



UNIVERSITÉ MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI
BORDJ BOU ARRERIDJ

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

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريريج

Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi - B.B.A.

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الارض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم العلوم الفلاحية

Département des Sciences Agronomiques



UNIVERSITÉ MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI
BORDJ BOU ARRERIDJ

Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Amélioration des plantes

Intitulé

Effet du chlorure de sodium (NaCl) sur la germination

et les paramètres de croissance

du blé (*Triticum* sp).

Présenté par : BENTOUATI Insaf
SAFSAF Hadjer

Soutenu le : 10 /07/2019 ;

Devant le jury :

Président : M^{me} BELKASMI Farida MAA

Encadrant : M^r FELLAHI Zine El Abidine MCB

Examineur : M^r OULD KIAR Redha MAA

Année universitaire : 2018/2019

Remerciement

Je remercie avant tout le Grand Dieu Allah, le plus puissant, le miséricordieux...

*Mes plus sincères remerciements et reconnaissances vont spécialement à mon promoteur **Dr Fellahí Zine El Abidine**, pour sa confiance, sa sincérité, sa rigueur, sa patience, sa gentillesse et pour l'aide précieuse qu'il m'a apportée et les conseils infiniment utiles qu'il m'a prodigués pour la réalisation de ce travail*

J'exprime mes remerciements aux honorables membres du jury de m'avoir accordé le temps et la patience pour évaluer mon travail.

*Comme je tiens à remercier tout le personnel de **CNCC** de Setif pour son appui et sa collaboration, avec beaucoup de dévouement pour la perfection de cette thèse en particulier **Sara**.*

*Sans oublier bien sur nos frères **Bentouati Aïssa** et **Safsaf Moumen** pour le temps consacré qui nous ont donnés.*

Je ne saurais oublier de remercier tous ceux qui ont, de près ou de loin, contribué à la réalisation de ce travail, et toute personne qui m'a éclairé le chemin.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire A Mes parents,

A mon père,

Mon plus haut exemple et mon modèle de persévérance pour aller toujours de l'avant et ne jamais baisser les bras. Pour son enseignement continu à m'inculquer les vraies valeurs de la vie et pour ses précieux conseils. J'espère que ce mémoire sera à la hauteur de tes attentes et qu'il soit l'accomplissement de tous mes efforts.

A ma mère,

Pour son affection, sa patience, sa compréhension, sa disponibilité, son écoute permanente et son soutien sans égal dans les moments les plus difficiles de ma vie. Là où je suis arrivé aujourd'hui c'est à vous MES CHÈRES PARENTS que je le dois, que Dieu vous garde.

A mes chers frères :

Aïssa Abdelkader et Abderahime, pour vous exprimer toute mon affection et ma tendresse

A ma tendre et chère sœur : Manel

A mon Binôme Hadjer pour sa patience avec moi

A ma grande famille, mon papi et ma mamie et à Tous mes professeurs durant tous mes études

INSAF.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail :

*À mes chers **parent** qu'ils trouvent le témoignage pour les sacrifices et les encouragements qu'ils m'a consenti et pour leur amour.*

*À ma sœur **Khaoula** qu'elle aime mentionner son nom dans ces situation.*

*À Mes frères et sœurs ; Mes neveux et nièces ;
qui m'a soutenu et encouragée.*

*À mon **Marie** qui m'encouragé pendant tout le travail et qui ajoure pour tous les détaillé.*

À mes profs qui sont fidèle à leur métier.

*À la personne devenue forte grâce à lui
un grande merci pour **Moi**.*

HADJER.

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures et photos

Liste des tableaux

Introduction	1
---------------------------	----------

Chapitre I : Revue bibliographique

I.1. Généralités sur le blé	3
I.2. Importance de blé	3
I.2.1. Dans le monde	3
I.2.2. En Algérie	5
I.3. Le stress salin comme contrainte à la production du blé	8
I.3.1. Effet du stress salin sur la germination et la croissance	9
I.3.2. Mécanismes de la tolérance au stress salin	12

Chapitre II : Matériel et méthodes

II.1. Conditions expérimentales	15
II.2. Mesures et notations	17
II.3. Analyse des données	18

Chapitre III : Résultats et discussion

III.1. Analyse de la variance	19
III.2. Etude des valeurs moyennes	20
III.2.1. Effet moyen 'génotype'	20
III.2.2. Effet moyen 'espèce'	24
III.2.3. Effet moyen 'salinité'	26
III.2.4. Effet de l'interaction 'génotype x salinité'	29
III.2.4.1. Chez le blé tendre	29
III.2.4.2. Chez le blé dur	32
III.3. Typologie variétale	35
III.4. Corrélation inter-caractères	38
Conclusion	40

Références bibliographiques

Liste des tableaux

Tableau I : Liste des variétés de blés (dur et tendre) autorisées à la production et à la commercialisation en Algérie (CNCC, 2018).....	8
Tableau II : Nom et origine des variétés de blé étudiées.....	15
Tableau III : Carrés moyens de l'analyse de la variance des caractères mesurés chez les variétés de blé évaluées.....	19
Tableau IV : Valeurs moyennes de l'effet principal 'génotype' des caractères mesurés chez les variétés évaluées.....	21
Tableau V : Valeurs moyennes de l'effet 'espèce' des caractères mesurés chez les variétés évaluées.....	25
Tableau VI : Valeurs moyennes de l'effet principal salinité des caractères mesurés chez les variétés évaluées.....	26
Tableau VII : Ecart en % par rapport aux valeurs du témoin non stressé (D1 = 0 mM) des variables mesurées chez le blé tendre.....	30
Tableau VIII : Ecart en % par rapport aux valeurs du témoin non stressé (D1 = 0 mM) des variables mesurées chez le blé dur.....	32
Tableau IX : Classement des variétés de blé tendre.....	37
Tableau X : Classement des variétés de blé dur.....	37
Tableau XI : Coefficients de corrélation phénotypique (en dessus de la diagonale) entre les variables mesurées chez les variétés de blés tendre et dur et les valeurs respectives de la probabilité (en dessous de la diagonale).....	38

Liste des figures et photos

Figure 1 : Phylogénie des blés.....	4
Figure 2 : Localisation des aires de production des céréales en Algérie.....	6
Figure 3 : Production de céréales en Algérie pendant la période 1961-2017.....	7
Figure 4 : Evolution de la production algérienne de céréales de la période 2000-2012.....	7
Figure 5 : Pourcentage de germination (effet moyen) des variétés de blé évaluées.....	22
Figure 6 : Cinétique de germination des graines de variétés de blé tendre (à gauche) et de blé dur (à droite).....	23
Figure 7 : Comparaison de la cinétique de germination des graines de variétés de blé tendre avec celle des graines du blé dur.....	25
Figure 8 : Ecart (%) des valeurs prises par les caractères mesurés relativement à la valeur maximale.....	27
Figure 9 : Comparaison, par espèce, du % de réduction des valeurs prises par les caractères mesurés relativement à la valeur du témoin.....	28
Figure 10 : Classification des variétés de blé tendre (à droite) et dur (à gauche) évaluées....	37
Photo 1 : Mise en place des graines de blé dans boîtes de pétri et dénombrement des graines germées.....	16
Photo 2 : Transplantation des graines germées et étude des paramètres de la croissance.....	17

Liste des abréviations

ABA : l'acide abscissique

ADN : Acide désoxyribonucléique

ANOVA : Analyse de la variance

ATPases : Adénosine triphosphatase

BD : blé dur

BT : blé tendre

CNCC : centre national de contrôle et de certification

FAO : Food And Agriculture Organisation

H⁺ : hydrogène

LC : longueur de coléoptile

LR : longueur de racine

MFA : matière fraîche aérienne

MFR : matière fraîche racinaire

NaCl : chlorure de sodium

NR : nombre de racine

PPases : phosphatase

Ppds : la Plus Petite Différence Significative

PH : Potentiel hydrique

q/ha : Quintaux par hectares

ROS : Espèces Réactives D'oxygène

SOS : Salt Overlay Sensitive

Introduction

Introduction

De nos jours, les céréales en générale, le blé (tendre et dur) en particulier, constituent la principale base du régime alimentaire pour les consommateurs algériens (Benbelkacem, 2013). Il présente un rôle social, économique et politique dans la plupart des pays dans le monde (Ammar, 2015).

Les sélectionneurs de blé ont accompli des contributions uniques et d'excellents progrès pour l'augmentation de la production au cours des dernières décennies, principalement dans les pays moins développés. Cependant, il existe de nombreux défis qui leurs attendent encore pour rendre la nourriture plus accessible que jamais d'une manière durable et pour répondre aux besoins d'une population croissante (IWGSC, 2019).

De nombreux stress biotiques et abiotiques affectent le développement du blé dans les principales zones de production et sa croissance future viendra très probable des environnements marginaux où tels stress jouent un rôle bien plus important (Buck et Nisi, 2007). La salinité compte parmi les stress abiotiques majeurs qui limitent la production végétale suite à la dégradation des terres dans plusieurs zones du globe terrestre (Munns et Tester, 2008 ; Zörb *et al.*, 2019). En moyenne, le monde perd 10 hectares de terres cultivables par minute, dont 3 hectares à cause de la salinisation (Hasan *et al.*, 2015). 10 à 15% des surfaces irriguées (20 à 30 millions hectares) souffrent, à des degrés divers, de problèmes de salinisation comme indiqué par Mermoud (2006).

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

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

Introduction

connaissance des mécanismes responsables de la tolérance du végétal à la salinité (Arbaoui *et al.*, 2000). La tolérance des végétaux aux sels est un phénomène complexe qui implique des particularités morphologiques et développementales avec des mécanismes physiologiques et biochimiques variés. En effet, le degré de réponse à la salinité des espèces végétales dépend de la concentration en sel, de l'espèce elle-même, de sa variété et du stade de développement de la plante (Ben Naceur *et al.*, 2001). Sous les conditions de stress salin, la germination des graines et la première phase de la croissance des plantules sont des stades critiques pour l'établissement des plantes (Khan et Gulzar, 2003). Le présent travail se fixe pour objectif d'étudier l'effet de chlorure de sodium (NaCl) sur la germination et la croissance des plantules de blés (*Triticum aestivum* L., *Triticum durum* Desf.) *in vitro*, et ce à différentes concentrations (0, 50, 100 et 150 mM) sous conditions contrôlées.

Le travail sera présenté un trois grands chapitres :

Dans le premier chapitre de ce mémoire une revue bibliographique, le deuxième décrit le matériel végétal et l'ensemble des méthodes utilisées dans notre étude. Les étapes suivies dans l'exploitation de nos résultats ainsi que leur discussion sont présentées dans le dernier chapitre. Au début de ce travail présente une Introduction générale .Une Conclusion et des perspectives sont enfin données.

Chapitre I :

Revue bibliographique

I. Revue bibliographique

I.1. Généralités sur le blé

Les céréales regroupent des plantes de la famille des *Poacées* (ex *Graminées*). Les cinq céréales les plus cultivées dans le monde sont : le maïs, le blé, le riz, l'orge et le sorgho. Le blé (*Triticum sp.*) est une graminée annuelle aux racines fibreuses à tiges hautes et généralement creuses, portant des nœuds d'où partent des feuilles, des sommets de la tige portent une grappe des fleurs qui se transforme en grains (Gate, 1995). Les deux espèces les plus cultivées et les plus répandues dans le monde sont le blé dur, *Triticum turgidum* var *durum* L. et le blé tendre, *Triticum aestivum* L. Le blé dur se distingue de blé tendre par des caractères morphologiques, physiologiques, cytologiques et technologiques (Hamadache, 2013) :

- Un nombre de chromosomes inférieur, soit 28 portés par les génomes A et B contre 42, pour le blé tendre ;
- Un système racinaire plus profond et plus puissant ;
- Un tallage-épi plus faible ;
- Une feuille longue, étroite et glabre ;
- Un épi compact, barbu à glumes longues fortement carénées ;
- Un grain dur allongé ; à texture vitreuse et à brosse peu développée.

Le blé dur est une espèce issue de croisement naturel entre *Triticum monococum* (porteur de génome AA) et *Aegilops speltaoides* (porteur de génome BB) suivi d'un doublement chromosomique qu'a permis l'apparition d'un blé dur sauvage de type AABB, *Triticum turgidum* ssp *dicoccoïdes*, qui a ensuite évolué vers *Triticum turgidum* ssp *dicoccum* puis vers *Triticum durum* (blé dur cultivé) (Liao *et al.*, 2008). Le génome du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) est constitué de trois sous-génomes A, B et D et résulte de l'hybridation successive de génomes diploïdes et tétraploïdes avec des génomes diploïdes (Dvorak *et al.*, 1998). Les blés tendres cultivés (AA BB DD) seraient issus également d'un croisement entre *T. turgidum* ssp. *dicoccum* (AA BB) et *Aegilops squarrosa* (DD) (Bertrand, 1996).

I.2. Importance économique du blé

I.2.1. Dans le monde

Les céréales occupent à l'échelle mondiale une place primordiale dans le système agricole. Elles sont considérées comme une principale source de la nutrition humaine et animale (Slama *et al.*, 2005). Parmi ces céréales, le blé occupe la deuxième place pour la

production mondiale après le maïs et la première place, avant le riz comme source de nourriture pour les populations humaines en assurant 20% de ses besoins énergétiques.

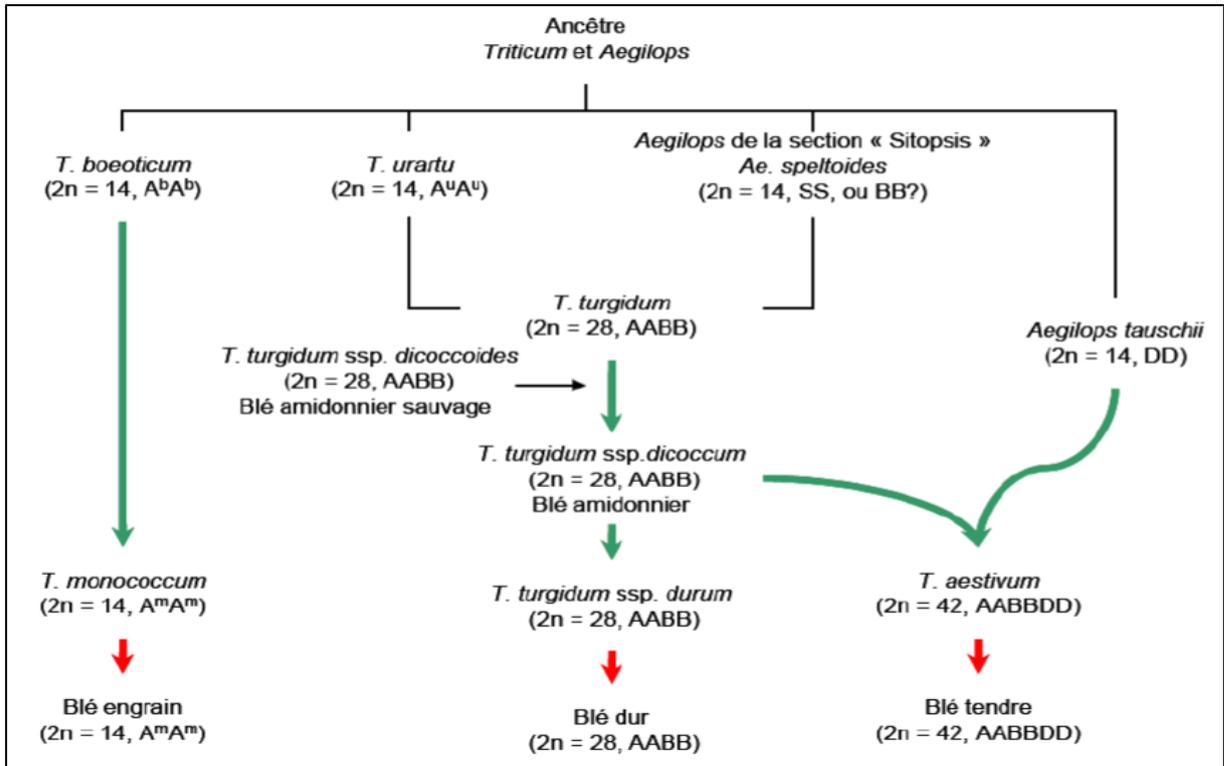


Figure 1 : Phylogénie des blés (Liao *et al.*, 2008).

Le blé tendre est l'une des premières plantes domestiquées par l'homme, il est largement cultivé dans le monde entier grâce à son adaptation à un large éventail de climats (Xiaojie *et al.*, 2012). Le grain de blé tendre est principalement utilisé pour faire du pain, des nouilles, des biscuits et des gâteaux (Lopes *et al.*, 2012). Le blé tendre quant à lui est utilisé principalement en meunerie pour obtenir de la farine nécessaire à la production de pain, de viennoiseries ou de pâtisseries. Outre ces utilisations classiques du blé, de nouvelles utilisations à l'échelle industrielle apparaissent depuis quelques années telles que la fabrication de bioplastiques à base de gluten ou d'amidon (Debiton, 2010).

Le blé dur est cultivé principalement dans les pays du bassin méditerranéen à climat aride et semi-aride (Abeledo *et al.*, 2008). Le grain sert à la production de pâtes alimentaires, du couscous et à bien d'autres mets comme le pain, et divers gâteaux (Troccoli *et al.*, 2000). La paille est utilisée comme litière et comme aliment pour les animaux (Abbas et Abdelguerfi, 2005). Le blé dur est destiné à la biscuiterie, la fabrication de semoule, ou de pâtes (Debiton, 2010). Le grain de blé dur a une grande valeur nutritionnelle, suite à sa richesse en protéines et la présence du gluten qui donne aux pâtes alimentaires une meilleure tenue à la cuisson (Troccoli *et al.*, 2000).

La production mondiale moyenne des blés (dur et tendre) pour la période 2004-2010 est d'environ 640 millions de tonnes, soit 30% de la production céréalière total (blé, riz, orge, avoine, seigle, maïs, sorgho). Elle s'est élevée, selon le conseil international des céréales (IGC, 2018) en 2016/17 à 748 millions de tonnes et d'une production estimée pour la campagne agricole 2017/18 d'environ 763 millions de tonnes. La production mondiale de blé a connu une progression rapide, depuis les années 1960, avec une augmentation annuelle moyenne de 1.7%. Elle a triplé en l'espace de 59 ans, passant de 222 millions de tonnes en 1961 à plus de 748 millions de tonnes en 2017, grâce notamment à l'amélioration des rendements après la grande révolution verte. Le blé dur représente une part très réduite (5%) en termes de superficie et production par rapport au blé tendre. En 2017/18, la production mondiale du blé dur est de 36 millions de tonnes, alors que celle du blé tendre est de 712 millions de tonnes.

L'Union Européenne, la Chine, l'Inde, la Russie et les Etats-Unis sont les plus grands producteurs de blé, respectivement. Ils contribuent avec 70.51% à la production mondiale, valeur moyenne des trois dernières campagnes 2012/15 (FAO, 2016). Les pays exportateurs sont les Etats-Unis, l'Union Européenne, le Canada, l'Australie ainsi que la Russie. Selon le Conseil International du Grain, les grands importateurs sont l'Egypte, le Brésil, l'Indonésie et l'Algérie.

I.2.2. En Algérie

Les céréales, socle historique de la diète méditerranéenne, occupent encore aujourd'hui une place prépondérante à la fois dans la production agricole et agroalimentaire de l'Algérie et dans la consommation alimentaire des ménages. Les céréales occupent environ 3.3 millions d'hectares (moyenne 2000-2012), soit près de 35% des terres arables (Benbelkacem, 2013). Leur production est pluviale (moins de 3% en irrigué) et majoritairement localisée en zone humide et subhumide, dans le nord du pays (Figure 2).

