



DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE

Master Biotechnologie Végétale Pour L'Amélioration des Plantes

Projet de Fin d'Etude

Intitulé :

Exploitation de la diversité génétique des espèces sauvages dans l'amélioration des paramètres physiologiques et agronomiques et de la réponse au stress salin chez le blé dur

Présenté par :

Tika Asma

27 Mars 2019

Devant le jury composé de :

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

Pr. Mouna FAHR, Professeur à la Faculté des Sciences Rabat.....Encadrante

Dr. Ahmed AMRI, Directeur de la section des ressources génétiques à l'ICARDA.....Encadrant

Pr. Abdelaziz SMOUNI, Professeur à la Faculté des Sciences Rabat.....Examineur

Dédicaces

C'est grâce à **ALLAH** que j'ai eu le courage et la force d'accomplir ce travail.

Je dédie ce travail en premier lieu,

A ma mère Amina et mon père Ahmed qui me sont très chers en témoignage pour leur soutien pendant toute ma vie car aucun mot ne pourra exprimer mon énorme gratitude et profonde affection pour eux.

A ma grande mère Hajja Saadia, à mes frères Anas et Salah Eddine et à ma sœur Aicha,

A mon oncle Azzeddine TIKA,

A toute ma famille,

A la meilleure des meilleurs amis Laila Zahid,

A tous mes amis,

Et à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

Tika Asma

Remerciements

Tout d'abord, louange à **ALLAH** qui m'a guidé sur le chemin droit tout au long du travail et qui m'a inspiré les bons pas et les justes reflexes. Sans sa miséricorde, ce travail n'aurait jamais vu le jour.

Mes remerciements vont, en premier lieu, à Monsieur **Najib BENDAOU**, coordinateur du Master de biotechnologies végétales pour l'amélioration des plantes d'avoir accepté ma candidature au Master.

Ce travail a été réalisé au centre international de la recherche agronomique dans les zones arides « ICARDA » avec l'équipe de la section des ressources génétiques de Rabat en collaboration avec l'équipe de Biotechnologies et Physiologie végétales (EBPV) - Centre de Biotechnologie Végétale et Microbienne, Biodiversité et Environnement (BioBio) de la Faculté des Sciences - Université Mohammed V de Rabat.

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer ma reconnaissance et mes remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont apporté intensément leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire. Je tiens à exprimer mes très vifs gratitude et respects à mes encadrants, interne et externe, respectivement **Pr. Mouna FAHR** de l'équipe de Biotechnologies et Physiologie végétales - Centre de Biotechnologie Végétale et Microbienne, Biodiversité et Environnement (BioBio) de la Faculté des Sciences Rabat et **Dr. Ahmed AMRI**, directeur de la section des ressources génétiques de l'ICARDA - Rabat, pour leur soutien, leurs conseils, leur patience, leur gentillesse et leurs appréciations sur ce travail et de m'avoir orienté durant toute la période du stage ainsi qu'aux moments de la rédaction de ce mémoire. Je remercie infiniment **Mr. Hafid ABERKANE** qui s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la période du stage et de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il m'a bien consacré. Il était un ami, un frère et un encadrant du début jusqu'à la fin de ce travail. Mes sincères remerciements s'adressent ainsi, à **Pr. Athanasios TSIVELICAS** pour son aide, ses encouragements, ses multiples conseils et pour sa présence tout au long de la période du stage et sa disponibilité au cours de la rédaction de ce mémoire. Je suis extrêmement reconnaissante à ses qualités humaines d'écoute et de compréhension tout au long de ce travail.

Mes vifs remerciements vont aussi à :

- **Pr. Zine El Abidine TRIQUI**, Professeur à la Faculté des Sciences Rabat, pour avoir bien voulu présider le jury et juger le travail.

- **Pr. Aziz SMOUNI**, Professeur à la Faculté des Sciences Rabat, pour avoir accepté d'examiner et juger ce travail.

Je remercie particulièrement aussi la meilleure des meilleurs amis **Mlle. Laila ZAHID**, qui était à mes côtés aux moments faciles et difficiles, je ne pourrais jamais la remercier assez pour ses conseils et sa participation de près et de loin dans ma vie personnelle et professionnelle.

Laila ZAHID et sa sœur **Mme. Samira Zahid** m'ont beaucoup aidé, accompagné et supporté durant toute la période du stage et lors de l'élaboration de ce mémoire.

Je tiens aussi à remercier **Mr. Adil El BAOUCHI** qui s'est montré aussi à l'écoute tout au long de la période du stage. Mes remerciements vont à tous les gens à ICARDA (**Abir MANSOURI**, **Adil MOULAKAT**, **Youssef DADI**, et **Badr Eddine SIJILMASSI**) sous la direction de **Mr. Ahmed AMRI** pour leur appui et leurs conseils. J'adresse mes remerciements aussi à **Mr. Ali DOUCH** et **Mme. Oume Kelthoum ESSAHLI** pour leur aide et leur gentillesse.

Enfin, Il m'est agréable d'exprimer ma profonde gratitude et mes plus vifs remerciements à toute personne qui de loin ou de près a contribué à la réalisation de ce travail. Merci à tous et à toutes.

Résumé

Les objectifs de ce travail visent à évaluer la performance agronomique de 67 lignées de blé dur issues des croisements interspécifiques additionnées de 10 variétés témoins cultivés sous les conditions normales du domaine expérimental Marchouch, et d'identifier les génotypes supérieurs en utilisant les paramètres physiologiques tels que la fluorescence chlorophyllienne et la température du couvert végétale. Ces lignées sont aussi évaluées pour la tolérance à la salinité dans des conditions de culture en milieu hydroponique.

L'analyse de la variance n'a pas montré de différences significatives entre les lignées pour le paramètre du couvert végétal alors que des différences significatives sont apparues pour les paramètres de la fluorescence chlorophyllienne. Les génotypes issus des croisements *Cham5*2/Triticum boeoticum*, *Cham5*4/Aegilops speltoides* et *Cham5*3/Triticum boeoticum* ont été révélés les plus importants pour les paramètres de fluorescence.

Les résultats des caractères agronomiques obtenus montrent que les génotypes issus des croisements *Cham5*2/Triticum urartu*, *Haurani*2/Triticum urartu*, *Cham5*3/Triticum boeoticum*, ainsi que les témoins *Icarachaz* et *Marzak* sont précoces et possèdent une hauteur de paille intéressante. Les lignées issues de *Cham5*3/Triticum boeoticum* sont les plus performants agronomiquement avec une biomasse et un poids de 1000 grains élevés et des rendements en grains importants. Les variétés témoins *Icarachaz* et *Marzak* ont montré les meilleurs indices de récolte. Les autres composantes de rendement : le nombre d'épillets/épi, le nombre d'épis/m² et le nombre de grains/épi n'ont pas montré de différences significatives entre les génotypes.

La deuxième partie de l'étude a révélé que, la salinité (150 mM) affecte fortement la croissance et le développement des 70 génotypes testés en réduisant la longueur de leurs parties aérienne et racinaire. La survie de certains génotypes dont *Cham5*2/Triticum dicoccoides*, *Cham5*4/Aegilops speltoides*, *Cham5*4/Aegilops speltoides*, *Haurani*2/Triticum urartu*, *Bezaghra/ Aegilops bicornis// Bezaghra/3/Marzak*, *Segndroue/ Aegilops bicornis //Segndroue/3/Ouassara* et *Cham5*2/Triticum urartu*, en condition de stress salin, est liée aux parents sauvages de blé dur utilisés.

