2018**) :

- ✓ **Un système primaire** présente des racines adventices et joue un rôle important dans la nutrition et le développement de la plante.
- ✓ **Un système secondaire** comporte des racines secondaires ou coronaires, qui émergent lorsqu'il y a ramification de la plante (le tallage). Les racines montrent plus bas, des nœuds qui sont presque au même niveau et constituent une touffe dense, c'est ce qu'on appelle plateau de tallage.

Le chaume et l'inflorescence prennent naissance à partir de la talle.

➤ L'appareil aérien

Il est constitué d'un certain nombre d'unités biologiques (**Labdelli, 2011**) : (**Figure 3**)

-**Talle** présentée par une tige feuillée appelée chaume, porte à son extrémité une inflorescence.

La première talle prend naissance à la base de la tige principale, à partir des bourgeons axillaires aux nœuds.

-**Feuilles** simples et relayées, s'allongent en montrant des nervures parallèles alternes ou distiques.

-**Gaine** caractérisée par une membrane mince et transparente (ligule) contenant deux appendices latéraux (oreillettes).

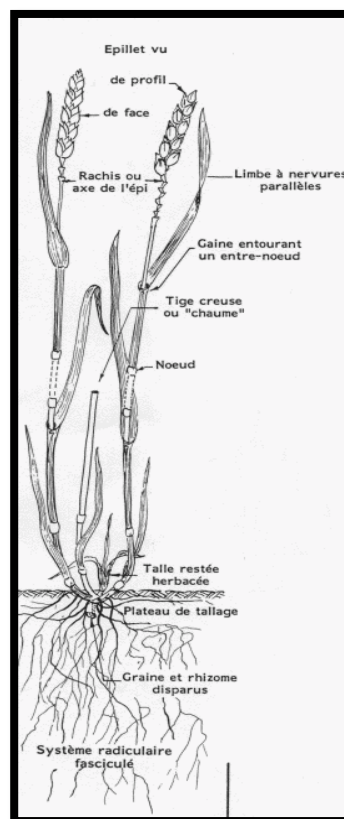


Figure 3 : Appareil végétatif du blé (Attab, 2014)

➤ L'appareil reproducteur

Le blé est considéré comme étant une plante de type monoïque, se reproduit par voie sexuée et par autofécondation (Ainaoui et Lafala, 2016).

Les Poacées se distinguent par des fleurs parfaites regroupées en inflorescences appelées épillets (Ainaoui et Lafala, 2016) (Figure 4).

-Épillet est une petite grappe composée d'une à cinq fleurs enveloppées chacune par deux glumelles supérieure et inférieure. La grappe se trouve entre deux bractées appelées glumes (**Boumdouha et Krim, 2019**) (**Figure 4**).

-Epi provient du bourgeon du plateau de tallage, il s'élève au fur et à mesure que la tige s'allonge, c'est ce qu'on appelle « la montaison ». Il se compose d'une tige pleine ou ce qu'on appelle rachis avec des intervalles réguliers portant à son tour à droite et à gauche un épillet (**Benkrinah et al, 2018**) (**Figure 4**).

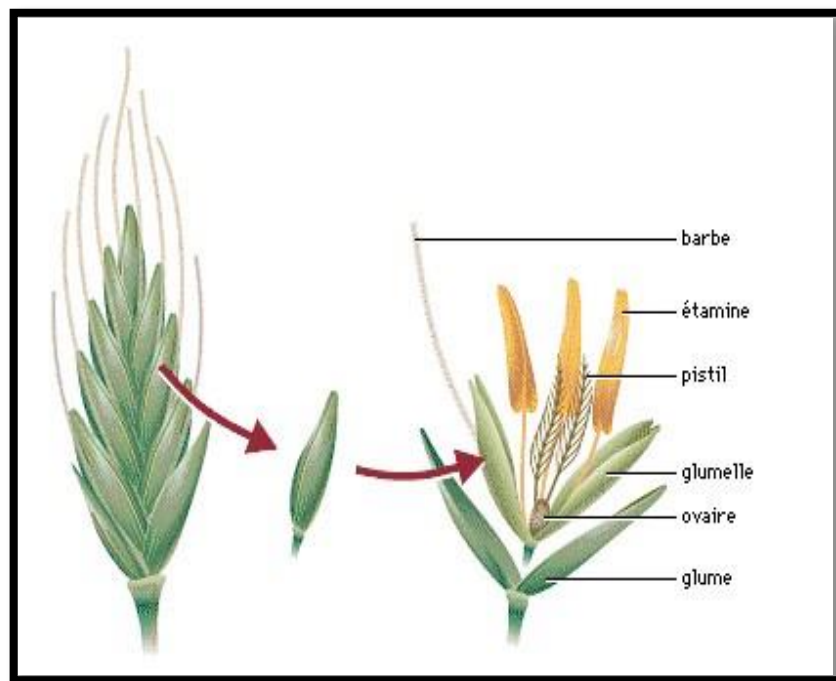


Figure 4 : Structure d'un épi et épillet du blé (Lemekeddem et Debbache, 2014)

-Fleur est de petite taille et sans éclat visible (**Benkrinah et al., 2018**). Elle comprend trois étamines à anthère en forme de X (**Figure 5**), un ovaire qui contient un seul carpelle avec deux stigmates plumeaux (**Kalarasse, 2018**).

Le blé est considéré comme étant une plante autogame (**Benkrinah et al., 2018**).

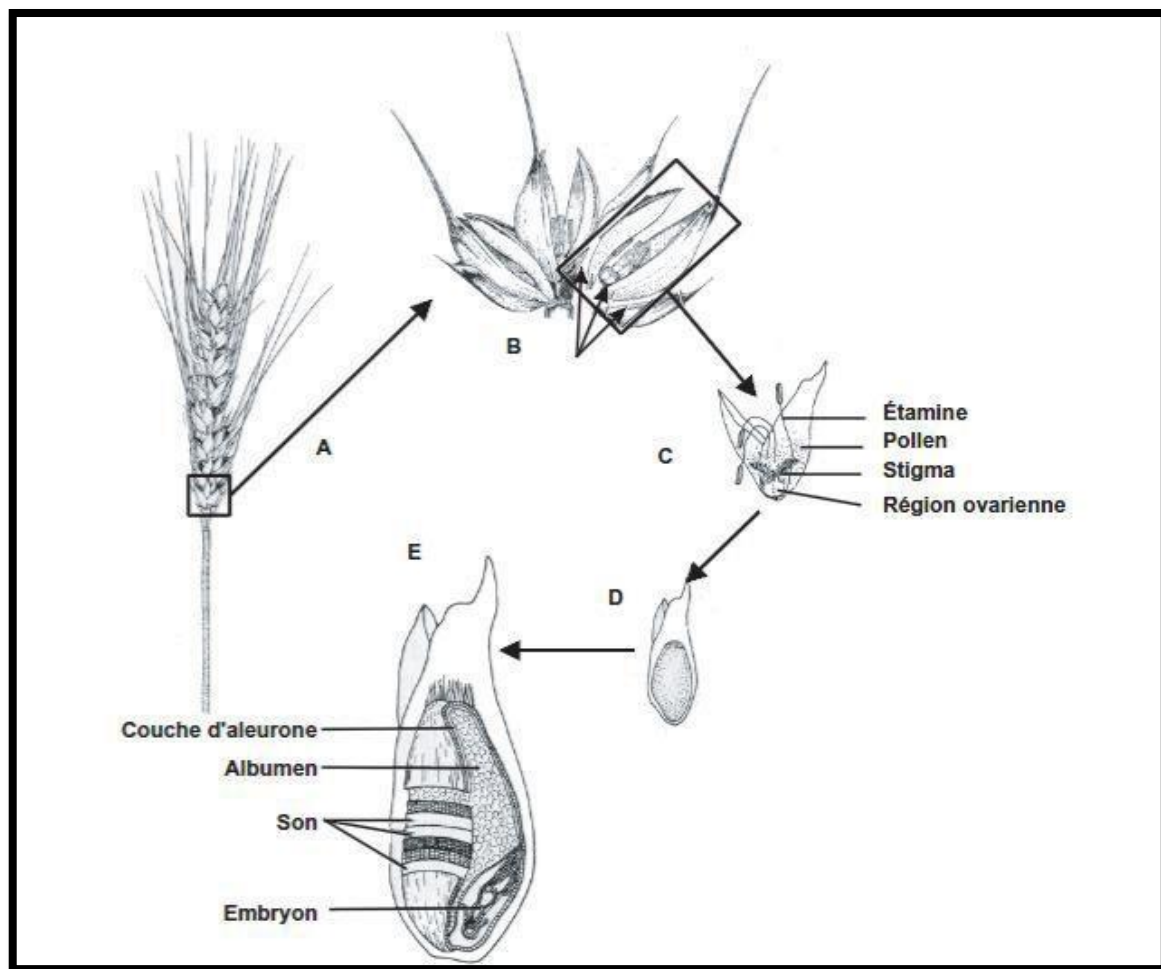


Figure 5 : Fleurs et graine (caryopse) de blé (Mekaoussi, 2015).

- A.** Epi composé de plusieurs épillets possédant plusieurs fleurs ; **B.** Epillet à trois fleurs ;
C. Composantes d'une fleur ; **D.** Jeune caryopse ; **E.** Fruit mature (caryopse).

1.4.2 Le grain du blé dur

Le fruit de toutes les graminées est appelé caryopse, c'est un fruit sec indéhiscant dont les téguments de la graine sont soudés au péricarpe (**Gouasmi et Badaoui, 2017**).

De point de vue histologique, le grain de blé dur comprend trois parties (**Gouasmi et Badaoui, 2017**) : (**Figure 6**)

➤ Les enveloppes

Elles sont riches en protéines, matières minérales, vitamines, et pigments qui reflètent la couleur des grains. Aussi, elles sont de nature cellulosique (14% à 16% de la masse du grain) assurant la protection du grain (**Gouasmi et Badaoui, 2017**).

Les enveloppes se composent de trois groupes de téguments soudés (**Gouasmi et Badaoui, 2017**) : (**Figure 6**)

✓ Le **péricarpe** appelé aussi tégument du fruit, est composé de trois assises cellulaires :

- Epicarpe protégé par la cuticule et les poils.
- Mésocarpe composé de cellules transversales.
- Endocarpe formé par des cellules tubulaires.

✓ Le **testa** autrement dit tégument de la graine, possède deux couches de cellules.

✓ L'**épiderme du nucelle** se trouve sur l'albumen sous-jacent.

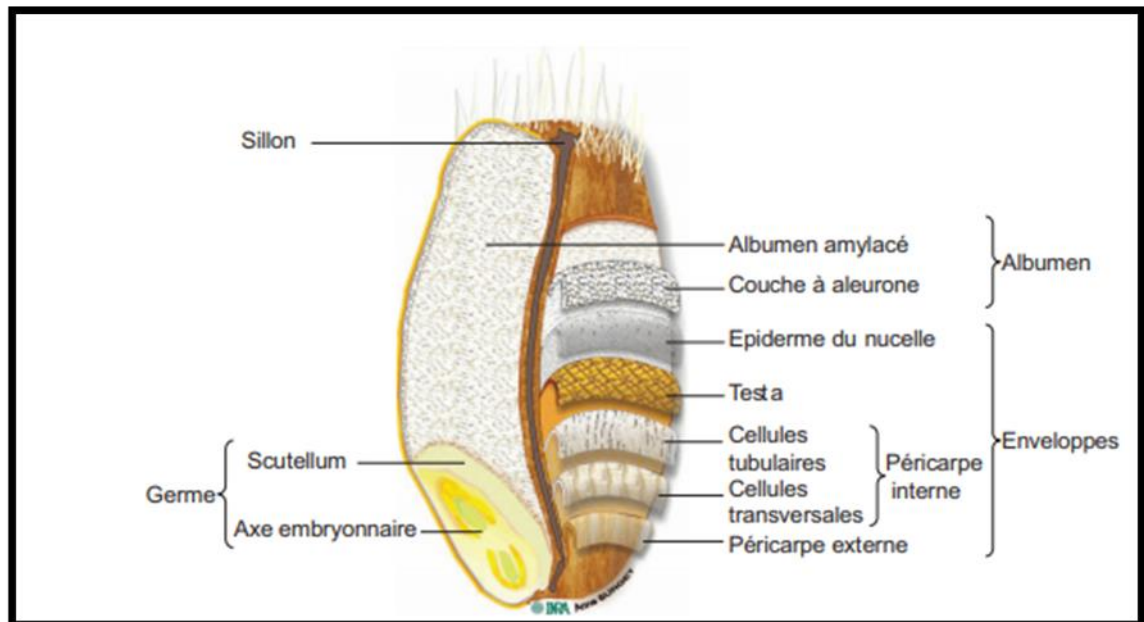


Figure 6 : Coupe longitudinale d'un grain de blé (Gouasmi et Badaoui, 2017).

➤ **L'endosperme**

L'endosperme appelé aussi amande ou albumen, est constitué de petits grains d'amidon, réserves jouant un rôle important dans la nutrition de la plante lors de la germination. Ces granules d'amidon comptent parmi le réseau protéique (gluten) (**Gouasmi et Badaoui, 2017**) (**Figure 6**).

➤ **Le germe (embryon)**

Le germe provient de la fusion des gamètes mâles et femelles. C'est l'ébauche de la futur plante, riche en protéines, albumines, lipides, minéraux, sucres solubles, et vitamines, il se compose de deux parties (**Nedjah, 2015**) :(**Figure 6**)

- ✓ **La plantule** ou ce qu'on appelle la future plante.
- ✓ **Le cotylédon** qui contient des réserves assurant la nutrition de la plantule.

1.5 Cycle de développement du blé dur

Le blé est une plante autogame, la fécondation se déroule à l'intérieur de glumelles, avant que les étamines ne sortent à l'extérieur. Le cycle végétatif se déroule en deux périodes, la période végétative et la période reproductrice, et chacune de ces périodes comporte plusieurs phases (**Benkrinah et al, 2018**).

➤ La période végétative

✓ La germination

La germination (**Figure 7 (A)**) est une étape par laquelle la plantule qui est en vie ralentie dans la graine, entre en vie active et commence à se développer grâce aux réserves contenues dans la graine (**Foudili et Gasmi, 2017**).

Cette phase débute lorsque la graine commence à absorber de l'eau, ce qui aboutit à l'émergence du coléorhize (**Foudili et Gasmi, 2017**).

Ensuite, les racines séminales et la coléoptile vont apparaître, permettant la sortie de la première feuille fonctionnelle (**Siouda et Benkhelifa, 2016**).

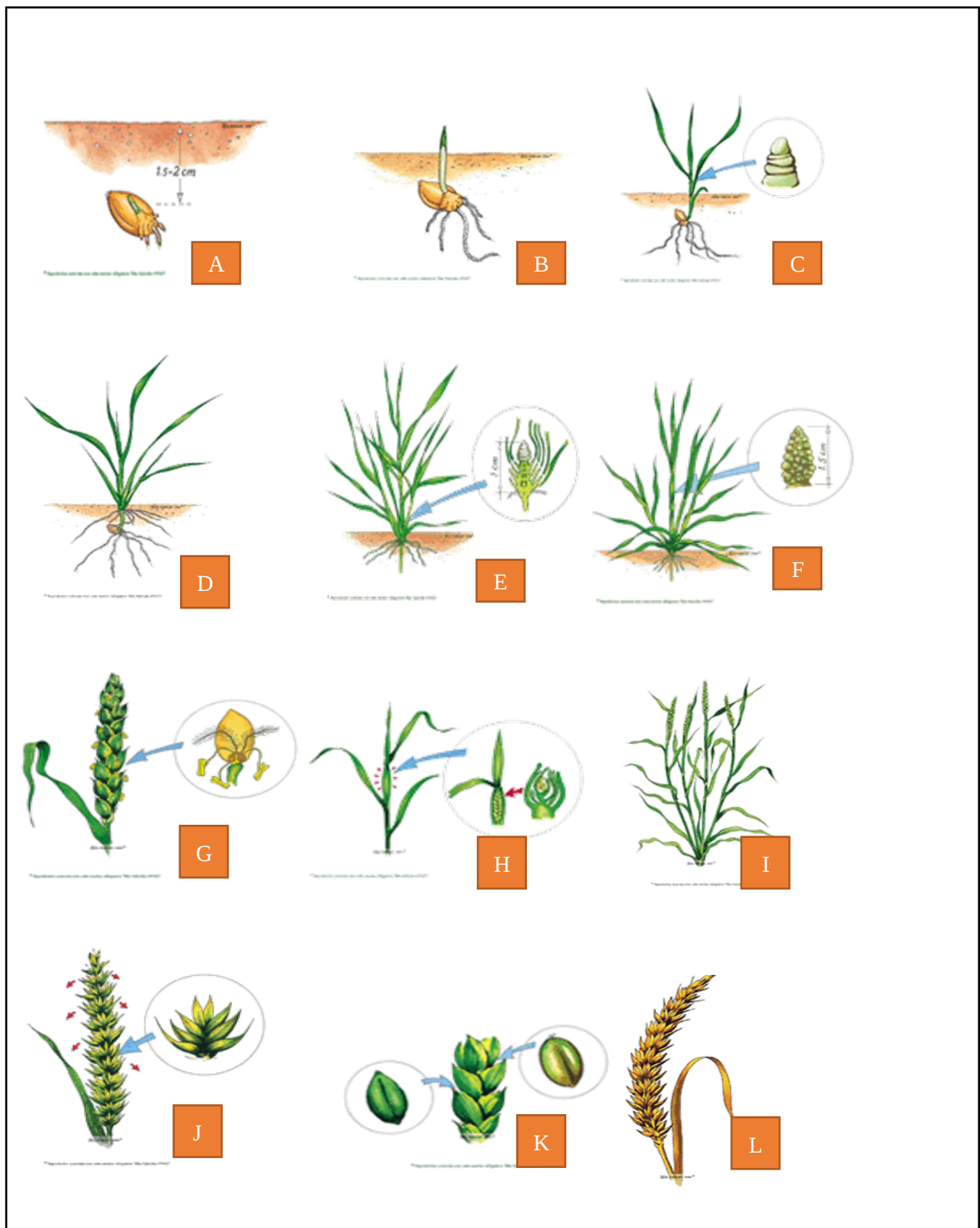


Figure 7 : Cycle de développement du blé (Zidi, 2010)

A : Germination du blé, B : La levée du blé, C : Stade trois feuilles du blé, D : Stade début du tallage chez le blé, E : Stade épi 1cm chez le blé, F : Stade un nœud chez le blé, G : Méiose pollinique chez le blé, H : Stade épiaison chez le blé, I : Floraison chez le blé, J : Bâillement, K : Grain formé, L : Épi à maturité

✓ La levée

Cette phase indique la naissance de la première feuille qui traverse la coléoptile (**Figure 7 (B)**), elle se déroule selon comme suit (**Aissani, 2013**) :

- En fin de germination, la semence entre en vie active, ceci se traduit par un début de croissance de l'embryon.
- La coléoptile s'allonge, elle est le premier organe du système aérien à apparaître à la surface du sol.
- La première feuille qui perce la coléoptile et continue sa croissance.

✓ Stade 2-3 feuilles

Ce stade se distingue par l'élaboration des feuilles, les ébauches foliaires (**Figure 7 (C)**) émergent les unes après les autres, et se mettent en position alternée de la base jusqu'au tiers médian de l'apex (**Aissani, 2013**).

✓ Stade début du tallage

Ce stade se caractérise par la sortie de la première talle hors de la gaine de la première feuille (**Figure 7 (D)**). En effet, la plante ici possède trois à quatre feuilles, de plus il y a apparition d'une nouvelle tige (**Aissani, 2013**).

✓ Stade plein tallage

Ce stade correspond au développement en même temps de deux ou trois talles, à partir des bourgeons situés à l'aisselle des feuilles des talles primaires (talles secondaires), c'est ce qu'on appelle le stade plein tallage (**Aissani, 2013**).

✓ Stade épi à 1 cm

Ce stade montre l'allongement de la tige principale (**Figure 7 (E)**) et des talles les plus âgées suite à l'élongation des entre-nœuds empilés sous l'épi (**Aissani, 2013**).

✓ Stade 1-2 nœuds

C'est l'apparition de deux nœuds au moment où les deux premiers entre-nœuds (**Figure 7 (F)**) sont visibles à la moitié de la base de la tige principale. Ainsi, la tige qui était courte et nouée, composée de nœuds empilés, finit par s'allonger (**Aissani, 2013**).

➤ La période reproductrice

✓ La méiose pollinique

La méiose pollinique appelée également la méiose male a lieu lorsque le sommet de l'épi atteint la ligule de la dernière feuille (**Boufelfel et Selmani, 2016**) (**Figure 7 (G)**).

En ce qui concerne le blé, très souvent la méiose pollinique se déroule 10 jours avant l'épiaison (**Boufelfel et Selmani, 2016**).

✓ Stade épiaison

L'épiaison se caractérise par le dégagement du sommet de l'épi de la dernière gaine. Durant ce stade, l'épi atteint sa longueur définitive et la formation des organes floraux s'achève (**Boufelfel et Selmani, 2016**) (**Figure (H)**).

✓ Stade floraison

Il se distingue par l'ouverture des glumelles des fleurs et l'élaboration des sacs polliniques, des étamines, des anthères ouvertes, et des stigmates qui se dessèchent par la suite (**Boufelfel et Selmani, 2016**) (**Figure 7 (I)**).

✓ Formation du grain

Pour assurer sa formation le grain passe par trois phases (**Delattre, 2017**) : (**Figure 7 (J), (k), (L)**)

- **Phase grain laiteux** : l'endosperme connaît des divisions cellulaires, les cellules se différencient en cellules de stockage d'amidon par la synthèse d'amyloplast (structures cellulaires spécialisées).