La production de céréales en Algérie est marquée par une forte irrégularité, elle-même conditionnée par les aléas climatiques (Figure 3). Ainsi, sur les 40 dernières années, on enregistre un écart de 1 à 5 entre une année calamiteuse (9.7 millions de qx en 1994) et une année d'abondance (52.5 millions de q en 2009). Cependant, les progrès technico-économiques, s'ils ne parviennent pas à stabiliser la production du secteur, ont permis de l'augmenter significativement : la moyenne décennale a ainsi presque doublé entre 1981-90 (18.2 millions de quintaux) et 2001-2010 (34.9 millions de quintaux).

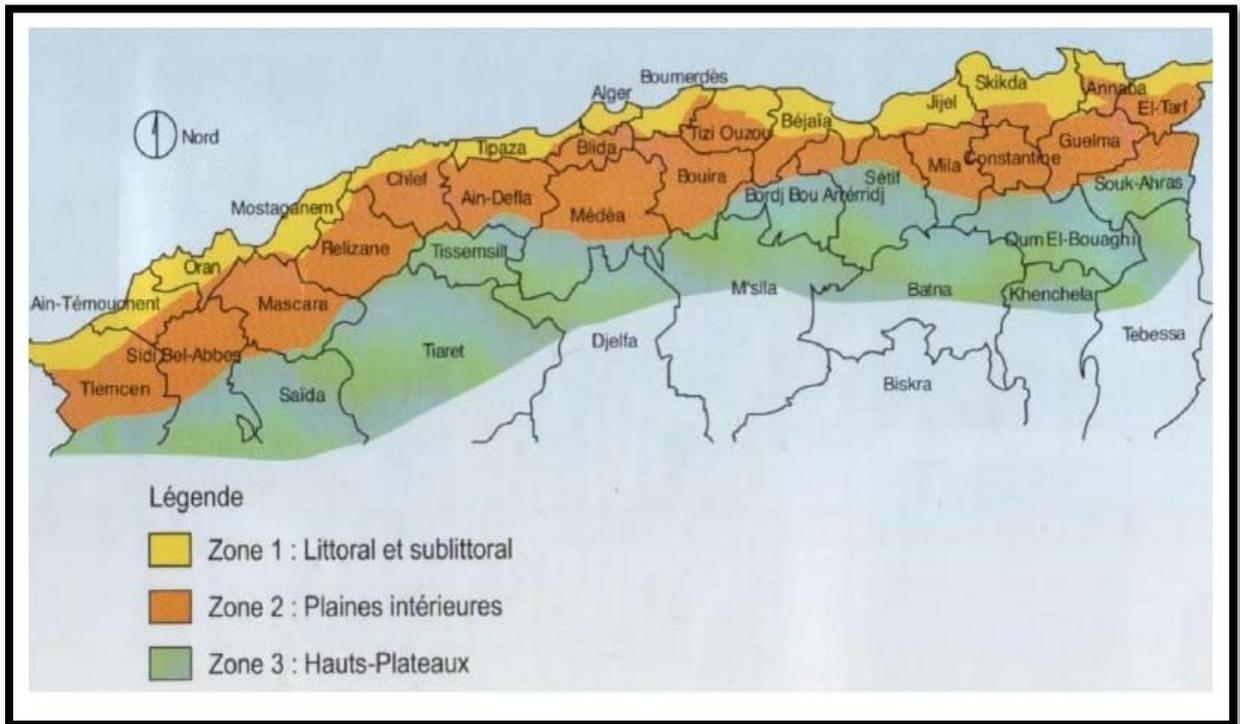


Figure 2 : Localisation des aires de production des céréales en Algérie (Boufenar-Zaghouane et Zaghouane, 2006).

Le blé dur occupe le premier rang et est semé sur 1.2 millions d’hectares avec une production moyenne qui oscille entre 1.5 à 2.0 millions de tonnes. La production nationale couvre 40% des besoins du pays, et représente 45% de la production totale des céréales alors que la production de l’orge représente plus de 28% suivi par 24% pour le blé tendre (les chiffres varient selon l’année). La production de blé se répartit entre blé dur (70% en 2012) et blé tendre (30%), avec une importante variabilité interannuelle. Le blé dur reste ainsi la céréale prépondérante en Algérie. Généralement bien adapté aux conditions locales, sa production progresse au même rythme que celle du blé tendre (+ 47% entre les moyennes quinquennales 2000-2004 et 2008-2012), contre + 84% pour l’orge, qui reste plus importante que le blé tendre, à plus de 13 millions de quintaux en 2008-2012, contre 8 pour le blé tendre et 19 pour le blé dur (Figure 4 ; Fellahi, 2017).

Les rendements céréaliers demeurent faibles et très irréguliers : 13.5 q/ha pour le blé en moyenne sur 2001-2010 (le blé dur, mieux adapté aux conditions agro-climatiques locales bénéficie de rendements sensiblement supérieurs à ceux du blé tendre) et 13.2 pour l’orge, ce qui se situe loin derrière la productivité des pays méditerranéens de l’Europe et s’explique à la fois par des causes naturelles (sol et climat), techniques (semences, pratiques culturales) et humaine (organisation et formation des producteurs). L’écart important entre les besoins d’une population en forte croissance et le niveau d’une production nationale irrégulière et

faible a conduit l'Algérie à recourir constamment aux importations de grosses quantités. A titre d'exemple, en 2011, le pays a importé 11 millions de tonnes de céréales, dont 68% de blés et 29% de maïs. Les importations de blés avoisinent la moyenne de 5.8 millions de tonnes par an entre 2000 et 2012 ; avec 56% de blé tendre et 44% de blé dur (ONFAA, 2016).

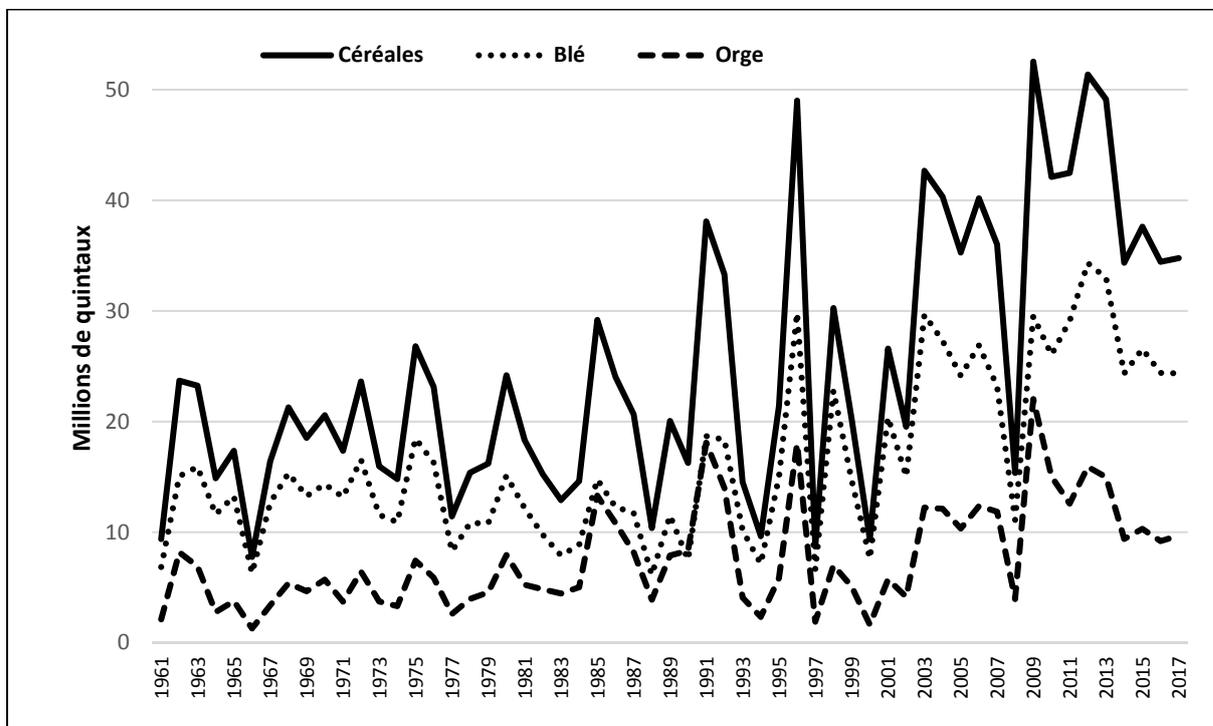


Figure 3 : Production de céréales en Algérie pendant la période 1961-2017 (FAO, 2019).

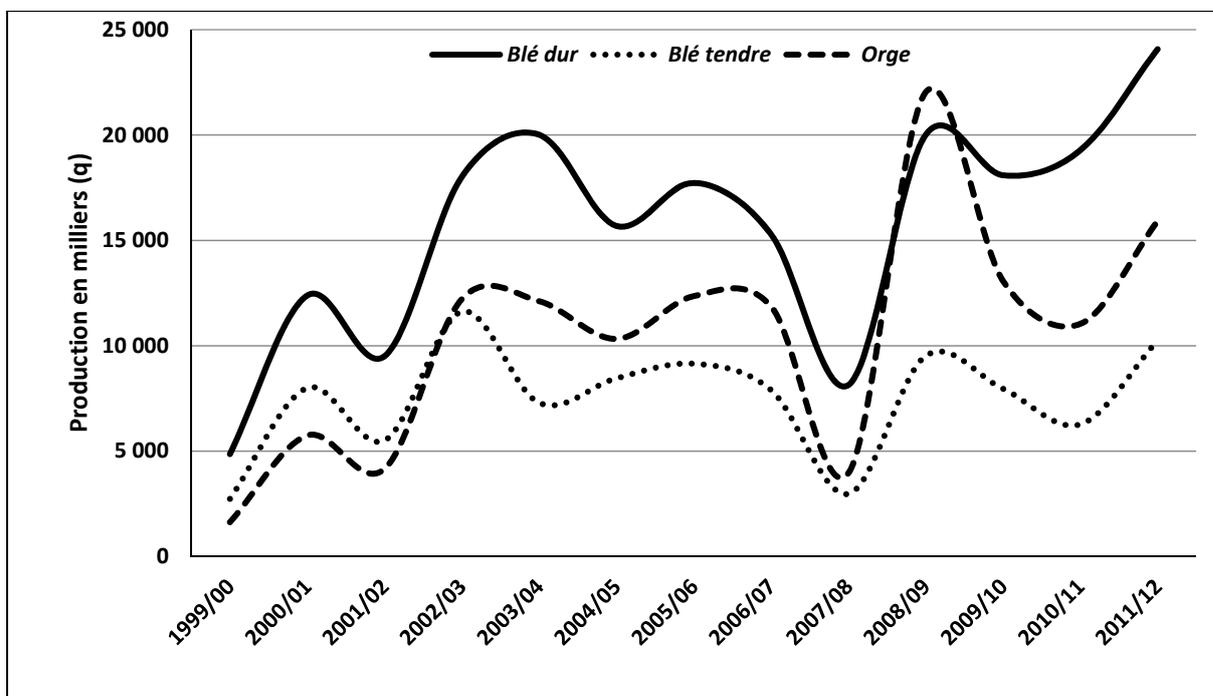


Figure 4 : Evolution de la production algérienne de céréales de la période 2000-2012 (Fellahi, 2017).

Selon le Centre National de Contrôle et de Certification des semences et plants (CNCC, 2018), 60 variétés de blé dur (54 dans la liste A et 6 dans la liste B) et 49 variétés de blé tendre (39 dans la liste A et 10 dans la liste B) sont autorisées à la production et à la commercialisation en Algérie (Tableau I).

Tableau I : Liste des variétés de blés (dur et tendre) autorisées à la production et à la commercialisation en Algérie (CNCC, 2018).

Blé dur (<i>Triticum durum</i> Desf.)		Blé tendre (<i>Triticum aestivum</i> L.)	
Liste A	1. Ain Lehma	28. Iride	1. Ain Abid
	2. Anco Marzio	29. Kebir	2. Ain El Hadjar
	3. Antalis	30. Maestral	3. Akhamokh
	4. Ardente	31. Mansourah	4. Almirante
	5. Belikh 02	32. Massinissa	5. Anapo
	6. Benchicao	33. Megress	6. Andana
	7. Bidi 17	34. Mimmo	7. Anforeta
	8. Bolenga	35. Mohamed Ben Bachir	8. Anza
	9. Boussallem	36. Odisseo	9. Arz
	10. Boutaleb	37. Ofanto	10. Bonpain
	11. Calo	38. Orjaune	11. Boumerzoug
	12. Cannizzo	39. Oued El Bared	12. Buffalo
	13. Capeiti (Aribs)	40. Oum Rabi	13. Djanet
	14. Carioca	41. Poggio	14. Djemila
	15. Cham 3	42. Polonicum	15. El Wifak
	16. Chen'S	43. Prospero	16. Florence Aurore
	17. Ciccio	44. Saoura	17. Gades
	18. Cirta	45. Saragolla	18. Guadalupe
	19. Colosseo	46. Sebaou	19. Hiddab (HD1220)
	20. Core	47. Setifis	20. Hodna (Acsad 59)
	21. Durbel	48. Simeto	
	22. Eider	49. Targui	
	23. Gloire de Rahouia (Gloire de Montgolfier)	50. Taslemt (Langlois1527)	
	24. Grecal	51. Tassili	1. Avvento
	25. Gta dur	52. Vitron	2. Cheliff
	26. Guemgour R'khem	53. Waha "S"	3. Isser
	27. Hedba 03	54. Wahbi	4. Sidi Okba (Sham 4)
Liste B	1. Bibans	4. Oued Zenati	5. Siete cerros
	2. Karim	5. Sahel	6. Soummam
	3. Marakas	6. Zibans	7. Strampelli
			8. Wafia
			9. West Bred
			10. Yacora Rojo

I.3. Le stress salin comme contrainte à la production du blé

On appelle stress toute pression dominante exercée par un paramètre, perturbant le fonctionnement habituel de la plante. En revanche, la réponse du végétal dépend, entre autres, de ces paramètres environnementaux, tels que le type de contrainte, son intensité, sa durée et caractéristiques génétiques (Hopkins, 2003). Le stress salin est une brusque augmentation de la concentration en sels qui conduit d'un part, un afflux plus élevé d'ions dans la cellule suite à la chute de la concentration du milieu externe, d'autre part, à une perte d'eau par voie osmotique. Une abondance de sels dissous s'observe bien sûr en milieu marin, mais aussi dans beaucoup de milieux terrestres (Ben Hebreche et Djafour, 2011).

Plusieurs auteurs ont défini la salinité des sols et des eaux comme étant la présence de concentration excessive de sels solubles, ou lorsque les concentrations en Na^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} sous formes de chlorures, carbonates, ou sulfates sont présentes en concentrations anormalement élevées (Asloum, 1990). Ce type de stress est essentiellement dû au NaCl en conditions naturelles (Sun et Zheng, 1994). Il caractérise les zones arides et semi arides, surtout là où l'irrigation est pratiquée (Ashraf, 1994). La salinité déclencherait un stress environnemental très significatif chez les plantes cultivées, dont le blé, qui constitue un obstacle majeur sur la productivité agricole.

Selon Munns *et al.* (2006), la salinité représente l'accumulation des sels dissous dans la solution du sol à un niveau qui inhibe la croissance et le développement des plantes. On compte généralement deux formes de salinité : primaire et secondaire. La salinité primaire résulte de l'accumulation des sels dans le sol à travers un long processus naturel de dégradation des roches salines et des apports éoliens des sels des mers et océans. La salinité secondaire est d'origine anthropique, résultant des activités humaines, notamment l'irrigation avec des eaux chargées de sels (Munns *et al.*, 2006).

La salinité est une contrainte en agriculture parce que la plupart des cultures sont peu tolérantes aux excès de sels. De plus la salinité est associée à l'eau qui est un important facteur d'augmentation des productions végétales. En effet, les 15% des terres irriguées dans le monde participent pour 1/3 dans la production totale mondiale. De ce fait la réduction de la productivité, suite à la salinité, pose une sérieuse contrainte à l'augmentation de la production pour couvrir une demande alimentaire de plus en plus importante (Chaves *et al.*, 2003).

I.3.1. Effet du stress salin sur la germination et la croissance

La salinité peut affecter le taux germinatif des grains et accuse un retard dans l'initiation du processus de la germination des plantes qu'elles soient des glycophytes ou des halophytes (Debez *et al.*, 2001). Le chlorure de sodium présent dans le sol ou dans l'eau de l'irrigation affecte la germination des glycophytes dont le blé de deux manières, il diminue la vitesse de germination et réduit le pouvoir germinatif. Cet effet dépend de la nature de l'espèce (dur ou tendre), de l'intensité du stress salin et de sa durée d'application. La réduction du pouvoir germinatif est due à l'augmentation de la pression osmotique de la solution du sol, qui ralentit l'imbibition et limite l'absorption de l'eau nécessaire au déclenchement des processus métaboliques impliqués dans la germination (Hajjlaoui *et al.*, 2007).

L'effet de la salinité se manifeste, par la suite, par l'arrêt de la croissance, le dépérissement des tissus sous forme de nécroses marginales, suivi par une perte de turgescence, par une chute des feuilles et finalement par la mort de la plante (Ykhlef, 1993 ; Munns *et al.*, 1995 ; Chougui *et al.*, 2004). La croissance foliaire est généralement plus affectée par le sel que la croissance racinaire des espèces céréalières cultivées comme l'orge (El-Mekkaoui, 1990) le sorgho (Weimberg *et al.*, 1984) et le blé (Ould Bannana, 1999). La diminution de la croissance des organes aériens par le sel se manifeste par une réduction de la surface foliaire contrôlée par le nombre et la taille des cellules (Ould Bannana, 1999).

La salinité provoque le plus souvent un retard dans le développement (Gill, 1979 ; El-Mekkaoui, 1990). D'une façon générale, la tolérance au sel n'est pas constante pour une même espèce ou variété. Elle peut changer en fonction de l'espèce, du génotype, l'âge, de l'état physiologique de l'organe ; par exemple l'orge et le blé sont particulièrement résistants à la salinité après la germination (El-Mekkaoui, 1990 ; Bennabi, 2005). La sélection pour la tolérance induit, certes, une baisse des rendements sous contrainte, mais cette baisse est cependant moins importante chez les génotypes tolérants comparativement à celle notée chez les génotypes sensibles (Bahlouli *et al.*, 2005).

La salinité affecte la croissance des plantes selon trois processus majeurs : (i) l'effet de déficit hydrique qui résulte de la réduction du potentiel hydrique de la solution du sol, (ii) la toxicité des ions spécifiques, absorbés en excès, tels que le sodium et le chlore ; et (iii) le déséquilibre ionique qui résulte de l'excès des ions toxiques (Na^+ et Cl^-) qui engendrent une réduction de l'absorption d'autres ions (K^+ , Ca^{2+} , NO_3) nécessaire à l'activité enzymatique de la plante (Greenway et Munns, 1980 ; Cheong et Yun, 2007).

La réponse des plantes soumises au stress salin se manifeste sous forme de réduction de l'élongation foliaire, qui est associée à une réduction de la turgescence cellulaire plus qu'à l'effet ionique (Zhao *et al.*, 2007). D'autres hypothèses explicatives de la réduction de l'élongation foliaire sous stress salin suggèrent le changement de la balance hormonale entre les racines et la tige (Hu et Schmidhalter, 1998 ; Zhao *et al.*, 2007). Chez les génotypes sensibles, les sels absorbés ne sont pas éliminés du flux de la transpiration et de ce fait, ils s'accumulent à des niveaux toxiques dans le feuillage. Les feuilles âgées se dessèchent et les plus jeunes deviennent succulentes (Munns et James, 2003 ; Munns *et al.*, 2006).

Quoique la salinité induit une rapide réduction de la croissance du système racinaire, la croissance de la tige est proportionnellement plus réduite, reflétant un ratio racine/tige plus

élevé, comparativement à celui du témoin (Neumann, 1995 ; Zhao *et al.*, 2007). La salinité réduit du tallage herbacé et de la matière sèche accumulée dans les tiges (Zhao *et al.*, 2007).