Sur la base des résultats acquis, les espèces sauvages *Triticum dicoccoides*, *Aegilops speltoides*, *Triticum urartu*, et *Aegilops bicornis*, présentent un important réservoir de gènes pour l'amélioration de la productivité et de la tolérance aux stress abiotiques et biotiques du blé dur.

Mots clés : Blé dur, Croisements interspécifiques, Caractères agronomiques, Fluorescence chlorophyllienne, Température du couvert végétal, Tolérance à la salinité.

Abstract: Exploitation of the genetic diversity of wild species in durum wheat improvement and its tolerance to salinity

This study aimed to evaluate the performance and tolerance to salinity of 67 lines derived from crosses of durum wheat varieties with wild species *Triticum bicornis*, *Triticum boeoticum*, *Triticum dicoccoides*, *Triticum urartu* and *Aegilops speltoides*. These lines along with the checks were evaluated for yield and yield components, total biomass and physiological parameters (Chlorophyll fluorescence and canopy temperature) in a trial conducted at Marchouch experiment station. The tolerance to salinity was conducted in hydroponic system. The analysis of variance did not show significant differences among the lines for the canopy temperature but the differences were significant for chlorophyll fluorescence parameters. The lines issued from crosses *Cham5^{*2}/Triticum boeoticum*, *Cham5^{*4}/Aegilops speltoides* et *Cham5^{*3}/Triticum boeoticum* showed high values for chlorophyll fluorescence parameters. For agronomic performance, the lines *Cham5^{*2}/Triticum urartu*, *Haurani^{*2}/Triticum urartu*, *Cham5^{*3}/Triticum boeoticum*, and the checks *Icarachaz* and *Marzak* showed earliness and good plant height. The lines derived from *Cham5^{*3}/Triticum boeoticum* had highest total biomass and 1000 kernel weight, along with high grain yields. Two varieties of the checks *Icarachaz* and *Marzak* had the highest harvest indices. No significant differences were found among the lines for all the yield components.

The second study showed that salinity stress at 150mM NaCl had major effects on the growth and development of 70 lines tested as reflected by the reduction of roots and shoots. The genotypes derived from crosses *Cham5^{*2}/Triticum dicoccoides*, *Cham5^{*4}/Aegilops speltoides*, *Cham5^{*4}/Aegilops speltoides*, *Haurani^{*2}/Triticum urartu*, *Bezaghra/ Aegilops bicornis// Bezaghra/3/Marzak*, *Segndroue/ Aegilops bicornis //Segndroue/3/Ouassara* et *Cham5^{*2}/Triticum urartu* are less affected by salinity stress. Based on our results, the wild relative species *Triticum dicoccoides*, *Aegilops speltoides*, *Triticum urartu*, et *Aegilops bicornis* are an important reservoir of adaptive genes for use by durum wheat breeding programs to enhance productivity, tolerance and resistance to abiotic and biotic stresses.

Key words: Durum wheat, Interspecific crosses, agronomic traits, chlorophyll fluorescence, canopy temperature, tolerance to salinity.

Liste des abréviations

(NH₄)₆Mo₇O₂₄ : Heptamolybdate d'ammonium ou Paramolybdate d'ammonium

1000KW : 1000 kernel weight (le poids de 1000 grains : **PMG**)

AFLP : Amplified Fragment Length Polymorphisme

Ca(NO₃)₂ : Nitrate de calcium ou nitrate de calcium(II) ou dinitrate de calcium

CT : Canopy temperature (la température du couvert végétal)

CuSO₄ : Sulfate de cuivre(II)

CV : Coefficient de variation

ddl : Degré de liberté

DRG : Durée de remplissage des grains

EDTA-Na : Éthylènediaminetétraacétique sodium ou acide éthylènediaminetétraacétique sodium

F : F de Fisher

F0 : Fluorescence minimale

FeCl₃ : Chlorure ferrique ou Chlorure de fer (III)

FM : Fluorescence maximale

FV : Fluorescence variable

GFD : Grain filling date (Date de remplissage des grains)

H₂O : Molécule d'eau

H₃BO₃ : Acide borique, aussi appelé acide boracique ou acide orthoborique

HP : Hauteur de la plante

IR : Indice de récolte

ISSR : Inter-Simple Sequences Repeat amplification

KNO₃ : Nitrate de potassium

LE : Longueur de l'épi

LPA : Longueur de la partie aérienne.

LPR : Longueur de la partie racinaire.

MgSO₄ : Sulfate de magnésium

MnCl₂ : Chlorure de manganèse (II)

NaCl : Chlorure de sodium

NaOH : Hydroxyde de sodium ou soude caustique

NEm² : Nombre d'épis par mètre carré

NEtE : Nombre d'épillets par épi

NGE : Nombre de grains par épi

NH₄H₂PO₄ : Phosphate de monoammonium, phosphate monoammonique ou dihydrogénophosphate d'ammonium

NJE : Nombre de jours à l'épiaison

NJMA : Nombre de jours jusqu'à maturité

Pr : probabilité

RB : Rendement biologique

RFLP : Restriction Fragment Length Polymorphisme

RG : Rendement en grains

SSR : Simple Sequence Repeat

ZnSO₄ : Sulfate de zinc

Unités de mesure

mM : Millimolaire

μM : Micromolaire

°C : Degré Celsius

Cm : Centimètre

g : gramme

L : Litre

h : Heure

% : Pourcent

ml : Millilitre

Kg : Kilogramme

ha : Hectar

Liste des figures

Figure.1: Origine et diffusion de <i>Triticum turgidum</i> (Bonjean, 2001).....	4
Figure 2 : Coupe du grain de blé (Source: Gerblé)	7
Figure 3: Morphologie de l'appareil reproducteur de la fleur du blé	8
Figure 4: Phase de semis-levée (Boyeldieu, 1997)	9
Figure 5 : Cycle de développement du blé (Stouff, 2002).....	11
Figure 6: Evolution de la production des trois principales céréales durant les dix dernières années (Source : ONICL, 2016, cité par Amallah, 2017).....	13
Figure 7: Localisation des principaux pathogènes sur un grain de blé	14
Figure 8: Mécanismes de résistance des plantes aux stress abiotiques (El Jaafari et Paul, 1993)	16
Figure 9: L'appareil de mesure OS-30p+ de la fluorescence chlorophyllienne utilisé	28
Figure 10: Test d'adaptation du fluoromètre à l'obscurité.....	28
Figure 11: Le logiciel « Flir tools » utilisé pour le traitement des photos thermiques.....	30
Figure 12: Prise de la hauteur des plantes	31
Figure 13: Comptage du nombre de grains par épi, nombre d'épillets par épi et la longueur de l'épi.....	32
Figure 14: Stérilisation des graines de blé dur	34
Figure 15: Germination des graines de blé dur effectuée dans une chambre de germination à 20 ± 1 °C et à 84 % d'humidité relative (HR)	35
Figure 16: Graines de blé dur après germination	35
Figure 17: L'état des plantules de blé dur aux premiers jours après le repiquage dans la solution nutritive	36
Figure 18: L'état des plantules après traitement par NaCl dans la chambre de croissance quelques jours après repiquage dans la solution nutritive	36
Figure 19: L'état des jeunes plantes témoins (0 mM) et stressées (150 mM) après 26 jours de culture dans la chambre de croissance.....	36
Figure 20: Evolution des températures moyennes, minimales et maximales (° C) et des précipitations (mm) du site expérimental « Marchouch » durant la campagne 2017/2018	39
Figure 21: Variation du rapport FV/FM de la fluorescence chlorophyllienne en fonction des génotypes étudiés à la station Marchouch durant la campagne 2017-2018.....	41
Figure 22: Variation du rapport FV/F0 de la fluorescence chlorophyllienne en fonction des génotypes étudiés à la station Marchouch durant la campagne 2017-2018.....	42