- **Phase grain pâteux** : elle correspond au de remplissage du grain. Les cellules se remplissent de manière dominante par des sucres emmagasinés sous forme d'amidon.
- **Maturité physiologique** : lorsqu'il n'y a plus de migration de matière sèche vers le grain, c'est en ce moment que la maturité physiologique commence, et le poids sec du grain devient définitif. Après cela, le grain se dissèque et devient dur pour arrêter de croître à la fin, en termes de grain.

1.6 Exigences du blé dur

1.6.1 Exigences climatiques

✓ Eau

Les besoins en eau chez le blé dur dépendent de son cycle de développement et des différentes phases qui le constituent. Ainsi, la consommation d'eau chez le blé dur est répartie comme suit (Merouche, 2015) :

- **En phase épi 1cm – 2 nœuds** : l'alimentation en eau dure 20 à 25 jours et elle est de 60 mm
- **En phase 2 nœuds – floraison** : la consommation d'eau est d'environ 160 mm et prend 30 à 40 jours.
- **En phase floraison – grain laiteux** : les besoins en eau demandent 20 à 25 jours et ils sont de 140 mm
- **En phase grain laiteux – maturité** : une moyenne de 90 mm suffit pour une période de 15 à 20 jours.
-

En général, pour que le blé assure un bon rendement, il lui faut entre 450 à 650 mm de précipitations annuelles seraient favorables, et cela dépend du climat et de la durée du cycle végétatif (Bachir Bey et Soumatia, 2015).

✓ Température

Les graines de blé nécessitent une somme approximative de température pour germer de 80°C à 122°C. Ainsi, plus la température moyenne est élevée, plus la durée de germination est courte

(Lounis, 2017).

Par ailleurs, la demande du blé dur en température est comme suit (Lounis, 2017) :

- **Phase tallage** : Elle débute à partir de 2°C à 3°C et s'accroît entre 15°C à 19°C.
- **Phase montaison** : l'optimal pour cette phase se situe entre 16°C et 18°C.
- **Phase épiaison et floraison** : les deux phases demandent des températures entre 20°C et 22°C.

En outre, il faut choisir le bon moment de semis pour éviter tous dégâts causés par des températures critiques et précoces (Lounis, 2017).

✓ Lumière

La lumière est considérée comme étant un paramètre climatique qui entre dans le phénomène de la photosynthèse, les céréales à paille sont des plantes enC3 peu exigeantes en lumière (Merouche, 2015).

Ainsi, pour avoir un bon tallage, le blé doit être placé dans les conditions optimales d'éclairement. Une durée précise du jour (photopériodisme) est nécessaire pour la floraison et le développement des plantes (Gouasmi et Badaoui, 2017).

Souvent, le début de croissance nécessite une faible intensité lumineuse (500 à 1000 lux) avec une photopériode de 12 à 16 heures de lumière (Boukensous, 2014).

1.6.2 Exigences édaphiques

Un sol argilo-calcaire ou limoneux à limono argileux favorise l'enracinement chez le blé dur (Merouche, 2015).

Par contre un sol à texture légère et acide, ou renfermant de fortes teneurs en sodium, magnésium ou en fer, est néfaste pour la culture du blé dur (Merouche, 2015).

Une valeur de pH entre 6,5 et 7,5 semble être favorable pour les cultures de blé (Merouche,

2015).

Cependant, le blé dur est sensible au calcaire et à la salinité, en effet, le sel peut avoir une action défavorable sur le taux de germination, la croissance biologique et la production des grains (Merouche, 2015).

1.7 Valeur économique du blé dur

➤ À l'échelle internationale

La production mondiale du blé ne cesse d'augmenter afin de satisfaire le marché, elle s'élève à 772 millions de tonnes sur plus de 218 millions d'hectares de la superficie totale récoltée (Bourizq, 2019) (Figure 8).

Ainsi, en 2050, le monde aurait besoin d'un peu près 840 millions de tonnes de blé (Bourizq, 2019).

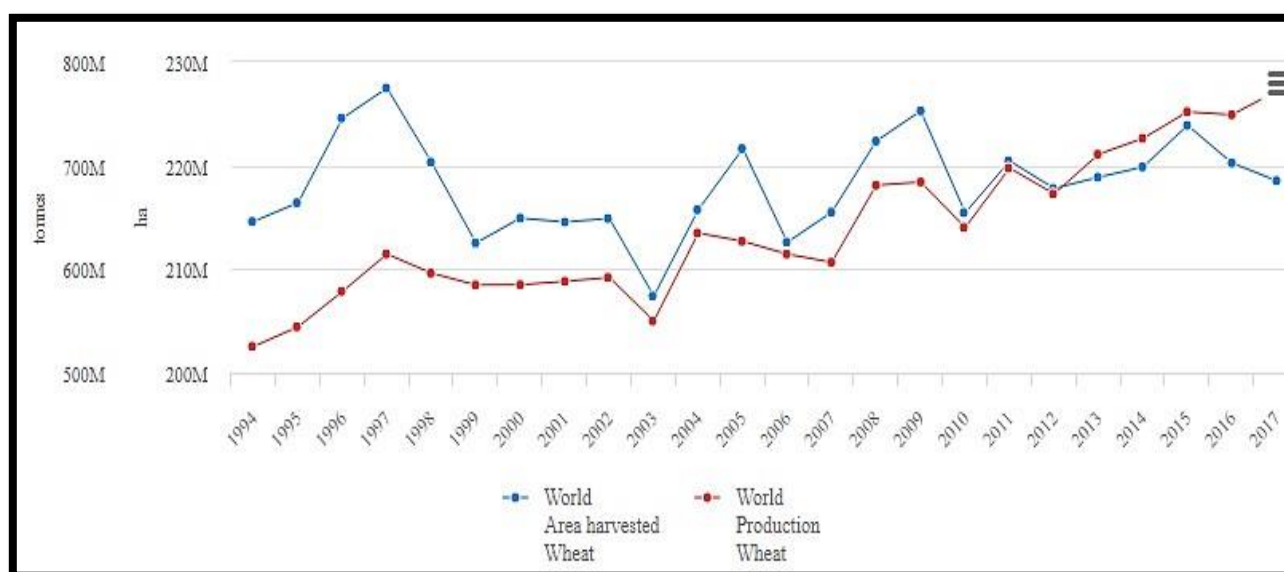


Figure 8 : Evolution de la production mondiale de blé au cours des années (FAOSTAT, 2018).

En 2017, la Chine a été classé premier pays producteur de blé avec 111 millions de tonnes de récolte. L'Inde occupe la deuxième position avec 77 millions de tonne, suivie par la Russie, la France, le Canada, l'Allemagne, l'Australie, Pakistan et la Turquie avec une production totale de près de 296,52 millions tonnes (Bourizq, 2019) (Figure 9).

L'Asie constitue la plus grande partie de la production de blé au niveau continental (43,5%), suivie de l'Europe (32,60%), des Amériques (17,1%) et de l'Afrique (3,3%) (**Bourizq, 2019**).

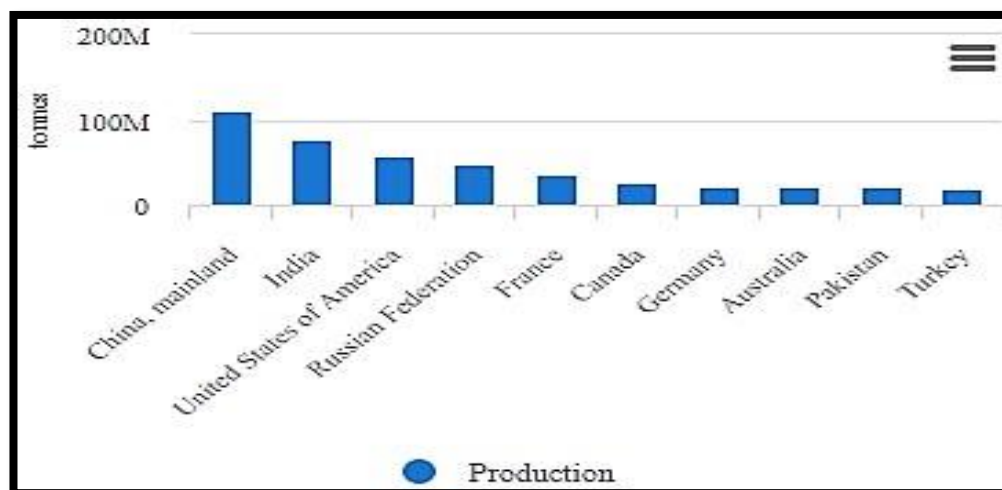


Figure 9 : Les dix premiers producteurs de blé dans le monde (FAOSTAT, 2018).

➤ À l'échelle nationale

Selon le ministère de l'agriculture, la pêche et les cultures céréalières jouent un rôle important dans l'économie marocaine (**Bouichou et al., 2019**).

En effet, le blé, l'orge, et le maïs occupent la première place dans la production céréalière, où ils ont atteint un niveau record de 11,5 millions de tonnes en 2014 et c'est une augmentation de 4,58 millions de tonnes par rapport à la moyenne des dix dernières années (**Bouichou et al., 2019**) (**Figure 10**).

Le taux de production moyen de 2000 à 2007 a été de 5,6 millions de tonnes, par contre celle de 2008 à 2017 s'est élevée à 16% soit 8,3 millions de tonnes. Ainsi, les statistiques montrent que la productivité des céréales n'a jamais été aussi importante qu'en 2017 (22,9 quintaux/ha) (**Bouichou et al., 2019**) (**Figure 10**).

Malgré les pluies tardives, presque 10,2 millions de tonnes de blé ont été récoltés en 2018 :

- ✓ 2,9 millions de tonnes d'orge
- ✓ 2,4 millions de tonnes de blé dur
- ✓ 4,9 tonnes de blé

En effet, la production céréalière de 2018 a dépassé la moyenne quinquennale de près de 25%, mais reste en dessous du record de 11,8 millions de tonnes de céréales récoltées en 2015 (Bouichou et al., 2019).

Comme dans d'autres pays du Maghreb, la consommation des céréales au Maroc reste toujours dépendante de l'importation de ce produit, en particulier le blé et l'orge. Ainsi, les importations de céréales en 2017/2018 ont atteint les 6,5 millions de tonnes soit 8 % de moins qu'en 2016/17 (Bouichou et al., 2019) (Figure 10).

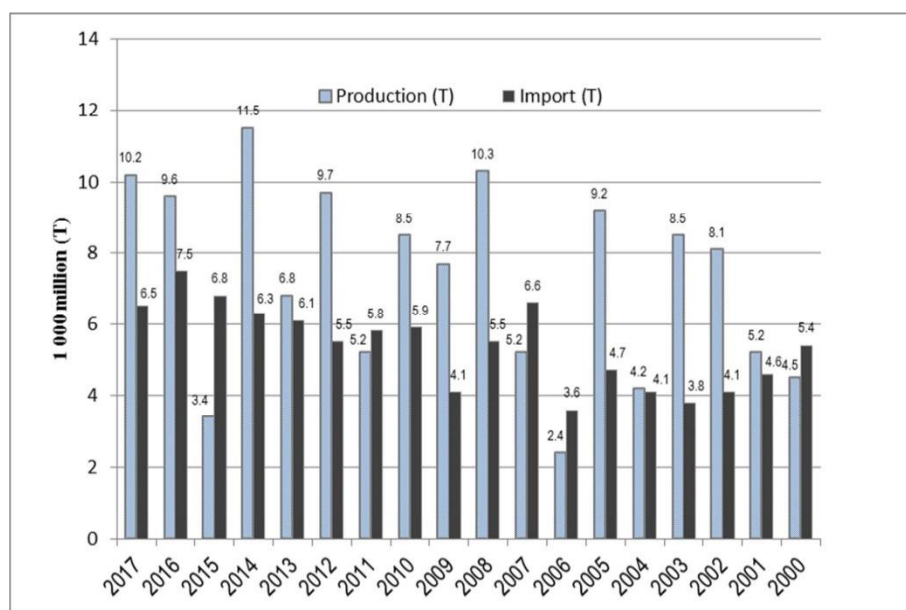


Figure 10 : Production et importation de céréales (blé, orge, maïs) au Maroc 2000-2018
(ONICL, 2018)

2 Effet de la salinité sur le blé dur

2.1 Notion de stress

Le stress est défini comme étant l'ensemble de perturbations biologiques causées par une agression quelconque sur un organisme. Il induit une contrainte défavorable sur l'organisme vivant. Par contre, lorsque le terme stress est employé en biologie végétale, il est considéré comme le (s) facteur (s) responsable (s) des perturbations et des changements brusques durant le développement de la plante (Amrouche et Mesbah, 2017).

En effet, le stress représente la déviation dans le développement et les fonctions normales des

plantes, il est repéré au niveau cellulaire puis transmis à la plante entière. Un réajustement d'états adaptés et un maintien du pouvoir de résistance aide la plante à se stabiliser et retourner à la normal (**Amrouche et Mesbah, 2017**).

2.2 Type de stress

En général, il y'a deux types de stress :

2.2.1 Stress biotique

Ce type de stress constitue une action défavorable d'un organisme vivant sur un autre organisme comme l'attaque d'un pathogène par exemple (**Fakih, 2015**).

Ces organismes peuvent être des champignons, des bactéries, des virus, des nématodes, et des insectes. Ils infectent les végétaux, ce qui affecte la croissance et le rendement et peuvent conduire à leur mort (**Fakih, 2015**).

Les facteurs biotiques représentent donc l'ensemble des influences qu'exercent les êtres vivants entre eux et sur le milieu (**Badraoui et Meziani, 2019**).

2.2.2 Stress abiotique

Le stress abiotique est déclenché par des facteurs environnementaux tels que la sécheresse, la température, l'excès d'eau, et la salinité. Ce type de stress est responsable des modifications chimiques ou physiques (**Badraoui et Meziani, 2019**).

Parmi les types de stress environnementaux, on cite :

➤ Stress hydrique

Ce genre de stress est une baisse ou un excès de la disponibilité de l'eau dans le milieu d'installation des cultures, il en résulte alors une réduction de la croissance de la plante et/ou de sa reproduction par rapport au potentiel du génotype. Le stress hydrique constitue un problème majeur dans beaucoup d'environnements arides et semi arides où les précipitations changent d'une année à l'autre, et où les plantes se trouvent dans des périodes longues de déficit hydrique (**Foudili et Gasmi, 2017**).

➤ Stress thermique

Le stress thermique est causé par des températures qui peuvent être hautes ou basses pendant un temps suffisant pour qu'elles engendrent des dégâts irréversibles sur le développement et le fonctionnement des plantes. Il peut être déclenché soit par **(Amrouche et Mesbah, 2017)**:

- ✓ Les températures basses ou élevées du jour ou de nuit.
- ✓ L'air chaud ou froid.
- ✓ Les températures élevées du sol.

Ainsi, la contrainte thermique reste un processus complexe qui est variable selon l'intensité (degré de la température), la durée et les taux d'augmentation ou de diminution de la température **(Amrouche et Mesbah, 2017)**.

➤ Stress salin

Il est défini comme étant une augmentation de la concentration en sels qui commence par un afflux plus élevé d'ions dans la cellule à cause de la chute du milieu externe, suivie d'une perte d'eau par voie osmotique. Ce type de stress se situe dans le milieu marin et terrestre **(Lemekeddem et Debbache, 2014)**.

2.3 Salinité et stress salin

La salinité est l'un des stress abiotiques les plus sévères qui atteignent la productivité des plantes en causant de graves dommages, dans certains cas elle peut conduire à leur perte **(Bourizq, 2019)**.

De ce fait, le stress salin est un facteur limitant provoqué par l'accumulation d'ions sodium (Na^+) et chlore (Cl^-) principalement dans le sol, en zones arides et semi-arides à cause des activités naturelles et anthropiques **(Bourizq, 2019)**.

En effet, la salinité touche actuellement 6% de la superficie terrestre et 20% de la superficie totales des terres arables, ce qui correspond à 800 millions d'hectares. De ce fait, elle constitue une grave menace sur la sécurité alimentaire mondiale. Par ailleurs, 50% des terres arables mondiales seraient affectées par le sel en 2050. Ainsi, la salinité atteint la structure du sol et

peut causer la réduction de la biodiversité, ce qui conduit à la transformation de la matière organique et la disponibilité des éléments nutritif, pour qu'à la fin, une terre fertile devient une terre non productive. Effectivement, les sols salins produits sont moins de 50% que les sols normaux. En revanche, les techniques de sélection génétique peuvent être bénéfiques dans l'amélioration des cultures face à ce type de stress (**Bourizq, 2019**).

2.4 Effet de la salinité sur la germination, la croissance et le développement

2.4.1 Germination

La germination est un processus très important dans le cycle de développement de la plante, elle favorise l'installation de cette dernière et sa productivité ultérieure. En l'occurrence, c'est le stade le plus sensible à la salinité. Cette dernière diminue la vitesse de germination et réduit le pouvoir germinatif. L'intensité de cet effet néfaste dépend de l'espèce ainsi que du degré du stress salin (**Tahraoui, 2016**).

L'effet dépressif de la salinité sur la germination du blé peut être de nature (**Boumdouha et Krim, 2019**) :

- ✓ **Osmotique** : la salinité inhibe l'absorption de l'eau, la mobilisation des réserves et leur transport vers l'embryon.
- ✓ **Toxique** : la salinité provoque une accumulation cellulaire de sels ce qui va perturber les enzymes en relation avec la physiologie des graines en germination, empêchant la levée de dormance des embryons, diminuant ainsi la capacité de germination.

Par ailleurs, les halophytes contiennent une teneur très élevée en sel dans leurs tissus au stade adulte, mais leurs graines ne sont pas aussi tolérantes au stade germinatif, c'est pour cela que la germination est considérée comme une étape déterminante pour la réussite de la croissance des plantes dans les milieux salés (**Tahraoui, 2016**).

2.4.2 Croissance et développement

Chez les céréales, l'effet du sel sur la croissance et le développement de la plante se manifeste à partir d'un seuil critique de concentration en sel, et cela dépendra de l'espèce (**Brahimi,**

2017).

La salinité du sol est considérée comme l'un des facteurs qui atteignent la production agricole dans les régions arides et semi arides, ainsi que l'agriculture pluviales et celle à irrigation de complément. En effet, lorsque les ions Na^+ et Cl^- s'accumulent dans les tissus végétaux, ils affectent l'assimilation des cations essentiels comme K^+ et Ca^{2+} . Par conséquent, une concurrence entre le Na^+ et le Ca^{2+} dans les sites de fixation apoplasmiques s'installe, il en résulte une réduction du taux de croissance et des activités fonctionnelles racinaires. Les conséquences de cet effet se traduisent par une réduction de la biomasse sèche, de la surface foliaire, de la longueur de racines, et un retard de tallage (**Brahimi, 2017**).

Chez le blé, la diminution de la surface foliaire est considérée comme la principale stratégie pour arriver à la limitation de la disponibilité de l'eau en conditions saline. Effectivement, le stress salin atteint l'activité physiologique de la feuille, et plus précisément la photosynthèse, qui constitue la cause principale de la diminution de la productivité végétale. Ainsi, lorsque la salinité augmente, les sels peuvent affecter le processus photosynthétique, ils peuvent aussi s'accumuler dans le cytoplasme et inhiber les enzymes impliquées dans le métabolisme des hydrates de carbone. De plus, un excès de sel provoque une réduction de l'allongement des organes aériens et leurs ramifications, inhibe la division et l'expression cellulaire, et limite les flux de carbone vers les méristèmes et les zones de croissance (**Benmakhlouf, 2018**).

Le stress salin peut aussi inhiber la biosynthèse des phytohormones, principalement l'acide gibbérellique et la kinétine qui jouent un rôle important dans la germination des graines. Par contre, l'acide abscissique est stimulé en conditions de stress (**Arif, 2015**).

2.5 Mécanismes de tolérance

Les mécanismes de tolérance à la salinité se déroulent à différents niveaux chez les plantes. En effet, le contrôle de l'absorption, du transport, et du stockage du sel se déroule dans les vacuoles, à l'échelle de la plante entière, ou encore dans les organes les moins sensibles (**Chamekh, 2010**).

2.5.1 Contrôle de l'absorption et du transport du sodium

La tolérance à la salinité chez les plantes varie selon leur capacité à contrôler l'absorption et le transport du sel. Chez le blé, ce contrôle est effectué à différents niveaux de la plante et selon les modalités suivantes (Chamekh, 2010) : (Figure 11)

✓ **Contrôle de l'entrée de Na^+ dans les cellules épidermiques et corticales des racines**

L'absorption du Na^+ et Cl^- se fait de l'exoderme à l'épiderme, alors que les flux apoplastiques commencent au niveau de l'endoderme. Ainsi, l'entrée initiale de Na^+ au niveau des racines est une étape importante dans les mécanismes de tolérance à la salinité.

✓ **Contrôle de l'entrée de Na^+ dans le xylème**

L'entrée des ions Na^+ dans les cellules se fait soit par des transporteurs à forte affinité de K^+ soit par des canaux de faible affinité appelés canaux cationiques non sélectifs (NSCC) qui ont une forte affinité de calcium Ca^{2+} .

✓ **Retrait du Na^+ de la sève du xylème**

Il s'effectue au niveau des pétioles ou des gaines foliaires, de la partie supérieure des racines, et de la partie inférieure des tiges.

✓ **Retranslocation de Na^+ dans le phloème**

Seules les espèces les plus tolérantes peuvent effectuer la retranslocation de Na^+ et Cl^- dans le phloème, ce qui empêcherait de transporter le sel jusqu'au tissu foliaire en pleine croissance.

✓ **Excrétion du sel sur la surface foliaire par les glandes**

Certaines espèces spécialement les halophytes possèdent des cellules spécialisées capables d'excréter le sel.