La réponse de la respiration à la salinité est associée à l'effet direct des sels sur les fonctions enzymatiques, vu que le stress salin sévère augmente la transpiration. Cette augmentation est plus importante chez les géotypes sensibles que chez ceux qui sont tolérants (Zhao *et al.*, 2007). L'accumulation des sels dans les tissus cellulaires affecte l'activité stomatique, la photosynthèse et les échanges gazeux (Zhao *et al.*, 2007). En effet une relation négative existe entre l'activité photosynthétique et le contenu en Na^+ et en Cl^- du feuillage (Zhao *et al.*, 2007). Ainsi James *et al.* (2002) mentionnent que la photosynthèse diminue de 50% pour une concentration de Na^+ du feuillage de 350 mM. La salinité réduit le contenu chlorophyllien, cette réduction est dépendante de l'intensité du stress et du degré de tolérance de la plante (Zhao *et al.*, 2007). Selon Velegaleti *et al.* (1990), la réduction de la chlorophylle est corrélée avec l'accumulation du Cl^- dans les tissus. De plus la salinité impose à la plante une réduction de l'absorption des ions essentiels tels que le K^+ et Ca^{2+} , conduisant à un déséquilibre ionique (Zhu, 2001). Ca^{2+} est nécessaire pour le maintien de la sélectivité et l'intégrité de la membrane cellulaire, d'où un déficit en Ca^{2+} affecte la sélectivité de la cellule et l'intégrité de la membrane, accélérant le passage passif des ions Na^+ et leur accumulation dans les tissus (Cramer, 2002).

En générale, la présence du sel dans la solution du sol augmente le potentiel osmotique du sol et crée un déficit hydrique pour la plante dont les racines sont inaptes à absorber l'eau nécessaire à la croissance de cette solution. De ce fait le potentiel hydrique foliaire baisse aussi (Munns, 1993 ; Tattini *et al.*, 1995 ; Zhao *et al.*, 2007). Comme la croissance cellulaire est corrélée à la pression de turgescence des tissus, la baisse de la turgescence est la principale cause de l'inhibition de l'élongation cellulaire sous salinité (Greenway et Munns, 1980 ; Zhao *et al.*, 2007). Le stress salin génère l'accumulation dans les tissus cellulaires des composés toxiques tels que les espèces réactives d'oxygène (ROS). Les ROS représentent les peroxydes, superoxydes et les radicaux hydroxyles (Tsugane *et al.*, 1999). Ces molécules toxiques endommagent les membranes cellulaires, les enzymes et l'ADN mitochondrial et chloroplastique, perturbant la croissance voire la survie de la plante (Munns *et al.*, 2006). Le stress salin intense induit une réduction de la production des auxines, des gibbérellines et des cytokinines des tissus cellulaires et augmente la concentration de l'acide abscissique (ABA) (Moorby et Besford, 1983). Ces changements hormonaux sont suspectés d'être à l'origine de la réduction de la croissance de la plante sous stress salin.

Le modèle bi-phasique de l'inhibition de la croissance sous stress salin a été proposé par Munns (1993). La première phase de la réduction de la croissance apparaît rapidement. Elle est liée à la présence des sels dans la solution du sol plus qu'à la présence des sels dans la plante. Au cours de cette phase, l'inhibition de la croissance n'est pas due à l'effet du stress ionique. Elle est plutôt due à l'effet du stress hydrique occasionné par la baisse du potentiel osmotique de la solution du sol, et pour lequel, il y a peu de variabilité génétique (Munns et *al.*, 2006). La seconde phase de réduction de la croissance se développe plus tardivement et engendre des dommages dus aux effets de l'accumulation des sels dans les tissus cellulaires. Le degré de réduction de la croissance au cours de cette seconde phase est lié au degré de dommages causés au feuillage. De ce fait, certains programmes de sélection utilisent le degré de dommage foliaire comme critère pour évaluer la tolérance au stress salin (Munns et James, 2003 ; Zhao et *al.*, 2007). Le modèle bi-phasique prédit que les différences génotypiques de croissance, en réponse à la salinité, sont apparentes au cours de la seconde phase (Fortmeier et Schubert, 1995).

I.3.2. Mécanismes de la tolérance au stress salin

Le stress salin peut avoir un impact énorme sur la performance des plantes influant ultimement sur les rendements globaux. Il existe deux principales stratégies que les plantes utilisent pour faire face à la salinité : la compartimentation des ions toxiques au sein de la vacuole et leur exclusion hors de la cellule (Munns, 2005 ; Yamaguchi et Blumwald, 2006 ; Apse et Blumwald, 2007 ; Munns et Tester, 2008). D'autre part, les plantes modifient la composition de leur sève ; elles peuvent accumuler les ions Na^+ et Cl^- pour ajuster le potentiel hydrique des tissus, nécessaire pour maintenir la croissance (Munns, 2005).

La compartimentation vacuolaire consiste à évacuer du cytoplasme les ions Na^+ en excès vers la vacuole afin d'éviter leur effet toxique et inhibiteur à l'encontre des processus enzymatiques (Flowers *et al.*, 1977). Ce mécanisme de compartimentation vacuolaire est assuré par l'action d'un antiport vacuolaire sodium/proton (Na^+/H^+) dont l'énergie est fournie par les pompes à protons ATPases (H^+ -Adénosine Tri Phosphatases) et PPases (H^+ -Pyro Phosphatases) vacuolaires (Horie et Schroeder, 2004 ; Yamaguchi et Blumwald, 2006). Le mouvement des protons de la vacuole vers le cytoplasme est exergonique du fait du gradient de pH de 1.5 unité entre ces deux compartiments. Le taux d'accumulation de sodium dans la vacuole par rapport au cytoplasme peut donc être supérieur à 30 ; mais en réalité, du fait de l'existence des autres cations dans la cellule, l'accumulation de sodium dans la vacuole est

réalisable contre son gradient de concentration seulement 4 à 5 fois plus élevé (Hanana *et al.*, 2009).

L'autre stratégie permettant aux plantes de survivre en condition de stress salin consiste à exclure le sodium du cytoplasme vers l'extérieur de la cellule (Munns *et al.*, 2006). Dans ce cas, les plantes limitent l'entrée des éléments salins et les rejettent dans le compartiment apoplasmique (Blumwald *et al.*, 2004 ; Munns, 2005). La régulation qualitative et quantitative du transport des ions permet de maintenir la concentration ionique dans une gamme de valeurs compatibles avec un métabolisme cellulaire normal. L'exclusion commence avec la sélectivité de la membrane racinaire, ce qui peut résulter d'une réduction de la perméabilité passive, de la présence de transporteurs sélectifs et d'un transport vers le milieu extérieur des ions déjà absorbés (Apse et Blumwald, 2007). L'exclusion du sodium est réalisée par l'action combinée d'une série de protéines de type SOS (Salt Overly Sensitive) (Zhu, 2003). Il existe une corrélation positive entre l'exclusion des sels et la tolérance à la salinité chez plusieurs espèces dont le blé (Storey et Walker, 1999 ; Lee *et al.*, 2003 ; Munns et James, 2003 ; Poustini et Siosemardeh, 2004 ; Zhu *et al.*, 2004 ; Munns *et al.*, 2006).

L'augmentation des concentrations vacuolaires de sodium induit la nécessité et le besoin d'élever la pression osmotique des autres compartiments cellulaires afin de maintenir leur volume (Amtmann et Leigh, 2010) ; les plantes ont développé d'autres moyens non moins efficaces tels que l'ajustement ionique afin de réduire et d'équilibrer la concentration d'ions dans le but d'ajuster la pression osmotique au niveau du cytoplasme (Sairam et Tyagi, 2004 ; Shabala et Cuin, 2007). Le complexe protéique SOS interagit avec le transporteur HKT1 (Rus *et al.*, 2001) lui aussi situé sur la membrane plasmique, pour recirculer du sodium des feuilles vers les racines via le phloème (Berthomieu *et al.*, 2003 ; Hauser et Horie, 2010).

En plus des mécanismes de l'homéostasie ionique cellulaire (compartimentation vacuolaire, exclusion cytoplasmique et ajustement osmotique), d'autres stratégies osmotiques permettent aux plantes de bien s'adapter au stress salin. La proline agit en tant que composé soluble compatible dans l'ajustement osmotique pouvant atteindre de fortes concentrations sans exercer d'effet toxique comme le cas des ions (Yancey *et al.*, 1982 ; Silva-Ortega *et al.*, 2008). En plus du rôle osmotique attribué à la proline, celle-ci intervient dans la détoxification des formes actives d'oxygène (Kocsy *et al.*, 2005) et la stabilisation des protéines (Ashraf et Foolad, 2007 ; Majumder *et al.*, 2010), protégerait l'intégrité de la membrane plasmique (Mansour, 1998) et constituerait une source de carbone et d'azote (Sairam et Tyagi, 2004). Selon Hare et Cress (1997), l'accumulation de proline semble plutôt être une simple réaction

de la plante qu'un comportement d'adaptation et de tolérance au stress. Les bêtaïnes, qui ont la particularité d'être méthylées, sont issues soit de la proline, soit d'autres acides aminés (Rathinasapabathi, 2000). La glycine bêtaïne est principalement présente au niveau des chloroplastes où elle joue une fonction vitale dans la protection des membranes thylakoïdes et par conséquent dans le maintien de l'efficacité photosynthétique (Ashraf et Foolad, 2007) et aussi dans l'osmoprotection en stabilisant les macromolécules et en préservant les membranes sous stress (Majumder *et al.*, 2010). Selon Ashraf et Foolad (2007), les plantes accumulent ce composé lorsqu'elles sont soumises à un stress salin. En outre, plusieurs études physiologiques ont démontré aussi que l'accumulation des sucres et des polyols, principalement suite à l'hydrolyse de l'amidon (Phillips *et al.*, 2002), était stimulée par un stress salin chez différentes espèces végétales dont le blé (Bartels et Sunkar, 2005 ; Majumder *et al.*, 2010). Les formes actives d'oxygène, telles que le peroxyde d'oxygène (H_2O_2), les radicaux superoxydes (O_2^-) et hydroxyl (OH), produites au cours des processus cellulaires aérobies de façon plus accrue suite aux stress salin (Brosché *et al.*, 2010) peuvent servir également, lorsqu'ils sont accumulés en faible quantité, de signal pour induire l'expression de gènes de réponse et de défense cellulaires (Parent *et al.*, 2008). Cependant, la production excessive de ces composés provoque des dégâts oxydatifs, et ils deviennent toxiques pour la cellule (Mahajan *et al.*, 2008).

Chapitre II :
Matériel et méthodes

II. Matériel et méthodes

II.1. Conditions expérimentales

L'expérimentation a été conduite au niveau du laboratoire régional du Centre National de Contrôle et de Certification des semences et plants (CNCC) situé à 4 km sud de la wilaya de Sétif. Elle a porté avec comme objectif d'étudier l'effet du stress salin, représenté par le chlorure de sodium (NaCl), sur la germination et la croissance des plantules de blé. Le matériel végétal est constitué de 26 génotypes dont 15 variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et 11 variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) d'origines diverses. Le nom et l'origine des variétés testées sont donnés dans le tableau II.

Tableau II : Nom et origine des variétés de blé étudiées.

N°	Variétés	Origine
Blé tendre		
V1	Ain Abid	Espagne
V2	Akhamokh	Cimmyt-Mexique
V3	Andana	Italie
V4	Anforeta	Italie
V5	Guadalupe	France
V6	Massine	Cimmyt-Mexique
V7	Mawna	Acsad-Syrie
V8	Mimouni	Cimmyt-Mexique
V9	Nesser	Icarda-Syrie
V10	Orion	Serasem-France
V11	Sidi Okba	Cimmyt-Mexique
V12	Siete Cerros	Cimmyt-Mexique
V13	Tamezghida	Serasem-France
V14	Ziad	Cimmyt-Mexique
V15	Zidane	Cimmyt-Mexique
Blé dur		
V16	Boutaleb	Algérie
V17	GTA dur	Cimmyt-Icarda
V18	Megress	Algérie
V19	Oued El Bared	Algérie
V20	Sitifis	Algérie
V21	Mohamed Ben Bachir	Algérie
V22	Bousselam	Icarda-Syrie
V23	Waha	Icarda-Syrie
V24	Ofanto	Italie
V25	Simeto	Italie
V26	Guemgoum Rkhem	Algérie

Icarda : Centre international de recherche agricole dans les zones arides, Cimmyt : Centre international d'amélioration du maïs et du blé.

Notre travail a été constitué deux parties, la première partie est réservée à l'essai de germination, alors que la seconde partie est consacrée à l'étude des paramètres de la

croissance. Les graines de chacun des différents génotypes listés au tableau 1 ont été mise à germer dans des boîtes de pétri à raison de 100 graines par boîte et quatre lots (4 traitements) de trois boîtes (3 répétitions) par génotype. Ces quatre traitements sont mentionnés, ci-après, D1, D2, D3 et D4, et représentent les intensités de stress salin suivantes : 0, 50, 100 et 150 mM, soit 0, 3, 6 et 9 g/l de NaCl, respectivement. Les différentes concentrations utilisées ont été choisies en se référant aux données bibliographiques (Benderradji *et al.*, 2010 ; Adjel *et al.*, 2013 ; Alaoui *et al.*, 2013 ; Abdi *et al.*, 2016 ; Fellahi *et al.*, 2019). Le semis a été réalisé sur du papier buvard imbibé de 15 ml de solution. Une 4^{ème} boîte supplémentaire contenant 100 graines par génotype a été réservée pour l'étude des paramètres de croissance. Ces graines ont été mises à germer en l'absence du stress salin (0 mM). Les boîtes sont ensuite placées dans un germoir automatique à une température de 22 °C, une photopériode de 16 heures de lumière et 8 heures d'obscurité et une humidité relative de l'air variant entre 78 à 93%.

Pour la germination, l'unité expérimentale est matérialisée par la boîte de Pétri, portant 100 graines par variété et par boîte (Photo 1). Le nombre de graines germées a été noté quotidiennement durant les sept jours qui suivent le semis. On considère que la germination a lieu lorsque la radicule atteint 2 mm (Photo 1) (Adjel *et al.*, 2013).



Photo 1 : Mise en place des graines de blé dans les boites de pétri et le dénombrement des graines germées.

Pour la croissance, les graines germées de la 4^{ème} boîte de Pétri sont transférée après 48 heures dans des tubes à essai contenant 25 ml d'eau aux mêmes intensités de stress salin préalablement utilisées pour le test de germination (0, 50, 100, 150 mM NaCl). Des flacons de coton sont utilisés comme un support des graines dans les tubes à essai (Photo 2). Les différents traitements sont répétés dix fois (10 graines par traitement et par génotype).

L'expérience a duré dix jours après transplantation. L'unité expérimentale est matérialisée cette fois-ci par le tube à essai, à raison d'une graine par tube.



Photo 2 : Transplantation des graines germées et étude des paramètres de la croissance.

II.2. Mesures et notations

Le suivi du comportement des 26 génotypes de blé vis-à-vis du stress salin a été basé sur plusieurs paramètres physiologiques et morphologiques. La première partie réservée à l'essai de germination nous a permis de déterminer les paramètres suivants :

➤ **Taux de germination final (%G) :** le nombre de graines germées a été noté à la fin de l'expérience (7^{ème} jour après semis) et le pourcentage de germination final est déduit par la formule suivante (Shiferaw et Baker, 1996) : $\%G = 100 (NTGG/NTGS)$, où *NTGG* et *NTGS* sont le nombre total de graines germées et le nombre total de graines soumises à la germination, respectivement.

➤ **Moyenne journalière de germination (MJG, graines/jour) :** elle a été obtenue en divisant le pourcentage cumulé de germination par le nombre de jours écoulés depuis le semis (Scott *et al.*, 1984).

La seconde partie nous a permis d'étudier les paramètres de croissance suivant :

➤ **Longueur des racines :** La longueur maximale des racines séminales a été déterminée, après 10 jours de la plantation, comme la longueur en cm de la racine la plus longue.

- **Le nombre de racines :** Le nombre moyen de racines a été déterminé, à la fin de l'expérience (10 jours), pour chaque graine et traitement par comptage de racines séminales.
- **Longueur de coléoptile :** La longueur de la coléoptile est mesurée pour chaque graine et traitement à l'aide d'un papier millimètre.
- **Matière fraîche racinaire et aérienne :** le poids frais en mg des racines (MFR) et des feuilles (MFA) ont été déterminés à la fin de l'expérience à l'aide d'une balance à précision.

II.3. Analyse des données

Les traitements représentés par la combinaison des deux facteurs 'génotype' et 'salinité' sont arrangés selon un dispositif factoriel complètement aléatoire, avec trois répétitions pour l'essai de germination et dix répétitions pour la croissance. Les données obtenues sont traitées par l'analyse de la variance (ANOVA) à deux critères de classifications pour comparer les différents niveaux du stress salin ainsi que le comportement des variétés évaluées vis à vis de ce stress. La comparaison des moyennes est faite par le test de la plus petite différence significative (Ppds 5 %) au seuil de 5%. Les relations entre variables sont étudiées par l'analyse des corrélations et des régressions. Le test *t* de Student est utilisé pour déterminer la signification des coefficients de corrélation (Steel et Torrie, 1982). Les analyses statistiques sont faites à l'aide du logiciel CoStat version 6.4.

Chapitre III :
Résultats et discussion

III. Résultats et discussion

III.1. Analyse de la variance

L'analyse de la variance (ANOVA) montre des effets 'génotype', 'salinité' et interaction 'génotype x salinité' très hautement significative ($p < 0.001$) pour l'ensemble des caractères mesurés (Tableau III). Ce résultat suggère la présence de la variabilité génétique entre les variétés étudiées. Un effet 'salinité' significatif suggère que les différentes concentrations de NaCl dans le milieu ont des réactions différentes sur les paramètres mesurés et soumis à l'analyse. Un effet d'interaction 'génotype x salinité' significatif indique que les génotypes étudiés ont des comportements différents vis-à-vis du stress salin et leur réponse est variable en fonction de la dose appliquée.

Tableau III : Carrés moyens de l'analyse de la variance des caractères mesurés chez les variétés de blé évaluées.

SV	ddl	%G	MJG	LR	NR	LC	MFR	MFA
Génotype (G)	25	650***	13.27***	84.42***	18.03***	11.54***	630.45***	13483***
Salinité (S)	3	2376***	48.50***	2928.02***	109.49***	87.38***	7654.06***	208251***
G x S	75	80***	1.63***	58.76***	4.56***	3.92***	223.96***	3467***
BT vs BD	1	4423***	90.26***	8.80 ^{ns}	212.21***	122.35***	1033.46***	163994***
Erreur	208	19	0.39	10.01	1.08	0.75	47.18	611

ddl = Degré de liberté, %G = Pourcentage de germination, MJG = Moyenne journalière de germination, LR = Longueur des racines, NR= Nombre de racines, MFR = Matière fraîche racinaire, LC = Longueur du coléoptile, MFA = Matière fraîche aérienne, ns et *** = Effets non significatifs et significatifs au seuil de 0.1%.

Parmi les trois sources de variation suscitées et celle de l'erreur, l'effet 'salinité' explique la quasi-totalité de la variation totale observée comme indiqué par les valeurs prises par le carré moyen de l'ANOVA et ce pour l'ensemble des variables étudiés. Elle est suivie par l'effet 'génotype' en deuxième position, l'interaction 'génotype x dose' en troisième position et l'erreur expérimentale en dernier (Tableau III). Des résultats similaires sont rapportés dans la littérature chez plusieurs espèces dont le blé (Yildirim *et al.*, 2015 ; Aflaki *et al.*, 2017 ; Fellahi *et al.*, 2019), l'orge (Adjel *et al.*, 2013), la lentille (Kumawat et Gothwal, 2018) et la pomme de terre (Zaman *et al.*, 2018).

Les résultats montrent aussi un contraste 'BT vs BD' très hautement significatif ($p < 0.001$) pour toutes les variables mesurées, hormis la longueur des racines pour laquelle ce contraste est non significatif (Tableau III). Ce résultat suggère que la variation des variables mesurées est dépendante également de l'espèce et les variétés de blé tendre testées ne répondent pas de la même manière que celles du blé dur et ce en présence qu'en absence du NaCl. Ces résultats corroborent ceux de Benderradji *et al.* (2016).