Figure 23: Variation des caractères phénologiques en fonction des génotypes étudiés à la station Marchouch durant la campagne 2017-2018	45
Figure 24: Variation du caractère morphologique (hauteur de la plante) en fonction des génotypes de blé dur testés à la station Marchouch durant la campagne 2017-2018.....	47
Figure 25: Variation du rendement biologique en fonction des génotypes de blé dur testés à la station Marchouch durant la campagne 2017-2018	49
Figure 26: Variation du rendement en grains en fonction des génotypes de blé dur testés à la station Marchouch durant la campagne 2017-2018	Erreur ! Signet non défini.
Figure 27: Matrice des corrélations entre les paramètres physiologiques et agronomiques des génotypes de blé dur testés à la station Marchouch durant la campagne 2017-2018.....	51
Figure 28: Exemple de mesure de la longueur des parties aérienne et racinaire des génotypes testés de blé dur, ayant été soumis au stress salin (150 mM de NaCl) et sous condition normale (0 mM de NaCl)	56
Figure 29: Le pourcentage de réduction de la longueur de la partie aérienne (LPA) des génotypes de blé dur évalués sous stress salin (150 mM NaCl)	57
Figure 30: La croissance et le développement des jeunes plants des lignées dérivatives de blé dur, soumis à une concentration de 150 mM de chlorure de sodium (NaCl) en milieu hydroponique comparativement aux témoins (0 mM)	58
Figure 31: Le pourcentage de réduction de la longueur de la partie racinaire (LPR) des génotypes de blé dur évalués sous stress salin (150 mM NaCl)	58

Liste des tableaux

Tableau 1: Classification du blé dur d'après Feillet, (2000)	6
Tableau 2: Productions de blé dur estimées à l'échelle mondiale durant les campagnes agricoles 2013-2014 et 2014-2015	12
Tableau 3: Les lignées issues des rétrocroisements interspécifiques évaluées au champ à la station Marchouch	26
Tableau 4: Solution nutritive modifiée de Hoagland (pour culture hydroponique / gravie) ..	33
Tableau 5: Variance des caractères phénologiques entre les lignées dérivatives du blé dur ..	44

Liste des annexes

Annexe 1: Pedigree et paramètres physiologiques (la fluorescence chlorophyllienne et la température du couvert végétal) mesurés pour 77 géotypes de blé dur évalués à la station Marchouch durant 2017-2018.....	82
Annexe 2: Résultats de l'analyse de variance des paramètres physiologiques entre les géotypes évalués à la station Marchouch durant 2017-2018.....	85
Annexe 3: Les caractères phénologiques et morphologiques des géotypes du blé dur évalués à la station Marchouch durant 2017-2018	86
Annexe 4: Résultats de l'analyse de variance des caractères morphologiques entre les géotypes de blé dur évalués à la station Marchouch durant 2017-2018.....	90
Annexe 5: Le rendement et ses composantes des lignées dérivatives de blé dur évaluées à la station Marchouch durant la saison 2017-2018	90
Annexe 6: Résultats de l'analyse de variance du rendement et ses composantes entre les géotypes du blé dur évalués à la station Marchouch durant la saison 2017-2018	93
Annexe 7: Analyse statistique de la variance de la longueur des parties aérienne et racines des lignées de blé dur évaluées de la station Marchouch durant la saison 2017-2018.....	95
Annexe 8: La longueur des parties aérienne et racinaire des 70 géotypes de blé dur testés sous stress salin (150 mM de NaCl).....	96

Table des matières

Dédicaces	2
Remerciements.....	3
Résumé	5
Abstract.....	6
Liste des figures	10
Liste des tableaux	11
Liste des annexes.....	12
Table des matières	12
Introduction générale	16
Chapitre I : Revue bibliographique	3

I.	Historique et origines de blé dur.....	4
1.	Historique.....	4
2.	Origine géographique	4
3.	Domestication et origine génétique du blé dur	5
II.	Présentation de l'espèce	5
1.	Classification botanique	5
2.	Biologie et cycle de développement du blé	6
III.	Exigences de la culture du blé.....	11
IV.	Importance de la culture du blé dur.....	11
1.	A l'échelle internationale	11
2.	A l'échelle nationale.....	12
V.	Contraintes biotiques et abiotiques liées à la production du blé dur	13
1.	Stress biotiques	14
2.	Stress abiotiques.....	15
a.	Mécanismes d'adaptation des plantes au stress salin	18
b.	Action du stress salin sur les plantes	18
c.	Action du stress salin sur le blé dur.....	19
VI.	Amélioration génétique du blé dur par les espèces sauvages du blé dur.....	20
1.	Les croisements interspécifiques	21
2.	Introduction d'information génétique nouvelle dans le blé par hybridation interspécifique et importance des espèces sauvages apparentées	21
3.	Moyens de sélection variétale	23
3.1	La fluorescence chlorophyllienne	23
3.2	La température du couvert végétal.....	24
Chapitre II : Matériel et Méthodes		25
Partie 1 : Evaluation de la performance des lignées dérivatives du blé dur		26
1.	Matériel végétal	26

2.	Dispositif expérimental et conduite de l'essai	27
3.	Les mesures effectuées	27
3.1	Paramètres physiologiques	27
a.	Mesure de la fluorescence chlorophyllienne	27
b.	Mesure de la température du couvert végétal	30
3.2	Traits agronomiques	30
a.	Nombre de jours à l'épiaison	30
b.	Nombre de jours jusqu'à maturité.....	30
c.	Durée de remplissage des grains	31
d.	Hauteur des plantes	31
e.	Nombre d'épis par m ²	31
f.	Nombre de grains par épi.....	31
g.	Poids de mille grains	32
h.	Rendement en grains	32
4.	Analyse statistique.....	32
Partie 2 : Evaluation de la tolérance des génotypes dérivatifs du blé dur au stress salin		33
1.	Matériel végétal	33
2.	Préparation des solutions nutritives de Hoagland	33
3.	Dispositif et milieu de culture	34
4.	Analyse statistique.....	37
Chapitre III : Résultats et discussion		38
Partie 1 : Performance agronomique des lignées dérivatives sous les conditions pluviales de Marchouch		39
1.	Données climatiques	39
2.	Paramètres physiologiques	40
a.	La fluorescence chlorophyllienne	40
b.	La température du couvert végétal.....	43

3. Cycle de croissance des lignées dérivatives	43
a. Caractères phénologiques	43
b. Caractères morphologiques.....	46
c. Rendement et composantes de rendement	47
4. Corrélation des paramètres agronomiques et physiologiques.....	51
a. Corrélations entre les paramètres physiologiques.....	52
b. Corrélation entre les caractères agronomiques	52
5. Discussion	52
Partie 2 : Evaluation de La tolérance des géotypes dérivatifs du blé dur au stress salin	56
1. Résultats	56
2. Discussion	59
Conclusion générale	63
Annexes	81