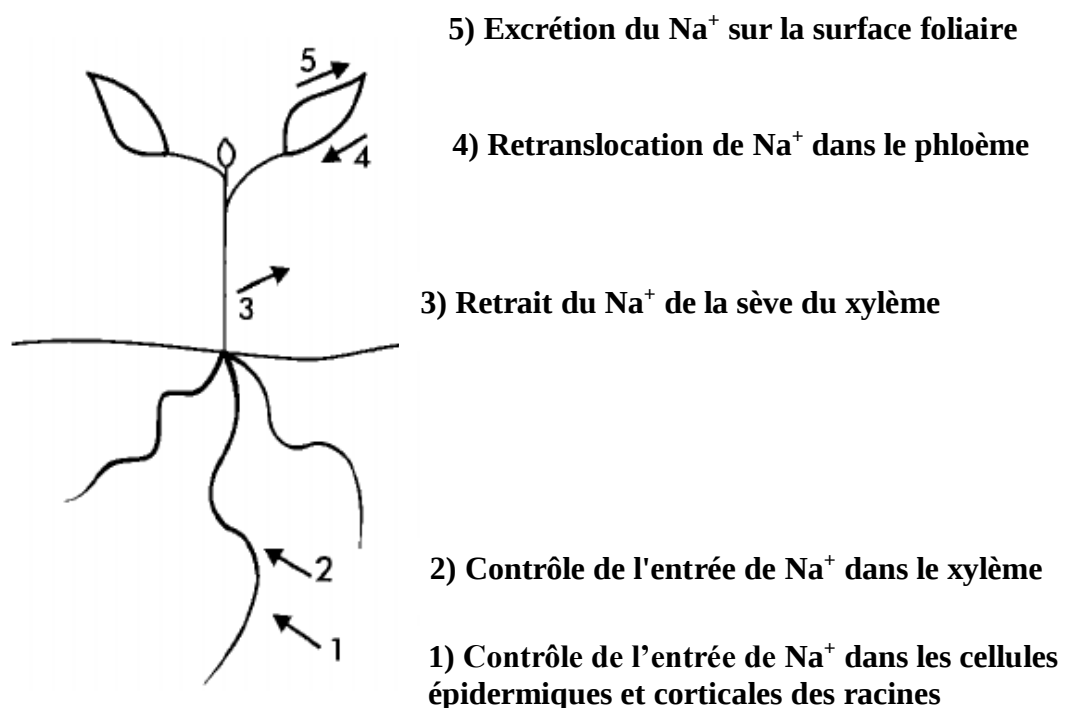


Figure 11 : Points de contrôle et régulation du transport des sels au niveau de la plante
(Chamekh, 2010).

2.5.2 Perception et transduction du stress salin

2.5.2.1 Perception du stress salin

Sous l'effet du stress salin, les cellules végétales perçoivent des signaux ioniques, osmotiques, et mécaniques (**Osmane, 2009**). La première réaction cellulaire au stress salin est la perte de la turgescence où la membrane connaît des changements au niveau structural.

En effet, les racines perçoivent un signal par le biais de leurs récepteurs membranaires, qui sera transmis à l'aide d'un second messenger tel que le calcium, les formes actives d'oxygène, ou l'acide abscissique (ABA) qui est la principale hormone impliquée dans le stress abiotique (**Achour, 2016**).

Ensuite, ces messagers activent des cascades de phosphorylations et agissent au niveau des tissus cibles, cette action va permettre à son tour d'activer des gènes impliqués dans la réponse au stress salin. Ainsi, ses gènes vont permettre aux plantes d'établir des mécanismes pour assurer leurs survies tels que (**Achour, 2016**) :

- Rétablissement de l'équilibre osmotique.

- Protection des membranes et des protéines.
- Détoxification par élimination des formes actives d'oxygène.

2.5.2.2 Transduction du stress salin

Après la perception du stress par le biais de récepteurs spécifiques, le signal est transmis à l'intérieur de la cellule. La transduction du signal se fait par des seconds messagers responsables du fonctionnement des voies de signalisations, et des facteurs de transcriptions qui contrôlent l'expression des gènes ayant un rôle important dans la réponse au stress (**Osmane, 2009**).

Sous l'effet du stress salin, la transduction du signal implique principalement trois voies de signalisation.

2.5.2.2.1 Voie de signalisation Salt Overly Sensitive (SOS)

La voie SOS (Salt Overly Sensitive) est parmi les voies métaboliques les plus étudiées actuellement. Il s'agit de l'activation des gènes SOS permettant de coder les protéines responsables de l'homéostasie cellulaire. Cette voie fait intervenir trois protéines SOS1, SOS2, et SOS3 qui s'activent en cas de stress salin (**Lemzeri, 2007**).

La forte présence des ions Na^+ déclenche l'activation de la protéine SOS3 et la fixation des ions Ca^{2+} sur cette dernière. Impérativement, la protéine SOS2 est activée et se fixe sur la protéine SOS3, il se forme alors un complexe SOS2-SOS3 dont la première cible membranaire est la protéine SOS1 qui est un antiport Na^+/H^+ . Ce dernier est à l'origine de la sortie du Na^+ à l'extérieur du cytosol vers les tissus conducteurs. Le complexe SOS2/SOS3 permet également l'activation de l'antiport vacuolaire Na^+/H^+ (NHX1 ou AtNHX1) qui va dévier le circuit des ions Na^+ vers la vacuole stockés (**Figure 12**). Ces pompes à protons génèrent alors une force promotrice nécessaire au flux d'ions Na^+ à travers la membrane plasmique et le tonoplaste dans le but d'établir l'homéostasie ionique (**Benyahmed, 2013**).

Ce mécanisme joue un rôle important dans l'exclusion du sodium vers le milieu extérieur. Il agit avec les transporteurs HKT1 (high affinity K^+ transporter), qui se trouvent sur la membrane plasmique et qui font circuler le sodium des feuilles vers les racines via le phloème (**Badraoui et Meziani, 2019**).

L'augmentation du Ca^{2+} cytosolique permet de minimiser les effets toxiques du stress salin, et

de traduire le signal afin d'établir le processus d'adaptation aux stress (Benyahmed, 2013).

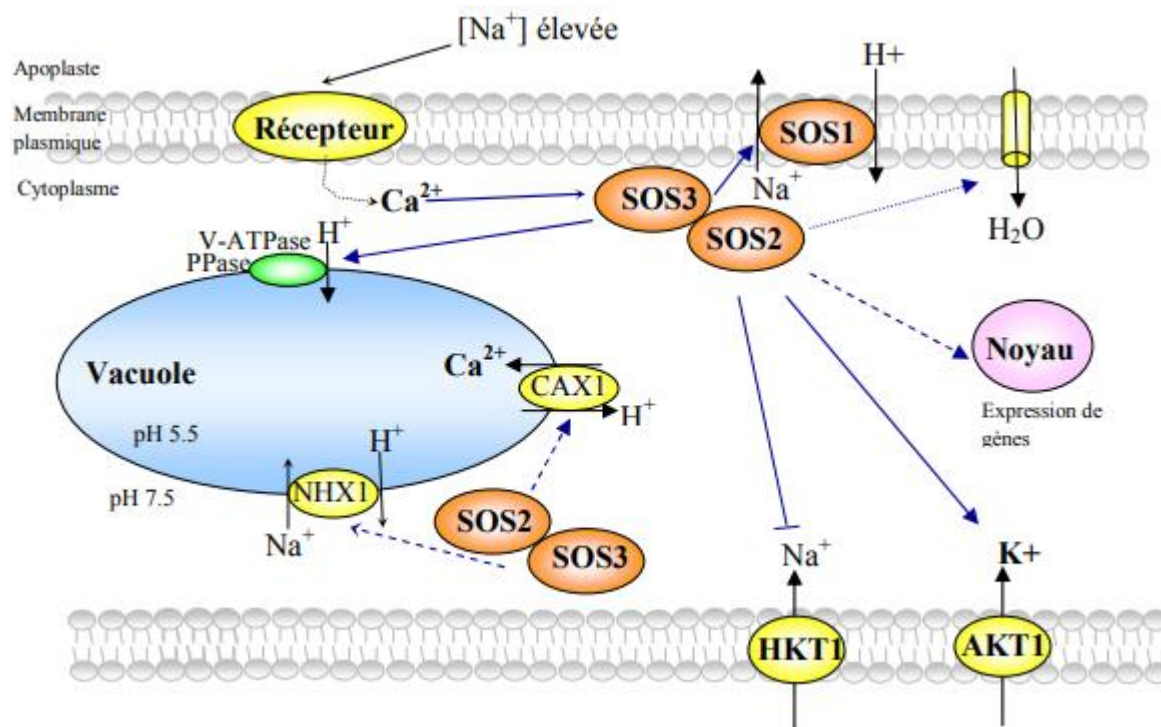


Figure 12 : Induction des voies de signalisation et de régulation de l'homéostasie ionique par la voie SOS (Osmane, 2009).

AKT: **A**rabidopsis **K**⁺ **T**ransporter 1, CAX1: **H**⁺/**Ca**²⁺ **e**xchanger 1, HKT1: **H**igh-affinity **K**⁺ **T**ransporter 1, NHX1: **N**a⁺/**H**⁺ **e**xchanger 1, PPase: **p**yrrophosphatase, SOS: **S**alt **O**verly **S**ensitive. V-ATPase: **A**dénosine tri-phosphate ase vacuolaire.

2.5.2.2 Voie de signalisation par l'acide abscissique (ABA)

L'ABA est une phytohormone qui joue un rôle fondamental dans la régulation hydrique des plantes et la tolérance aux stress osmotiques comme la sécheresse, le froid, et la forte salinité. En cas de stress, la biosynthèse de l'ABA est stimulée par le biais de l'activation de gènes qui pourrait être déclenché par des cascades de phosphorylation dépendante du calcium (Jallouli, 2019). Ainsi l'ABA se trouve accumulé au niveau des feuilles.

La protéine phosphatase 2C ABA-INSENSITIVE1 (ABI1) régule l'expression génétique de NHX1, tandis que (ABI2) interagit avec SOS2, régule négativement l'homéostasie des ions, et inhibe la kinase SOS2 ou encore les activités cibles de SOS2 (Figure 13). L'absorption du sodium est régulée par des canaux cationiques dépendants tels que les redresseurs K⁺ (HKT, HAK et KUP), et des canaux cationiques indépendants du voltage qui sont mal connue. Au

moment où le sodium s'apprête à pénétrer à l'intérieur de la cellule, il entre en concurrence avec l'absorption de K^+ par les co-transporteurs Na^+-K^+ et peut également bloquer les transporteurs spécifiques de K^+ des cellules racinaires **(Manchanda et Garg, 2008)**.

Par ailleurs, quand le potassium sortira, le canal potassique entrant va être inhibé. La régulation de ce canal dépend de l'état de polarisation de la membrane. Si la sortie du potassium devient excessive, l'eau va sortir et les stomates vont se fermer **(Abidi et Zitouni, 2014)**.

Lors de la synthèse de l'hormone de stress l'ABA, deux gènes liés à la NAD(P)H oxydases AtrbohD et AtrbohF sont fortement exprimé au niveau des cellules de garde stomatiques. Suite à cette signalisation, les formes activées de l'oxygène activent les canaux Ca^{2+} de la membrane plasmique des cellules de garde, qui induit à la fermeture des stomates **(Khadar et Zitouni, 2014)**.

Lorsque les cellules ne perçoivent plus de stress, il n'y a plus d'ABA, le calcium augmente, les pompes ATPase retourne à la normal, et la membrane est hyperpolarisé. De plus, il y'a une entrée de potassium qui induit à une entrée d'eau et donc une turgescence **(Abidi et Zitouni, 2014)**.

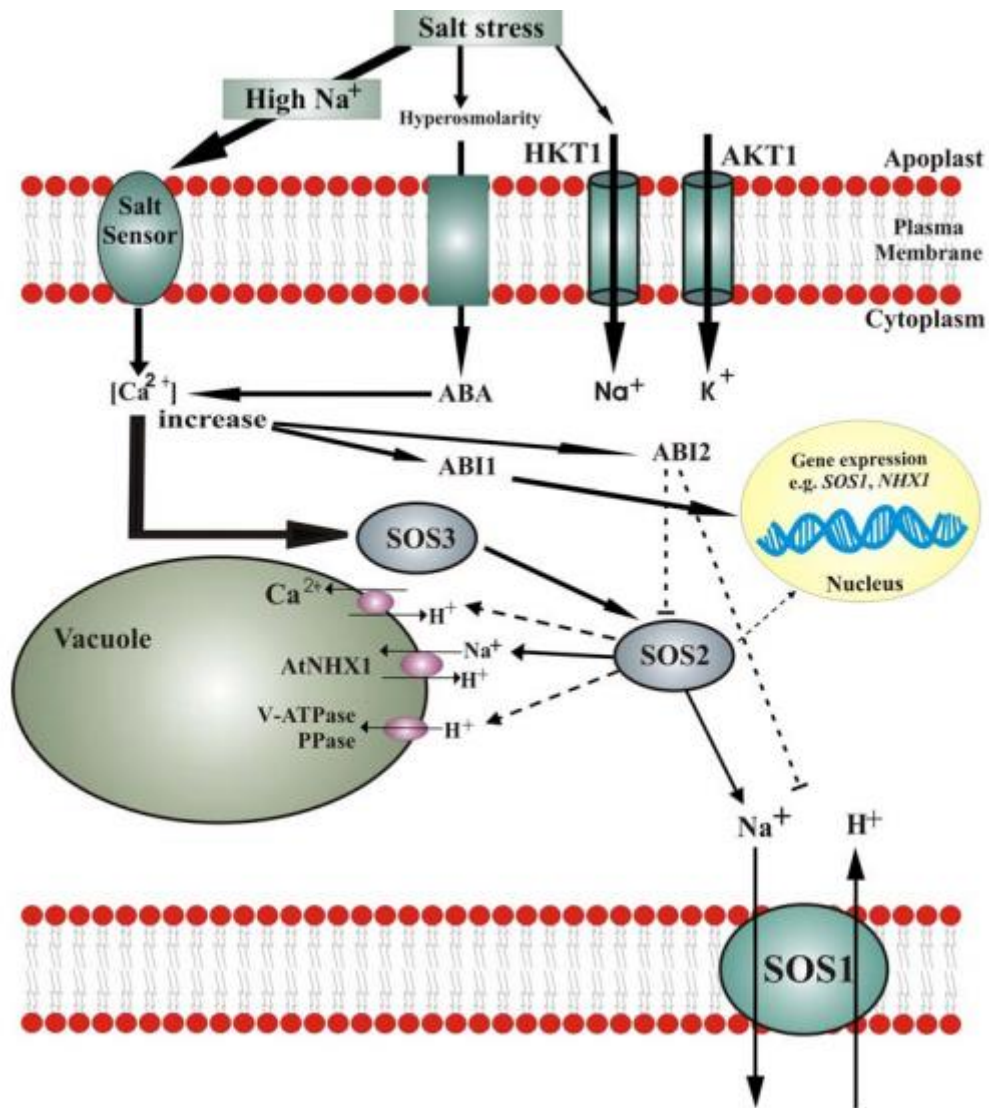


Figure 13 : Induction des voies de signalisation et régulation de l'homéostasie ionique (Manchanda et Garg, 2008).

2.5.2.2.3 Voie de signalisation Mitogen-Activated Protein Kinase (MAPK)

Face aux stimuli extérieurs, les plantes mettent en place tout un système moléculaire et cellulaire complexe pour se défendre. Les Mitogen-Activated Protein Kinases (MAPK) jouent un rôle important dans le système de réponse au stress, elles interviennent dans la transduction du signal sous condition de stress, et au cours du cycle cellulaire (Yaiche, 2017).

Les voies de transduction du signal MAPK sont conservées dans tous les organismes eucaryotes, et ont été détectées chez les plantes, les levures, les champignons, les insectes, les nématodes et les mammifères (Danquah et al., 2014).

Une cascade MAPK est déclenchée et fait intervenir une combinaison distincte d'au moins trois protéines kinases : MAPKKK (MAP3K/ MEKK/MKKK), MAPKK (MKK/MEK), et MAPK (MPK) qui s'activent les uns après les autres par le biais de la phosphorylation de médiateurs externes ou de MAPKKKK intermédiaires, provoquée par ces mêmes récepteurs. La stimulation de la protéine MAPKKK induit à la phosphorylation de deux résidus de sérine et/ou de thréonine (S/T-X3 - 5-S/T) situés dans la boucle d'activation du MAPKK. Une fois la protéine MAPKK activée, elle déclenche l'activation de la protéine MAPK par l'intermédiaire de la double phosphorylation d'un motif T-X-Y hautement conservé dans la boucle (**Figure 14**). En l'occurrence, L'activation des MAPK aboutit à la phosphorylation des cibles spécifiques et la modulation de l'activité des facteurs de transcription, des phospholipases, des protéines cytosquelettiques, des protéines associées aux microtubules, et l'expression de gènes spécifiques en réponse aux stimuli environnementaux (**Danquah et al., 2014**).

Un quatrième niveau de kinases appelé MAP4Ks (kinases MAP3K), peut intervenir comme adaptateur reliant les étapes de signalisation en amont aux cascades MAPK de base (**Danquah et al., 2014**).

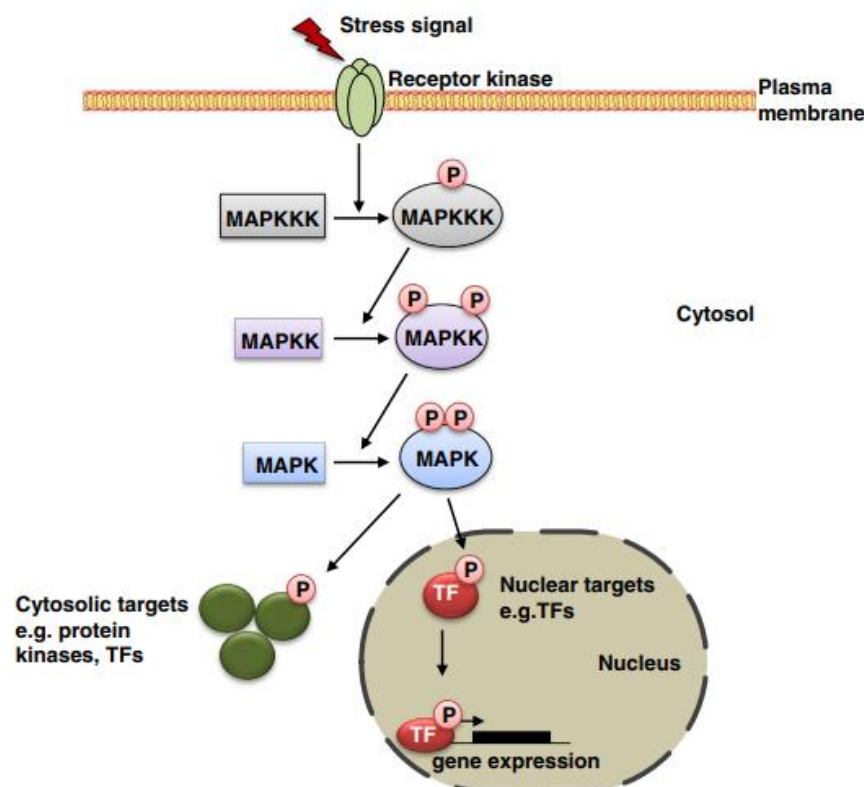


Figure 14 : Voie de signalisation Mitogen-Activated Protein Kinase (MAPK) (Danquah et al., 2014).

2.5.2.2.4 Voie de signalisation par la variation du pH cytoplasmique

En condition normale, le pH cytoplasmique se place aux alentours de 7,5, alors que le pH des compartiments apoplasmique et vacuolaire se situe aux environs de 5,5. En situation de stress salin, le pH intracellulaire peut changer par l'intermédiaire des flux transmembranaires de protons, pour déclencher par la suite la transduction de signaux, et provoquer ainsi une réponse cellulaire en aval (**Hanana et al., 2011**).

Le changement du pH intracellulaire dépend de la composante ionique et osmotique du stress salin, et de l'espèce végétale. La voie de signalisation par la variation du pH cytoplasmique est fortement liée aux voies de signalisation hormonales et du Calcium. Le cytoplasme connaît une acidification sous stress salin, mais quand ce dernier est d'ordre osmotique (mannitol, sorbitol), le pH cytoplasmique n'est pas modifié. En revanche, chez les espèces les plus tolérantes à la salinité, il y'a une alcalinisation du cytoplasme accompagné d'une acidification de la vacuole qui est le résultat de l'activité de l'antiport vacuolaire NHX (**Hanana et al., 2011**).

2.6 Réponses de la plante à la salinité

La tolérance à la salinité est un processus complexe, elle peut varier selon les espèces et les variétés. En effet, la plante déclenche des mécanismes de tolérance qui consistent à s'adapter aux stress osmotique, ionique et oxydatif provoqué par la salinité. Ces mécanismes permettent la régulation du déséquilibre nutritionnel, l'élimination ou l'accumulation dans différents organes, tissus, cellules et compartiments cellulaires des sels en excès, et l'ajustement de la pression osmotique interne grâce à l'accumulation de certains solutés organiques ainsi qu'à la mise en action des systèmes antioxydants (**Zerroumda, 2012**).

2.6.1 Homéostasie ionique cellulaire

Sous condition de stress salin, la plante utilise des stratégies principales pour maintenir l'homéostasie ionique.

2.6.1.1 Compartimentation du sodium dans les vacuoles

Ce mécanisme consiste à expulser du cytoplasme les ions Na^+ en excès vers la vacuole afin d'esquiver leur effet toxique et inhibiteur à l'ensemble des processus enzymatiques. C'est un processus qui implique un antiport vacuolaire sodium/ proton (Na^+/H^+) dont l'énergie est apportée par les pompes à protons ATPases et PPases vacuolaires (**Figure 15**) (**Bentouati et Safsaf, 2019**).