III.2. Etude des valeurs moyennes**III.2.1. Effet moyen ‘génotype’**

L'analyse du tableau IV indique que les moyennes prises par les caractères mesurés varient en fonction du caractère lui-même et de la variété testée. La moyenne générale de l'essai, prise par la variable pourcentage de germination est de 90.54% avec une plus petite différence significative de 3.50% (Tableau IV). Cette valeur indique surtout l'effet du stress salin mais aussi celui de la qualité de la semence utilisée. Selon les normes de l'association internationale d'essais de semences (ISTA, 2019), une semence dont le pourcentage de germination est inférieur à 85% est de mauvaise qualité (Nijenstein *et al.*, 2008). Le pouvoir germinatif des graines dépend majoritairement des conditions dans lesquelles on les place. Les causes de la variabilité des propriétés germinatives sont multiples (Côme, 1970) et dépend surtout du patrimoine héréditaire. Selon Mazliak (1982), cette hétérogénéité due essentiellement à trois catégories de facteurs. Les conditions de développement des semences sur la plante, les conditions de conservation des graines et les conditions de germination.

Selon Alam *et al.* (2005), il est nécessaire de combiner les informations au sujet du % de germination sous stress salin avec celle de la qualité de la semence pour pouvoir faire la différence entre les variétés qui germent faiblement parce qu'elles sont génétiquement sensibles aux sels, de celles qui germent faiblement parce que la semence est de mauvaise qualité. Parmi les 26 génotypes évalués, vingt variétés présentent un % de germination supérieur au seuil de 85% avec des moyennes journalières de germination allant de 12.36 à 14.11 graines/jour (Tableau IV ; Figure 5). De par l'effet moyen, les variétés les plus sensibles au stress salin et/ou dont la semence est de mauvaise qualité sont, par ordre décroissant, Nesser (V9), Zidane (V15), Mimouni (V8), Tamezghida (V13) et Ain Abid (V1) qui présentent des moyennes de 67.33, 79.67, 80.92, 83.08, 83.25 et 84.75%, respectivement (Tableau IV). Ces variétés affichent aussi les moyennes journalières de germination les plus faibles. Toutes les variétés de blé dur possèdent une bonne qualité semencière et/ou une bonne tolérance au stress salin au moment de la germination dont le %G est supérieur à 85% quelle que soit la dose de NaCl appliquée (Figure 5).

La variété de blé tendre nommée Nesser (V9) présente le nombre de racines le plus réduit (2.00 racines/graine), le coléoptile le plus court (1.10 cm) et les matières fraîches racinaires (2.70 mg) et aériennes (25.50 mg) les plus faibles (Tableau IV). De même, la variété Ofanto (V24) (blé dur) possède les racines les plus courtes avec une valeur moyenne de 4.70 cm (Tableau IV). D'autre part, GTA dur (V17) exhibe le nombre de racines (4.70

racines/graine) et la matière fraîche aérienne (98.45 mg) les plus élevés. Guemgoum Rkhem (V26) possède le coléoptile (3.16 cm) le plus long, alors que la matière fraîche racinaire (17.45 mg) la plus importante est matérialisée par Sidi Okba (V11). Globalement les meilleures valeurs sont affichées par le blé dur relativement au blé tendre comme indiqué par la figure 5.

Tableau IV : Valeurs moyennes de l’effet principal ‘génotype’ des caractères mesurés chez les variétés évaluées.

Variété	%G	MJG	LR	NR	LC	MFR	MFA
V1	84.75	12.11	8.80	4.00	1.65	12.65	53.00
V2	89.75	12.82	5.79	2.83	1.19	6.78	30.20
V3	95.17	13.60	7.10	3.25	1.44	4.45	38.15
V4	96.83	13.83	7.07	3.00	1.77	3.95	35.80
V5	86.50	12.36	7.89	2.80	1.52	4.10	32.38
V6	95.00	13.57	8.11	3.83	2.22	10.33	56.63
V7	96.67	13.81	7.19	2.63	1.97	5.93	37.03
V8	80.92	11.56	8.34	3.38	1.87	6.85	48.53
V9	67.33	9.62	4.98	2.00	1.10	2.70	25.50
V10	90.33	12.90	6.08	2.73	1.99	3.98	42.33
V11	90.33	12.90	8.88	3.78	1.91	17.45	54.95
V12	90.08	12.87	8.63	3.55	1.82	11.25	50.10
V13	83.08	11.87	7.54	3.10	1.82	11.63	43.53
V14	83.25	11.89	10.53	3.48	2.37	9.05	56.53
V15	79.67	11.38	10.41	3.38	2.51	11.25	57.78
V16	95.83	13.69	8.89	3.95	1.98	11.78	74.31
V17	98.75	14.11	9.85	4.70	2.88	17.18	98.45
V18	98.75	14.11	7.16	4.33	2.30	11.00	62.58
V19	92.67	13.24	8.20	4.19	1.98	7.00	70.95
V20	92.92	13.27	7.60	2.93	1.89	5.78	47.40
V21	97.83	13.98	8.90	4.20	2.94	8.88	61.75
V22	97.42	13.92	7.39	4.28	2.93	11.60	63.28
V23	96.83	13.83	6.63	4.15	2.68	8.15	50.98
V24	92.08	13.15	4.70	4.03	2.41	6.35	58.68
V25	88.17	12.60	7.56	4.40	2.40	9.90	94.02
V26	93.00	13.29	7.12	3.90	3.16	14.30	82.98
Moyenne	90.54	12.93	7.74	3.57	2.10	9.01	54.91
Ppds (5%)	3.50	0.50	1.39	0.46	0.38	3.01	10.85

%G = Pourcentage de germination, MJG = Moyenne journalière de germination (graines/jour), LR = Longueur des racines (cm), NR = Nombre de racines (No), LC = Longueur du coléoptile (cm), MFR = Matière fraîche racinaire (mg), MFA = Matière fraîche aérienne (mg).

La figure 6 représente l’évolution du nombre de graines de blé germées au cours des sept jours de l’essai. Elle montre que la cinétique de germination varie distinctement avec l’espèce et le génotype. Ceci est confirmé par l’analyse de la variance, qui a révélé à la fois un

effet très hautement significatif du génotype et de l'espèce (Tableau III). Le pourcentage de germination augmente significativement avec le temps. Néanmoins, l'allure générale des courbes de cinétique de germination pour l'ensemble des génotypes est pratiquement semblable pour les deux espèces étudiées.

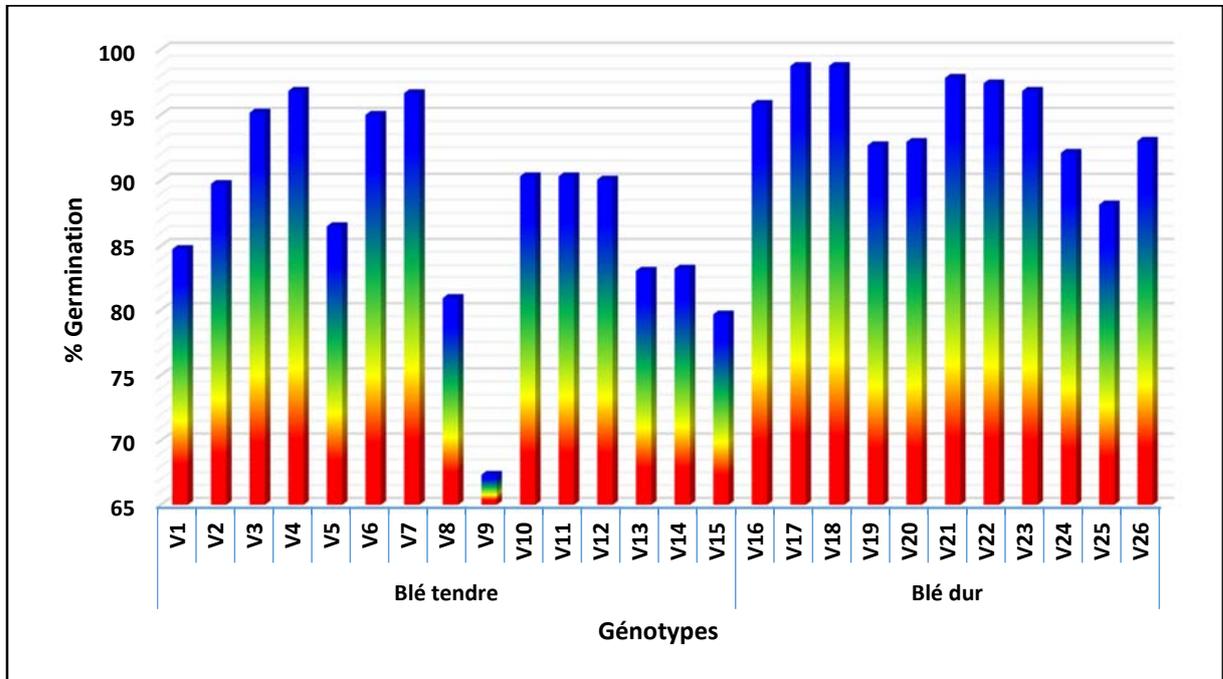


Figure 5 : Pourcentage de germination (effet moyen) des variétés de blé évaluées.

En effet, pour les deux espèces les germinations empruntent une évolution parallèle pouvant être divisée en deux phases. Une phase exponentielle, entre 1 et 4 jours, durant laquelle les pourcentages de germination augmentent fortement pour atteindre chez Mawna (V7) (blé tendre) et Megress (V18) (blé dur) au septième jour 96.7 et 98.6%, respectivement. Cette phase est nécessaire à l'apparition des premières germinations (Figure 6). La deuxième phase correspond à un palier où les pourcentages cumulés de germination augmentent lentement dans un premier temps pour se maintenir après jusqu'à la fin de l'expérience qui représente le pourcentage final de la germination et traduisant la capacité germinative de chaque génotype des deux espèces. Toutes les variétés (blé dur et blé tendre) ont atteint le pourcentage final de germination après 4 jours de l'essai (Figure 6). Il est important de noter qu'après 24 heures, le taux de germination était très réduit pour toutes les variétés de blé dur étudiées avec des valeurs ne dépassant pas 21.3%, valeur maximale prise par la variété Bousselam (V22) (Figure 6).

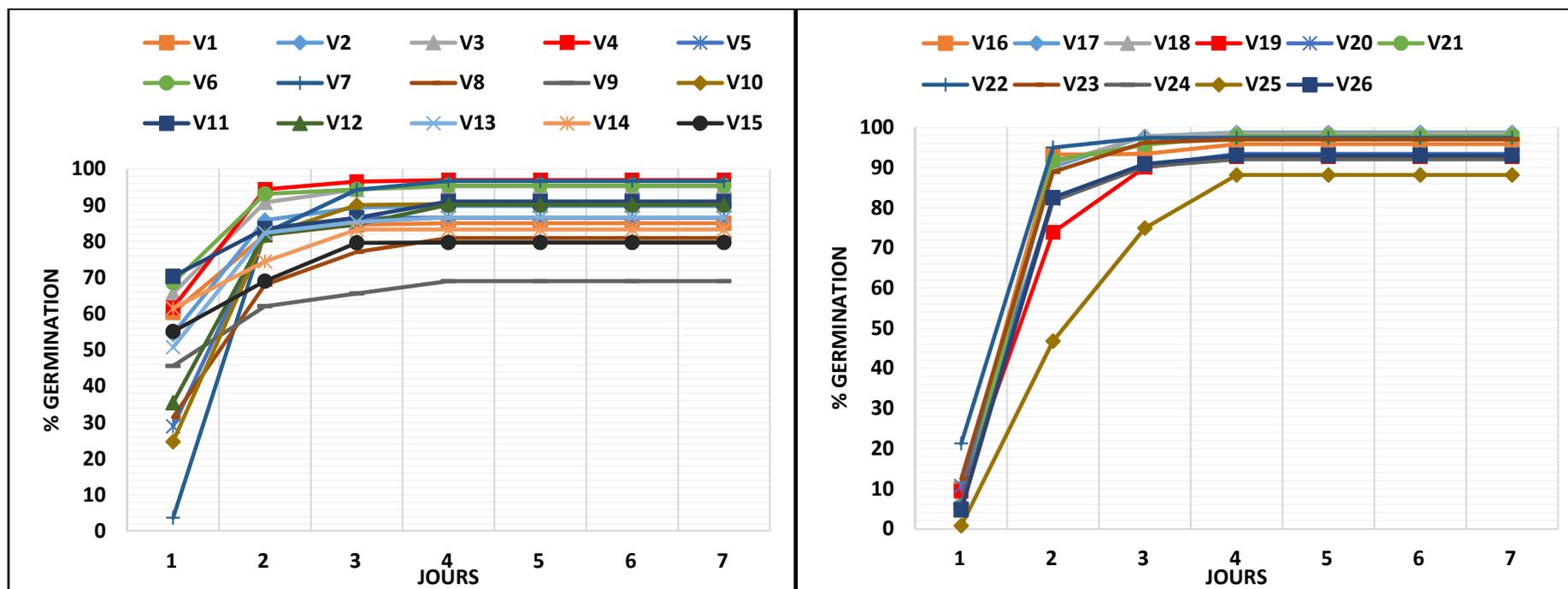


Figure 6 : Cinétique de germination des graines de variétés de blé tendre (à gauche) et de blé dur (à droite).

Chez la même espèce, on note que cinq variétés (V18, V19, V20, V24 et V25) présentent une vitesse de germination plus ou moins lente avec un %G n'excédant pas 85% après 48 heures, parmi lesquelles Simeto (V25) affichait un taux faible même après 72 heures (vitesse lente). Les autres variétés telles que Boutaleb (V16), Oued El Bared (V19), Sitifis (V20), Mohamed Ben Bachir (V21), Bousselam (V22), Ofanto (V24) et Geumgoum Rkhem (V26) ont commencé leur germination par des taux très faibles, mais ont atteint des %G très élevés dès le deuxième jour. Elles présentent une vitesse de germination plus rapide (Figure 6).

Chez le blé tendre, on distingue après 24h de la mise en culture, trois groupes de génotypes : un %G très faible pour Mawna (V7) puis il évolue rapidement dès le deuxième jour, cette variété exprime un comportement germinatif similaire au blé dur. Les variétés Guadalupe (V5), Mimouni (V8), Nesser (V9), Orion (V10), Siete Cerros (V12) et Tamezghida (V13) présentent des taux de germination réduits compris entre 27.7 et 45.6%. Les variétés restantes ont affiché, par contre, un %G plus élevé excédant 50% (Figure 6). Durant le deuxième et le troisième jour voir même le quatrième jour, on observe que Mimouni (V8), Nesser (V9), Ziad (V14) et Zidane (V15) montrent une vitesse de germination lente par rapport aux autres variétés testées (Figure 6).

La comparaison de la cinétique de germination chez les variétés de blé tendre avec celles de blé dur (Figure 7) montre que les graines de la première espèce avaient un pourcentage plus réduit (effet moyen espèce) de l'ordre de 8.4% par rapport à la deuxième espèce qui a exhibé une moyenne de 47.9%, après 24h de la mise en culture. Cependant, la situation s'inverse dès le deuxième jour (48 heures) jusqu'à la fin de l'expérience (Figure 7). Ce résultat suggère une première phase lente et une deuxième phase rapide pour le blé dur et l'inverse pour le blé tendre.

II.2.2. Effet moyen 'espèce'

Comme nous l'avons déjà vu précédemment, l'analyse de variance a révélé un contraste 'BT vs BD' très hautement significatif pour l'ensemble des caractères mesurés, hormis la longueur des racines (Tableau III), suggérant que la variation totale observée est dépendante en plus des effets dus au génotype, à la salinité, à leur interaction G x S, de l'effet espèce c'est-à-dire que les variétés de blés tendre et dur diffèrent significativement les unes des autres pour les caractères suscités. Les valeurs moyennes de l'effet 'espèce' des caractères mesurés sont données dans le tableau V.

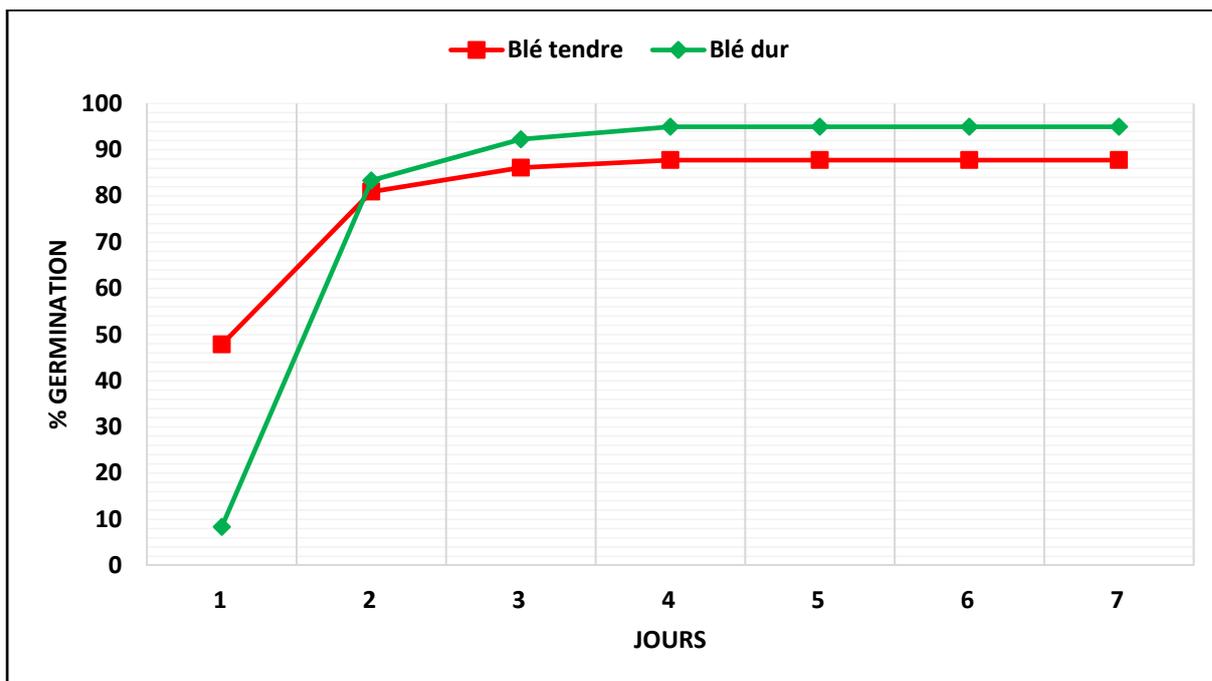


Figure 7 : Comparaison de la cinétique de germination des graines de variétés de blé tendre avec celle des graines du blé dur.

Tableau V : Valeurs moyennes de l'effet 'espèce' des caractères mesurés chez les variétés évaluées.

Espèce	%G	MJG	LR	NR	LC	MFR	MFA
Blé tendre	87.31 ^b	12.47 ^b	7.82 ^a	3.18 ^b	1.81 ^b	8.16 ^b	44.16 ^b
Blé dur	94.93 ^a	13.56 ^a	7.64 ^a	4.09 ^a	2.50 ^a	10.17 ^a	69.58 ^a
Ppds (5%)	2.34	0.33	0.64	0.18	0.16	1.29	5.24

%G = Pourcentage de germination, MJG = Moyenne journalière de germination (graines/jour), LR = Longueur des racines (cm), NR = Nombre de racines (No), LC = Longueur du coléoptile (cm), MFR = Matière fraîche racinaire (mg), MFA = Matière fraîche aérienne (mg). Chiffres suivis par la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5%.