Introduction

Introduction

Les céréales constituent une part importante des ressources alimentaires de l'Homme et de l'animal (Karakas et *al.*, 2011). Parmi ces céréales, le blé dur (*Triticum durum* Desf.) compte parmi les espèces les plus anciennes. Il constitue une grande partie de la nutrition humaine et animale dans le monde et surtout dans les régions méditerranéennes, d'où son importance économique. Selon la FAO (2016), la production mondiale de blé dur en 2016 s'est établie à 36,1 millions de tonnes. Au Maroc, cette production a atteint 2,3 millions de tonnes pendant la campagne agricole 2014/2015 (FAO, 2015). Il est prévu que l'accroissement constant de la population mondiale augmente pour passer de 7,2 milliards d'habitants en 2013 à 9,6 milliards en 2050 (Amallah, 2017). Selon la FAO, pour satisfaire la demande de l'humanité, il faut augmenter d'au moins 60 % la quantité des produits agricoles disponibles, entre 2005 et 2050 (Gallais, 2015). Donc, il est nécessaire d'améliorer le rendement et la qualité du blé dur en passant par la création variétale et le choix de critères fiables pour l'identification des mécanismes d'adaptation aux contraintes environnementales. Parmi ces critères, la stabilité du rendement, la résistance aux maladies et surtout la tolérance aux stress abiotiques (Benbelkacem et *al.*, 1995). Parmi les stress abiotiques les plus nocifs, la sécheresse, les températures extrêmes et la salinité sont amenés à s'accroître avec les effets du changement climatique (Bray et *al.*, 2000). Par exemple, la salinité est redoutable ; elle est l'un des facteurs abiotiques les plus répandus dans les zones arides et semi arides qui limitent fortement la croissance et le développement des plantes ainsi que les rendements agricoles (Khalil et Baaziz, 2006). Dans le cas du blé dur, la salinité entraîne la réduction de toutes les composantes de rendement tel que le nombre de talles par plante, le nombre d'épis, le nombre d'épillets par épi et le poids du grain ; plus la salinité est élevée plus le rendement est réduit (Katergi et *al.*, 1994 ; Houshmand et *al.*, 2005). Pour atténuer les effets néfastes de telles conditions environnementales défavorables, les plantes utilisent diverses stratégies d'adaptation aux niveaux cellulaire et métabolique dont l'inclusion et l'exclusion cellulaire (Bray et *al.*, 2000). Pour remédier à cette contrainte, l'amélioration génétique des plantes est nécessaire. Elle consiste à créer une variabilité génétique nouvelle, puis sélectionner et fixer, parmi cette diversité, les génotypes intéressants et tolérants. Cette amélioration se fait par différentes méthodes dont l'hybridation interspécifique en utilisant les formes sauvages du blé. Les hybridations interspécifiques présentent un outil important pour l'enrichissement génétique du blé (Jauhar et Joppa, 1996). Car, les formes sauvages apparentées au blé constituent des

ressources importantes de gènes utiles pour l'amélioration du rendement et le rendre plus stable, ainsi que pour l'adaptation des plantes cultivées aux contraintes environnementales.

Dans ce contexte, la présente étude a été réalisée dans le but de :

- Evaluer la performance agronomique des lignées dérivatives du blé dur cultivées dans la station Marchouch.
- Identifier les génotypes supérieurs parmi les génotypes cultivés dans la station Marchouch en exploitant les paramètres physiologiques (la fluorescence chlorophyllienne et la température du couvert végétal).
- Evaluer la tolérance des lignées dérivatives du blé dur à la salinité dans des conditions d'hydroponie.

Chapitre I : Revue bibliographique

I. Historique et origines de blé dur

1. Historique

Le blé dur est une plante anciennement cultivée et était la base de l'alimentation des premières civilisations humaines (Ruel, 2006).

Le blé dur est probablement apparu dès le Néolithique à partir de *Triticum dicoccum*. Il se trouve dès le 7^{ème} millénaire av. J.-C. à Can Hasan III (Turquie) et Tell Aswad (Syrie), puis en proportions croissantes à la fin du néolithique, et au 5^{ème} millénaire en Grèce et dans l'ouest de la Méditerranée (Feldman, 2001).

2. Origine géographique

Le centre géographique du blé est le moyen orient où coexistent, les deux espèces parentales (*Aegilops speltoides* et *Triticum urartu*) et où l'on a retrouvé de nombreuses formes de blé dur (Figure 1) (Grignac, 1978).

A partir de cette zone d'origine, l'espèce *Triticum durum* s'est différenciée dans trois centres secondaires distincts qui sont : le bassin occidental de la Méditerranée, le Sud de la Russie et la région abyssinienne en plus du centre de diversité primaire situé dans le Croissant Fertile dans l'Asie de l'Ouest (Figure 1).

Chaque centre secondaire a donné naissance à des variétés botaniques ayant des caractéristiques phénologiques, morphologiques et physiologiques particulières (Monneveux, 1991).

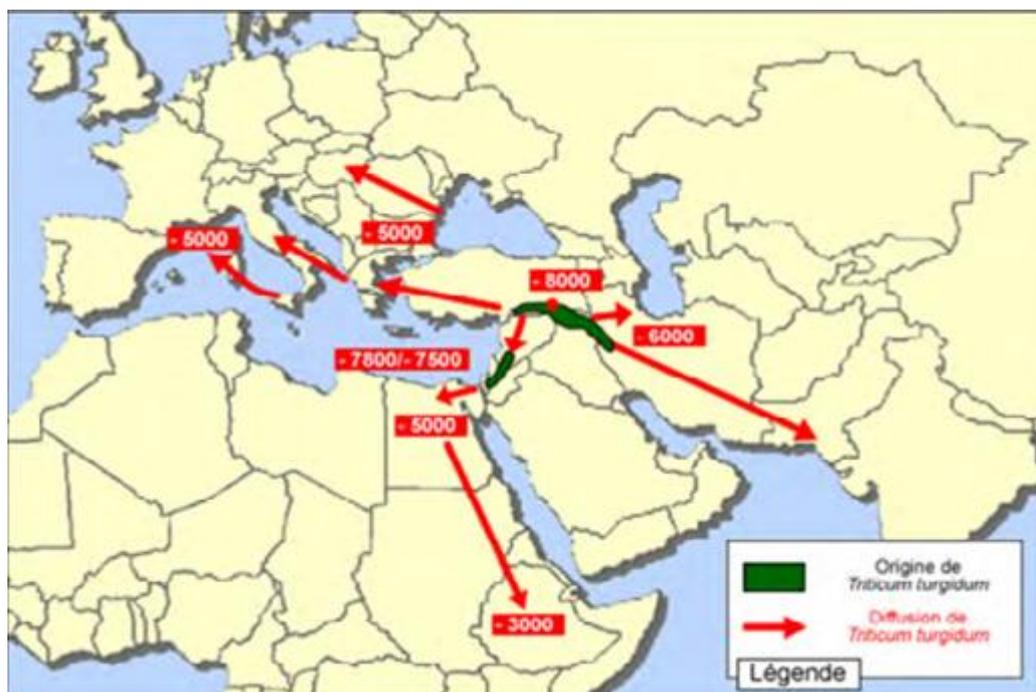


Figure.1: Origine et diffusion de *Triticum turgidum* (Bonjean, 2001)

Par ailleurs, le Maghreb est considéré comme origine secondaire du blé d'après Gueorguiev et Arifi (1978).

3. Domestication et origine génétique du blé dur

La domestication du blé est étroitement liée à la naissance de l'agriculture. Cette céréale est apparue au Proche Orient, précisément dans la région du Croissant Fertile, il y a environ 10 000 ans, et donne naissance à des plantes aux grains nus, et à rachis non cassant.