Durant la compartimentation intracellulaire, le Na^+ pénètre dans les cellules foliaires, il est ensuite pompé dans la vacuole avant que les concentrations n'augmentent dans le cytoplasme. Ce pompage est catalysé par un antiport Na^+/H^+ vacuolaire. Par ailleurs, le flux des ions H^+ est établie par les pompes ATPase et les protéines pyrophosphatases. En plus, l'activité de l'antiport Na^+/H^+ peut augmenter en cas d'ajout de Na^+ (**Figure 15**) (**Tester et Davenport, 2003**).

La compartimentation vacuolaire des ions Na^+ diminue non seulement leurs concentrations dans le cytoplasme, mais permet aussi l'ajustement osmotique qui maintient l'absorption de l'eau de la solution saline. Les plastes et les mitochondries sont des organites cytoplasmiques qui permettent aussi d'accumuler les ions Na^+ et participer ainsi à la compartimentation intracellulaire de ces ions toxiques (**Benmakhlouf, 2018**).

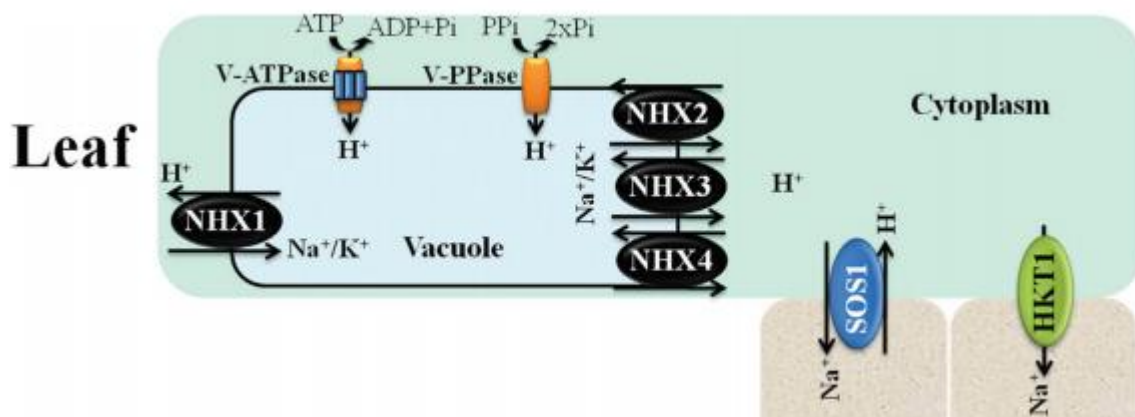


Figure 15 : La compartimentation vacuolaire des ions Na^+ au niveau foliaire (Almeida et al, 2017).

2.6.1.2 Exclusion cytoplasmique du sodium

Cette stratégie consiste à exclure le sodium du cytoplasme en dehors de la cellule, en effet, les

plantes limitent l'entrée des éléments salins et les conduisent vers le compartiment apoplasmique. Le mécanisme de l'exclusion du sodium commence par une sélectivité de la membrane racinaire grâce à la présence de transporteurs sélectifs, ce qui induit à une diminution de perméabilité passive et un transport des ions déjà absorbés vers le milieu extérieur **(Bentouati et Safsaf, 2019)**.

Les plantes absorbent les sels dans la sève du xylème, puis vers les tissus conducteurs du phloème, et enfin ils sont ré-transférés des racines vers la solution du sol **(Benderradji, 2013)**.

L'exclusion de 95% du sel entrant par les racines dans la solution du sol est considérée comme le caractère adaptatif principal pour éviter l'effet toxique d'une concentration saline élevée dans les pousses des plantes **(Hanin et al., 2016)**.

Ainsi, chez un nombre d'espèces céréalières, le degré de tolérance à la salinité est inversement corrélé à la concentration des ions Na^+ dans les feuilles, c'est le cas par exemple du blé **(Zerroumda, 2012)**.

2.6.2 Ajustement osmotique

L'ajustement osmotique est considéré comme l'un des mécanismes les plus importants pour s'adapter au stress salin et hydrique. Le stress salin provoque un déficit hydrique chez les plantes, mais elles sont capables de le supporter en ajustant rapidement leur potentiel osmotique avec celui du milieu extérieur, dans le but de maintenir un gradient de potentiel hydrique entre la plante et le milieu salin **(Badraoui et Meziani, 2019)**.

Cet ajustement peut être réalisé par une augmentation des concentrations en K^+ et NO_3^- , réponse caractéristique des céréales. Lorsque la plante s'adapte osmotiquement au milieu salin et que sa turgescence est restaurée, le déficit hydrique ne constitue plus un facteur limitant à la croissance sur un milieu salin **(Badraoui et Meziani, 2019)**.

L'ajustement osmotique peut se faire également par le biais de métabolites, tels que les sucres solubles et la proline. Ces composés s'accumulent dans les feuilles selon l'espèce, le stade de développement et le niveau de la salinité **(Benmakhlouf, 2018)**.

2.6.2.1 Accumulation de la proline

Lors d'un état de stress, les concentrations en proline augmentent rapidement chez de nombreuses mono- ou dicotylédones pour maintenir l'équilibre osmotique entre le cytoplasme et la vacuole (**Badraoui et Meziani, 2019**).

La proline intervient dans la détoxification des formes actives d'oxygène, la stabilisation des protéines, la protection de l'intégrité de la membrane plasmique, elle constitue aussi une source de carbone et d'azote pour la plante. Trois processus sont responsables de l'accumulation de la proline lors d'un stress (**Benmakhlouf, 2018**) :

- ❖ La stimulation de la synthèse de la proline.
- ❖ L'inhibition de l'oxydation de la proline.
- ❖ L'altération de la biosynthèse des protéines.

Ainsi la synthèse de la proline est considérée comme une mesure adaptative pour tolérer la salinité. Elle est généralement plus élevée chez les plantes tolérantes que chez les plantes sensibles (**Benmakhlouf, 2018**).

2.6.2.2 Accumulation de sucres solubles

Sous l'effet de la salinité, la synthèse des sucres est stimulée chez plusieurs espèces végétales. Ils agissent en tant qu'osmoticum pour protéger des macromolécules (enzymes) et stabiliser les structures membranaires (**Brahimi, 2017**). Ainsi, l'amidon est fortement hydrolysé ce qui provoque un blocage de la glycolyse (**Benmakhlouf, 2018**).

Les concentrations en sucres solubles augmentent régulièrement quelque soit le niveau de stress, elles interviennent dans les mécanismes de régulation de l'expression des gènes (**Brahimi, 2017**).

2.6.2.3 Régulation de la croissance

L'augmentation de la concentration en l'acide abscissique (ABA) dans la partie aérienne ou la réduction en cytokinine est parmi les réponses physiologiques provoquées par le stress salin. Dans un environnement faible en eau tel que le milieu salin, la réduction de la croissance est parmi les caractères adaptatifs. En effet, la plante peut accumuler de l'énergie et les ressources

en retardant son développement, dans le but de limiter les effets néfastes de la salinité. Ainsi, la croissance est inversement corrélée à la capacité de l'espèce à résister au stress salin (Lahouel, 2014).

2.7 Mécanismes d'adaptation à la salinité

Chez la plupart des plantes cultivées, la réponse à la salinité apparaît sous forme d'effet dépressif sur la croissance et le développement. En effet, la réponse à la salinité varie selon l'espèce, le genre, l'écotype, et la variété. Dans un milieu salin, les glycophytes en particulier changent leur comportement morpho-physiologique, biochimique, et minéral en fonction du degré de la salinité (Chamekh, 2010).

2.7.1 Mécanismes d'adaptation morphologique

La salinité affecte de nombreux aspects des plantes, ce qui conduit à modifier leur morphologie. Ainsi, pour faire face à une contrainte saline, les végétaux développent des mécanismes d'adaptation morphologique (Atallah et Fridjat, 2018).

2.7.1.1 Réduction de la surface foliaire

Lorsque la salinité est élevée, le taux de croissance des feuilles diminue, cela est dû à l'effet osmotique du sel autour des racines qui conduit à une perte d'eau des cellules foliaires (Saâdane, 2019).

Chez le blé dur, la diminution de la surface foliaire est considérée comme une stratégie de taille pour réduire la limitation de la disponibilité en eau dans les conditions saline. De plus, le blé dur se caractérise par la mise en œuvre d'une autre stratégie de défense qui consiste à augmenter l'intensité photosynthétique pour une meilleure adaptation du système de photosynthèse, et ainsi limiter les effets de la diminution de la surface foliaire. Cette augmentation permet de contrebalancer partiellement la diminution de la surface foliaire, mais reste insuffisante pour garantir un bon rendement photosynthétique qui permettrait d'assurer une bonne rentabilité en production de grains (Saâdane, 2019).

2.7.1.2 Développement du système racinaire

Le système racinaire représente l'interface entre les plantes et leur environnement, il se caractérise par un degré élevé de plasticité face à l'hétérogénéité locale du sol. Divers

paramètres morphologiques tels que la longueur, la section, la surface, et les poils racinaires peuvent être utilisés comme indicateur de la plasticité des racines (**Parvaiz et Prasad, 2012**).

Un retard d'émergence des racines primaires, adventives, latérales, et une inhibition de leurs longueurs sont considérés comme réponses courantes aux traitements osmotiques et salins. Par ailleurs, il existe des réponses spécifiques à la salinité telles que le développement des racines latérales. En effet, chez le riz, il a été montré que les plantes stressées par le sel avaient des racines latérales étaient plus épaisses, plus denses, et plus espacées que les plantes témoins (**Parvaiz et Prasad, 2012**).

D'autres études ont signalé que le silicium jouait un rôle important dans la réduction du stress salin chez de nombreuses graminées comme le blé, le maïs, et l'orge. En effet, des coupes transversales de racines ont montré que le dépôt de silicium dans l'endoderme diminuait le mouvement d'eau et d'ions dans l'apoplaste, de façon à ce que l'absorption du sodium Na soit réduite (**Parvaiz et Prasad, 2012**).

Les poils racinaires représentent 70% à 80% de la surface des racines. Chez *Arabidopsis thaliana* (brassicacées), il a été signalé une réduction du nombre et de densité des poils racinaires sous l'effet de la salinité, cette réduction était sensible aux ions mais pas au stress osmotique. Cela a été considéré comme un mécanisme adaptatif qui permet d'éviter l'absorption excessive d'ions, en diminuant la zone d'absorption lorsqu'il y a un déséquilibre ionique dans les racines (**Parvaiz et Prasad, 2012**).

Ainsi, les différences structurelles et morphologiques des racines jouent un rôle principal pour l'absorption des nutriments et de l'eau par les plantes à partir d'un sol salin, et l'étude de ces paramètres peut être fondamentale pour déterminer les mécanismes et la manière dont les plantes peuvent faire face aux conditions salines (**Parvaiz et Prasad, 2012**).

2.7.2 Mécanismes d'adaptation physiologique et biochimique

La résistance des végétaux aux sels reste un processus complexe qui implique aussi des mécanismes physiologiques et biochimiques divers. Identifier et comprendre ces mécanismes constitue un atout pour l'amélioration variétale (**Nguyen, 2012**).

2.7.2.1 Synthèse des antioxydants

Lorsque les plantes sont exposées à des conditions environnementales défavorables, la production de formes actives d'oxygène (ROS) tel que le superoxyde (O_2), le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), et le radical hydroxyle (OH) est de rigueur. Le mécanisme de détoxification ROS est essentiel chez les plantes pour la protection des cellules végétales et de leurs organites contre l'effet toxique de ces formes (Caverzan et al., 2012).

La production excessive de ces composés cause des dommages métaboliques. Par exemple, le radical hydroxyl endommage les structures chlorophylliennes, protéiques, nucléiques et lipidiques, ce qui affecte le métabolisme cellulaire, la physiologie de la plante et donc la croissance et le rendement (Hanana et al., 2011).

Effectivement, sous l'effet de la salinité, les plantes augmentent l'activité des enzymes antioxydants, induisant une augmentation de la résistance à l'effet oxydatif, et donc une amélioration de la tolérance (Nehila, 2016). Pour faire face à ce stress oxydatif occasionné par le stress salin, les plantes produisent des antioxydants d'origine enzymatique comme les superoxydes dismutase (SOD), les catalases (CAT), les caroténoïdes, les tocophérols, et les flavonoïdes.

2.7.2.2 Teneurs en chlorophylle

Sous condition saline, il a été observé que le blé dur diminue la teneur en chlorophylle, pour augmenter la résistance à l'entrée du CO_2 atmosphérique essentiel à la photosynthèse, et minimiser les pertes en eau par évaporation. La turgescence joue un rôle principal pour économiser l'eau et limiter les effets du stress, ce qui induit à une dilution de la chlorophylle. Sous l'effet du stress, le taux foliaire en proline augmente, suivie d'une diminution des teneurs en pigments chlorophylliens a et b totaux ce qui indique qu'il y'a proportionnalité inverse entre les deux. Ainsi, le rapport chlorophylle a/b constitue un excellent indicateur pour la tolérance de la plante au stress (Tahri et al., 1997).

2.7.2.3 Régulation stomatique

La salinité du sol conduit à un faible potentiel en eau, et par conséquent à une baisse de la conductance stomatique. La justification physiologique de cette baisse est la tentative de la plante à diminuer la perte d'eau (Zhao et al., 2020).

L'ostiole est le principal canal de perte d'eau et de diffusion de CO₂ dans les plantes, et donc le contrôle du taux de perte d'eau et de l'assimilation de CO₂. De plus, les deux activités de la stomie qui régulent la circulation d'eau et des gaz sont la densité et la conductance stomatale **(Xu et al., 2016)**.

La fermeture des stomates engendre une perte d'eau dans les feuilles des plantes, ce processus est appelé transpiration résiduelle qui est contrôlé par plusieurs facteurs dont l'un est la densité stomatale. Cette densité est corrélée positivement avec la conductance stomatale **(Zhao et al., 2020)**.

Il a été signalé qu'une réduction de la densité stomatale peut être un mécanisme important par lequel les plantes peuvent réguler l'efficacité de l'utilisation de l'eau (water-use efficiency WUE). En effet, les observations de Frank et al ont rapporté que la WUE était augmenté de 20% chez les mutants d'*Arabidopsis* (brassicacées) qui avaient une densité stomatale réduite **(Zhao et al., 2020)**.

Le stress salin déclenche également une diminution de la conductance stomatale et de l'évaporation, qui induit à la production d'une petite quantité d'ions toxiques à la surface des racines et des plantes. Plusieurs études ont signalé que la fermeture stomatale au début du stress salin peut induire à une diminution du flux des ions toxiques dans le flux de transpiration **(Acosta-Motos et al., 2017)**. Chez les glycophytes, la conductance stomatale diminue avec la diminution du potentiel hydrique due aux conditions saline, contrairement aux halophytes qui réagissent différemment à cette contrainte **(Xu et al., 2016)**.

Une réduction de la conductance stomatique peut être un mécanisme d'adaptation important pour faire face à l'excès de sel, diminuer sa charge dans les feuilles, et augmenter la longévité en maintenant les concentrations de sel à des niveaux subtoxique **(Acosta-Motos et al., 2017)**.

La fermeture des stomates reste l'une des réponses les plus immédiates à la salinité, et cette réponse est considérée comme un mécanisme important pour minimiser la perte d'eau des plantes en conditions hyperosmotiques. La réduction de la conductance et de la densité stomatale est une autre façon pour garder l'équilibre entre la perte d'eau des feuilles et l'assimilation du CO₂ **(Liu et al., 2017) (Figure 16)**.

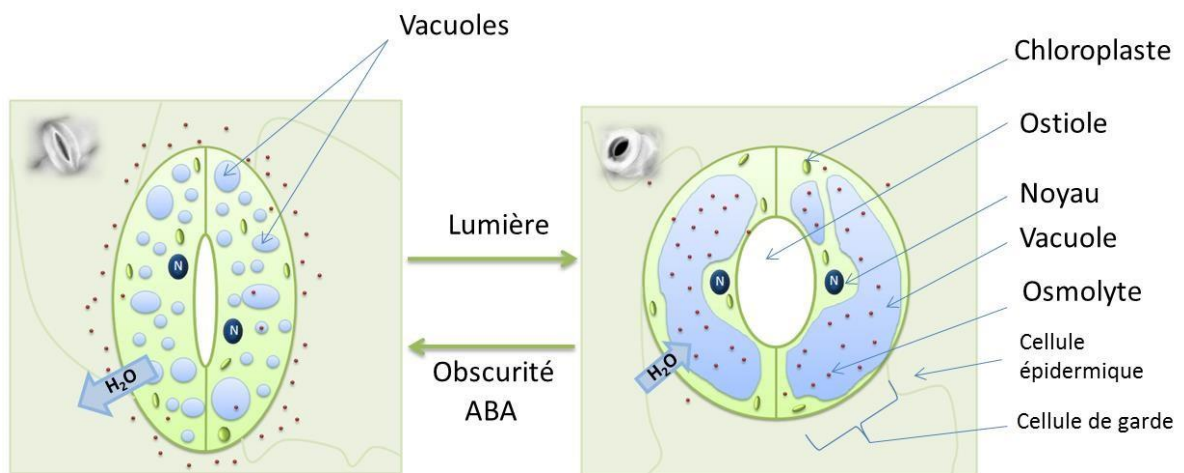


Figure 16 : Ouverture et fermeture des stomates (Renaud, 2015)

Chapitre II :

Partie

Expérimentale

Chapitre II : Partie Expérimentale

1 Matériel et méthode

1.1 Matériel végétal utilisé

Cette étude a été réalisée au sein du laboratoire de biotechnologie de l'ICARDA (The International Center for Agricultural Research in the Dry Areas) localisé à l'Institut nationale de la recherche agronomique (INRA) de Rabat. Le matériel végétal et le dispositif expérimental a été fourni par l'ICARDA. L'étude a été composée de deux expériences.

La première expérience : 4 génotypes ont été utilisées avec 2 variétés de blé dur, Icamor (Maroc) et Nax1 (USA) et 2 accessions nommées Karim et Kyperonda afin de déterminer la concentration médiane létale LC50.

La deuxième expérience : 70 génotypes (sélectionnés à partir de 196 génotypes montrant un taux élevé de germination) ont été utilisés pour évaluer la tolérance au stress salin durant la croissance et le développement de la plante. Les informations sur ces 70 génotypes (nom de la variété ou d'accession et origine) sont présentées dans l'**Annexe 1**.

1.2 Dispositif expérimental

1.2.1 Première expérience : Détermination de la concentration létale médiane de sel LC50

50 graines de chaque variété de blé dur ont été mises en germination dans des boîtes de Pétri rondes (⊙ : 90mm) avec 10 ml de la solution nutritive « Hoagland » (voir **Annexe 2**) et avec huit concentrations en NaCl (NaCl : Na₂SO₄ = 1: 1); (0, 15, 30, 45, 60, 75, 90 et 105 mM).

Les 50 graines ont été mises sur du papier filtre à double couche. Chaque traitement (concentration en NaCl) a été réalisé en triple. Les boîtes de pétri ont été scellées avec du parafilm pour éviter la perte d'eau et ont été placées dans un incubateur avec un régime d'obscurité de 24 heures à 23 ° C et 80% d'humidité relative pendant sept jours.

Une graine était considérée comme ayant germé lorsqu'elle atteignait la moitié de son bourgeon embryonnaire. L'indice de taux de germination (GRI) a été calculé à l'aide de la formule suivante :

$$\text{GRI} = x / y$$

x = nombre de graines germées après sept jours

y = nombre total de graines par boîte de Pétri (50)

Les concentrations létales médianes de sel (LC50 : concentration à laquelle la germination de

50% des graines est inhibée par le NaCl) ont été calculées à partir des taux de germination sous divers niveaux de salinité en utilisant la droite de régression et GGE biplot.

1.2.2 Deuxième expérience : Détermination des génotypes tolérants et sensibles pendant la germination, la croissance, et le développement

Pour déterminer les génotypes de blé dur tolérants et sensibles lors du stade de la germination la croissance, et le développement, 70 génotypes de blé ont été testés.

Pour réaliser la plantation, des bassins, des portoirs, et des cônes sont utilisés. Chaque bassin peut accueillir deux portoirs, et dans chaque portoir il y'a 98 cônes en plastique de 15 cm de hauteur et 3,5 cm de diamètre, et qui possède deux trous dans le fond, ce qui permettrait aux plantes d'absorber l'eau et les nutriments du bassin. Nous avons ensemencé 5 graines dans chacun des cônes remplis avec un mélange de terreau et de tourbe. Finalement, nous avons rempli les bassins avec de l'eau de robinet pour conserver l'humidité (**Figure 17**).

Après germination, les plantules sont irriguées régulièrement jusqu'au stade cinq feuilles. A partir de ce stade, la solution saline est appliquée. Un volume de 40 litres de la solution saline de chaque concentration est ajouté aux bassins contenant les porte-cônes et maintenu pendant 1 heure/jour, ensuite placé dans la solution nutritive pendant 30 min/2 jours et cela pendant deux semaines. Les porte-cônes sont retirés par la suite des bassins et aucun autre type d'irrigation n'a été appliqué. Au total, 4 traitements ont été réalisés, et chaque traitement a été réalisé en triple, dont 9 concentrations de salinité, et 3 traitements témoin sans sel (**Figure 18**).