D'après les résultats du tableau V, le blé dur exprime une performance meilleure sous stress salin par rapport au blé tendre avec des écarts excédant au moins une fois les valeurs prises par la plus petite différence significative ($P_{pds5\%}$) qui classent les deux espèces étudiées dans deux groupes statistiquement distincts, à l'exception de la longueur des racines dont la différence est non significative. Ces résultats suggèrent que les variétés de blé dur sont génétiquement plus étouffantes et/ou plus tolérants au stress salin relativement à celle de blé tendre. Cet aspect sera abordé dans la partie traitant l'interaction 'génotype x salinité' qui permet d'établir une image plus fine sur la réponse des variétés à l'action du NaCl. Dans la littérature, plusieurs auteurs ont constaté que les différences de tolérance à la salinité existent, pas seulement entre les différentes espèces, mais également à l'intérieur de l'espèce, entre les cultivars et populations (Dura *et al.*, 2011 ; Munns et Gilliam, 2015 ; Djerah et Oudjehih, 2016 ; Fellahi *et al.*, 2019 ; Zörb *et al.*, 2019).

II.2.3. Effet moyen ‘salinité’

Les valeurs moyennes de l’effet principal ‘salinité’ des caractères mesurés chez les variétés de blés évaluées sont illustrées dans le tableau VI. Les résultats montrent que les quatre doses de sel appliquées affectent négativement et significativement le comportement des variétés. Les valeurs de tous les caractères sont réduites à mesure que la concentration de sel est augmentée et chaque dose est classée dans un groupe statistique, à l’exception D1 (0 mM) et D2 (50 mM) qui ne diffèrent pas significativement l’une de l’autre pour le caractère nombre de racines et la longueur du coléoptile (Tableau VI). Ce dernier résultat indique que la dose 50 mM NaCl n’a pas d’influence sur ces deux caractères, les deux espèces incluses.

Tableau VI : Valeurs moyennes de l’effet principal salinité des caractères mesurés chez les variétés évaluées.

Dose	%G	MJG	LR	NR	LC	MFR	MFA
D1	96.03 ^a	13.72 ^a	11.46 ^a	4.10 ^a	2.55 ^a	16.14 ^a	83.80 ^a
D2	93.53 ^b	13.36 ^b	9.01 ^b	4.06 ^a	2.54 ^a	10.20 ^b	72.58 ^b
D3	89.15 ^c	12.74 ^c	6.98 ^c	3.36 ^b	2.01 ^b	5.67 ^c	40.93 ^c
D4	83.44 ^d	11.92 ^d	3.52 ^d	2.74 ^c	1.32 ^c	4.02 ^d	22.34 ^d
<i>Ppds (5%)</i>	<i>1.37</i>	<i>0.20</i>	<i>0.54</i>	<i>0.18</i>	<i>0.15</i>	<i>1.18</i>	<i>4.25</i>

%G = Pourcentage de germination, MJG = Moyenne journalière de germination (graines/jour), LR = Longueur des racines (cm), NR = Nombre de racines (No), LC = Longueur du coléoptile (cm), MFR = Matière fraîche racinaire (mg), MFA = Matière fraîche aérienne (mg). Chiffres suivis par la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5%.

En effet, le pourcentage de germination passe de 96.03 à en absence de sel à 83.44% en présence de 150 mM de NaCl avec une *Ppds*_{5%} de 1.37% (Tableau VI). La moyenne journalière de germination a diminué pour les mêmes doses de 13.72 à 11.92 graines avec une *Ppds*_{5%} de 0.20 graines/jour. Cette diminution correspond à une augmentation de la pression osmotique externe, ce qui affecte la vitesse d’absorption de l’eau par les graines. D’après Ben Miled *et al.* (1986), ce retard de la germination s’expliquerait par le temps nécessaire aux graines pour déclencher les mécanismes leur permettant d’ajuster leur pression osmotique. Les autres caractères comme la longueur et le nombre de racines, la longueur du coléoptile et les matières fraîches racinaires et aériennes ont diminué eux-mêmes de 11.46, 4.10, 2.55, 16.14 et 83.80 à 3.52 cm, 2.74 racines/graine, 1.32 cm, 4.02 mg et 22.34 mg, respectivement (Tableau VI).

L’écart en % des valeurs prises par les caractères mesurés relativement à la valeur maximale prise par le témoin (D1, 0 mM) indique que l’effet de la salinité sur les caractères mesurés est variable suivant le caractère lui-même et de l’intensité du stress appliqué (Figure 8). La figure 8 montre que le stress salin à faible dose (50 mM) a beaucoup plus affecté la

longueur des racines et les matières fraîches racinaires et aériennes relativement aux autres caractères. Les doses modérée (100 mM) et sévère (150 mM) ont considérablement réduit les valeurs prises par les variables %G, MJG, LR, NR, LC, MFR et MFA. Celle la plus sévère a généré des écarts estimés à 13.11, 13.11, 69.25, 33.27, 48.33, 75.08 et 73.34 %, respectivement (Figure 8). Le pourcentage de germination et la moyenne journalière de germination sont les variables les moins affectées. Cependant, nos résultats montrent l'effet dépressif du sel sur les différents paramètres de croissance. Ces résultats concordent avec ceux de Zaman-Allah *et al.* (2009) et Fellahi *et al.* (2019) qui ont montré que la croissance est significativement diminuée quand la salinité dépasse 4 g/l.

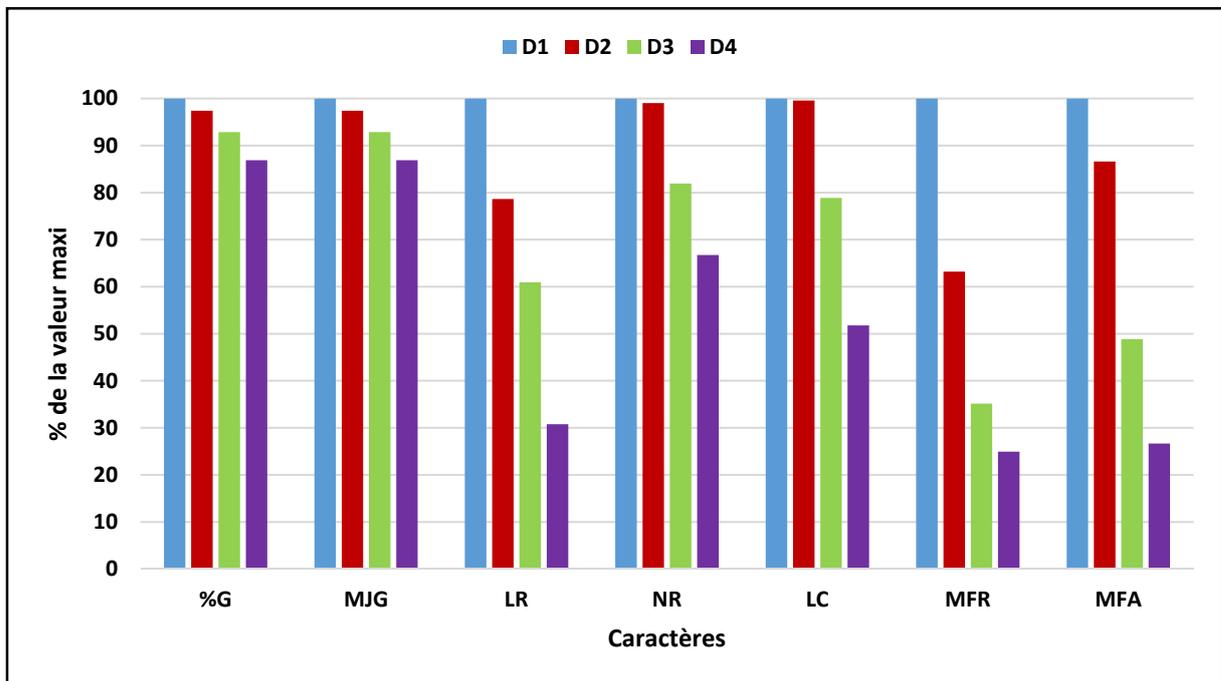


Figure 8 : Ecart (%) des valeurs prises par les caractères mesurés relativement à la valeur maximale.

D'après Rehman *et al.* (2000), la plupart des plantes sont sensibles à la salinité durant leurs phases de germination et de levée. Le ralentissement de la vitesse de germination pourrait être attribué au temps nécessaire aux graines pour déclencher les mécanismes nécessaires pour ajuster leur pression osmotique (Jaouadi *et al.*, 2010). Les résultats obtenus confirment ceux d'études antérieures mettant en évidence l'action dépressif du sel sur la capacité germinative des graines de blé (Adjel et Bouzerzour, 2004 ; Gholamin et Khayatnezhad, 2011 ; Mahmoodzadeh *et al.*, 2013 ; Charushahi *et al.*, 2015 ; Borlu *et al.*, 2018). Ces auteurs notent un faible pourcentage de germination à 160 mM/ NaCl et l'arrêt du développement après quelques jours. L'effet négatif de NaCl sur la germination se répercute sur le développement de la plante au cours des 11 jours de croissance. Selon Fellahi *et al.*

(2019), la salinité engendre un retard de germination et affecte négativement la longueur de la coléoptile et le développement du système racinaire. La conséquence est une mauvaise levée des plantules.

La réduction des valeurs prises par les variables mesurées diffère en fonction de l'espèce telle qu'indiquée par la figure 9. La comparaison des valeurs prises par les caractères mesurés relativement à la valeur du témoin exprimé en pourcentage chez les deux espèces indique que les réductions à la dose 50 mM NaCl sont plus importantes chez le blé dur et ce pour la plupart des variables, %G, MJG et LR exclus (Figure 9). La même tendance est marquée à la dose 100 mM NaCl où le blé tendre a exprimé sa tolérance au sel par rapport au blé dur ; cependant, le taux de germination chez le blé dur dans reste moins affecté sous cette dose.

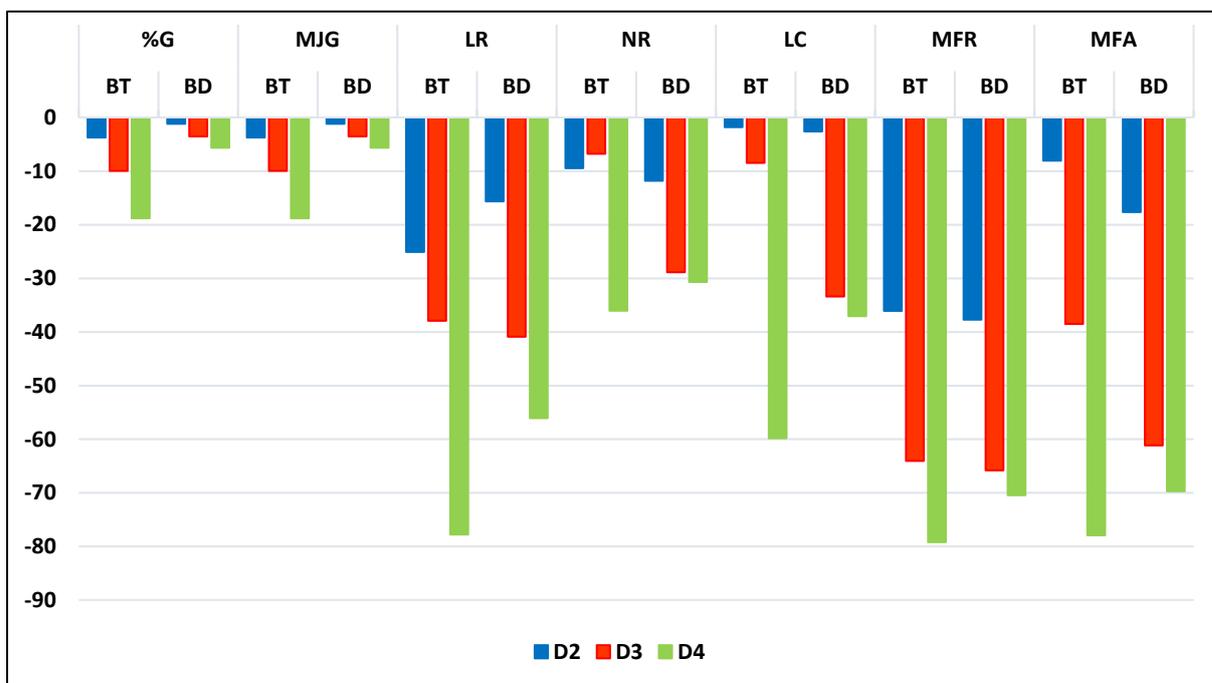


Figure 9 : Comparaison, par espèce, du % de réduction des valeurs prises par les caractères mesurés relativement à la valeur du témoin.

Sous stress sévère de 150 mM, la situation s'inverse dont le blé tendre devient l'espèce la plus affecté par le sel, tous les caractères subissent des réductions appréciables variant de -18.76% pour le pourcentage de germination à -79.21% pour la matière fraîche racinaire (Figure 9). Quoiqu'il a exhibé une tolérance meilleure au stress sévère relativement au blé tendre, le blé dur a également assumé des réductions non négligeable, voir même importantes dépassant les 50% pour la longueur des racines et les matières fraîches racinaire et aérienne (Figure 9). Globalement, on constate que les variétés de blé tendre testées sont

plus tolérantes aux doses de sel faibles à modérées comparativement aux cultivars de blé dur ; cependant elles deviennent plus sensibles sous forte concentration de NaCl.

Comprendre les mécanismes intrinsèques impliqués dans la tolérance différentielle à la salinité entre le blé tendre et le blé dur est essentiel pour la sélection de variétés tolérantes au sel afin de faire face au problème mondial de la salinité qui menace les disponibilités alimentaires futures. Dans le passé, une tolérance plus élevée à la salinité chez le blé tendre par rapport au blé dur était attribuée à sa meilleure capacité à exclure les ions Na⁺ (Colmer *et al.*, 2006). Récemment, Wu *et al.* (2014) ont conclu que le blé tendre et le blé dur présentent stratégies différentes pour faire face à la salinité et que les mécanismes de ciblage conférant une rétention de K⁺ dans le mésophylle des feuilles pourraient constituer un moyen prometteur pour améliorer la tolérance à la salinité chez ces espèces.

II.2.4. Effet de l'interaction 'génotype x salinité'

Les résultats de l'analyse de la variance, à deux facteurs (génotype et NaCl) ont montré un effet d'interaction 'génotype x salinité' très hautement significatif pour l'ensemble des caractères mesurés (Tableau III), signifiant que les variétés ainsi testées répondent différemment aux doses de stress salin appliquées et en fonction du paramètre étudié. Afin de faciliter l'interprétation de ces interactions significatives, nous nous sommes basés sur l'étude des valeurs prises par les écarts résultant des différences entre les moyennes de chaque variété aux doses D2 (50 mM), D3 (100 mM) et D4 (150 mM) relativement au témoin non stressé (D0, 0 mM) et ce pour chaque caractère. Le degré de tolérance de telle variété est alors jugé par les valeurs des écarts générés ; plus la valeur de l'écart est importante moins la variété est tolérante et vice versa. Pour cela nous avons adopté l'échelle proposée par Fellahi *et al.* (2019) qui considère un tel génotype comme tolérant à une dose donnée si la valeur de cet écart est supérieure à -20%. Le génotype est jugé comme sensible lorsque cette valeur est inférieure à -40%.

II.2.4.1. Chez le blé tendre

Le tableau VII montre les valeurs des écarts en %, par rapport aux valeurs du témoin non stressé, des variables mesurées chez les variétés de blé tendre. Les variétés tolérantes à telle dose et dont l'écart est supérieur à -20% sont indiquées par un symbole vert ; celles les plus sensibles (écarts à valeurs inférieures à -40%) sont signalées par un symbole rouge et celles intermédiaires (écarts à valeurs comprises entre -20 et -40%) sont marquées par un symbole orange.

Tableau VII : Ecart en % par rapport aux valeurs du témoin non stressé (D1 = 0 mM) des variables mesurées chez le blé tendre.

Variables	%G			LR			NR		
	50	100	150	50	100	150	50	100	150
V1	-1	-25	-28	-11	-27	-85	7	4	-56
V2	-6	-8	-14	-36	-56	-85	-17	-25	-44
V3	0	-6	-11	-31	-36	-85	9	-6	-31
V4	-1	-1	-6	-29	-52	-89	-8	-25	-68
V5	-2	-3	-22	0	-16	-94	6	-3	-64
V6	-4	-5	-7	-17	-32	-75	13	-3	-18
V7	-1	-1	-5	-5	-45	-84	3	-21	-74
V8	-7	-16	-29	-31	-35	-71	24	-12	-15
V9	-14	-17	-47	2	-3	-94	143	121	-93
V10	-4	-6	-7	21	-4	-77	32	4	-46
V11	-2	-13	-13	-40	-75	-67	15	-5	-33
V12	-3	-11	-20	-26	-61	-75	18	-15	-48
V13	9	-1	-13	-23	-64	-74	16	-6	-10
V14	-3	-13	-37	-26	-27	-59	34	3	-3
V15	-16	-24	-27	-20	-52	-74	16	-26	-34
Variables	LC			MFR			MFA		
	50	100	150	50	100	150	50	100	150
V1	14	1	-70	-60	-70	-93	-19	-23	-92
V2	-22	-40	-96	-65	-77	-94	-59	-67	-99
V3	-23	-25	-78	-37	-56	-88	-33	-43	-87
V4	-1	-36	-71	-11	-52	-77	-16	-46	-86
V5	11	9	-74	-15	-17	-95	-8	-30	-100
V6	25	8	-50	-15	-46	-59	0	-35	-75
V7	17	-36	-83	-54	-78	-94	-15	-60	-88
V8	11	10	-57	5	-19	-64	9	-8	-75
V9	145	83	-100	110	100	-95	155	97	-100
V10	68	29	-85	59	-11	-86	129	32	-91
V11	-9	-38	-44	-64	-84	-85	-32	-69	-63
V12	-8	-41	-60	-29	-72	-85	4	-72	-61
V13	-7	-31	-31	-37	-69	-77	-8	-54	-58
V14	10	9	-12	-11	-43	-49	-3	-26	-51
V15	5	-29	-53	18	-73	-73	-1	-59	-77

%G = Pourcentage de germination, LR = Longueur des racines, NR = Nombre de racines, LC = Longueur du coléoptile, MFR = Matière fraîche racinaire, MFA = Matière fraîche aérienne.

Pour le pourcentage de germination (%G), toutes les variétés sont tolérantes au sel à la dose 50 mM. A la concentration 100 mM, seulement deux variétés Ain Abid (V1) et Zidane (V15) sont moyennement sensibles, les autres variétés demeurent tolérantes. Sous une forte concentration de l'ordre de 150 mM, on remarque que Nasser (V9) est la seule variété qui montre sa forte sensibilité à NaCl ; cinq autres variétés nommées Ain Abid (V1), Guadalupe (V5), Mimouni (V8), Ziad (V14) et Zidane (V15) sont moyennement sensibles alors que les génotypes restants tolérants à la dose considérée (Tableau VII).

Pour la longueur des racines (LR), les résultats indiquent que sept variétés sur quinze testées sont tolérantes à la dose saline 50 mM. Ces variétés sont Ain Abid (V1), Guadalupe (V5), Massine (V6), Mawna (V7), Nesser (V9), Orion (V10) et Zidane (V15) parmi lesquelles V5, V9 et V10 sont demeurées tolérantes à la dose 100 mM. Les variétés restantes sont moyennement à hautement sensibles à la dose considérée. Cependant, toutes les variétés ont exhibé leur sensibilité à la dose 150 mM (Tableau VII).

Pour le nombre de racines (NR), toutes les variétés de blé tendre sont tolérantes au stress salin aux doses 50 et 100 mM, à l'exception de Akhamokh (V2), Anforeta (V4), Mawna (V7) et Zidane (V15) qui expriment une sensibilité moyenne à la dose modérée 100 mM NaCl. A la dose D4 = 150 mM, Massine (V6) Mimouni (V8) Tamezghida (V13) Ziad (V14) sont les génotypes les plus tolérants. Andana (V3), Sidi Okba (V11) et Zidane (V15) sont moyennement sensibles alors que les variétés restantes sont sensibles à la salinité en assumant des réductions excédant les 40% relativement au témoin (Tableau VII).