La première espèce tétraploïde, le *Triticum turgidum* est le résultat d'une hybridation entre le *Triticum urartu* apportant le génome A et une herbe apparentée au blé nommée *Aegilops speltoides* (Graminée) apportant le génome B (Feldman, 1966 ; Dvorak and Appels, 1982). Ces deux espèces sauvages ont donné l'espèce sauvage tétraploïde qui a donné la forme primitive *Triticum dicoccum*. Cette dernière a permis la domestication du blé dur cultivé *Triticum durum*. Le blé dur fait partie du groupe de formes tétraploïdes appartenant à l'espèce *Triticum turgidum* comprenant de nombreuses sous-espèces et, en particulier, *turgidum* (blé poulard) et *dicoccum* (blé amidonnier) qui sont très voisines et souvent groupées avec la sous-espèce *durum* largement cultivée.

Cette origine génétique lui a sans doute conféré cette souplesse d'adaptation d'où sa culture dans de très nombreuses régions dans le monde (Picard, 1988). Les génomes A et B contrôlent de manière générale l'architecture, la résistance aux différents stress et la fertilité de l'espèce. Ainsi, cette domestication est issue d'une sélection variétale opérée par les anciens agriculteurs et selon laquelle les gènes dits de domestication (ou gènes avantageux) ont été stabilisés (Dubcovsky et Dvorak, 2007). Parmi ces derniers, on cite :

-Le gène Tg qui est impliqué dans la ténacité des glumes. Il s'agit des glumes dures, ainsi lorsqu'elles adhèrent moins au grain, celui-ci se dénude plus aisément lors du battage, permettant de dépasser une étape de décorticage.

-Le gène q qui participe à l'apparition du caractère de non déhiscence de l'épillet, c'est à dire qu'un blé porteur d'un allèle Q que l'on considère avantageux aura un épi plus compact et non cassant. Ce caractère confère au blé une résistance de l'épi avant la récolte et lors du battage.

-Et enfin, de façon similaire au gène q un allèle avantageux pour le gène Br qui rend l'épi plus solide.

II. Présentation de l'espèce

1. Classification botanique

Le blé dur appartient à la famille des « *Poaceae* » qui comprend généralement 600 genres et plus de 5000 espèces. C'est une plante herbacée, monocotylédone appelée aussi céréale à paille

du genre *Triticum*. Une classification botanique détaillée est donnée par Feillet (2000) dans le tableau 1.

Tableau 1: Classification du blé dur d'après Feillet, (2000)

Règne	Plantae
Sous-règne	Cormophyte
Embranchement	Angiospermes
Sous-embranchement	Spermaphytes
Classe	Monocotylédones
Ordre	Glumiflorales
Super ordre	Comméliniflorales
Famille	Graminae et/ou Poaceae
Tribu	Triticeae
Sous tribu	Triticinae
Genre	<i>Triticum</i>
Espèce	<i>Triticum turgidum sbsp. durum</i> Desf

D'après Monneveux et *al* (1989), ce type de classification a permis l'orientation de la recherche de gènes qui intéressent le sélectionneur sur le plan des caractéristiques agronomiques tels que la tolérance aux basses températures, la précocité à l'épiaison et les grains gros et vitreux.

2. Biologie et cycle de développement du blé

-Structure et composition du grain de blé :

Le grain de blé a une forme ovoïde et présente sur la face ventrale un sillon qui s'étend sur toute la longueur (Figure3). Après le battage ou une fois que les balles enveloppant le grain sont supprimées, le grain de blé est obtenu. A la base dorsale du grain, se trouve le germe qui est surmonté par une brosse. Selon Surget et Barron (2005), le grain de blé mesure entre 5 et 7 mm de long, et entre 2,5 et 3,5 mm d'épaisseur, pour un poids compris entre 20 et 50 mg. Par ailleurs, selon Calvel (1984) et Emillie (2007), la couleur de blé varie du roux au blanc en rapport avec le pays d'origine, le sol, la culture et le climat.

Généralement, le grain de blé est un caryopse nu (Soltner, 2005) constitué de :

- Enveloppes de la graine et du fruit (13 à 17% du grain) constituées par le péricarpe.
- Amande farineuse (ou Albumen) ; la majeure partie du blé (riche en amidon) qui représente 80 à 85% du poids du grain. Il sert de réserve et ne sera complètement utilisé qu'au moment de la germination (Guergah, 1997).
- Germe (3%) constituant la future plante.

Après fécondation, l'ovaire donnera le grain de blé. Dans le cas du blé, le grain est à la fois le fruit et la graine. En effet, les enveloppes du fruit sont soudées à celles de la graine.

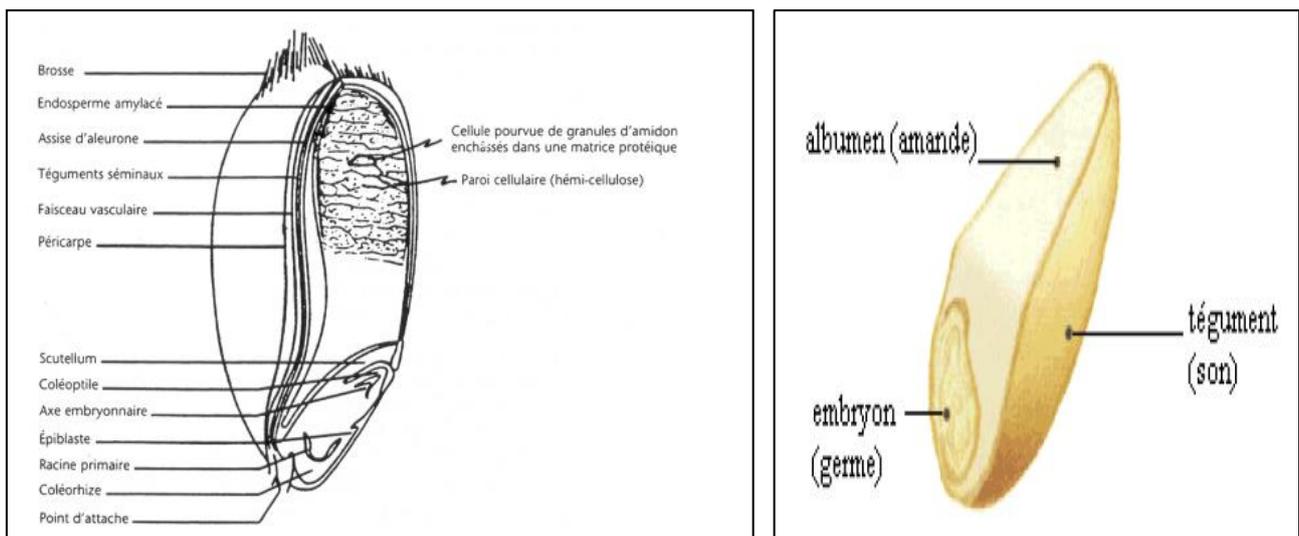


Figure 2 : Coupe du grain de blé (Source : Gerblé)

-Appareil végétatif :

L'appareil végétatif comprend l'appareil aérien et l'appareil racinaire (Gate et Giban, 2003). Le système aérien est formé d'un certain nombre d'unités biologiques, les talles, les feuilles et les graines. D'après Clarke et al (2002), la talle est formée d'une tige feuillée ou chaume portant à son extrémité une inflorescence. Le brin- maître est la première talle apparue. Il se forme à partir de bourgeons axillaires aux nœuds à la base de la tige principale (Bozzini, 1988). Les

feuilles sont simples, allongées, alternées et à nervures parallèles alternes ou distiques (disposées sur deux rangs le long de la tige). Au point d'attache de la gaine de la feuille se trouve une membrane mince et transparente (ligule) comportant deux petits appendices latéraux (oreillettes).