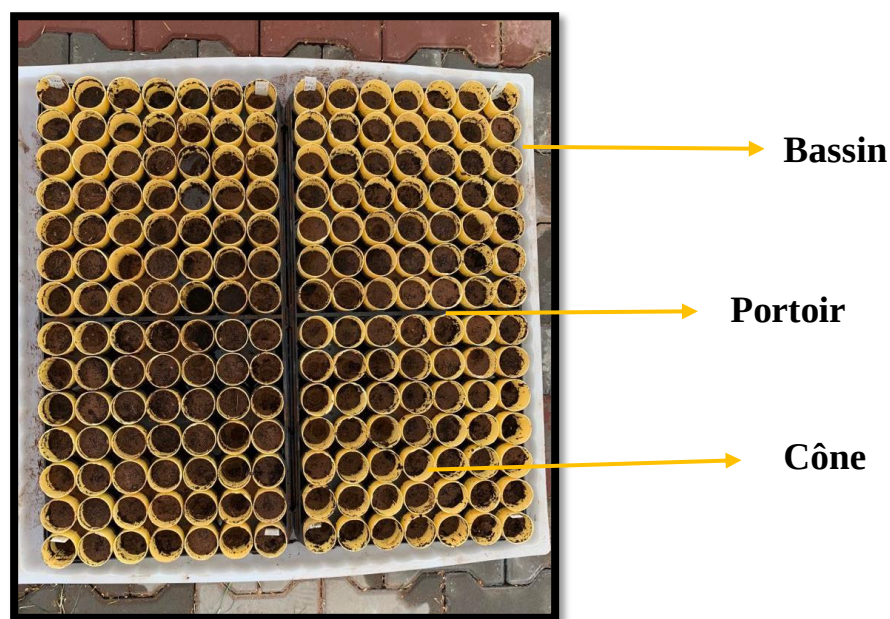


Figure 17 : Système de plantation utilisé



Figure 18 : Les 4 traitements utilisés avec leurs répétitions pendant l'expérience

Les plantes ont été traitées par un insecticide pour lutter contre les pucerons.

Afin de déterminer les différents effets des stress salins sur les génotypes du blé étudiés, et de déterminer la différence physiologique entre les génotypes tolérants et sensibles, la teneur en chlorophylle, la taille de la plante et le nombre de feuilles sèches au stade de l'épiaison ont déterminés pour chaque plante.

1.2.2.1 Dosage de la chlorophylle

Quatre disques foliaires de 4 mm de rayon sont placés dans un tube Eppendorf de 2 ml contenant préalablement 1 ml de diméthylformamide (DMF). Les disques foliaires sont complètement immergés dans la solution de DMF et incubés pendant une nuit à 4 ° C. 600 µL de la solution d'échantillon sont mélangés à 1200 µl de DMF dans un tube Eppendorf frais. Les absorbances dans un à 647 nm et à 664,5 nm sont lues à l'aide d'un spectrophotomètre (**Figure 19**).

Teneur en chlorophylle a (µg/mL) : $= (12 \times A_{664.5}) - (2.79 \times A_{647})$

Teneur en chlorophylle b (µg/mL) : $= (20.78 \times A_{647}) - (4.88 \times A_{664.5})$

Teneur en chlorophylle total = Teneur en chlorophylle a + Teneur en chlorophylle b.

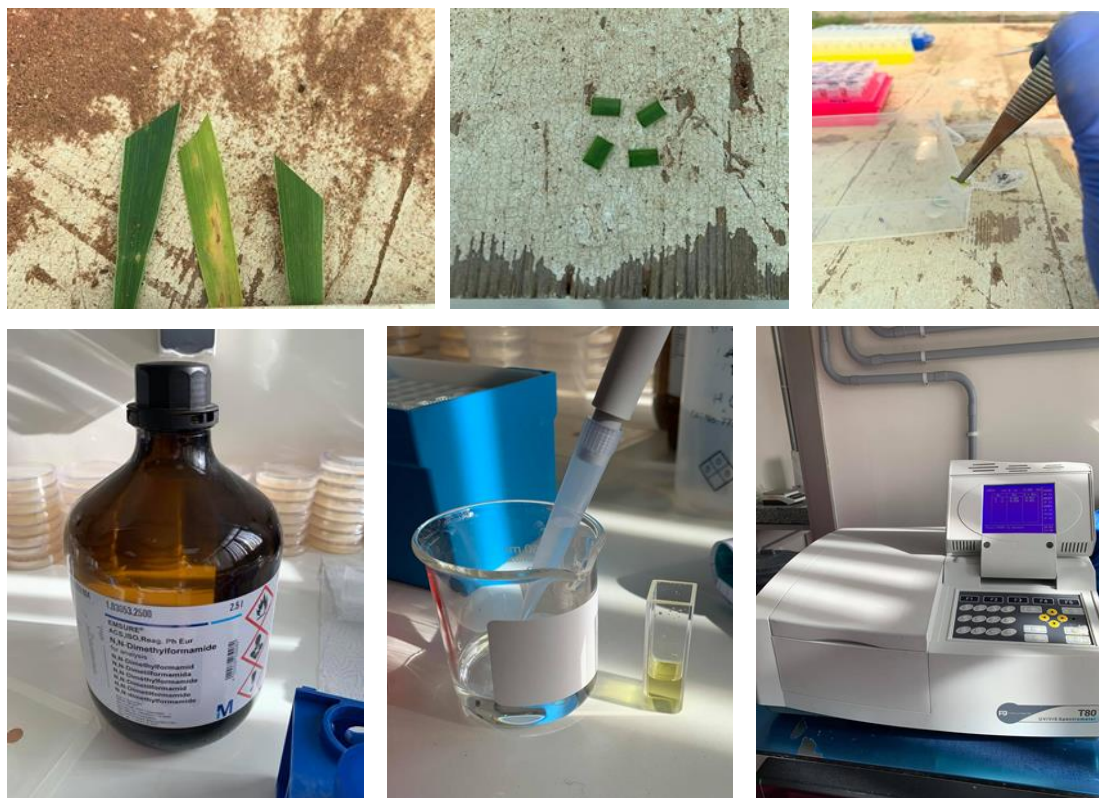


Figure 19 : Etape de dosage de la chlorophylle a et b

1.2.2.2 Taille de la plante et le nombre de feuilles sèches

La taille de la plante et le nombre de feuilles sèches sont également pris en considération. Faute de temps, ces derniers ont été pris seulement pour le contrôle (Concentration NaCl=0) et pour la concentration 135mM. La taille de la plante a été relevée quand les plantes sont arrivées au stade épis. La longueur de la plante a été mesurée depuis le collet jusqu'à le sommet de l'épi. Nous avons compté le nombre des feuilles sèches pour chaque plante (Totale des feuilles sèches/plante).

1.2.2.3 Analyse statistique

Des analyses statistiques conventionnelles et des analyses de biplot ont été menées à l'aide du logiciel de GGE biplot utilisant l'indice $GRI = x / y$ afin de déterminer la droite de régression. Une analyse de variance (ANOVA) a été réalisée pour tester l'interaction entre la chlorophylle, les traitements au sel et les variétés. L'analyse de corrélation de la chlorophylle dans les différents traitements au sel et l'indice de tolérance ont été calculés et visualisés à l'aide d'IBM SPSS Statistics. La différence statistique des moyennes de la chlorophylle totale a été analysée par le logiciel SAS.

2 Résultats

2.1 Première expérience : Détermination de la concentration létale médiane de sel LC50

Pour choisir une concentration appropriée qui pourrait être utilisée efficacement pour évaluer la tolérance au sel des génotypes de blé dur pendant la germination, nous avons d'abord étudié l'effet de huit concentrations de sel sur le taux de germination de quatre variétés de blé dur (**Figure 20**).



Figure 20 : Germination des variétés Icamor et Nax1 aux concentrations de sel 0, 60, et 105 (mM).

D'après les résultats obtenus, le taux de germination diminue lorsque la concentration en sel augmente. Mais, cette diminution n'est significative qu'au-delà de la concentration 45 mM (Tableau 2).

Tableau 2 : Nombre de graines germées (sur 50) pour quatre variétés de blé dur sous différentes concentrations de sel.

Concentration de sel (mM)	Karim	Kyperonda	Icamor	Nax1	Moyenne
0	0,64	0,70	0,88	0,71	0,73
15	0,56	0,66	0,69	0,42	0,58
30	0,58	0,43	0,64	0,43	0,52
45	0,57	0,46	0,59	0,47	0,52
60	0,36	0,26	0,57	0,4	0,39
75	0,23	0,22	0,47	0,25	0,29
90	0,05	0,08	0,41	0,18	0,18
105	0,03	0	0,38	0,11	0,13
LSD	0,24	0,25	0,16	0,18	0,20

Dans le graphe de la régression linéaire (**Figure 21**), 50% seulement des graines germent à la concentration 45mM à l'exception d'Icamor qui semble tolérer les concentrations élevées en présentant 50% de germination à 75Mm. Donc, selon ces résultats, la concentration médiane LC50 qui sera retenue est la concentration 45mM.

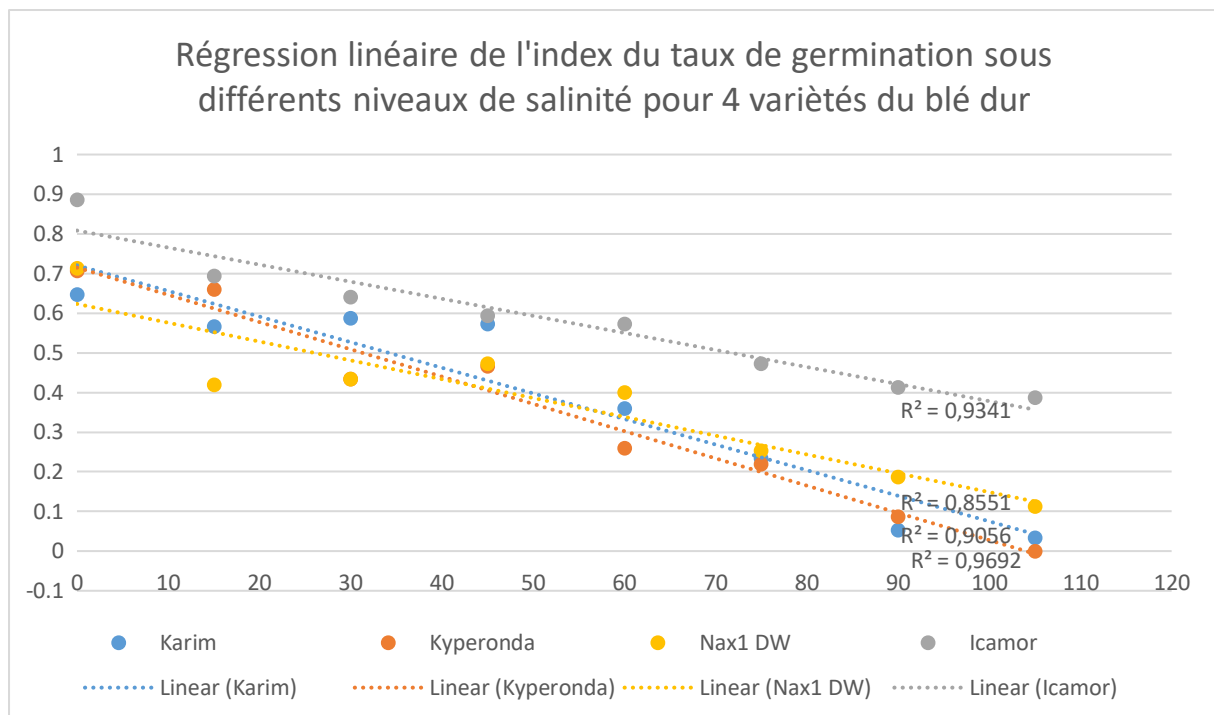


Figure 21 : Régression linéaire du nombre de graines germées (sur 50) sous différents niveaux de salinité de quatre variétés de blé dur.

Les données de la germination sont également analysées par la méthode GGE biplot dans le logiciel R studio (**Figure 22**). Les 4 variétés (Karim, Icamor, Kyperonda, Nax1) s'éloignent de leur environnement avec l'augmentation de la concentration en NaCl. En plus, selon les graphes, les variétés corrélaient positivement avec l'environnement NaCl 0, 15, 30, et 45 (mM). Par ailleurs, dès la concentration 60mM, les variétés commencent à corréler négativement à l'opposé de leur environnement. Ces résultats confirment celle de la droite de régression et que la concentration médiane LC50 est bien 45mM.

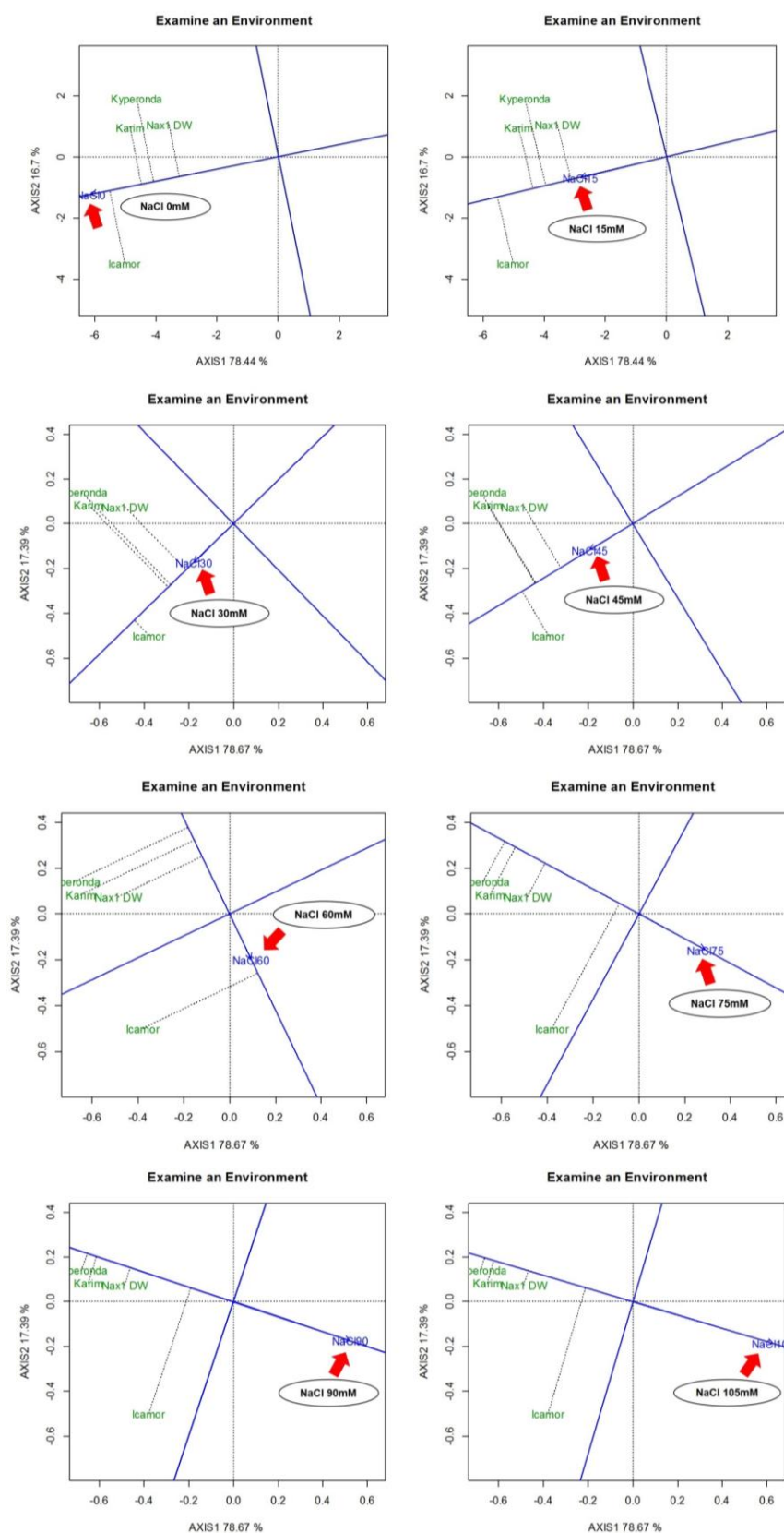


Figure 22 : GGE biplot des 4 variétés du blé dur dans 8 concentrations NaCl.

2.2 Deuxième expérience : Détermination des génotypes tolérants et sensibles pendant la germination, la croissance, et le développement de la plante

La taille, le nombre des feuilles sèches, et la teneur en chlorophylle ont été déterminés pour tester la réponse de les génotypes à la concentration en sel (0, 45, 90 et 135 mM) à laquelle ils ont été soumis.

De point de vue phénotypique, la plante peut se comporter différemment sous différentes concentrations de sel. Comme le montre la **Figure 23**, lorsque la concentration en sel est élevée, la surface des feuilles est réduite, le nombre des feuilles jaunes et sèches est plus important, les plantes raccourcissent et leur densité diminue.

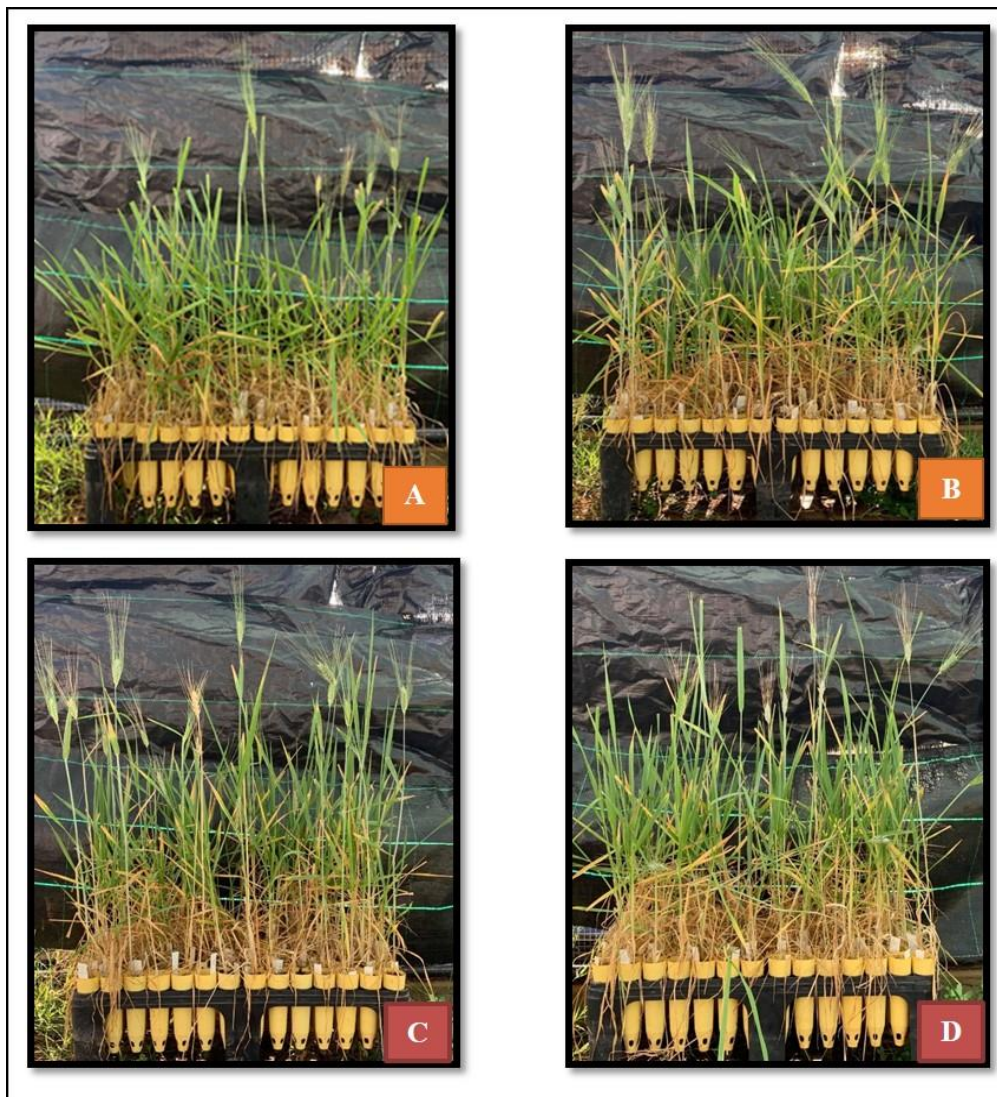


Figure 23 : Apparence des plants de blé soumis au stress salin. Témoin (A), 45 mM (B), 90 mM (C) et 135 mM (D).

Par ailleurs, la plante peut répondre à l'effet de la salinité de manière différente et cela dépendrait du génotype. En effet, certains génotypes répondent de manière homogène sous 45 mM de sel, mais au fur et à mesure que la concentration augmente, la réponse de la plante face à ce stress devient différente, et plus précisément en hauteur (**Figure 24**). La différence la plus nette a été observée sous 135 mM de sel.

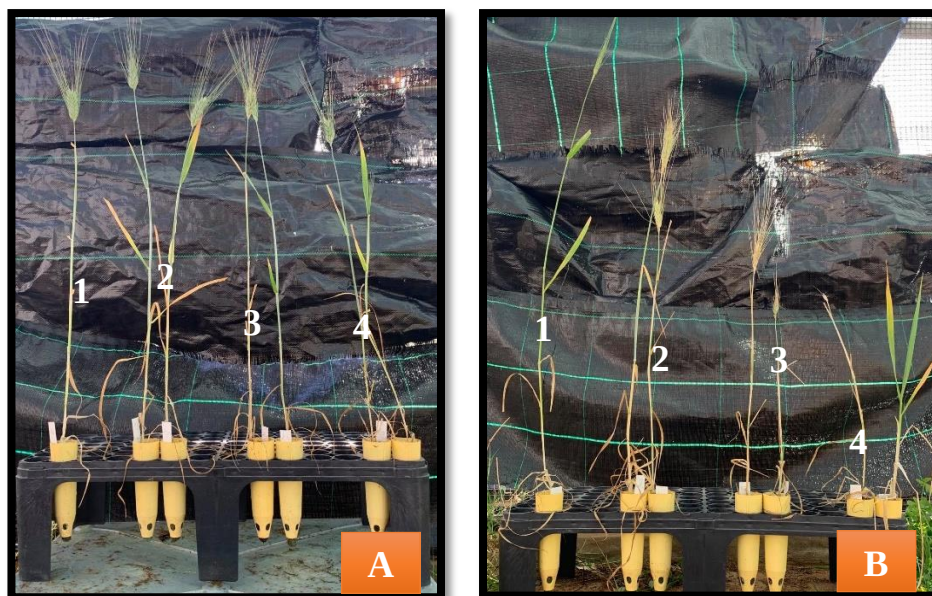


Figure 24 : Hauteur de la plante de deux génotypes, une tolérante (A), et une sensible (B), sous le stress salin. Contrôle (1), 45 mM (2), 90 mM (3) et 135 mM (4).