Concernant la longueur du coléoptile (LC), à l'exception de Akhamokh (V2) et Andana (V3) qui sont des variétés moyennement sensibles, toutes les autres variétés sont tolérantes à la dose D2 = 50 mM. A la dose D3 = 100 mM, sept variétés seulement ont gardé leur tolérance, il s'agit de Ain Abid (V1), Guadalupe (V5), Massine (V6), Mimouni (V8), Nesser (V9), Orion (V10) et Ziad (V14). Cependant Akhamokh (V2) et Siete Cerros (V12) sont devenues très sensibles. Ziad (V14) est la seule variété tolérante au sel à forte concentration, Tamezghida (V13) est moyennement alors que toutes les variétés restantes sont sensibles à la dose considérée (Tableau VII).

L'écart enregistré pour les matières fraîches racinaire (MFR) et aérienne (MFA) suggère que tous les génotypes évalués sont sensibles à la dose D4 = 150 mM. Sous une concentration faible (D2 = 50 mM), huit variétés (V4, V5, V6, V8, V9, V10, V14 et V15) semblent tolérantes de par leur système racinaire et quatre autres variétés (V1, V2, V7 et V11) sont sensibles ; les trois variétés restantes (V3, V12 et V13) sont juste intermédiaires. En effet, seulement Guadalupe (V5), Mimouni (V8), Nesser (V9) et Orion (V10) expriment une bonne tolérance au sel à la dose 100 mM, en affichant des écarts inférieurs à 20% (Tableau VII). Pour la MFA, à l'exception de Akhamokh (V2), Andana (V3) et Sidi Okba (V11) (moyennement à hautement sensibles), les variétés testées sont tolérantes à la concentration saline faible appliquée. Néanmoins, Mimouni (V8), Nesser (V9) et Orion (V10) sont celles qui demeurent tolérantes au sel à la dose 100 mM. Ain Abid (V1), Guadalupe (V5), Massine

(V6) et Ziad (V14) sont moyennement sensibles, en affichant des écarts en valeurs absolues, compris entre 20 et 40%. Les autres cultivars sont considérés comme sensibles (Tableau VII).

II.2.4.2. Chez le blé dur

Le tableau VIII montre les valeurs des écarts en %, par rapport aux valeurs du témoin non stressé, des variables mesurées chez les variétés de blé dur. Pour le pourcentage de germination (%G), on observe que toutes les variétés sont tolérantes aux différentes doses de salinité appliquées dont les écarts enregistrés ne dépassent pas, en valeurs absolues, les 20% (Tableau VIII).

Tableau VIII : Ecarts en % par rapport aux valeurs du témoin non stressé (D1 = 0mM) des variables mesurées chez le blé dur.

Variables	%G			LR			NR		
	50	100	150	50	100	150	50	100	150
V16	0	-1	-2	-20	-24	-73	-8	-42	-46
V17	0	-1	-3	-24	-51	-64	-6	-11	-28
V18	0	-1	-3	-13	-30	-62	4	-18	-33
V19	-3	-5	-7	-45	-61	-76	-1	-16	-41
V20	0	-5	-5	-20	-54	-80	-31	-44	-64
V21	-1	-2	-2	-50	-74	-65	-18	-4	-35
V22	0	-2	-4	-53	-61	-56	-14	-10	-34
V23	-1	-3	-5	199	193	110	-16	-27	-31
V24	-3	-4	-8	39	18	-33	-16	-18	-37
V25	-2	-9	-15	34	-33	-52	-4	-20	-31
V26	-2	-7	-9	86	10	-51	-10	-30	-48
Variables	LC			MFR			MFA		
NaCl	50	100	150	50	100	150	50	100	150
V16	1	-34	-66	-64	-80	-93	3	-56	-89
V17	4	-3	-7	-63	-65	-71	3	-41	-41
V18	14	-15	-31	52	-27	-67	-8	-56	-74
V19	12	-5	-64	-37	-45	-85	-39	-49	-86
V20	-6	-48	-88	-55	-86	-95	-26	-71	-96
V21	-13	-16	-72	-46	-49	-74	-42	-67	-87
V22	-4	-14	-26	-39	-53	-71	-31	-55	-62
V23	3	-14	-30	33	-7	-47	2	57	-27
V24	-3	-20	-51	-22	-53	-65	-36	-53	-75
V25	13	-17	-40	-26	-52	-80	-24	-59	-76
V26	9	-52	-77	-26	-76	-87	-9	-72	-87

%G = Pourcentage de germination, LR = Longueur des racines, NR = Nombre de racines, LC = Longueur du coléoptile, MFR = Matière fraîche racinaire, MFA = Matière fraîche aérienne.

Concernent la longueur des racines (LR), les résultats montrent que Boutaleb (V16), Megress (V18), Waha (V23), Ofanto (V24), Simeto (V25) et Guemgoum Rkhem (V26) sont des variétés tolérantes à la dose D2 = 50 mM en exprimant une meilleure capacité d'élongation racinaire. GTA dur (V17) et Sitifis (V20) sont moyennement sensible alors que

Oued El Bared (V19), MBB (V21) et Bousselam (V22) sont celles les plus sensibles en affichant des écarts, en valeurs absolues, supérieures à 40%. Sous une dose de sel modérée (100 mM), seules Waha (V23), Ofanto (V24) et Guemgoum Rkhem (V26) gardent la caractéristique de tolérance, Boutaleb (V16), Megress (V18), et Simeto (V25) sont devenues moyennement sensibles. Sous une forte dose de NaCl (150 mM), Waha (V23) est la seule variété qualifiée comme tolérante. Ofanto (V24) est moyennement sensible alors que tous les génotypes restants sont sensibles au sel (Tableau VIII).

Pour le nombre de racines (NR), toutes les variétés sont tolérantes à la dose de sel D1 = 50 mM, à l'exception de Sitifis (V20) qui exhibe une réduction de 31%, par rapport au témoin. A la dose D2 = 100 mM, nos résultats permettent de qualifier Waha (V23) et Guemgoum Rkhem (V26) comme des génotypes moyennement sensibles, et Boutaleb (V16) et Sitifis (V20) comme des variétés très sensible au sel. Les autres variétés sont tolérantes à la dose considérée. Sous une forte dose de sel (D4 = 150 mM), aucune variété de blé dur ne se montre tolérante, tous les génotypes subissent des réductions moyennes à élevées du nombre de racines par plante.

Pour la longueur du coléoptile (LC), l'ensemble des variétés sont tolérantes aux doses moyenne (D2 = 50 mM) et modérée (D3 = 100 mM), hormis Boutaleb (V16) (moyennement sensible), Sitifis (V20) et Guemgoum Rkhem (V26) (moyennement sensibles) à la concentration 100 mM NaCl. A la dose sévère (D4 = 150 mM), GTA dur (V17) est le seul génotype tolérant. Megress (V18), Bousselam (V22) et Waha (V23) sont moyennement sensibles alors que les autres variétés sont très sensibles à cette concentration saline (Tableau VIII).

L'écart enregistré pour les matières fraîches racinaire (MFR) et aérienne (MFA) suggère que tous les génotypes évalués sont très sensibles à la dose D4 = 150 mM, à l'exception Waha (V23) qui semble moyennement sensible de par leur matière fraîche aérienne accumulée (Tableau VIII). Pour la MFR, deux variétés à savoir Megress (V18) et Waha (V23) sont tolérantes. Les autres variétés sont moyennement à hautement sensibles et réduisent leur MFR à plus de 20%. Sous une concentration modérée (D3 = 100 mM), Megress (V18) est devenue moyennement sensibles alors que Megress (V18) a retenu sa caractéristique de tolérance en assumant une réduction de l'ordre de 7% (Tableau VIII). Concernant la MFA, Boutaleb (V16), GTA dur (V17), Megress (V18), Waha (V23) et Guemgoum Rkhem (V26) sont les génotypes les plus tolérants à la dose 50 mM. MBB (V21) est, par contre, le cultivar le plus sensible. Les cinq variétés restantes sont juste intermédiaires

à la dose considérée. A l'exception de Waha (V23), variété tolérante à la dose 150 mM, toutes les variétés testées sont fortement sensibles à la concentration saline élevée (Tableau VIII).

Globalement, nos résultats montrent clairement que lorsque la concentration en sel augmente, une diminution appréciable (en fonction de la dose et du génotype) des caractères mesurés est observée. L'augmentation de la concentration de NaCl a provoqué chez les graines des deux espèces, un allongement de la période de germination. Ce retard s'expliquerait par le temps nécessaire aux graines pour déclencher les mécanismes leur permettant d'ajuster leur pression osmotique (Miled *et al.*, 1986). Selon Prado *et al.* (2000), la diminution du taux de germination des graines soumises à un stress salin serait due à un processus de dormance osmotique développé sous ces conditions de stress, représentant ainsi une stratégie d'adaptation à l'égard des contraintes environnementales. En plus de la réduction du taux de germination. Cette réduction pourrait être due à l'altération des enzymes et des hormones qui se trouvent dans la graine (Prado *et al.*, 2000). Il pourrait s'agir également d'une difficulté d'hydratation des graines suite à un potentiel osmotique élevé entraînant une certaine inhibition des mécanismes aboutissant à la sortie de la radicule hors des téguments et par conséquent un retard de germination des graines (Gill *et al.*, 2003).

La réduction de la croissance aérienne observée au niveau des plantules de blé dur comme en blé tendre peut être expliquée, sur le plan physiologique, par des augmentations des taux de certains régulateurs de croissance, notamment l'acide abscissique et les cytokinines induites par le sel (Benmaahioul *et al.*, 2009). Le stress salin inhibe l'absorption des éléments nutritifs essentiels comme le P et K ce qui affecte la croissance et le développement de la plante (Munns *et al.*, 2006). Selon Bakht *et al.* (2011) des concentrations élevées de salinité avaient pour effet de réduire de la longueur de feuille et de racine. Ces dommages sont associés à l'accumulation de l'ion Na⁺ dans les tissus foliaires. L'accumulation, à des niveaux toxiques, des ions Na⁺ et Cl⁻, dans les parties aériennes de la plante affecte négativement le métabolisme. Selon Zhu (2001), la réduction de croissance des parties aériennes est une capacité adaptative nécessaire à la survie des plantes exposées à un stress abiotique. La tolérance du blé à la salinité semble se limiter au stade germination et émergence.

II.3. Typologie variétale

Les résultats de la présente étude montrent que la salinité affecte négativement tous les paramètres mesurés. Ils montrent aussi des différences des réponses spécifique et variétale. Le degré de sensibilité au sel dépend de la variété, de l'intensité du stress et du type d'organe. Certaines variétés sont affectées par le sel dans un seul organe alors que certaines d'autres sont touchées dans tous les compartiments de la plantule. Dans la mesure de bien juger le comportement des génotypes testés et identifier ceux sensibles et ceux tolérants ayant la capacité à accumuler plus de matières fraîches dans les feuilles et les racines sur toute l'échelle de la salinité étudiée, nous avons effectué un classement de l'ensemble de ces génotypes par espèce (classement intraspécifique). L'ordre de classement est basé sur les valeurs (absolues) des écarts précédemment discutés par variable et par dose de sel appliquée. Plus l'écart est important, moins le génotype est tolérant de par le caractère et à la dose considérés ; il se positionne alors en bas de la liste. La somme des rangs est par la suite calculée par génotype en additionnant les valeurs des classements obtenues. Cette caractéristique est utilisée comme un critère de distinction entre les génotypes testés, moins la somme des rangs est réduite plus le génotype est tolérant et vice versa.

L'ordre de classement et la somme des rangs obtenus chez les variétés de blé tendre sont donnés dans le tableau IX. Les résultats indiquent que le classement des génotypes varie en fonction du caractère et de la dose de stress appliquée. Les valeurs de la somme des rangs oscillent entre 91, valeur minimale prise par Orion (V10), et 225, valeur maximale notée chez Akhamokh (V2). Ce résultat suggère que Orion (V10) est la variété la plus tolérantes parmi toutes les variétés de blé tendre testées alors que Akhamokh (V2) est celle la plus sensible en se positionnant en bas de classement (Tableau IX).

Chez le blé dur, la même tendance est observée où le classement des variétés de blé défère suivant le caractère mesuré et la dose saline employé (Tableau X). Un même génotype ne garde pas la même position pour toutes les variables et toutes les doses. Les résultats montrent que la somme des rangs varie de 62, valeur minimale prise par Waha (V23), à 169, valeur maximale obtenue chez Sitifis (V20) (Tableau X). Ces deux cultivars sont la plus tolérante et la plus sensible parmi tous les génotypes de blé dur testés.

Les valeurs de la somme des rangs (prise ici comme une variable) sont soumises ensuite à une classification univariée (univariate clustering) par espèce, en fixant un nombre de classes égale à 3. Les résultats ainsi obtenus sont représentés dans la figure 10. Cette

dernière permet de qualifier Orion (V10), Ziad (V14), Massine (V6), Mimouni (V8), Tamezghida (V13) et Nesser (V9) comme des variétés de blé tendre tolérantes au sel par ordre décroissant. Akhamokh (V2) forme toute seule le groupe des variétés les plus sensibles à ce stress. Les autres variétés constituent un groupe intermédiaire des génotypes moyennement sensibles (Figure 10).

Tableau IX : Classement des variétés de blé tendre.

Variables	%G			LR			NR			LC			MFR			MFA			Σ rangs
	50	100	150	50	100	150	50	100	150	50	100	150	50	100	150	50	100	150	
V1	5	15	12	5	5	11	11	2	11	5	7	8	13	10	11	12	4	12	159
V2	12	8	8	14	12	12	15	13	8	14	14	14	15	13	12	15	13	13	225
V3	2	6	5	13	8	10	10	8	5	15	8	11	10	8	10	14	8	9	160
V4	3	2	2	11	10	13	14	14	13	10	11	9	6	7	5	11	9	8	158
V5	6	4	10	3	3	14	12	6	12	6	4	10	8	3	14	8	6	14	143
V6	11	5	4	6	6	6	9	5	4	3	6	4	7	6	2	5	7	5	101
V7	4	1	1	4	9	9	13	12	14	4	12	12	12	14	13	10	12	10	166
V8	13	12	13	12	7	3	4	10	3	7	3	6	4	4	3	3	3	6	116
V9	14	13	15	2	1	15	1	1	15	1	1	15	1	1	15	1	1	15	128
V10	10	7	3	1	2	8	3	3	9	2	2	13	2	2	9	2	2	11	91
V11	7	10	6	15	15	2	8	7	6	13	13	3	14	15	8	13	14	4	173
V12	8	9	9	9	13	7	5	11	10	12	15	7	9	11	7	4	15	3	164
V13	1	3	7	8	14	5	6	9	2	11	10	2	11	9	6	9	10	2	125
V14	9	11	14	10	4	1	2	4	1	8	5	1	5	5	1	7	5	1	94
V15	15	14	11	7	11	4	7	15	7	9	9	5	3	12	4	6	11	7	157

%G = Pourcentage de germination, LR = Longueur des racines, NR = Nombre de racines, LC = Longueur du coléoptile, MFR = Matière fraîche racinaire, MFA = Matière fraîche aérienne.

Tableau X : Classement des variétés de blé dur.

Variables	%G			LR			NR			LC			MFR			MFA			Σ rangs
	50	100	150	50	100	150	50	100	150	50	100	150	50	100	150	50	100	150	
V16	1	3	2	6	4	9	5	10	9	7	9	8	11	10	10	1	7	10	122
V17	3	1	3	8	7	7	4	3	1	5	1	1	10	8	4	2	2	2	72
V18	4	2	4	5	5	6	1	5	4	1	5	4	1	2	3	4	6	4	66
V19	11	9	8	9	10	10	2	4	8	3	2	7	6	3	8	10	3	7	120
V20	5	8	7	7	8	11	11	11	11	10	10	11	9	11	11	7	10	11	169
V21	7	4	1	10	11	8	10	1	6	11	6	9	8	4	6	11	9	8	130
V22	2	5	5	11	9	5	7	2	5	9	3	2	7	7	5	8	5	3	100
V23	6	6	6	1	1	1	8	8	3	6	4	3	2	1	1	3	1	1	62
V24	10	7	9	3	2	2	9	6	7	8	8	6	3	6	2	9	4	5	106
V25	8	11	11	4	6	4	3	7	2	2	7	5	4	5	7	6	8	6	106
V26	9	10	10	2	3	3	6	9	10	4	11	10	5	9	9	5	11	9	135

%G = Pourcentage de germination, LR = Longueur des racines, NR = Nombre de racines, LC = Longueur du coléoptile, MFR = Matière fraîche racinaire, MFA = Matière fraîche aérienne.

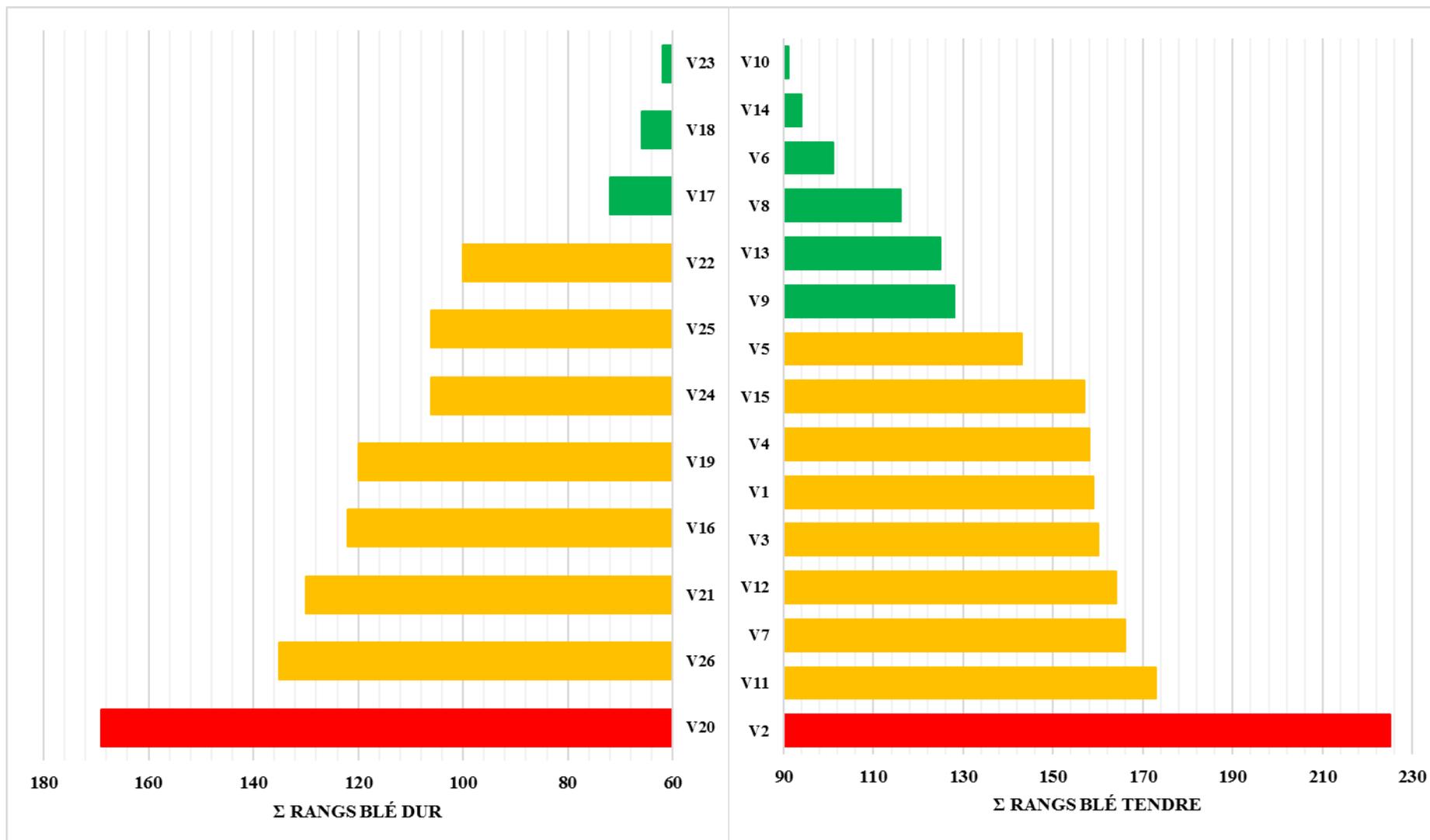


Figure 10 : Classification des variétés de blé tendre (à droite) et dur (à gauche) évaluées.