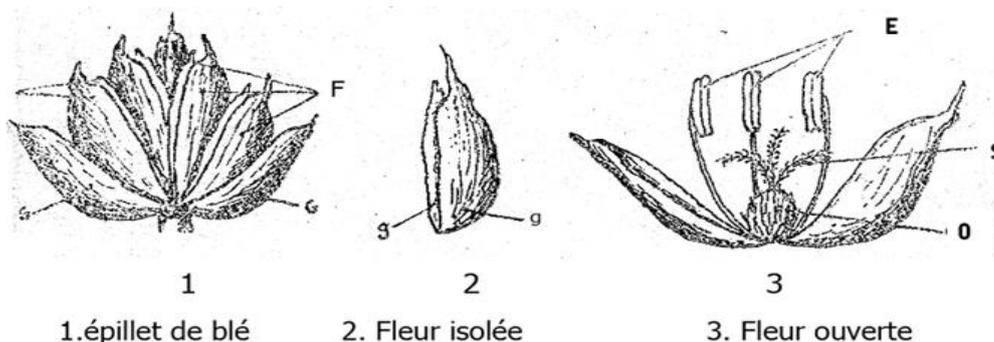
Le système racinaire est composé de deux systèmes radiculaires successifs. Le système séminal ou racines primaires, seul fonctionnel de la levée jusqu'au début du tallage. Ces racines ont une origine embryonnaire. Ce système racinaire est constitué de cinq racines ; une racine principale et de deux paires de racines latérales, et éventuellement une sixième racine qui peut se développer ; les racines de ce système sont au nombre de six, rarement sept (Benlaribi et *al.*, 1990, Hazmoune, 2006).

Le système adventif (ou racines secondaires) est un système de racines coronaires ou système de racines de tallage. Il se forme dès le tallage et se substitue parallèlement au système séminal. Il est de type fasciculé bien que moins puissant (Grignac, 1965 ; Hazmoune, 1994 ; Hamadache, 2001 ; Soltner, 2005).

Selon Clarke et *al* (2002), les racines adventives se forment plus tard à partir des nœuds à la base de la plante et constituent le système racinaire permanent.

-Appareil reproducteur :

L'inflorescence du blé est un épi constitué d'épillets (unités de base). L'épillet est une petite grappe de un à cinq fleurs entourées chacune par deux glumelles (inférieure et extérieure). La grappe est enfermée entre deux bractées ou glumes et les fleurs sont attachées sur le rachis. En général, la fécondation est une cleistogamie et les fleurs sont hermaphrodites dont chacune comporte 3 étamines et un ovaire. Le blé est une plante autogame : le pollen d'une fleur pollinise l'ovaire de la même fleur (Soltner, 1998).



G : Glumes // g : glumelles // O : Ovaire
F : Fleur // S : Stigmate // e : étamines

extrait de F.FLANDRIN, Les blés de semence, Guy Le Prat 1949

Figure 3: Morphologie de l'appareil reproducteur de la fleur du blé

-Croissance et développement :

La période végétative, reproductrice et celle de maturation sont les trois périodes marquant le cycle de développement d'une céréale à paille.

La première période dure de la germination aux premières manifestations de l'allongement de la tige principale (début de la montaison) et la deuxième période s'étend du tallage herbacé à la fécondation. Alors que la troisième ait lieu de la fécondation à la maturité complète du grain.

-Les stades de développement :

a) - Germination-levée

La germination se caractérise généralement par l'imbibition de la semence, la réactivation des enzymes et la dégradation des réserves assimilables par l'embryon. Le dégagement de la radicule des enveloppes séminales est suivi de la mise en place du nombre de plants par mètre carré. Ainsi, le sol est lors percé par un étui protecteur de la première feuille appelé le coléoptile. En ce qui concerne la levée, cette dernière prend lieu quand 50% de plantules sont sorties de sol. Pendant cette phase, les plantules ou jeunes plantes sont sensibles à la pénurie d'eau qui provoque une diminution de leur nombre (Karou *et al.*, 1998).

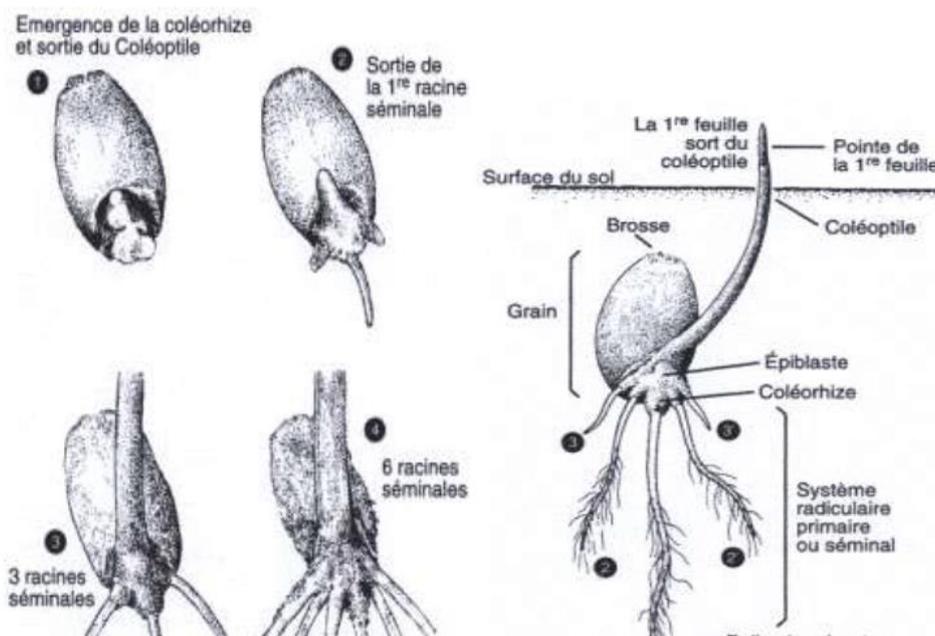


Figure 4: Phase de semis-levée (Boyeldieu, 1997)

b) - Tallage

Cette phase commence à partir de la quatrième feuille. Le début du tallage est caractérisé par l'apparition de l'extrémité de la première feuille de la talle latérale primaire puis d'autres talles naissent successivement à l'aisselle de la 2^{ème} et la 3^{ème} feuille de la tige centrale. L'ensemble

de talles restant court noué, forme un plateau de tallage situé juste au niveau du sol. Selon Belaid (1986) et Gate (1995), ces talles primaires peuvent ensuite donner naissance à des talles secondaires, lesquelles à leur tour donnent des talles tertiaires. La fin de ce stade correspond à la fin de la photopériode et de la vernalisation qui favorisent l'élongation des entre-noeuds (Gate, 1995).