Pour déterminer si les différences entre les moyennes des groupes (concentrations NaCl) sont statistiquement significatives, l'analyse de la variance a été réalisée (**Tableau 3**). Dans un premier temps, l'ANOVA à un facteur a été employé pour les 70 génotypes du blé dur pour les quatre concentrations de NaCl 0, 45, 90, 135mM. Selon cette analyse, la valeur p ($0,00 < 0,05$), cela signifie que les moyennes des groupes (concentrations NaCl) sont significativement différentes.

Tableau 3 : L'analyse de la variance à un facteur pour le taux de chlorophylle

ANOVA					
Chlorophyll Total					
	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1721,896	3	573,965	46,770	,000
Within Groups	3387,071	276	12,272		
Total	5108,968	279			

Pour voir la signification entre les paires de groupe, l'analyse de la comparaison multiple ou test dites Post Hoc a été appliquée utilisant la méthode Turkey, HSD. Le **Tableau 4** présente le résultat de cette analyse. C'est un tableau d'informations de groupement qui permet de déterminer rapidement si la différence moyenne entre toute paire de groupes est statistiquement significative. Les groupes qui ont une étoile différente de manière significative. Toutes les paires de concentrations NaCl diffèrent significativement dans les trois méthodes, à l'exception de la paire (45mM, 90mM) qui semble avoir une différence non significative et des moyennes similaires.

Tableau 4 : Analyse de la comparaison multiple (test Post Hoc) du taux de chlorophylle

Dependent Variable : Chlorophyll Total							
	(I) Concentration	(J) Concentration	Mean Differenc e (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	0	45	3,771*	,592	,000	2,24	5,30
		90	5,000*	,592	,000	3,47	6,53
		135	6,757*	,592	,000	5,23	8,29
	45	0	-3,771*	,592	,000	-5,30	-2,24
		90	1,229	,592	,164	-,30	2,76
		135	2,986*	,592	,000	1,46	4,52
	90	0	-5,000*	,592	,000	-6,53	-3,47
		45	-1,229	,592	,164	-2,76	,30
		135	1,757*	,592	,017	,23	3,29
	135	0	-6,757*	,592	,000	-8,29	-5,23
		45	-2,986*	,592	,000	-4,52	-1,46
		90	-1,757*	,592	,017	-3,29	-,23

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Le modèle linéaire général (GLM) est utilisé afin de calculer l'ANOVA multifactorielle. L'objectif de cette analyse est de tester l'effet de deux ou de plusieurs variables indépendantes catégorielles (facteurs) sur une variable dépendante (VD) à l'intérieur d'une seule analyse (d'un seul modèle). Dans notre cas, nous voulons tester l'effet de la concentration et de la variété sur le taux de chlorophylle. L'interaction entre les deux facteurs concentration et variété est significative $p (0.00 < 0.001)$. Cela signifie que cette interaction a un effet sur le taux de chlorophylle (**Tableau 5**).

Tableau 5 : ANOVA multifactorielle pour le taux de chlorophylle

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: chlorophylle totale					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	15053,665 ^a	279	53,956	4,028	,000
Intercept	45158,668	1	45158,668	3371,548	,000
concentration * variété	8753,942	207	42,290	3,157	,000
Error	7500,667	560	13,394		
Total	67713,000	840			
Corrected Total	22554,332	839			
a. R Squared = ,667 (Adjusted R Squared = ,502)					

L'analyse de la variance a été appliquée aussi pour la taille de la plante et le nombre des feuilles sèches des plantes placées dans les concentrations extrêmes 0mM et 135mM (**Tableau 6**). Similairement aux résultats du taux de chlorophylle, la différence des moyennes entre les deux concentrations est statistiquement significative avec une valeur $p=0.025<0.05$ et $p<0.01$ pour la taille de la plante et le nombre des feuilles sèches, respectivement. Cela indique que la concentration en NaCl affecte significativement la croissance et le développement de la plante.

Tableau 6 : L'analyse de la variance pour la taille de la plante et le nombre des feuilles sèches

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Taille de la plante	Between Groups	754,464	1	754,464	5,107	,025
	Within Groups	20385,671	138	147,722		
	Total	21140,136	139			
Feuille sèche	Between Groups	91,207	1	91,207	43,263	,000
	Within Groups	290,929	138	2,108		
	Total	382,136	139			

Le taux de chlorophylle diminue significativement avec l'augmentation de la concentration en NaCl (**Figure 25**) allant de la concentration NaCl = 0mM à la concentration NaCl = 135mM.

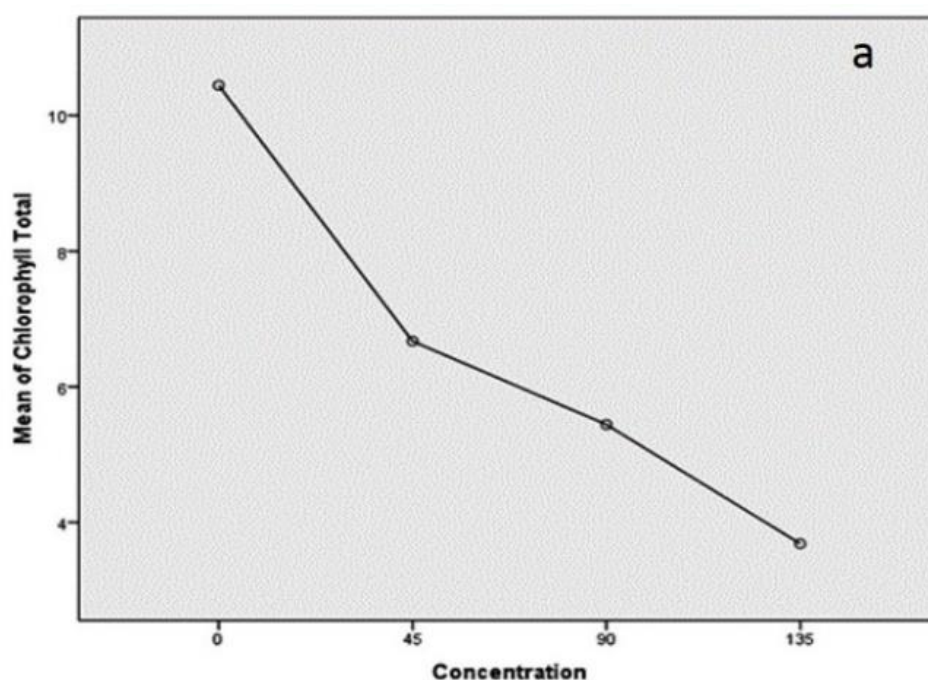


Figure 25 : Evolution des moyennes du nombre de la teneur en chlorophylle.

Pour comprendre le comportement des génotypes du blé dur sous milieu salin (concentration 135mM) une analyse de la composante principale a été réalisée utilisant le modèle GGE biplot dans le logiciel R. En se basant sur le taux de chlorophylle, le nombre de feuilles sèches, et la taille de la plante, l'analyse GGE biplot a révélée une différence entre les génotypes, les deux axes PCA explique un pourcentage de variation total de 31,72% et 45,79%. Le résultat de cette analyse est représenté dans la **Figure 26**. Les génotypes 46, 113 et 103 ont tendance à avoir un taux élevé en chlorophylle. Les génotypes 117 et 11 ont une grande taille par rapport aux autres génotypes. Alors que le génotype 158 a tendance à être le plus sensible des génotypes étudiés, puisqu'il est classé très proche de la ligne feuille sèche et éloigné de celles de la chlorophylle et de la taille de la plante. Les génotypes qui sont opposés à la ligne perpendiculaire des feuilles sèches, semblent avoir une certaine tolérance à la concentration NaCl 135 mM.

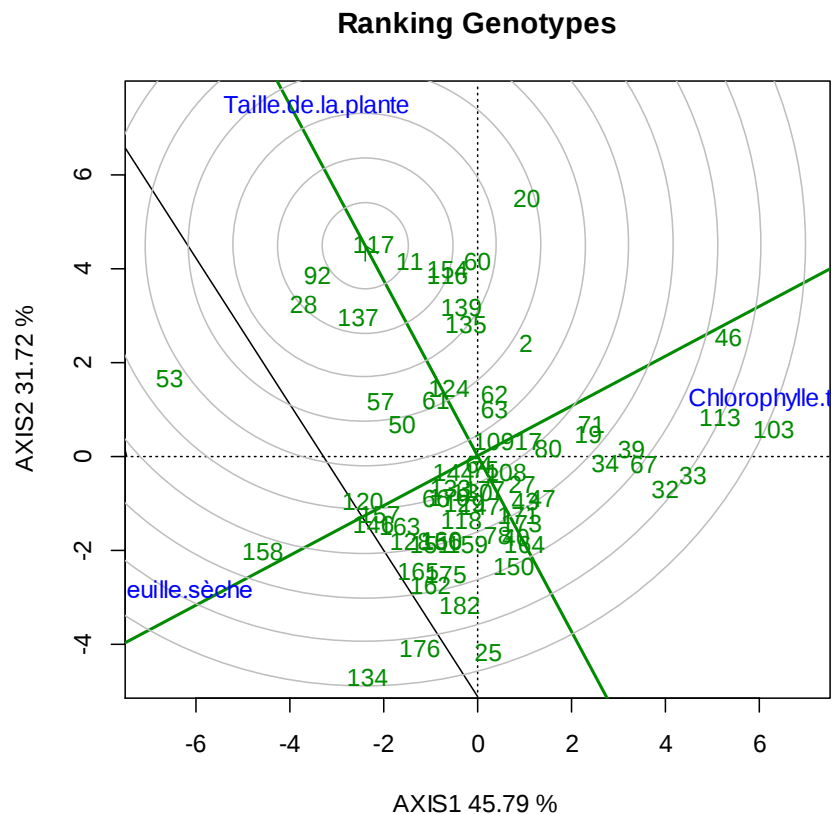


Figure 26 : Relation entre les paramètres sous stress salin en fonction des génotypes. Les génotypes sont marqués par le numéro de variété.

Le **Tableau 7** est le test de comparaison multiple (Duncan test) des moyennes du taux de chlorophylle obtenues par les plantes développées dans la concentration de NaCl 135mM et qui a été réalisé par le système SAS. Ce dernier a révélé que parmi les 70 génotypes, les quatre génotypes (46 : Bidi-17 de la Tunisie, 103 : BIDI-17-xSYRICA de l’Alergie, 113 : SIMETO de l’Algerie, 32 : Ajili de la Tunisia) ont donné une moyenne significativement élevée du taux de chlorophylle dans la concentration 135 mM du NaCl et semble que ces génotypes présentent une tolérance à la salinité.

Tableau 7 : Le test de comparaison multiple DUNCAN des moyennes du taux de chlorophylle pour les 70 géotypes du blé dur dans la concentration NaCl (135 mM)

Variété	Réponse	Moyenne et Groupement Duncan
46	Tolérant	13.659 ^a
103	Tolérant	12.021 ^{ba}
113	Tolérant	11.325 ^{ba}
32	Tolérant	10.748 ^{bac}
33	Intermédiaire	9.849 ^{bdc}
34	Intermédiaire	7.933 ^{edc}
19	Intermédiaire	7.906 ^{edc}
39	Intermédiaire	7.053 ^{edf}
25	Intermédiaire	7.009 ^{edf}
164	Intermédiaire	6.031 ^{egf}
43	Intermédiaire	5.977 ^{ehgf}
116	Intermédiaire	5.968 ^{ehgf}
40	Intermédiaire	5.956 ^{ehgf}
27	Intermédiaire	5.776 ^{ehgf}
57	Intermédiaire	5.71 ^{iehgfj}
109	Intermédiaire	5.658 ^{iehgfj}
71	Intermédiaire	5.457 ^{iehgfj}
67	Intermédiaire	5.324 ^{iehgk fj}
108	Intermédiaire	5.139 ^{iehl gk fj}
17	Intermédiaire	4.945 ^{iemhlgk fj}
75	Intermédiaire	4.56 ^{ionmhl gk fj}
66	Intermédiaire	4.455 ^{ionmhl gk fj}
160	Intermédiaire	4.454 ^{ionmhl gk fj}
47	Sensible	4.396 ^{pionmhl gk fj}
2	Sensible	3.929 ^{pionmhl gk fj q}
63	Sensible	3.841 ^{pionmhl gk fj q}
154	Sensible	3.717 ^{pionmhl gk fj q}
139	Sensible	3.434 ^{pionmhl gk fj q}
80	Sensible	3.426 ^{pionmhl gk fj q}
117	Sensible	2.962 ^{pionmhl gk fj q}
60	Sensible	2.856 ^{pionmhl gk fj q}
177	Sensible	2.812 ^{pionmhl gk fj q}
170	Sensible	2.729 ^{pionmhl gk fj q}
150	Sensible	2.642 ^{pionmhl gk fj q}
163	Sensible	2.626 ^{pionmhl gk fj q}
133	Sensible	2.551 ^{pionmhl gk fj q}
162	Sensible	2.546 ^{pionmhl gk fj q}
165	Sensible	2.528 ^{pionmhl gk fj q}
20	Sensible	2.519 ^{pionmhl gk fj q}
78	Sensible	2.376 ^{ponmhl gk fj q}

11	Sensible	2.065 ^{ponmlkq}
64	Sensible	1.97 ^{ponmlkq}
182	Sensible	1.904 ^{ponmlq}
62	Sensible	1.716 ^{ponmq}
156	Sensible	1.687 ^{ponmq}
124	Sensible	1.653 ^{ponmq}
147	Sensible	1.653 ^{ponmq}
50	Sensible	1.595 ^{ponmq}
92	Sensible	1.516 ^{ponq}
137	Sensible	1.455 ^{ponq}
151	Sensible	1.411 ^{ponq}
176	Sensible	1.386 ^{ponq}
175	Sensible	1.369 ^{ponq}
135	Sensible	1.367 ^{ponq}
157	Sensible	1.229 ^{ponq}
61	Sensible	1.187 ^{ponq}
130	Sensible	1.153 ^{ponq}
28	Sensible	1.144 ^{ponq}
146	Sensible	1.098 ^{poq}
171	Sensible	0.977 ^{pq}
129	Sensible	0.969 ^{pq}
120	Sensible	0.946 ^q
144	Sensible	0.928 ^q
134	Sensible	0.911 ^q
118	Sensible	0.706 ^q
173	Sensible	0.63 ^q
128	Sensible	0.557 ^q
53	Sensible	0.555 ^q
158	Sensible	0.535 ^q
159	Sensible	0.476 ^q

*Les moyennes avec le même alphabet ne sont pas significativement différentes

3 Discussion

A l'échelle mondiale, plus de 20% des terres cultivées sont affectées par la salinité, à cause du changement climatique et des activités anthropiques, et cela augmente de jour en jour (**Hasanuzzaman et al., 2017**). Au Maroc, une grande partie des terres agricoles est soumise à un climat aride et semi-aride, où les événements pluviaux sont rares, ce qui induit à une forte demande climatique qui augmente la salinisation des sols les rendant impropres aux cultures sensibles (**Benderradji, 2013**).

Les dégâts causés par la salinité s'observent généralement aux niveaux morphologiques et physiologiques. En effet, les concentrations de sel élevées affectent la germination et la croissance du blé, et cette affection s'accroît avec l'intensité du stress salin. D'un côté, le stress salin réduit la germination, retarde la levée chez certaines variétés de blé, et diminue le rendement de la récolte. Certaines variétés sont beaucoup plus tolérantes que d'autres. D'un autre côté, le sel affecte aussi la croissance du plant de blé à tous les stades de développement, néanmoins, cette sensibilité varie d'un stade à un autre.

Dans cette étude, un effet négatif a été signalé au niveau de la germination et la croissance des plants de blé dur soumis au stress salin. Le taux de germination, la teneur en chlorophylle, ainsi que la hauteur diminuent, alors que le nombre de feuilles sèches augmente, et cela au fur et à mesure que la salinité prend de l'importance.

Les 70 géotypes du blé dur ont montré des différences significatives sous l'effet de la salinité au cours de la germination. Certains géotypes sont plus sensibles que d'autres sensibles au sel à la germination sous traitement de sel LC50, cela a été confirmé au cours des stades de croissance et de développement. Par ailleurs, le géotype Icamor, s'est montré le plus tolérant au stress salin lors de la germination, mais il a manifesté une certaine sensibilité pendant la croissance et développement.

De nombreux chercheurs ont confirmé que ce résultat était contradictoire. En effet, une étude a signalé que certaines espèces d'*Acacia* tel que *A. horrida* était sensible au sel durant la germination, contrairement à *A. raddiana* qui avait une tolérance au sel remarquable, et qui était conservée à un stade avancé. Ainsi, l'étude a conclu que la germination sous concentration saline n'était pas un critère suffisant pour déterminer la tolérance des espèces au sel (**Chérifi et**

al., 2017). Une autre étude a classé les espèces de blé dur selon leur taux de germination. Le taux de germination sous concentration saline pourrait être fiable pour la sélection des espèces tolérantes au sel (**Alaoui et al., 2013**). Nos résultats sont cohérents avec ceux de **Chérifi et al., 2017**.

Au cours du stade de croissance et de développement, le screening de la tolérance au sel nous a permis de classer certains génotypes dans des groupes sensibles et d'autre dans des groupes tolérant, au sein des 70 génotypes soumis à la salinité. En effet, au cours de notre étude, nous avons détecté trois groupes ; tolérant, intermédiaire, et sensible, cela signifie que le test de screening de la tolérance durant la croissance et le développement est plus utile et le plus informatif. **Azizov et al, 2013** ont trouvé durant leurs travaux de recherche trois génotypes de blé tolérants (Barakhatli, Giymatli 2/17 et Azamatli-95) à partir du dosage de la chlorophylle. Ils ont signalé qu'ils peuvent être utilisés comme marqueurs physiologiques pour le screening de la tolérance au sel. Nos résultats confèrent avec ceux de **Azizov et al, 2013**, de ce fait, on peut dire que la teneur en chlorophylle pourrait être utilisée comme critère pour le screening de la tolérance au sel du blé.

Nous avons constaté qu'il n'y'a pas de corrélation entre la tolérance au sel pendant le stade de germination et le stade de croissance et de développement. En effet, certaines variétés de blé dur sont tolérantes pendant le stade de germination, mais durant le stade croissance, elles avaient un faible taux de chlorophylle ce qui les a rendus sensibles. Ainsi, la tolérance au sel pendant la germination pourrait être justifiée par l'effet osmotique, car la composante osmotique du stress salin est le principal facteur responsable de l'inhibition de la germination (**Bajji et al, 2002**), alors que la tolérance au sel durant la croissance de la plante demande beaucoup plus de temps pour s'exprimer (**Bourizq, 2019**).

Notre étude a permis de comprendre le comportement des variétés de blé dur dans les conditions salines au cours de la germination et de la croissance. Les génotypes de blé dur ont répondu différemment au stress salin, cette réponse a été observée à travers certains paramètres comme la diminution du taux de germination, de la teneur en chlorophylle, de la hauteur de la plante, ainsi que l'augmentation du nombre de feuilles sèches. Le test de screening de la tolérance au sel durant la croissance et le développement était plus fiable et plus informatif que celui de la germination. D'un autre côté, les génotypes de blé dur tolérants avaient une teneur en chlorophylle élevé par rapport aux génotypes sensibles, cela a été considéré comme un excellent critère pour la tolérance au sel.

Conclusion

Le blé dur est connu depuis longtemps et considéré comme l'une des céréales les plus consommées au monde. La plupart des blés dur cultivés ont une origine génétique tétraploïdes et possèdent une certaine tolérance au stress salin. Cependant, les niveaux élevés de la salinité dans les terres irriguées affectent gravement la productivité et la croissance du blé. Le stress salin provoque des dégâts néfastes au niveau de la germination des graines, la croissance et le développement des plantes, le rendement, certains mécanismes physiologiques ...etc.

Pour développer des variétés tolérantes au stress salin, il est important d'instaurer une méthode de screening utile qui permet une caractérisation des paramètres de tolérance au sel qui seraient efficace pour la sélection variétale et génétique. La germination et les premiers stades de croissance sont considérés comme les niveaux les plus sensibles au stress salin.

Notre étude consiste à caractériser la réponse de 70 génotypes de blé dur face au stress salin. Au début, la concentration médiane LC50 a été déterminée. Cette concentration a servi à sélectionner les génotypes tolérants au cours de la germination. Par la suite, tous les génotypes ont été évalués en se basant sur des paramètres morphologiques et physiologiques durant la croissance et le développement sous concentrations croissantes de sel ; 0, 45, 90, 135 mM.

Nos résultats ont montré un effet très significatif du stress salin, sur les différents paramètres évalués et ceci pour tous les génotypes traités. En effet, la salinité a provoqué la diminution de la germination, de la hauteur de la plante, de la teneur en chlorophylle et l'augmentation du nombre de feuilles sèches. Le test de screening de tolérance durant la croissance et le développement était plus efficace que celui de la germination. Le taux de chlorophylle le plus élevé a été observé chez les quatre génotypes 32,46, 103,113 avec un taux de 10.74 µg/mL, 13.65 µg/mL, 12.02 µg/mL, 11.32 µg/mL, respectivement, dans la concentration saline 135 mM. La teneur en chlorophylle nous a permis de distinguer les génotypes tolérants des génotypes sensibles, ce résultat pourrait être utile pour le test de screening de la tolérance au sel.