Chez le blé dur, Waha (V23), Megress (V18) et GTA dur (V17) sont, par ordre décroissant, les variétés les plus tolérantes. Sitifis (V20) est, au contraire, le cultivar le plus sensible. Les autres variétés forment un groupe distinct, elles sont moyennement sensibles au stress salin (Figure 10).

II.4. Corrélation inter-caractères

Le coefficient de corrélation mesure le degré de la relation entre deux variables qui varient de façon concomitante, avec des effets qui se renforcent mutuellement. Le tableau XI montre les coefficients de corrélation phénotypique entre les variables mesurées chez les variétés de blés testées. Les résultats indiquent qu’il existe une corrélation significative et positive de la matière fraîche aérienne et la matière fraîche racinaire avec l’ensemble des variables mesurées, hormis le pourcentage de germination. Ce dernier présente une liaison positive et significative avec le nombre de racines et la longueur de coléoptile. Ces deux derniers caractères exhibent par leur tour une association très forte entre eux (Tableau XI).

Tableau XI : Coefficients de corrélation phénotypique (en dessus de la diagonale) entre les variables mesurées chez les variétés de blés tendre et dur et les valeurs respectives de la probabilité (en dessous de la diagonale).

Variables	%G	LR	NR	LC	MFR	MFA
%G		0.0320	0.5355	0.4682	0.2192	0.3601
LR	0.8767		0.3690	0.3048	0.5614	0.4150
NR	0.0048	0.0636		0.7126	0.6655	0.8431
LC	0.0159	0.1301	< 0.0001		0.5196	0.7321
MFR	0.2819	0.0028	0.0002	0.0065		0.6763
MFA	0.0708	0.0350	< 0.0001	< 0.0001	0.0001	

%G = Pourcentage de germination, LR = Longueur des racines, NR = Nombre de racines, LC = Longueur du coléoptile, MFR = Matière fraîche racinaire, MFA = Matière fraîche aérienne.

Ces résultats suggèrent que la variation d’un tel caractère induit des changements de l’ensembles des autres variables qui se traduisent ensemble par une augmentation ou une diminution de la biomasse totale (racinaire et aérienne) accumulée. Ceci offre au sélectionneur la possibilité d’utiliser l’ensemble des caractères évalués, notamment les paramètres de croissance, comme des critères de sélection dans les futurs programmes d’amélioration de blé pour la tolérance au stress salin au stade de développement précoce. Les résultats de la présente étude corroborent les conclusions de Zaghdoudi et Bensaadi (2018) qui rapportent des corrélations très hautement significatives entre les différents caractères mesurés en étudiant l’effet du stress salin sur une vingtaine de variétés de blé tendre au stade

plantule. Ces auteurs ont conclu qu'il est possible d'utiliser tous ces caractères tels que la longueur et la nombre de racines, la longueur du coléoptile et les matières fraîches accumulées comme des critères de sélection dans les programmes d'amélioration du blé pour la tolérance au stress salin induit par le chlorure de sodium.

Conclusión

Conclusion

Cette étude qui a été conduite dans l'objectif d'évaluer l'effet du chlorure de sodium à différentes concentrations (0, 50, 100 et 150 mM) sur la germination et quelques paramètres de croissance d'une vingtaine de variétés de blé tendre et dur. Les résultats indiquent des effets 'génotype', 'salinité', interaction 'génotype x salinité' et contraste 'BT vs BD' très hautement significatifs pour l'ensemble des caractères mesurés, hormis LR pour le contraste cité, suggérant la présence d'une bonne variabilité génétique au sein du matériel végétal évalué. Toutefois, l'effet 'salinité' explique la quasi-totalité de la variation totale observée comme indiqué par l'analyse de la variance.

L'effet moyen 'génotype' indique que les variétés GTA dur et Megress exhibent le %G le plus élevé (98.75%) alors que le blé tendre Nesser (V9) exprime le plus faible pourcentage (67.33%). Cette dernière produit aussi le nombre de racines le plus réduit (2.00 racines/graine), le coléoptile le plus court (1.10 cm) et les matières fraîches racinaires (2.70 mg) et aériennes (25.50 mg) les plus faibles. Le blé dur Ofanto (V24) possède les racines les plus courtes (4.70 cm) alors que GTA dur (V17) exprime le nombre de racines (4.70 racines/graine) et la matière fraîche aérienne (98.45 mg) les plus élevés. Guemgoum Rkhem (V26) produit le coléoptile (3.16 cm) le plus long. La matière fraîche racinaire (17.45 mg) la plus élevée est matérialisée par la variété de blé tendre Sidi Okba (V11).

Le stress salin réduit considérablement les caractères mesurés ; néanmoins, cette réduction reste dépendante de la variété testée, de l'intensité de stress appliqué, de l'organe mesuré et de l'espèce évaluée. Sous un stress sévère (150 mM NaCl), les valeurs prises par les variables %G, MJG, LR, NR, LC, MFR et MFA subissent, relativement au témoin, des réductions de 13.11, 13.11, 69.25, 33.27, 48.33, 75.08 et 73.34 %, respectivement. L'étude du contraste 'BT vs BD' indique que les variétés de blé tendre testées sont plus tolérantes aux doses de sel faible (50 mM) et modérée (100 mM) comparativement aux cultivars de blé dur. Ces dernières sont, au contraire, plus tolérantes sous forte concentration (150 mM).

L'interaction 'génotype x salinité' indique que la réponse au stress salin est fonction de la variété, de l'intensité du stress et du type d'organe. Certaines variétés sont affectées par le sel dans un seul organe alors que certaines d'autres sont touchées dans tous les compartiments de la plantule. La somme des rangs et la classification univariée nous ont permis de qualifier les variétés de blé tendre Orion (V10), Ziad (V14), Massine (V6), Mimouni (V8), Tamezghida (V13) et Nesser (V9) comme tolérantes au sel par ordre décroissant. Chez le blé dur, les cultivars les plus tolérants sont, dans le même ordre, Waha

Conclusion

(V23), Megress (V18) et GTA dur (V17). D'autre part, Akhamokh (V2) et Sitifis (V20) sont les géotypes les plus sensibles chez le blé tendre et le blé dur, respectivement. Les autres variétés sont intermédiaires.

Les résultats indiquent aussi la présence de liaisons positives et significatives entre les différents caractères mesurés notamment ceux liés à la croissance tels que la longueur et le nombre de racines, la longueur du coléoptile et les matières fraîches racinaire et aérienne. Ceci suggère la possibilité d'utiliser ces variables comme des critères de sélection dans les programmes futurs d'amélioration de la tolérance au stress salin au stade juvénile.

Comme perspective à cette étude préliminaire, il semble important de vérifier les résultats obtenus sur d'autres stades de développement du blé sur un pool génétique élargi et de compléter le travail par des études de biologie moléculaire pour identifier les gènes responsables de la tolérance à la salinité afin de faciliter le processus de sélection en le rendant plus efficace.

*Références
Bibliographiques*

Références bibliographiques

- Abbas K. & Abdelguerfi A. (2005).** Perspectives d'avenir de la jachère pâturée dans les zones céréalières semi-arides. *Fourrages* 184, 533-546.
- Abdi N., Wasti S., Salem M. B., El Faleh M. & Mallek-Maalej E. (2016).** Study on Germination of seven Barley Cultivars (*Hordeum vulgare* L.) under Salt Stress. *Journal of Agricultural Science* 8(8), 88-97.
- Abeledo L. G., Savin R., Gustavo A. & Slafer. (2008).** Wheat productivity in the Mediterranean Ebro Valley: Analyzing the gap between attainable and potential yield with a simulation model. *European journal of Agronomy*. 28, 541-550.
- Adjel F. & Bouzerzour H. (2004).** Etude de la variabilité de réponse des plantules de blé dur (*Triticum durum* Desf.) à la salinité. *Céréaliculture* 42(2), 5-13.
- Adjel F., Bouzerzour H. & Benmahammed A. (2013).** Salt stress effects on seed germination and seedling growth of barley (*Hordeum Vulgare* L.) Genotypes. *Journal of Agriculture and Sustainability* 3(2), 223-237.
- Aflaki F., Sedghi M., Pazuki A. & Pessaraki M. (2017).** Investigation of seed germination indices for early selection of salinity tolerant genotypes: A case study in wheat. *Emirates Journal of Food and Agriculture* 229(3), 22-226.
- Alam M. Z., Stuchbury T. & Naylor R. E. (2006).** Early identification of salt tolerant genotypes of rice (*Oryza sativa* L.) using controlled deterioration. *Experimental agriculture* 42(1), 65-77.
- Alaoui M. M., Jourmi L., El Ouarzane A., Lazar S., Antri S., El Zahouily M. & Hmyene A. (2013).** Effet du stress salin sur la germination et la croissance de six variétés marocaines de blé. *Journal of Materials and Environmental Science* 4(6), 997-1004.
- Alaoui, M. M., El Jourmi L., Ouarzane A., Lazar S., El Antri S., Zahouily M. & Hmyene A. (2013).** Effet du stress salin sur la germination et la croissance de six variétés marocaines de blé. *Journal of Materials and Environmental Science* 4(6), 997-1004.
- Ammar M. (2015).** Organisation de la chaîne logistique dans la filière céréales en Algérie : états des lieux et perspective. Thèse de Doctorat de CIHEAM Montpellier : pp 17-20.
- Amokrane A. (2001).** Evaluation et utilisation de trois sources de gremoplasme de blé dur (*Triticum durum* Desf.) thèse de Magister, institut d'agronomie, université El Hadj Lakhder Batna, 80p.
- Amtmann A. & Leigh R. (2009).** Ion homeostasis. In *Abiotic Stress Adaptation in Plants* (pp. 245-262). Springer, Dordrecht.
- Apse M. P. & Blumwald E. (2007).** Na⁺ transport in plants. *FEBS Letterd* 581(12), 2247-2254.
- Arbaoui M., Benkhefifa M. & Belkhouja M. (2000).** Réponses physiologiques de quelques variétés de blé dur à la salinité au stade juvénile. *Option Méditerranéenne* 40, 267-270.
- Ashraf M. & Foolad M. R. (2007).** Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and experimental botany* 59(2), 206-216.
- Ashraf M. (1994).** Salt tolerance of pigeon pea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) at three growth stages. *Annals of applied biology* 124(1), 153-164.
- Asloum H. (1990).** Elaboration d'un système de production maraîchère (Tomate, *Lycopersicon esculentum* L.) en culture hors sol pour les régions sahariennes. Utilisation de substrats sableux et d'eaux saumâtres. Thèse de Doctorat, développement et amélioration des végétaux, Université de Nice Sophia- Antipolis, pp : 24-32.
- Bahlouli F., Bouzerzour H., Benmahammed A. & Hassous K. L. (2005).** Selection of high yielding and risk-efficient durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars under semi arid conditions. *Agronomy Journal*. 4: 360-365.
- Bajji M. (1999).** Étude des mécanismes de résistance au stress hydrique chez le blé dur : caractérisation de cultivars différant par leurs niveaux de résistance à la sécheresse et de variants somaclonaux sélectionnés *in vitro*. Thèse de Doctorat. Univ. Louvain.
- Bakht J., Shafi, M., Jamal Y. & Sher H. (2011).** Response of maize (*Zea mays* L.) to seed priming with NaCl and salinity stress. *Spanish Journal of Agricultural Research* 9(1), 252-261.
- Bartels D. & Sunkar R. (2005).** Drought and salt tolerance in plants. *Critical reviews in plant sciences* 24(1), 23-58.
- Ben Hebireche N. et Djafour H., 2011.** Effet de stress salin sur l'accumulation de la Chlorophylle chez le blé dur, Mémoire de fin d'étude, 9 p.
- Ben Miled D., Boussaid M., Abdelkefi A. & Cherif A. (1986).** Tolérance au sel d'espèces annuelles du genre *Medicago* au cours de la germination. Séminaire international sur les végétaux en milieu aride, 8 au 10 septembre, Jerba., Tunisie.
- Ben Naceur M., Rahmoune C., Sdiri H., Meddahi M. L. & Selmi M. (2001).** Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé. *Sécheresse* 12, 167-74.
- Benbelkacem A. (2013).** Rapport des résultats du projet « Enhancing food Security in Arab countries. Icarda – INRAA.

- Benderradji L., Bouzerzour H., Kellou K., Ykhlef N., Brini F., Masmoudi K. & Djekoun A. (2010).** Etude des mécanismes de tolérance à la salinité chez deux variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) soumises à un stress salin. *Sciences & Technologie C* (32), 23-30.
- Benderradji L., Hadji N., Kellou K., Benniou R. & Brini, F. (2016).** Effet du NaCl et PEG 6000 sur le comportement morpho-physiologique et biochimique des variétés de blé dur et tendre cultivées in vitro en milieu hydroponique. *Revue Agriculture*, Numéro spécial, 1, 278-286.
- Benmahiou B., Daguin F. & Kaid Harche M. (2009).** Effet du stress salin sur la germination et la croissance in vitro du Pistachier (*Pistacia vera* L.) *Comptes Rendus Biologies* 332(8), 752-758.
- Bennaebi F. (2005).** Métabolismes glucidique et azote chez une Halophyte (*Atriplex halimus* L.) stressées à la salinité. Thèse de Magistère en physiologie végétale, Université Senia Oran, 50p.
- Berthomieu P., Conéjéro G., Nublat A., Brackenbury W.J., Lambert C., Savio C., Uozumi N., Oiki S., Yamada K., Cellier F., Gosti F., Simonneau T., Essah P.A., Tester M., Véry A.A., Sentenac H. & Casse F. (2003).** Functional analysis of AtHKT1 in Arabidopsis shows that Na⁺ recirculation by the phloem is crucial for salt tolerance. *The EMBO journal* 22(9), 2004-2014.
- Bertrand E. (1996).** Les sites antiques. *La lettre du Pays de Tronçais* 2, 1-48.
- Blumwald E., Grover A. & Good A. G. (2004).** Breeding for abiotic stress resistance: challenges and opportunities. 2004 « New directions for a diverse planet ». Dans Proceedings of the 4th International Crop Science Congress, 26 September – 1 October 2004, Brisbane, Australia.
- Borlu H. O., Celiktaş V., Duzenli S., Hossain A. & El Sabagh A. (2018).** Germination and Early Seedling Growth of Five Durum Wheat Cultivars (*Triticum durum* Desf.) Is Affected by Different Levels of Salinity. *Fresenius Environmental Bulletin* 27(11), 7746-7757.
- Boufenar-Zaghouane F. & Zaghouane O. (2006).** *Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie (blé dur, blé tendre, orge et avoine)*. ITGC, 154 p.
- Brosché M., Overmyer K., Wrzaczek M., Kangasjärvi J. & Kangasjärvi S. (2010).** Stress signaling III: Reactive oxygens Species (ROS). Chap. 5. Dans Abiotic stress adaptation in plants: Physiological, molecular and genomic foundation. Sous la direction de A. Pareek, S.K. Sopory, H.J. Bohnert et Govindjee, pp : 91-102.
- Buck H. & Nisi J. (2007).** wheat production in stressed environments. Proceedings of the 7th international wheat conference, 27 nov-2 Dec 2005, Mar del plata, Argentina developments in plant breeding, volume 12.
- Charushahi V., Bargali K. & Bargali, S. S. (2015).** Influence of seed size and salt stress on seed germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum*). *Indian Journal of Agricultural Sciences* 85(9), 1134-1137.
- Chaves M. M. & Pereira J. S. (2003).** Understanding plant responses to drought-from genes to the whole. *Functional plant biology* 30(3), 239-264.
- Cheong M. S. & Yun D. J. (2007).** Salt-Stress Signaling. *Journal of Plant Biology* 50, 148-155.
- CNCC (2018).** Liste des variétés de céréales autogames autorisées à la production et à la commercialisation. Document de vulgarisation, El Harrach, Alger.
- Colmer T. D., Flowers T. J. & Munns R. (2006).** Use of wild relatives to improve salt tolerance in wheat. *Journal of Experimental Botany* 57(5), 1059-1078.
- Côme D. (1970).** Les obstacles à la germination. Masson et Cie ,162 p. Côme D., Ed. Masson et Cie, Paris, 162p.
- Cramer G. R. (2002).** Sodium-calcium interactions under salinity stress. In: Salinity Environment-Plants-Molecules (Läuchli, A. and Lüttge, U., eds.), Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic Publishers, pp. 205-227.
- Debez A., Chaibi W. & Bouzid S. (2001).** Effect of NaCl and growth regulators on germination of *Atriplex halimus* L. *Cahiers d'Etudes et de Recherches Francophones Agricultures* 10, 135-138.
- Debition C. (2010).** Identification des critères du grain de blé (*Triticum aestivum* L.) favorables à la production de bioéthanol par l'étude d'un ensemble de cultivars et par l'analyse protéomique de lignées isogéniques waxy. Thèse de Doctorat, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, France.
- Djerah A. & Oudjehih B. (2016).** Effet du stress salin sur la germination de seize variétés d'orge (*Hordeum vulgare* L.). *Courrier du Savoir* 20, 47-56.
- Dura S., Duwayri M. A. & Nachit M. M. (2011).** Effect of different salinity levels on growth, yield and physiology on durum wheat (*Triticum turgidum* var. *durum*). *Jordan Journal of Agricultural Sciences* 7, 518-528.
- Dvorak J., Luo M.C., Yang Z. L. & Zhnag H. B. (1998).** The structure of the *Aegilops tauschii* gene pool and the evolution of hexaploid wheat. *Theoretical and Applied Genetics* 97(4), 657-670.
- El-Mekkaoui M. (1990).** Etude des mécanismes de tolérance à la salinité chez le blé et amélioration des végétaux, Université de Nice Sophia- Antipolis.
- FAO (2018).** Statistical database of the food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org>.
- FAO (2016).** WFP (2015), The State of Food Insecurity in the World 2015. Meeting the 2015 international hunger targets: taking stock of uneven progress. Food and Agriculture Organization Publications, Rome.