La durée de cette période varie de 31 à 89 jours pour des températures moyennes de 09 à 32° C respectivement.

c) - Montaison-gonflement

Ce stade a lieu, à partir du stade épi à 1 cm, par l'élongation du premier entre-nœud. Selon Gate (1995), une fois l'ébauche de l'épi du brin-maître atteint 1 cm de hauteur à partir de la couronne ou plateau de tallage, le stade montaison-gonflement est repérable. Ce stade est sensible aux basses températures variant entre +4 et 0° C. Ainsi, selon Baldy (1984), la montaison est la phase la plus critique du développement du blé et tout stress hydrique ou thermique au cours de cette phase est capable de réduire le nombre d'épis montants par unité de surface. La montaison se termine une fois l'épi prend sa forme définitive à l'intérieur de la gaine de la feuille étendard qui gonfle ; c'est le stade « gonflement ».

d) - Epiaison-floraison

Lorsque l'épi apparaît hors de la gaine de la dernière feuille, l'épiaison prend naissance. La floraison des épis dégainés se fait, généralement, entre 4 à 8 jours après l'épiaison (Bahlouli et *al.*, 2005). Les basses températures au cours de ce stade réduisent fortement la fertilité des épis (Abbassenne et *al.*, 1998).

e) - Remplissage du grain

Cette phase se compose de trois étapes successives (Mazouz, 2006); il y a augmentation rapide du volume et du poids de grain en eau et en matière sèche. La première étape correspond à une phase de multiplication des cellules du jeune grain encore vert. Les assimilats proviennent de la photosynthèse de la feuille étendard, et du transfert des hydrates de carbones non structuraux stockés dans le col de l'épi. La quantité d'eau contenue dans le grain tend à se stabiliser ; c'est le pallier hydrique.

L'arrêt de la migration des réserves des feuilles et de la tige vers le grain est provoqué par les fortes températures au cours de cette période pouvant causer l'échaudage du grain. Puis vient la phase de dessèchement au cours de laquelle le grain perd de son humidité pour atteindre son poids sec final (Wardlaw, 2002).

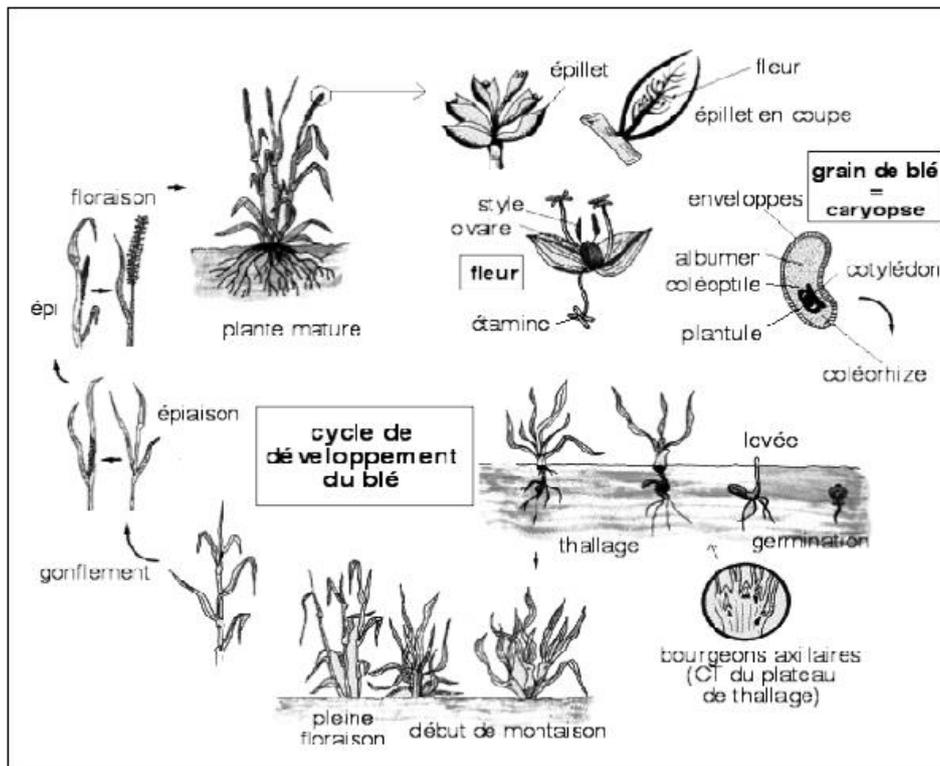


Figure 5 : Cycle de développement du blé (Stouff, 2002)

III. Exigences de la culture du blé

Selon Clément et Parts (1970), les facteurs climatiques ont une action prépondérante sur les différentes périodes de la vie du blé.

Le blé dur est généralement plus adapté que le blé tendre aux régions à pluviométrie annuelle moyenne voire faible comme les régions arides et semi-arides du Proche-Orient, l'Afrique du Nord et de certaines régions de l'Europe méditerranéennes (Clément et Parts, 1970). Les besoins en eau du blé dur sont de l'ordre de 250 mm d'eau afin de produire une récolte acceptable. Ainsi, les sols qui conviennent le mieux à la production de blé dur doivent être bien aérés, bien drainés, profonds et comportent au moins 0,5% de matière organique avec un pH optimal de 5,5-7,5. Le blé dur est, par ailleurs, sensible à la salinité du sol (Brink et Belay, 2006).

IV. Importance de la culture du blé dur

1. A l'échelle internationale

Au cours des dix dernières campagnes, d'après les statistiques du Conseil International des Céréales, la production mondiale de blé dur a été inférieure à la consommation à 7 reprises.

Cette diminution à l'échelle mondiale est la conséquence logique de l'importante diminution des surfaces récoltées, la forte sécheresse au Sud de la Turquie et les conditions climatiques

adverses au Maghreb. Les surfaces ont subi une réduction de moitié en raison de la concurrence entre cultures, la demande américaine en maïs pour la production d'éthanol et la demande chinoise pour le soja (FranceAgriMer, 2015).

Au cours de la campagne 2014/2015, la production mondiale du blé a été améliorée, elle a augmenté à environ 36,1 millions de tonnes (FAO, 2016). Selon la répartition géographique de la production du blé dur, l'Union Européenne (principalement l'Italie et la France) arrive en tête avec une récolte annuelle moyenne de 7,5 millions de tonnes. Le Canada occupe le deuxième rang avec 4,8 millions de tonnes, suivi de l'Algérie (2,5 Mt), la Turquie (2,4 Mt), le Mexique (2,3 Mt) et le Maroc (2,3 Mt) (Tableau 2).

Tableau 2: Productions de blé dur estimées à l'échelle mondiale durant les campagnes agricoles 2013-2014 et 2014-2015 (FAO, 2016)

	2013/14 (Mt)	2014/15 (Mt)		2013/14 (Mt)	2014/15 (Mt)
Total au monde	32,6	36,1	Argentine	0,3	0,3
Union Européen	7,1	7,5	Syrie	0,8	1,4
<i>France</i>	1,5	1,8	Turquie	2,1	2,4
<i>Grèce</i>	0,8	0,7	Inde	1,3	1,2
<i>Italie</i>	3,7	3,9	Algérie	1,3	2,5
<i>Espagne</i>	0,8	0,9	Libye	0,1	0,1
Kazakhstan	2,0	2,1	Maroc	1,4	2,3
Canada	5,2	4,8	Tunisie	1,3	1,3
Mexique	2,3	2,3	Australie	0,5	0,5
Etats Unis d'Amérique	1,4	2,1	Autres	5,7	5,5
<i>Source: International Grain Council</i>					

2. A l'échelle nationale

Vu sa position géographique et la diversité de son climat, le Maroc est considéré comme l'un des plus importants réservoirs de biodiversité pour de nombreuses espèces (Perrino *et al.*, 1984; Tazi *et al.*, 1989; Bounejmate, 1992; Taghouti *et al.*, 2014).

Parmi ces espèces, les céréales représentent la première spéculation au Maroc, vu l'importance des superficies qu'elles couvrent et qui varient entre 4,5 et 5,3 millions d'hectares entre les années 2000 et 2015. Ce qui représente plus de 75 % de la surface totale agricole utile. Le blé dur, le blé tendre et l'orge représentent respectivement 33 %, 35 %, 32 % de la surface totale agricole utile céréalière. Par ailleurs, selon Tahhar (2015), la majorité des superficies céréalières (90 %) est localisée au niveau des zones Bour avec 50% dans les régions arides et semi-arides.