La présente étude a permis de détecter une certaine variation entre les différents génotypes soumis aux conditions salines, surtout dans les seuils élevés de sel allant jusqu'à 135 mM. Cette variation pourrait constituer un atout intéressant dans la sélection des espèces tolérantes au stress salin, ainsi que dans les programmes d'amélioration des plantes dans les sols salés.

Perspectives

Les résultats obtenus lors de cette étude seraient utiles pour approfondir les recherches sur l'effet de la salinité sur le blé dur afin de mettre en place un protocole expérimental solide pour déterminer les nombreux mécanismes de tolérance au sel.

Par ailleurs, il est important d'appliquer cette étude sur plusieurs niveaux du cycle de vie du blé, de suivre l'évolution des plantes stressées au champs, d'utiliser des concentrations plus élevées de NaCl, de tester plusieurs variétés, comme il est nécessaire de s'intéresser à la biologie moléculaire pour identifier les gènes responsables de la tolérance au stress salin.

Les résultats de cette étude approfondie constitueraient un atout de taille dans la sélection et l'amélioration des variétés de blé dur dans le but d'augmenter la production.

Références bibliographiques

Abdi et Zitouni, 2014

Abdi S, Zitouni A. Dosage de l'acide abscissique en conditions de stress hydrique et thermique et étude des mécanismes de tolérances chez quelques variétés du blé dur (*Triticum durum* Desf.) [En ligne]. Mémoire de Master. Algérie : Université Constantine 1, 2014, p 90. Disponible sur < <https://fac.umc.edu.dz/snv/faculte/biblio/mmef/2014/49-2014.pdf> > consulté le (25/08/2020)

Achour, 2016

Achour A. Caractérisations Physiologique et Biochimique du Gombo (*Abelmoschus esculentus* L.) sous Stress Salin [En ligne]. Thèse de Doctorat. Algérie : Université Oran 1 - Ahmed Ben Bella (Université Es-Sénia), 2016, p 140. Disponible sur <<https://theses.univ-oran1.dz/document/132016116t.pdf>> consulté le (25/06/2020)

Acosta-Motos et al, 2017

Acosta-Motos, J., Ortuño, M., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M., & Hernandez, J. Plant Responses to Salt Stress : Adaptive Mechanisms. *Agronomy*, 7(1), 18 (2017). Disponible sur < [https://www.researchgate.net/publication/313953727 Plant Responses to Salt Stress Adaptive Mechanisms](https://www.researchgate.net/publication/313953727_Plant_Responses_to_Salt_Stress_Adaptive_Mechanisms) > consulté le (18/10/2020)

Ainaoui et Lafala, 2016

Ainaoui S, Lafala Z. Etude comparative de l'effet du stress hydrique sur le Comportement de quatre génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) [En ligne]. Mémoire de Master. Algérie : Université des Frères Mentouri Constantine, 2016, p 67. Disponible sur <<https://fac.umc.edu.dz/snv/bibliotheque/biblio/mmef/2016/104.pdf>> consulté le (29/04/2020)

Aissani, 2013

Aissani S. Effets du stress hydrique sur une variété du blé dur (*triticum durum* DESF) [En ligne]. Mémoire de Master. Algérie : Université 8 Mai 1945 Guelma, 2013, p 65. Disponible sur <<http://dspace.univ-guelma.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2058/M570.374%20ECOLOGIE.PDF?sequence=1&isAllowed=y>> consulté le (28/02/2020)

Alaoui et al, 2013

Alaoui M, et al. Effet du stress salin sur la germination et la croissance de six variétés marocaines de blé (Effect of salt stress on germination and growth of six Moroccan wheat varieties). *Journal of Materials and Environmental Science*, 4 (6) (2013) 997-1004. Disponible sur <https://www.jmaterenvironsci.com/Document/vol4/vol4_N6/135-JMES-524-2013-MraniAlaoui.pdf> consulté le (30/12/2020)

Almeida et al, 2017

Almeida M, et al. Regulation of Na⁺ and K⁺ homeostasis in plants: towards improved salt stress tolerance in crop plants. *Genetics and Molecular Biology*, 40, 1(suppl), 326-345 (2017). Disponible sur<<https://www.scielo.br/pdf/gmb/v40n1s1/1415-4757-gmb-1678-4685-GMB-2016-0106.pdf>> consulté le (29/08/2020)

Amrouche et Mesbah, 2017

Amrouche I, Mesbah El-kahina A. Effet du stress abiotique sur l'accumulation des protéines totales chez deux variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) [En ligne]. Mémoire de Master. Algérie : Université des Frères Mentouri Constantine, 2017, p 96. Disponible sur <[https://fac.umc.edu.dz/snv/faculte/biblio/mmf/2017/Effet%20du%20stress%20abiotique%20sur%20l%E2%80%99accumulation%20des%20prot%C3%A9ines%20totales%20chez%20deux%20vari%C3%A9t%C3%A9s%20de%20bl%C3%A9%20dur%20\(Triticum%20durum%20Desf.pdf](https://fac.umc.edu.dz/snv/faculte/biblio/mmf/2017/Effet%20du%20stress%20abiotique%20sur%20l%E2%80%99accumulation%20des%20prot%C3%A9ines%20totales%20chez%20deux%20vari%C3%A9t%C3%A9s%20de%20bl%C3%A9%20dur%20(Triticum%20durum%20Desf.pdf)> consulté le (22/06/2020)

Ardisson, 2019

Ardisson M. Histoire de la domestication de *Triticum turgidum* : La capture d'exons au service de l'étude de la diversité génétique [En ligne]. Mémoire de Master. France : Ecole Pratique Des Hautes Etudes, 2019, p 224. Disponible sur <<https://hal-ephe.archives-ouvertes.fr/hal-02409617/document>> consulté le (04/06/2020)

Arif, 2015

Arif F. Effets du stress salin et d'osmoprotecteurs naturels sur la germination de blé dur (*Triticum durum*) inoculé par *Pseudomonas fluorescens* [En ligne]. Thèse de Doctorat. Algérie : Université Ferhat Abbas Sétif 1, 2015, p 205. Disponible sur <<http://dspace.univ-setif.dz:8888/jspui/bitstream/123456789/1653/1/th%C3%A8se%20soutenue.pdf>> consulté le (22/05/2020)

Attab, 2014

Attab S. Etude de quelques altérations physiologiques et biochimiques chez le blé causées par une maladie cryptogamique (l'oïdium)[En ligne].Thèse de Doctorat. Algérie : Université Badji Mokhtar- Annaba, 2014, p 145. Disponible sur <<http://biblio.univ-annaba.dz/wp-content/uploads/2017/05/These-Attab-Saliha.pdf>>consulté le (09/05/2020)

Atallah et Fridjat, 2018

Atallah M, Fridjat Z. Etude de quelques paramètres d'adaptation physiologique et anatomique de quelques espèces spontanées du Sahara (région Elhamraya- d'El Oued) [En ligne]. Mémoire de Master : Université Echahid Hamma Lakhdar -El OUED, 2018, p 116. Disponible sur <<http://dspace.univ-eloued.dz/xmlui/bitstream/handle/123456789/4112/580.01084.pdf?sequence=1>> consulté le (09/07/2020)

Azizov et al, 2013

Azizov I., Khanisheva M., Ibrahimova U. Effect of Salinity on Chlorophyll Content and

Activity of Photosystems of Wheat Genotypes. In : Photosynthesis Research for Food, Fuel and the Future. Advanced Topics in Science and Technology in China. Springer, Berlin, Heidelberg (2013). Disponible sur https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-32034-7_116#citeas consulté le (31/12/2020)

Bachir Bey et Soumatia, 2015

Bachir Bey I, Soumatia N. Contribution à l'étude de l'effet de la fréquence d'irrigation sur la production du blé dur sur des sols lourds en zone semi-aride [En ligne]. Mémoire de Master. Algérie : Université Djilali Bounaâma de Khemis Miliana, 2015, p 67. Disponible sur <http://dspace.univ-km.dz/jspui/bitstream/123456789/956/1/m%C3%A9moire%20hydraulique.pdf> consulté le (01/03/2020)

Badraoui et Meziani, 2019

Badraoui H, Meziani S. Effet de la contrainte saline sur la germination et la croissance de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) [En ligne]. Mémoire de Master. Algérie : Université 8 Mai 1945 Guelma, 2019, p 248. Disponible sur <http://dspace.univ-guelma.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3827/M570.995%20SNV.pdf?sequence=1&isAllowed=y> consulté le (04/06/2020)

Bajji et al, 2002

Mohammed Bajji, Jean-Marie Kinet, and Stanley Lutts. Osmotic and ionic effects of NaCl on germination, early seedling growth, and ion content of *Atriplex halimus* (Chenopodiaceae). *Canadian Journal of Botany* (2002). **80**(3) : 297-304. Disponible sur <https://cdnsiencepub.com/doi/abs/10.1139/b02-008> consulté le (04/01/2020)

Benderradji, 2013

Benderradji L. sélection in vitro pour la tolérance aux stress salin et thermique chez le blé tendre (*triticum aestivum* l.) [En ligne]. Thèse de Doctorat. Algérie : Université Constantine -1-, 2013, p

143. Disponible sur <<http://docplayer.fr/12778876-Selection-in-vitro-pour-la-tolerance-aux-stress-salin-et-thermique-chez-le-ble-tendre-triticum-aestivum-l.html>> consulté le (27/05/2020)

Ben Kaddour, 2014

Ben Kaddour M. Modifications physiologiques chez des plantes de blé (*Triticum durum* Desf) exposées à un stress salin [En ligne]. Thèse de doctorat. Algérie : Université Badji Mokhtar-Annaba, 2014, p 108. Disponible sur <<http://biblio.univ-annaba.dz/wp-content/uploads/2015/10/These-Ben-kaddour-Mounya.pdf>> consulté le (04/06/2020)

Benkrinah et al, 2018

Benkrinah K, Hafiani A, Saidi S. Etude de paramètres morphologiques, physiologiques et biochimique due au stress hydrique chez trois variétés du blé dur (*Triticum durum* Desf) [En ligne]. Mémoire de Master. Algérie : Université 8 Mai 1945 Guelma, 2018, p 65. Disponible sur <<http://dspace.univ-guelma.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1016/M%20570.893%20ECOLOGIE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> consulté le (23/02/2020)

Benmakhlouf, 2018

Benmakhlouf Z. Etude de l'effet des phytohormones sur la croissance du blé dur (*Triticum durum* Desf.) var. Kebir cultivée dans des conditions salines. [En ligne]. Mémoire de Master. Algérie : Université des Frères Mentouri Constantine1, 2018, p 152. Disponible sur <<https://docplayer.fr/115027607-Etude-de-l-effet-des-phytohormones-sur-la-croissance-du-ble-dur-triticum-durum-desf-var-kebir-cultivee-dans-des-conditions-salines.html>> consulté le (22/05/2020)

Bentouati et Safsaf, 2019

Bentaouti I, Safsaf H. Effet du chlorure de sodium (NaCl) sur la germination et les paramètres de croissance du blé (*Triticum* sp) [En ligne]. Mémoire de Master. Algérie : Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi - B.B.A, 2019, p 61. Disponible sur <<http://dspace.univ-bba.dz/bitstream/handle/123456789/253/M467.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> consulté le (27/05/2020)

Ben Yahmed, 2013

Ben Yahmed J. Etude des propriétés de tolérance au déficit hydrique et au stress salin de génotypes appartenant au genre Poncirus et au groupe des mandariniers [En ligne]. Thèse de Doctorat. France : Centre international d'études supérieures en sciences agronomiques Montpellier, 2013, p 210. Disponible sur https://agritrop.cirad.fr/572885/1/document_572885.pdf > consulté le (27/06/2020)

Boufelfel et Selmani, 2016

Boufelfel I, Selmani R. L'effet de Quatre traitement de semence sur le blé tendre (variété Mawna) [En ligne]. Mémoire de Master. Algérie : Université 8 Mai 1945 Guelma, 2016, p 80. Disponible sur <http://dspace.univ-guelma.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1270/M570.665%20BIOLOGIE.pdf?sequence=1&isAllowed=y> > consulté le (01/05/2020)

Bouichou et al, 2019

Bouichou El Houssain, Aziz Fadlaoui, Khalil Allali, Radouan Arrach. Contract Farming in the Morocco Cereal Sector: Contract Clauses, Ambiguity, and Opportunism. International Journal of Agricultural Economics. Vol. 4, No. 5, 2019, pp. 245-253. Disponible sur https://www.researchgate.net/publication/336847753_Contract_Farming_in_the_Morocco_Cereal_Sector_Contract_Clauses_Ambiguity_and_Opportunism > consulté le (15/05/2020)

Boukensous, 2014

Boukensous W. Etude de l'efficacité de quelques fongicides sur le contrôle des maladies foliaires du blé et l'impact du traitement sur le développement et le rendement de la culture [En ligne]. Mémoire de Master. Algérie : Université 8 Mai 1945 Guelma, 2014, p 92. Disponible sur <http://dspace.univ-guelma.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1585/M570.422%20ECOLOGIE.pdf?sequence=1&isAllowed=y> > consulté le (01/03/2020)

Boumdouha et Krim, 2019

Boumdouha S, Krim K. Quelques Caractères physiologiques et morphologiques de tolérance de blé dur (*Triticum durum* Desf.) de deux génotypes (WAHA et GTA) à la salinité [En ligne]. Mémoire de Master. Algérie : Université Mohamed Boudiaf - M'Sila, 2019, p 79. Disponible sur <<http://dspace.univ-msila.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/14638/Quelques%20Caract%C3%A8res%20physiologiques%20et%20morphologiques%20de%20tol%C3%A9rance%20de%20bl%C3%A9%20dur.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> consulté le (29/04/2020)

Bourizq, 2019

Bourizq Z. Caractérisation phénotypique et génotypique des germoplasmes de blé (*Triticum aestivum* L.) vis-à-vis de la salinité [En ligne]. Mémoire de Master. Maroc : Université Moulay Ismail, 2019, p 92. Disponible sur <<https://repo.mel.cgiar.org/handle/20.500.11766/10564>> consulté le (14/05/2020)

Brahimi, 2017

Brahimi Rahimi H. Variations phénotypiques pour la tolérance aux stress salin et hydrique chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) [En ligne]. Mémoire de Master. Algérie : Université Mohamed Boudiaf - M'Sila, 2017, p 76. Disponible sur <http://dspace.univ-msila.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1505/Memoire_HIBAT.pdf?sequence=1&isAllowed=y> consulté le (22/05/2020)

Caverzan et al, 2012

Caverzan A, et al. Plant responses to stresses: Role of ascorbate peroxidase in the antioxidant protection Genetics and Molecular Biology, v. 35, n. 4, suppl. 1, p. 1011-1019 (2012), disponible sur <https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-47572012000600016> consulté le (19/09/2020)

Chamekh, 2010

Chamekh Z. 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 [En ligne]. Mémoire de Master. Tunisie : Université du 7 Novembre à Carthage, 2010, p 72. Disponible sur <<https://www.memoireonline.com/12/13/8258/Analyse-de-la-reponse-de-quelques-genotypes-de-ble-dur--Triticum-turgidum-ssp-durum---la-cont.html>> consulté le (25/06/2020)

Chérifi et al, 2017

Chérifi K, et al. Effet du chlorure de Sodium (NaCl) sur la croissance de six espèces d'Acacia. American Journal of Innovative Research and Applied Sciences (2017). Disponible sur <<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1711/1711.08064.pdf>> consulté le (31/12/2020)

Danquah et al, 2014

Danquah A, et al, The role of ABA and MAPK signaling pathways in plant abiotic stress responses, Biotechnol Adv (2013). Disponible sur <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.09.006>> consulté le (27/08/2020)

Delattre, 2017

Delattre R. Contribution à l'ajustement du phyllotherme utilisé dans les modèles de croissance du blé et de l'orge [En ligne]. Mémoire de Master. France : université de Liège, 2017, p 82. Disponible sur <<https://matheo.uliege.be/bitstream/2268.2/2633/1/Memoire-final-Raphael-Delattre.pdf>> consulté le (01/05/2020)

Fakih, 2015

Fakih Z. Analyse protéomique nucléaire comparative chez *Arabidopsis* lors de la réponse au chitosane [En ligne]. Mémoire de Master. Canada : Université du Québec à Trois-Rivières, 2015, p 82. Disponible sur <<http://depot-e.uqtr.ca/id/eprint/7757/1/031167718.pdf>> consulté le (12/08/2020)

Foudili et Gasmi, 2017

Foudili D, Gasmi A. Stress de la sècheresse chez quatre variétés du blé dur (*Triticum durum* Desf.) : Un examen sur quelque caractéristique morphologique et sur les pigments [En ligne]. Mémoire de Master. Algérie : Université Mohamed Boudiaf- M'Sila, 2017, p 78. Disponible sur <<http://dspace.univ-msila.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1499/2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> consulté le (04/06/2020)

Gouasmi et Badaoui, 2017

Gouasmi R, Badaoui N. Etude biochimique de l'influence du séchage sur la valeur nutritionnelle de deux variétés de blé dur Algériennes (Bousseleme et Siméto) [En ligne]. Mémoire de Master. Algérie : Université Djilali Bounaâma de Khemis Miliana, 2017, p 104. Disponible sur <<http://www.secheresse.info/spip.php?article79903>> consulté le (23/02/2020)

Hanana et al, 2011

Hanana M, et al. Mécanismes et stratégies cellulaires de tolérance à la salinité (NaCl) chez les plantes *Environmental Reviews*. 2011, Vol. 19, p121. 1p. disponible sur <https://www.researchgate.net/publication/263311182_Mecanismes_et_strategies_cellulaires_de_tolerance_a_salinite_NaCl_chez_les_plantes> consulté le (02/07/2020)

Hanin et al, 2016

Hanin M, Ebel C, Ngom M, Laplaze L and Masmoudi K (2016) New Insights on Plant Salt Tolerance Mechanisms and Their Potential Use for Breeding. *Front. Plant Sci.* 7:1787. Disponible sur <<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2016.01787/full>> consulté le (01/09/2020)

Hasanuzzaman et al, 2017

Hasanuzzaman M, et al. (May 24th 2017). Approaches to Enhance Salt Stress Tolerance in Wheat. *Wheat Improvement, Management and Utilization*, IntechOpen. 2017, chapter 8. Disponible sur <https://www.researchgate.net/publication/317154269_Approaches_to_Enhance_Salt_Stress>

Tolerance in Wheat> consulté le (18/12/2020)

Jallouli, 2019

Jallouli S. Étude de l'homéostasie des sucres en réponse à une forte salinité chez *Arabidopsis thaliana* : impact sur l'anatomie des tissus vasculaires dans la hampe florale et rôle dans la tolérance [En ligne]. Thèse de Doctorat. France : Université Paris-Saclay, 2019, p 190.