- Fellahi Z. (2017).** Analyse génétique d'un croisement line x testeur, réponse à la sélection et tolérance des stress du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) sous condition semi-aride. Thèse de Doctorat en sciences, Univ. Ferhat Abbas Sétif 1, 227p.
- Fellahi Z., Hannachi A. & Bouzerzour H. (2018).** Analysis of Direct and Indirect Selection and Indices in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Segregating Progeny. *International Journal of Agronomy*, Volume 2018, Article ID 8312857, 11 pages.
- Fellahi Z., Zaghdoudi H., Bensaadi H., Boutalbi W. & Hannachi A. (2019).** Assessment of salt stress effect on wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars at seedling stage. *Agriculturae Conspectus Scientificus (in press)*.
- Flowers T. J. & Colmer T. D. (2015).** Plant salt tolerance: adaptations in halophytes. *Annals of botany* 115(3), 327-331.
- Flowers T. J., Troke P. F. & Yeo A. R. (1977).** The mechanisms of salt tolerance in halophytes. *Annual review of plant physiology* 28(1), 89-121.
- Fortmeier R. & Schubert S. (1995).** Salt tolerance of maize (*Zea mays* L.), the role of sodium exclusion. *Plant, Cell & Environment* 18(9), 1041-1047.
- Gâte P. (1995).** Ecophysiologie du blé de la plante à la culture. Techniques & Documentation, Paris, 429 p.
- Gholamin R. & Khayatnezhad M. (2011).** The Effects of water and salt stresses on germination in two bread wheat genotypes. *African Journal of Biotechnology* 10(77), 17805-18711.
- Gill P. K., Sharma A. D., Singh P. & Bhullar S. S. (2003).** Changes in germination, growth and soluble sugar contents of *Sorghum bicolor* L. Moench seeds under various abiotic stresses. *Plant Growth Regulation* 40 (2), 157-162.
- Gillk S. (1979).** Effect of soil salinity on grain filling and grain development in barley. *Biologia plantarum* 21(4), 241-244.
- Greenway H. & Munns R. (1980).** Mechanisms of Salt tolerances in non-halophytes. *Annual Review of Plant Physiology* 31, 149-190.
- Hajlaouil H., Denden M. & Bouzlama M. (2007).** Etude de la variabilité interspécifique de tolérance au stress salin du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) au stade germination. *Tropicicultura* 25(3), 168-173.
- Hamadache A. (2013).** Eléments de phytotechnie générale-Grandes Cultures-Tome 1 : le blé, pp : 11-49.
- Hanana M., Cagnac O., Zarrouk M. & Blumwald E. (2009).** Rôles biologiques des antiports vacuolaires NHX : acquis et perspectives d'amélioration génétique des plantes. *Botany* 87(11), 1023-1035.
- Hare P. D., Cress W. A. & Staden J. V. (1997).** Disruptive effects of exogenous proline on chloroplast and mitochondrial ultrastructure in Arabidopsis leaves. *South African journal of botany* 68(3), 393-396.
- Hasan M. I., Kibria M. G., Jahiruddin M., Murata Y. & Hoque M. A. (2015).** Improvement of Salt Tolerance in Maize by Exogenous Application of Proline. *Journal of Environmental Science and Natural Resources* 8(1), 13-18.
- Hauser F. & Horie T. (2010).** A conserved primary salt tolerance mechanism mediated by HKT transporters: a mechanism for sodium exclusion and maintenance of high K⁺/Na⁺ ratio in leaves during salinity stress. *Plant, cell & environment* 33(4), 552-565.
- Hopkins W. G. (2003).** Physiologie végétale. 2éme édition. De Boeck, Bruxelles : 61-476.
- Horie T. & Schroeder J.I. (2004).** Update on sodium transporters in plants. Diverse genes and physiological functions. *Plant Physiology* 136(1), 2457-2462.
- Hu Y. & Schmidhalter U. (1998).** Spatial distributions of inorganic ions and sugars contributing to osmotic adjustment in the elongating wheat (*Triticum aestivum* L.) leaf under saline soil conditions. *Functional Plant Biology* 25(5), 591-597.
- IGC (2018).** International Grains Council. World grain statistics, www.igc.int
- ISTA (2019).** International rules for seed testing, Chapter 1, i-1-14 (22).
- IWGSC (2019).** International wheat genome sequencing consortium, <https://www.wheatgenome.org/>
- James R. A., Rivelli A. R., Munns R. & von Caemmerer S. (2002).** Factors affecting CO₂ assimilation, leaf injury and growth in salt-stressed durum wheat. *Functional Plant Biology* 29(12), 1393-1403.
- Jaouadi W., Hamrouni L., Souayah N. & Larbi M. K. (2010).** Étude de la germination des graines d'*Acacia tortilis* sous différentes contraintes abiotiques. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement* 14(4), 643-652.
- Keiper F. J., Chen D. M. & De Filippis F. L. (1998).** Respiratory, photosynthetic and ultrastructural changes accompanying salt adaptation in culture of *Eucalyptus microcorys*. *Journal of Plant Physiology* 152(4-5), 564-573.
- Khan M. A. & Gulzar S. (2003).** Germination responses of *Sporobolus ioclados*: a saline desert grass. *Journal of Arid Environments* 53(3), 387-394.
- Kocsy G., Laurie R., Szalai G., Szilagyi V., Simon-Sarkadi L., Galiba G. & Ronde J. A. (2005).** Genetic manipulation of proline levels affects antioxidants in soybean subjected to simultaneous drought and heat stresses. *Physiologia Plantarum* 124(2), 227-235.

- Kumawat K. R. & Gothwal D. K. (2018).** Genetic variability for seedling characters in lentil under salinity stress. *Electronic Journal of Plant Breeding* 9(4), 1295-1302.
- Lee K. S., Choi W. Y., Ko J. C., Kim T. S. & Gregoria G. B. (2003).** Salinity tolerance of japonica and indica rice (*Oryza sativa* L.) at the seedling stage. *Planta* 216(6), 1043-1046.
- Lopes M. S., Reynolds M. P., Jalal-Kamali M. R., Moussa K. S., Feltaous M. Y., Tahir I. S. A., Barma N., Vargas, Mannes M. Y. & Baum M. (2012).** The yield correlations of selectable physiological traits in a population of advanced spring wheat lines grown in warm and drought environments. *Field Crops Research* 128, 129-136.
- Mahajan S., Pandey G. K. & Tuteja N. (2008).** Calcium- and salt stress signaling in plants: Shedding light on SOS pathway. *Archives of biochemistry and biophysics* 471(2), 146-158.
- Mahmoodzadeh H., Khorasani F. M. & Besharat H. (2013).** Impact of salt stress on seed germination indices of five wheat cultivars. *Annals of Biological Research* 4(6), 93-96.
- Majumder A. L., Sengupta S. & Goswami L. (2010).** Osmolyte regulation in abiotic stress. In: Abiotic stress adaptation in plants: Physiological, molecular and genomic foundation. Sous la direction de A. Pareek S. K. Sopory H. J. Bohnert & Govindjee, Chap. 16, pp : 349-370.
- Mansour M. M. F. (1998).** Protection of plasma membrane of union epidermal cells by glycine betaine and proline against NaCl stress. *Plant Physiology and Biochemistry* 36(10), 767-772.
- Mazliak P. (1982).** Physiologie végétale. Nutrition et métabolisme, 530p.
- Mermoud A. (2006).** Cours de physique du sol : Maîtrise de la salinité des sols. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 23 p.
- Miled D., Boussaid M., Abdelkefi A. & Cherif A. (1986).** Tolérance au sel d'espèces annuelles du genre *Medicago* au cours de la germination. Séminaire international sur les végétaux en milieu aride, 8 au 10 septembre, Jerba., Tunisie.
- Moorby J. & Besford R. T. (1983).** Mineral nutrition and growth. In: Encyclopedia of Plant Physiology New Series Vol.15 B: Iorganic Plant Nutrition. Eds. A läuchli and R L Bielecki. Springer-Verlag,Berlin. pp: 481-515.
- Munns R. (1993).** Physiological processes limiting plant growth in Saline soils: Some dogmas and hypotheses. *Plant, cell & environment* 16(1), 15-24.
- Munns R. & James R. A. (2003).** Screening methods for salinity tolerance: a case study with tetraploid wheat. *Plant and soil* 253(1), 201-218.
- Munns R. (2005).** Genes and salt tolerance: bringing them together. *New phytologist* 167(3), 645-663.
- Munns R., James R. A. & Lauchli A. (2006).** Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of experimental botany* 57(5), 1025-1043.
- Munns R., & Tester M. (2008).** Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology* 59, 651-681.
- Munns R., & Gilliham M. (2015).** Salinity tolerance of crops—what is the cost?. *New phytologist* 208(3), 668-673.
- Neumann P. M. (1995).** Inhibition of root growth by salinity stress: Toxicity or an adaptive biophysical response? In: structure and function of roots. Developments in plant and soil sciences (eds. Baluska, F., Ciamporova, M., Gasparikova, O., Barlow, P.W.), pp: 299-304. Kluwer Academic publishers, Dordrecht, Netherlands.
- Nijenstein H., Don R. & Nydam J. 2008.** Comparison of oven moisture tests at 130°C vs. 103 °C. *Seed Testing International* 135: 28-33.
- ONFAA (2016).** Bilan de la campagne céréalière 2014/2015. Observatoire National des filières Agricoles et Agroalimentaires, INRAA, 12 p.
- Ould Bannana M. B. (1999).** Utilisation de quelque marqueurs physiologiques, biochimiques et chimiques (équilibre ionique) dans l'étude de la tolérance à la salinité chez le blé dur (*Triticum durum* Desf). Thèse de Magister. Univ., ANNABA, 104p.
- Parent C., Capelli N. & Dat J. (2008).** Formes réactives de l'oxygène, stress et mort cellulaire chez les plantes. *Comptes Rendus Biologies* 331(4), 255-261.
- Phillips J. R., Oliver M. J. & Bartels D. (2002).** Molecular genetics of desiccation and tolerant systems. Desiccation and survival in plants: Drying without dying, 319-341.
- Poustini K. & Siosemardeh A. (2004).** Ion distribution in wheat cultivars in response to salinity stress. *Field Crops Research* 85(2-3), 125-133.
- Prado F. E., Boero C., Gallardo M. & Gonzalez, J. A. (2000).** Effect of NaCl on germination, growth and soluble sugar content in *Chenopodium quinoa* Willd. Seeds. *Botanical Bulletin of Academia Sinica* 41, 27-34.
- Rathinasapabathi B. (2000).** Metabolic engineering for stress tolerance: Installing osmoprotectant synthesis pathways. *Annals of Botany* 86(4), 709-716.
- Rehman S., Harris P. J. C., Bourne W. F. & Wilkin J. (2000).** The relationship between ions, vigour and salinity tolerance of *Acacia* seeds. *Plant Soil* 220, 229-233.

- Rus A., Yokoi S., Sharkhuu A., Reddy M., Lee B. H., Matsumoto T. K., Koiwa H., Zhu J. K., Bressan R. A. & Hasegawa P. M. (2001).** AtHKT1 is a salt tolerance determinant that controls Na⁺ entry into plant roots. *Proceedings of the national academy of sciences* 98(24), 14150-14155.
- Sairam R. K. & Tyagi A. (2004).** Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. *Current science* 407-421.
- Scott S. J., Jones R. A. & Williams W. A. (1984).** Review of data analysis methods for seed germination. *Crop Science* 24, 1192-1199
- Shabala S. & Cuin T. A. (2007).** Potassium transport and plant salt tolerance. *Physiologia Plantarum* 133(4), 651-669.
- Silva-Ortega C. O., Ochoa-Alfaro A. E., Reyes-Aguero J. A., Aguado-Santacruz G. A. & Jimenez-Bremont J. F. (2008).** Salt stress increases the expression of p5cs gene and induces proline accumulation in cactus pear. *Plant Physiology and Biochemistry* 46(1), 82-92.
- Slama A., Ben Salem M., Ben Naceur M. & Zid E. D. (2005).** Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. *Sécheresse* (16)3, 225-229.
- Steel R. G. D. & Torrie J. H. (1982).** Principles and procedures of statistics. Mc GrawHill book Co., Inc., NY, 420 p.
- Storey R. & Walker R. R. (1999).** Citrus and salinity. *Scientia Horticulturae* 78(1-4), 39-81.
- Sun N. & Zheng. (1994).** Inverse problems in groundwater modeling, Theory and applications of transport in porous media v.6, Dordrecht, Boston: Kluwer Academic, 337 p.
- Tattini M., Gucci R., Coradeschi M. A, Ponzio C. & Everard J. D (1995).** Growth, gas exchange and ion content in *Olea europaea* plants during salinity stress and subsequent relief. *Physiologia Plantarum* 95(2), 203-210.
- Trocchi A., Borelli P., Fares N. & Fonzo D. (2000).** Durum wheat quality: A multi-disciplinary concept. *Journal of Cereal Science* 32(2), 99-113.
- Tsugane K., Kobayashi K., Niwa Y., Ohba K. & Wada H. (1999).** A recessive Arabidopsis mutant that grows photo-autotrophically under salt stress shows enhanced active oxygen detoxification. *The Plant Cell* 11, 1195-1206.
- Velgaleti R. R, Morsh, S. & Karmar D. (1990).** Genotypic differences in growth and nitrogen fixation among soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) cultivars grown under salt stress. *Tropical agriculture* 67(2), 169-177.
- Weimberg R., Lerner H. R. & Poljakoff-Mayber A. (1984).** Changes in growth and water-soluble solute concentrations in Sorghum bicolor stressed with sodium and potassium salts. *Physiologia plantarum* 62(3), 472-480.
- Wu H., Shabala L., Zhou M. & Shabala S. (2014).** Durum and bread wheat differ in their ability to retain potassium in leaf mesophyll: implications for salinity stress tolerance. *Plant and Cell Physiology* 55(10), 1749-1762.
- Xiaojie C., Donghong M., Tauqeer A. Y. & Yin-Gang H. (2012).** Evaluation of 14 morphological, yield-related and physiological traits as indicators of drought tolerance in Chinese winter bread wheat revealed by analysis of the membership function value of drought tolerance (MFVD). *Field Crops Research* 137: 195-201.
- Yamaguchi T. & Blumwald E. (2006).** Developing salt-tolerant crop plants: challenges and opportunities. *Trends in plant science* 10(12), 615-620.
- Yancey P. H. (1994).** Compatible and counteracting solutes. Dans Cellular and molecular physiology of cell volume regulation. In : K. Strange. CRC Press, Boca Raton, Fla., pp : 82-109.
- Yekhlef N. (1993).** Effet de l'addition de l'azote et du potassium sur la tolérance du poivron doux à l'eau d'irrigation sale. Séminaire Maghrébin sur la protection de la culture. Novembre 1993, ISN Annaba Algérie.
- Yildirim M., Kizilgeci F., Akinci C. & Albayrak O. (2015).** Response of durum wheat seedlings to salinity. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 43(1), 108-112.
- Zaghdoudi H. & Bensaadi H. (2018).** Effet du stress salin sur les paramètres de croissance de quelques variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Mémoire de Master, Univ. Bordj Bou Arréridj, 44p.
- Zaman M. S., Ali G. M., Muhammad A. & Hussain I. (2018).** In vivo screening of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars for saline water tolerance. *Journal of agricultural research* 56(1), 41-47.
- Zaman-Allah M., Sifi B., L'Taief B. & El Aouni M. H. (2009).** Paramètres agronomiques liés à la tolérance au sel chez le haricot (*Phaseolus vulgaris* L.). *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement* 13(1), 113-119.
- Zhao J., Ren W., Zhi D., Wang L. & Xia G. (2007).** Arabidopsis DREB1A/CBF3 bestowed transgenic tall fescue increased tolerance to drought stress. *Plant Cell Reports* 26(9), 1521-1528.
- Zhu J. K. (2001).** Plant salt tolerance. *Trends in plant science* 6(2), 66-71.
- Zhu J. K. (2003).** Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Current opinion in plant biology* 6(5), 441-445.
- Zörb C., Geilfus C. M. & Dietz K. J. (2019).** Salinity and crop yield. *Plant Biology* 21, 31-38.

Résumé

Cette étude a été conduite au niveau du Centre National de Contrôle et de Certification des semences et plants (CNCC), laboratoire régional de Sétif. Elle porte pour objectif d'évaluer l'effet du stress salin induit par le chlorure de sodium (NaCl) à différentes doses (0, 50, 100 et 150 mM) sur une 15 variétés de blé tendre et 11 variétés de blé dur. L'analyse de la variance indique des différences génotypiques appréciables. L'effet moyen 'génotype' indique que les valeurs extrêmes minimales et maximales sont variables d'un caractère à un autre et d'un génotype à un autre. Aucune variété ne présente les meilleures valeurs pour l'ensemble des caractères. L'effet moyen 'salinité' explique la quasi-totalité de la variation totale observée. Les valeurs prises les caractères mesurés sont réduites à mesure que l'intensité de stress augmente. Sous forte concentration saline (150 mM), ces réductions ont atteint pour %G, MJG, LR, NR, LC, MFR et MFA, relativement au témoin, 13.11, 13.11, 69.25, 33.27, 48.33, 75.08 et 73.34 %, respectivement. Le contraste 'BT vs BD' suggère que le blé tendre est plus tolérant au sel à faible (50 mM) et à dose moyenne (100 mM) contrairement au blé dur qui semble plus tolérant sous forte dose (150 mM). L'interaction 'génotype x salinité' indique que la réponse au stress salin est fonction de la variété, de l'intensité du stress et du type d'organe. Globalement, Orion (V10), Ziad (V14), Massine (V6), Mimouni (V8), Tamezghida (V13) et Nesser (V9) sont les variétés de blé tendre les plus tolérantes. Celles les plus tolérantes chez le blé dur sont Waha (V23), Megress (V18) et GTA dur (V17).

Mots clés : *Triticum* sp, NaCl, germination, croissance, sélection, tolérance.

Abstract

This study was conducted at the National Center for seeds and plants Control and Certification (CNCC), regional laboratory of Setif. It aims to assess the effect of salt stress induced by sodium chloride (NaCl) at different concentration levels (0, 50, 100 and 150 mM) on 15 bread and 11 durum wheat varieties. Analysis of variance indicates significant genotypic differences. The average effect 'genotype' indicates that the minimum and maximum extreme values are depending on the trait and genotype. No variety had the best values for all traits. The average effect 'salinity' explains almost all of the total variation observed. Values of the measured traits were reduced as the stress intensity increased. Under high salt concentration (150 mM), these reductions were, relatively to the control, 13.11, 13.11, 69.25, 33.27, 48.33, 75.08 and 73.34%, respectively for %G, MJG, LR, NR, LC, MFR and MFA. The 'BT vs BD' contrast suggests that bread wheat was more salt-tolerant at low (50mM) and medium (100mM) concentration levels than durum wheat, which seems more tolerant at high dose (150mM). The 'genotype x salinity' interaction indicates that the response to salt stress is a function of variety, stress intensity and organ type. Overall, Orion (V10), Ziad (V14), Massine (V6), Mimouni (V8), Tamezghida (V13) and Nesser (V9) were the most tolerant bread wheat varieties. Those the most tolerant in durum wheat are Waha (V23), Megress (V18) and GTA dur (V17).

Key words: *Triticum* sp, NaCl, germination, growth, selection, tolerance.

ملخص

أجريت هذه الدراسة في المخبر الجهوي للمركز الوطني لمراقبة البذور والشتلات و المصادقة عليها (CNCC) بسطيف. الهدف منها تقييم تأثير الإجهاد الملحي الناتج عن كلوريد الصوديوم (NaCl) بجرعات مختلفة (0، 50، 100 و 150 م مول) على 15 صنف من القمح اللين و 11 صنف من القمح القاسي. يشير تحليل التباين إلى وجود اختلافات وراثية كبيرة. يشير التأثير المتوسط "نمط وراثي" إلى تغير القيم القصوى الدنيا و العليا من صفة لأخرى ومن نمط وراثي إلى آخر، و لا صنف يظهر أفضل القيم في جميع الصفات. يفسر التأثير المتوسط "ملوحة" غالبية الاختلاف الإجمالي الملاحظ.

تدنت قيم جميع الصفات المقاسة مع زيادة شدة الإجهاد. تحت تركيز الملح العالي (150 م مول)، قدرت هذه التخفيضات، مقارنة بالشاهد، بـ 13.11، 13.11، 69.25، 33.27، 48.33، 75.08 و 73.34٪، لكل من %G، MJG، LR، NR، LC، MFR و MFA على التوالي. يشير التباين "BT vs BD" إلى أن تحمل القمح اللين لإجهاد الملحي المنخفض (50 م مول) و المتوسط (100 م مول) مقارنة بالقمح القاسي الذي يبدو أكثر تحملاً لإجهاد الملحي العالي (150 م مول). يشير التفاعل "نمط وراثي x ملوحة" إلى تغير الاستجابة لإجهاد الملحي حسب الصنف، شدة الإجهاد ونوع العضو المقاس. بشكل عام، أصناف القمح اللين الأكثر تحملاً لإجهاد الملحي هي Orion (V10)، Ziad (V14)، Massine (V6)، Mimouni (V8)، Tamezghida (V13) و Nesser (V9). أكثرها تحملاً لدى القمح القاسي هي Waha (V23)، Megress (V18) و GTA dur (V17).

كلمات المفتاحية: *Triticum* sp، NaCl، إنتاش، نمو، انتخاب، مقاومة.