Disponible sur <<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02469254/document>> consulté le (26/06/2020)

Kalarasse, 2018

Kalarasse A. Effet des altérations de la semence sur le développement de la culture et la qualité du rendement chez le blé [En ligne]. Mémoire de Master. Algérie : Université 8 Mai 1945 Guelma, 2018, p 75. Disponible sur <<http://dspace.univ-guelma.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/735/M570.839%20SNV.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> consulté le (23/02/2020)

Khadar et Zitouni, 2018

Khadar F, Zitouni F. Variation du comportement physiologique et biochimique chez deux espèces du genre *Artemisia* (*Artemisia herba alba* et *Artemisia campestris*) sous la contrainte saline [En ligne]. Mémoire de Master. Algérie : Université Mohamed Boudiaf - M'Sila, 2018, p 2015. Disponible sur <<http://dspace.univ-msila.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/7957/Variation%20du%20comportement%20physiologique.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> consulté le (25/08/2020)

Labdelli, 2011

Labdelli A. Etude des effets des variations morpho-structurales du système racinaire pour la tolérance à la sécheresse du blé dur (*Triticum durum* Desf.) [En ligne]. Mémoire de Master. Algérie : université d'Oran Es-Senia, 2011, p 120. Disponible sur <<https://theses.univ-oran1.dz/document/TH3635.pdf>> consulté le (28/04/2020)

Lahouel, 2014

Lahouel H. 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 [En ligne]. Mémoire de Master. Algérie : Université d'ABOU-BEKRBELKAID Tlemcen, 2014, p 104. Disponible sur <<http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/5688/1/LAHOUELHabiba.pdf>> consulté le (29/05/2020)

Lemekeddem et Debbache, 2014

Lemekeddem H, Debbache H. Synthèse bibliographique sur l'effet du stress salin sur la germination de blé [En ligne]. Mémoire de Licence. Algérie : Université Kasdi Merbah Ouargla, 2014, p 45. Disponible sur <https://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/bitstream/123456789/8132/1/LEMEKEDDEM_DEBBACHE.pdf> consulté le (03/06/2020)

Lemzeri, 2007

Lemzeri H. Réponses écophysologiques de trois espèces forestières du genre Acacia, Eucalyptus et Schinus (A. cyanophylla, E. gomphocephala et S. môle) soumises à un stress salin [En ligne]. Mémoire de Master. Algérie : Université Mentouri Constantine, 2007, p 180. Disponible sur <<https://www.doc-developpement-durable.org/file/Fertilisation-des-Terres-et-des-Sols/eaux-et-sols-salins/R%C3%A9ponses%20%C3%A9cophysologiques%20de%20Acacia%20Eucalyptus%20et%20Schinus%20soumises%20%C3%A0%20un%20stress%20salin.pdf>> consulté le (26/06/2020)

Liu et al, 2017

Liu, X., Fan, Y., Mak, M. et al. QTLs for stomatal and photosynthetic traits related to salinity tolerance in barley. BMC Genomics 18, 9 (2017). Disponible sur <<https://bmcbgenomics.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12864-016-3380-0>> consulté le (26/09/2020)

Lounis, 2017

Lounis A. L'effet de fractionnement d'une seule dose d'azote sur la production de blé dur (*Triticum durum*) variété Simeto dans la zone d'Ouarizane. RELIZANE[En ligne]. Mémoire de Master. Algérie : Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, 2017, p 62. Disponible sur <<http://e-biblio.univ-mosta.dz/bitstream/handle/123456789/2541/memoire%20final%202017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> consulté le (04/05/2020)

Manchanda et Garg, 2008

Manchanda G, Garg N. Salinity and its effects on the functional biology of legumes. *Acta Physiol Plant*. 2008 ; 30:595–618. Disponible sur <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11738-008-0173-3>> consulté le (25/08/2020)

Mekaoussi, 2015

Mekaoussi R. Etude de comportement variétal du blé dur (*Triticum durum* Desf.) vis-à-vis de *Rhopalosiphum maidis* (Homoptera : Aphididae) dans la région de Batna en vue de l'amélioration de la plante [En ligne]. Mémoire de Master. Algérie : Université El-Hadj Lakhdar Batna, 2015, p 127. Disponible sur <<http://www.secheresse.info/spip.php?article48151>> consulté le (16/06/2020)

Merouche, 2015

Merouche A. Besoin en eau et maîtrise de l'irrigation d'appoint du blé dur dans la vallée du Chéouli [En ligne]. Thèse de Doctorat. Algérie : Ecole National Supérieure Agronomique, 2015, p 115. Disponible sur <<http://dspace.ensa.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1284/Merouche.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> consulté le (01/03/2020)

Messaâdi et Samaï, 2016

Messaâdi H, Samaï S. Etude comparative des paramètres physicochimiques, technologiques,

rhéologiques et microbiologiques des différentes marques de semoule mises sur le marché de la commune de Tébessa [En ligne]. Mémoire de Master. Algérie : Université de Larbi Tébessi-Tébessa, 2016, p 86. Disponible sur <<http://www.univ-tebessa.dz/fichiers/masters/sesnv160004.pdf>> consulté le (19/05/2020)

Nedjah, 2015

Nedjah I. Changements physiologiques chez des plantes (Blé dur *Triticum durum* Desf.) exposées à une pollution par un métal lourd (plomb) [En ligne]. Mémoire de Master. Algérie : Université Badji Mokhtar- Annaba, 2015, 2015, p 144. Disponible sur <<http://biblio.univ-annaba.dz/wp-content/uploads/2015/11/Nedjah-Imene-.pdf>> consulté le (23/02/2020)

Nehila, 2016

Nehila A. Symbioses telluriques : Rôle et mécanisme de Tolérance aux stress abiotiques [En ligne]. Thèse de Doctorat. Algérie : Université d'Oran 1 Ahmed Ben Bella, 2016, p 198. Disponible sur <<https://theses.univ-oran1.dz/document/14201616t.pdf>> consulté le (11/07/2020)

Nguyen, 2012

Nguyen T. Identification et caractérisation d'un canal chlorure, AtCLCg, impliqué dans la réponse au stress salin chez *Arabidopsis thaliana* [En ligne]. Thèse de Doctorat. France : Université Paris-Sud, 2012, p 249. Disponible sur <<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00856592/document>> consulté le (11/07/2020)

Osman, 2009

Osman S. effet du stress salin sur la croissance et la physiologie de deux variétés *Vigna unguiculata* L. [En ligne]. Mémoire de Master. Algérie : Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, 2009, p 113. Disponible sur <<http://repository.usthb.dz/bitstream/handle/123456789/2676/TH6299.pdf?sequence=3&isAllowed=y>> Consulté le (26/06/2020)

Parvaiz et Prasad, 2012

Parvaiz Ahmad, M.N.V. Prasad. Environmental adaptations and stress tolerance of plants in the era of climate change. New York: Springer New York (2012), disponible sur https://www.researchgate.net/publication/321618831_Environmental_Adaptations_and_Stress_Tolerance_of_Plants_in_the_Era_of_Climate_Change consulté le (18/09/2020)

Renaud, 2015

Renaud J. Etude du rôle des H⁺-ATPases de la membrane plasmique dans la régulation des mouvements stomatiques chez *Arabidopsis thaliana* [En ligne]. Thèse de Doctorat. France : Université D'Aix-Marseille, 2015, p 201. Disponible sur <https://docplayer.fr/60113241-Etude-du-role-des-h-atpases-de-la-membrane-plasmique-dans-la-regulation-des-mouvements-stomatiques-chez-arabidopsis-thaliana.html> consulté le (20/10/2020)

Saâdane, 2019

Saâdane El Boukhari M. Etude des paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques due au stress salin chez trois variétés de céréales [En ligne]. Mémoire de Master. Algérie : Université 8 Mai 1945 Guelma, 2019, p 66. Disponible sur <http://dspace.univ-guelma.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/5559/M570.1014%20ECO.pdf?sequence=1&isAllowed=y> consulté le (09/07/2020)

Salmi, 2015

Salmi M. Caractérisation morpho-physiologique et biochimique de quelques générations F2 de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides [En ligne]. Mémoire de Master. Algérie : Université Ferhat Abbas Sétif 1, 2015, p 124. Disponible sur <https://www.univ-setif.dz/MMAGISTER/images/facultes/SNV/2015/SALMI%20MANEL.pdf> Consulté le (31/05/2020)

Siouda et Benkhelifa, 2016

Siouda A, Benkhelifa Z. Etude écophysiological des quelques écotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans la région semi-aride de Setif [En ligne]. Mémoire de Master. Algérie : Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A, 2016, p 74. Disponible sur <http://dspace.univ-bba.dz/bitstream/handle/123456789/61/M09.pdf?sequence=1&isAllowed=y> consulté le (27/02/2020)

Tahraoui, 2016

Tahraoui S. 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*) [En ligne]. Mémoire de Master. Algérie : Université Mohamed Khider Biskra, 2016, p 150. Disponible sur http://thesis.univ-biskra.dz/2741/1/M%C3%A9moire_55_2016.pdf consulté le (20/05/2020)

Tahri et al, 1997

Tahri, E.H.; Belabed, A. & 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*). Bull. Inst. Sci., Rabat, n°21 (1997-1998), pp. 81-87. Disponible [http://www.israbat.ac.ma/wp-content/uploads/2015/06/07-%20Tahri%20et%20al.%20\(81-87\).pdf](http://www.israbat.ac.ma/wp-content/uploads/2015/06/07-%20Tahri%20et%20al.%20(81-87).pdf) consulté le (22/10/2020)

Tester et Davenport, 2003

Tester M, Davenport R. Na⁺ Tolerance and Na⁺ Transport in Higher Plants. Annals of Botany 91 : 503±527, 2003. Disponible sur https://www.researchgate.net/publication/10846893_Na_Tolerance_and_Na_Transport_in_Higher_Plants > consulté le (29/08/2020)

Zegrany, 2014

Zegrany D. Caractérisation morpho-physiologique et biochimique de sept génotypes de deux variétés de blé dur cultivé en Algérie [En ligne]. Mémoire de Master. Algérie : Université

Constantine 1, 2014, p 67. Disponible sur
<<https://fac.umc.edu.dz/snv/bibliotheque/biblio/mmf/2014/17-2014.pdf>> consulté le
(23/02/2020)

Zerroumda, 2012

Zerroumda M. Approches physiologiques et métaboliques pour la sélection de variétés d'orge tolérantes vis-à-vis d'une contrainte saline [En ligne]. Mémoire de Master. Algérie : École Nationale Supérieure Agronomique -El Harrach –Alger, 2012, p 100. Disponible sur
<<http://dspace.ensa.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/1248/1/M%C3%A9moire%20%20magister%20biblioth%C3%A8que.pdf>> consulté le (27/05/2020)

Zhao et al, 2020

Zhao, C., Zhang, H., Song, C., Zhu, J.-K., & Shabala, S. Mechanisms of Plant Responses and Adaptation to Soil Salinity. The Innovation, 1(1), 100017 (2020). Disponible sur
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666675820300175>> consulté le
(25/09/2020)

Zidi, 2010

Zidi H. Effet comparatif de trois fongicides (Tilt, Artea et Amistar Xtra) appliqués en végétation sur les principales maladies foliaires du blé dur (*Triticum durum* Desf.) : et sur son rendement en grain et ses composantes [En ligne]. Mémoire de Master. Algérie : Université de Tébessa, 2010, p 137. Disponible sur <http://www.univ-tebessa.dz/fichiers/Theses_dissertations/docs/ThesesMag/Biologie/Biotechnologievegetale/ZIDIHizia.pdf> consulté le (10/03/2020)

Annexes

Annexe 1 : Les variétés finales utilisé dans le traitement salin

Nombre de la variété	Nom d'accession	Origine
2	Jawhar	Morocco
11	Westoria	Australia
17	Ramdani_Plot_190	Morocco
19	Anouar	Morocco
20	KUCUK	Algeria
25	OFONTO	Algeria
27	Bidi17	Tunisia
28	BABAX_1	Algeria
32	Ajili	Tunisia
33	2__Rommani	Tunisia
34	3__Bidi	Tunisia
39	9__Jneh_koutifa	Tunisia
40	10__Chili	Tunisia
41	11__Ward_bled	Tunisia
46	Bidi-17	Tunisia
47	17__Ajimi	Tunisia
50	21_Chili	Tunisia
53	T3__Maali	Tunisia
57	3107	Errachidia
60	3206	Marrakech
61	9298	Azilal
62	9409	Ouarzazat

63	(1) Ramdani_acc_	Morocco
64	(2) Ramdani_acc_	Morocco
66	(5) Ramdani_acc_	Morocco
67	Sebou	Morocco
71	(10) Ramdani_acc_	Morocco
75	(17) Ramdani_acc_	Morocco
78	(20) Ramdani_acc_	Morocco
80	(22) Ramdani_acc_	Morocco
92	CHEN_S	Algeria
103	BIDI_17_xSYRICA	Algeria
108	OUED_ZENATI368_	Algeria
109	DJENNAH_KHETIFA	Algeria
113	SIMETO	Algeria
116	Ammar_6	Algeria
117	Achouri	Algeria
118	SIGUS	Algeria
120	PI470909	Algeria
124	BD_DHFN_47	CIMMYT
128	ADJINI_Ac1	CIMMYT
129	BLE_DE_MONTGOLFIER	CIMMYT
130	MOHAMED_BEN_BACHIR_8_037	CIMMYT
133	TUN_DUR_8	CIMMYT
134	Saffi	Morocco__Safi
135	Hmira	Tunisia__Kebili
137	Tunisian_durum_1	Tunisia
139	Tunisian_durum_7	Tunisia

144	PI525385	Morocco__Errachidia
146	PI525390	Morocco__Beni_Mellal
147	PI525418	Morocco__Khenifra
150	PI525430	Morocco
151	Biskri	Tunisia
154	Bidri	Tunisia
156	MG_18141	Tunisia
157	Ble_dur	Algeria
158	Adjini	Algeria
159	Agini	Algeria__Constantine
160	Agini	Algeria__Constantine
162	Belioni	Algeria__Constantine
163	Peliss	Algeria__Oran
164	Mahmoudi	Algeria__Setif
165	Kahla	Algeria__Setif
170	MG_18069	Algeria
171	PI57070	Algeria__Biskra
173	Dur_de_Bouffarick	Algeria_Blida
175	Langlois_1527	Algeria
176	Mahamed_Ben_Bacher_8037	Algeria
177	Medeah	Algeria
182	Langlois_1527	Algeria

Annexe 2 : Composition et préparation des solutions.

La composition de la solution Hoagland

Composés	Quantité/Volume
MgSO ₄ 7H ₂ O	12 ml
Microéléments	24ml
Ca (NO ₃) 4H ₂ O	48 ml
Sequestrene (source de fer)	480mg
KNO ₃	72 ml
K ₂ HPO ₄	24 ml
K ₂ SO ₄	60 ml
Eau distillé	2 l

La composition minérale de la solution Hoagland

Composés		Quantité/Volume
Microéléments (250 mL)	KI	10 mg de chaque composant dans 20 mL d'eau, puis ajouter 5 mL de cette solution aux 4 micronutriments dissous énumérés ci-dessus
	MnSO ₄ , 4 H ₂ O	19.38 g
	H ₃ BO ₃	3.7 g
	Na ₂ Mo ₄ , 2 H ₂ O	1.7 g
	CuSO ₂ , 5 H ₂ O	4,4 g dans 250 mL d'eau, cette solution est préparée séparément et stockée
	CoCl ₂ , 6 H ₂ O	10 mg de chaque composant dans 20 mL d'eau, puis ajouter 5 mL de cette solution aux 4 micronutriments dissous énumérés ci-dessus

Annexe 3 : Nombres de feuilles sèches et taille de la plante pour les 70 géotypes dans la concentration 0 et 135 mM

0mM	Taille de la plante (cm)	Feuille sèche	135mM	Taille de la plante (cm)	Feuille sèche
2	42	7	2	60	7
11	50	4	11	55	8
17	36	6	17	30	5
19	31	7	19	59	8
20	60	6	20	55	6
25	23	10	25	12	8
27	39	9	27	27	9
28	50	5	28	57	10
32	28	5	32	34	8
33	24	12	33	34	7
34	34	8	34	25	8
39	32	6	39	24	7
40	22	10	40	21	9
43	27	9	43	25	4
46	29	7	46	34	7
47	33	5	47	61	8
50	34	9	50	38	7
53	55	6	53	58	13
57	47	6	57	45	11
60	58	5	60	51	7
61	40	6	61	38	8
62	37	7	62	35	7
63	40	8	63	45	8
64	35	6	64	49	8
66	32	10	66	30	6
67	26	6	67	64	6

71	31	6	71	30	8
75	26	9	75	30	9
78	34	8	78	40	8
80	24	6	80	57	7
92	66	8	92	60	10
103	21	6	103	30	6
108	30	7	108	29	9
109	33	10	109	33	9
113	22	7	113	25	5
116	52	9	116	54	6
117	60	9	117	60	7
118	25	5	118	33	8
120	34	10	120	32	10
124	42	9	124	69	8
128	33	9	128	24	8
129	31	7	129	25	8
130	30	10	130	36	8
133	45	7	133	59	9
134	25	8	134	33	11
135	54	8	135	64	7
137	61	5	137	52	9
139	49	6	139	59	8
144	30	9	144	39	8
146	25	10	146	29	7
147	30	6	147	24	8
150	25	8	150	16	8
151	29	10	151	34	9
154	57	8	154	53	7
156	24	9	156	33	9

157	39	8	157	30	10
158	23	12	158	33	6
159	30	7	159	20	8
160	58	10	160	25	9
162	25	7	162	20	10
163	34	8	163	48	10
164	31	9	164	20	7
165	38	10	165	22	6
170	28	9	170	38	8
171	21	8	171	20	7
173	31	9	173	19	7
175	22	7	175	19	9
176	17	10	176	28	8
177	36	8	177	26	7
182	33	7	182	15	9

Annexe 4 : Le taux de chlorophylle des différentes variétés dans les différentes concentrations de sel.

Variété	Concentration NaCl mM	Chlorophylle totale
2	0	18,10337333
11	0	10,65311333
17	0	11,497
19	0	11,36596
20	0	7,001363333
25	0	12,25594
27	0	9,952263333
28	0	3,878293333
32	0	8,033953333
33	0	10,62695667
34	0	9,8632
39	0	7,915356667
40	0	11,51655
43	0	7,006776667
46	0	8,029676667
47	0	9,3721
50	0	11,00929333
53	0	18,48037
57	0	14,20439333
60	0	16,67005333
61	0	6,49622
62	0	7,821763333
63	0	9,711323333
64	0	4,999256667
66	0	6,471146667
67	0	5,512833333
71	0	6,996756667
75	0	13,26539333
78	0	7,048623333
80	0	3,095093333
92	0	15,16729
103	0	14,05076333
108	0	13,81681667
109	0	8,941103333
113	0	16,66760667
116	0	12,40210667
117	0	12,16175
118	0	17,60240667
120	0	17,11999
124	0	17,06801667
128	0	22,12814333
129	0	17,91308

130	0	11,489
133	0	21,65777667
134	0	56,30074333
135	0	11,35265667
137	0	12,38288667
139	0	15,53325667
144	0	13,03496667
146	0	11,07365333
147	0	13,97422667
150	0	16,35515333
151	0	13,35799667
154	0	13,01135333
156	0	12,00656333
157	0	10,07980667
158	0	4,985093333
159	0	6,571196667
160	0	5,168093333
162	0	6,58884
163	0	9,18474
164	0	9,220053333
165	0	4,81021
170	0	7,678773333
171	0	6,489776667
173	0	8,07501
175	0	7,553966667
176	0	7,268786667
177	0	5,810556667
182	0	7,395823333
2	45	15,32453
11	45	11,09611333
17	45	8,242206667
19	45	9,69205
20	45	5,30681
25	45	7,676213333
27	45	3,617006667
28	45	3,139916667
32	45	8,614
33	45	8,618863333
34	45	7,495063333
39	45	5,098066667
40	45	5,594996667
43	45	7,951553333
46	45	6,976123333
47	45	8,43535
50	45	9,915903333
53	45	11,06475667

57	45	11,30364333
60	45	10,64092667
61	45	3,013606667
62	45	5,331033333
63	45	5,727413333
64	45	4,35263
66	45	6,225466667
67	45	2,044713333
71	45	3,616136667
75	45	1,90532
78	45	2,20588
80	45	4,30458
92	45	5,456566667
103	45	7,379243333
108	45	9,891933333
109	45	5,734533333
113	45	12,44482667
116	45	7,26518
117	45	10,71573333
118	45	12,43006333
120	45	11,42930333
124	45	10,5658
128	45	13,93526333
129	45	11,18187667
130	45	9,293043333
133	45	10,97114
134	45	7,55715
135	45	6,308423333
137	45	3,27382
139	45	6,960903333
144	45	5,67183
146	45	7,49894
147	45	5,49671
150	45	6,856333333
151	45	6,863976667
154	45	4,88543
156	45	6,398246667
157	45	5,679566667
158	45	3,26632
159	45	6,510663333
160	45	6,804593333
162	45	3,488053333
163	45	2,480333333
164	45	5,150296667
165	45	5,036866667
170	45	3,816636667

171	45	1,586153333
173	45	3,007626667
175	45	4,1231
176	45	5,121563333
177	45	1,948183333
182	45	2,77912
2	90	9,133413333
11	90	4,407503333
17	90	7,73145
19	90	7,744406667
20	90	11,76013333
25	90	9,62384
27	90	8,65395
28	90	4,46394
32	90	10,80363
33	90	14,71317333
34	90	11,67929667
39	90	11,35801
40	90	8,602276667
43	90	8,155043333
46	90	14,16591333
47	90	8,822253333
50	90	3,584793333
53	90	1,142273333
57	90	9,30007
60	90	3,52046
61	90	3,35518
62	90	3,890303333
63	90	10,02607333
64	90	4,677303333
66	90	4,08919
67	90	6,020853333
71	90	8,540646667
75	90	6,007736667
78	90	4,356523333
80	90	5,37834
92	90	5,11294
103	90	9,72216
108	90	8,37937
109	90	8,448103333
113	90	12,32280667
116	90	7,533686667
117	90	5,295703333
118	90	0,636863333
120	90	1,905336667
124	90	1,415636667

128	90	1,909086667
129	90	3,634126667
130	90	2,846383333
133	90	3,55818
134	90	1,966663333
135	90	3,039603333
137	90	1,537783333
139	90	5,76243
144	90	1,603273333
146	90	2,84537
147	90	2,581103333
150	90	4,170566667
151	90	1,238996667
154	90	3,426253333
156	90	2,415003333
157	90	3,695943333
158	90	1,790276667
159	90	3,51307
160	90	5,011646667
162	90	3,629743333
163	90	2,56269
164	90	6,46812
165	90	2,750546667
170	90	2,784786667
171	90	0,401506667
173	90	1,157923333
175	90	1,705453333
176	90	1,89722
177	90	2,332586667
182	90	1,904973333
2	135	3,92945
11	135	2,065473333
17	135	4,944686667
19	135	7,9063
20	135	2,518686667
25	135	7,008766667
27	135	5,775536667
28	135	1,143793333
32	135	10,74765
33	135	9,848596667
34	135	7,932706667
39	135	7,052903333
40	135	5,956213333
43	135	5,976923333
46	135	13,65880667
47	135	4,39555

50	135	1,595123333
53	135	0,555323333
57	135	5,710183333
60	135	2,855606667
61	135	1,1868
62	135	1,716213333
63	135	3,840606667
64	135	1,96976
66	135	4,455493333
67	135	5,32437
71	135	5,456726667
75	135	4,56012
78	135	2,37558
80	135	3,425763333
92	135	1,51606
103	135	12,02099667
108	135	5,13932
109	135	5,658123333
113	135	11,32509
116	135	5,968243333
117	135	2,962406667
118	135	0,705636667
120	135	0,945996667
124	135	1,653026667
128	135	0,556823333
129	135	0,968606667
130	135	1,153216667
133	135	2,551463333
134	135	0,911216667
135	135	1,366836667
137	135	1,454916667
139	135	3,434123333
144	135	0,927753333
146	135	1,097746667
147	135	1,652573333
150	135	2,642483333
151	135	1,410876667
154	135	3,71716
156	135	1,686796667
157	135	1,228833333
158	135	0,535336667
159	135	0,475713333
160	135	4,453613333
162	135	2,54572
163	135	2,62625
164	135	6,031433333

165	135	2,527673333
170	135	2,729153333
171	135	0,977136667
173	135	0,630126667
175	135	1,369386667
176	135	1,386
177	135	2,81177
182	135	1,903583333