Vu l'accroissement démographique, la production céréalière reste insuffisante pour assurer les besoins des populations.

Malgré la mise en place du Plan Maroc Vert dont l'un de ses objectifs est d'accroître la production céréalière afin de réduire le recours à l'importation, le Maroc est obligé d'importer des quantités de blé assez conséquentes pour compenser ce déficit. Les importations de céréales évoluent selon le niveau de la production nationale. Les quantités moyennes annuelles importées pour les quatre principales céréales, sur les dix dernières années, tournent autour de 49 millions de quintaux.

Elles sont dominées par le blé tendre qui présente 48%, suivi du maïs (31%), du blé dur (13%) et de l'orge (8%), (Tahhar, 2015).

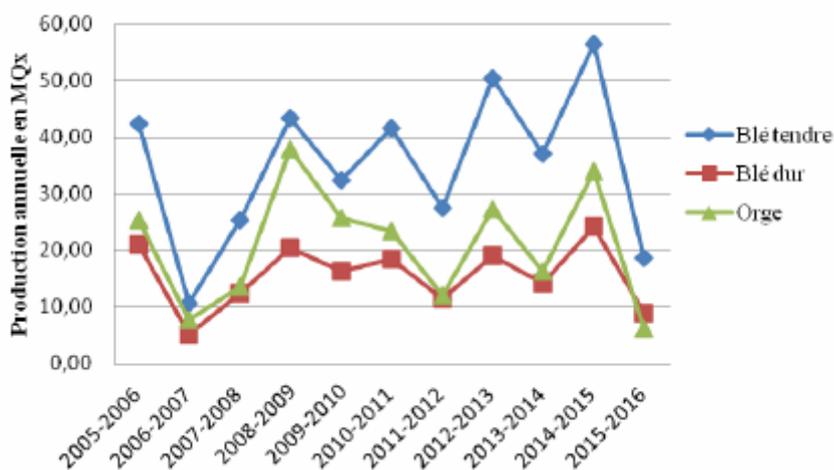


Figure 6: Evolution de la production des trois principales céréales durant les dix dernières années (Source : ONICL, 2016, cité par Amallah, 2017)

V. Contraintes biotiques et abiotiques liées à la production du blé dur

D'après Levitt, 1980, un stress correspond à toute condition externe qui est capable d'affecter la croissance, le développement ou la productivité d'une plante. La plante reconnaît un stress quand ce dernier est perçu au niveau cellulaire puis transmis à la plante entière. La croissance et le développement et les capacités reproductives de la plante, sont influencés par le changement dans l'expression des gènes qui suit la transmission du signal à la plante entière.

Il existe deux grandes catégories de stress ; les stress biotiques (causés par des organismes vivants) et les stress abiotiques (se présentant à chaque fois qu'il y a un excès ou un déficit dans l'environnement physique ou chimique de la plante).

1. Stress biotiques

Les stress biotiques sont ceux causés par des facteurs vivants tels les insectes ravageurs, les champignons, les bactéries et les virus. Les insectes les plus redoutables pour le blé dur sont la mouche de Hesse ou cécidomyie, le puceron russe, et la mouche grise. Sous certaines conditions particulières, des attaques de pucerons peuvent devenir très importantes par la transmission de maladies virales (Boulmane et *al.*, 1994 ; El Bouhssini et Nachit, 2000).

Les pourritures racinaires sont causées par des champignons pathogènes présents dans le sol. Les agents pathogènes causaux appartiennent aux familles des *Fusarium* sp. et *Helminthosporium* sp. Le blé dur est le plus sensible de toutes les céréales aux dégâts causés par les pourritures racinaires. En ce qui concerne les attaques de ces agents pathogènes, elles peuvent être importantes dans les deux extrêmes : conditions sèches (pourritures sèches) et conditions humides (fontes de semis).

La plupart des maladies des parties aériennes sont causées par des champignons ; elles sont généralement nombreuses. Les plus importantes sont la rouille (la rouille brune est plus importante que les rouilles noire et jaune), la tache helminthosporienne ou tache bronzée, la tache septorienne, et la tache fusarienne. Les symptômes de ces maladies sont différents et sont observés selon le cas, sur les feuilles, les tiges ou les épis (Ezzahiri, 1995; Mergoum et *al.*, 1995; Mergoum et *al.*, 1998). Ces maladies sont aptes à causer des pertes de rendement importantes et des détériorations de la qualité du grain (échaudage, mélanose, dégradation chimique ou physique).

La jaunisse nanisante est l'une des plus importantes maladies virales sur les céréales au Maroc. Les plantes atteintes de cette maladie sont susceptibles à un jaunissement progressif suivi de la nécrose des tissus foliaires. Ces symptômes sont accompagnés par un rabougrissement de la plante. Les pertes sont variables selon les conditions.



Figure 7: Localisation des principaux pathogènes sur un grain de blé

2. Stress abiotiques

Les stress abiotiques sont causés par un défaut ou un excès de l'environnement physico-chimique comme la sécheresse, les températures extrêmes et la salinité. Les conditions de stress abiotiques nuisent à la croissance des plantes en entraînant une baisse significative de la productivité des cultures (Bray et *al.*, 2000).

Pour atténuer les effets néfastes de telles conditions environnementales défavorables, les plantes ont mis au point diverses stratégies d'adaptation aux niveaux cellulaire et métabolique (Bray et *al.*, 2000).

2.1 Mécanismes d'adaptation des plantes aux stress abiotiques

L'adaptation est le synonyme de survie, mais elle est définie aussi comme la capacité d'une plante à croître et à donner des rendements satisfaisants dans les zones susceptibles à des stress de périodicités connues (Papadakis, 1932).

La notion d'adaptation se confond parfois avec celle de la résistance et de la tolérance au stress. En fait, l'adaptation n'est que la résultante de la tolérance aux contraintes. Une plante qui tolère ou résiste à un stress donné et réussit à se reproduire à un niveau satisfaisant comparativement à une autre plante (non adaptée), est une plante adaptée (Ceccarelli et *al.*, 1992, Fellah et *al.*, 2002). L'adaptation aux conditions du milieu diffère d'une plante à l'autre.

Levitt (1980) déclare que la résistance peut prendre trois formes différentes :

a- L'esquive ou échappement (figure 8) à la contrainte qui est un mécanisme d'adaptation des plantes vis à vis des contraintes abiotiques. Les variétés qui possèdent cette caractéristique, se développent en dehors de la période de contrainte intense, grâce à la modulation du cycle de développement afin de l'adapter à la situation de stress (Dakheel et *al.*, 1993; Simane et *al.*, 1993; Mekhlouf et *al.*, 2006).

b- L'évitement (figure 8) de la déshydratation des tissus ait lieu lorsque la plante fait appel à différents mécanismes pour se maintenir à un niveau de la contrainte inférieur à celui exercé par l'environnement. Par exemple, certains génotypes de blé dur évitent la contrainte hydrique en favorisant le développement de leur système racinaire en profondeur pour chercher de l'eau qui leur permet de réduire les effets du déficit qu'ils subissent (Ali Dib et *al.*, 1992).

c- La résistance (figure 8) au stress se manifeste par un ensemble de mécanismes, qui induisent chez la plante, la capacité d'accepter la contrainte mais sans subir les effets. C'est la résistance génétique. Elle permet à la plante de résister à la déformation mécanique, à la dégradation membranaire et de maintenir ses activités métaboliques sous des niveaux de contrainte assez élevés.

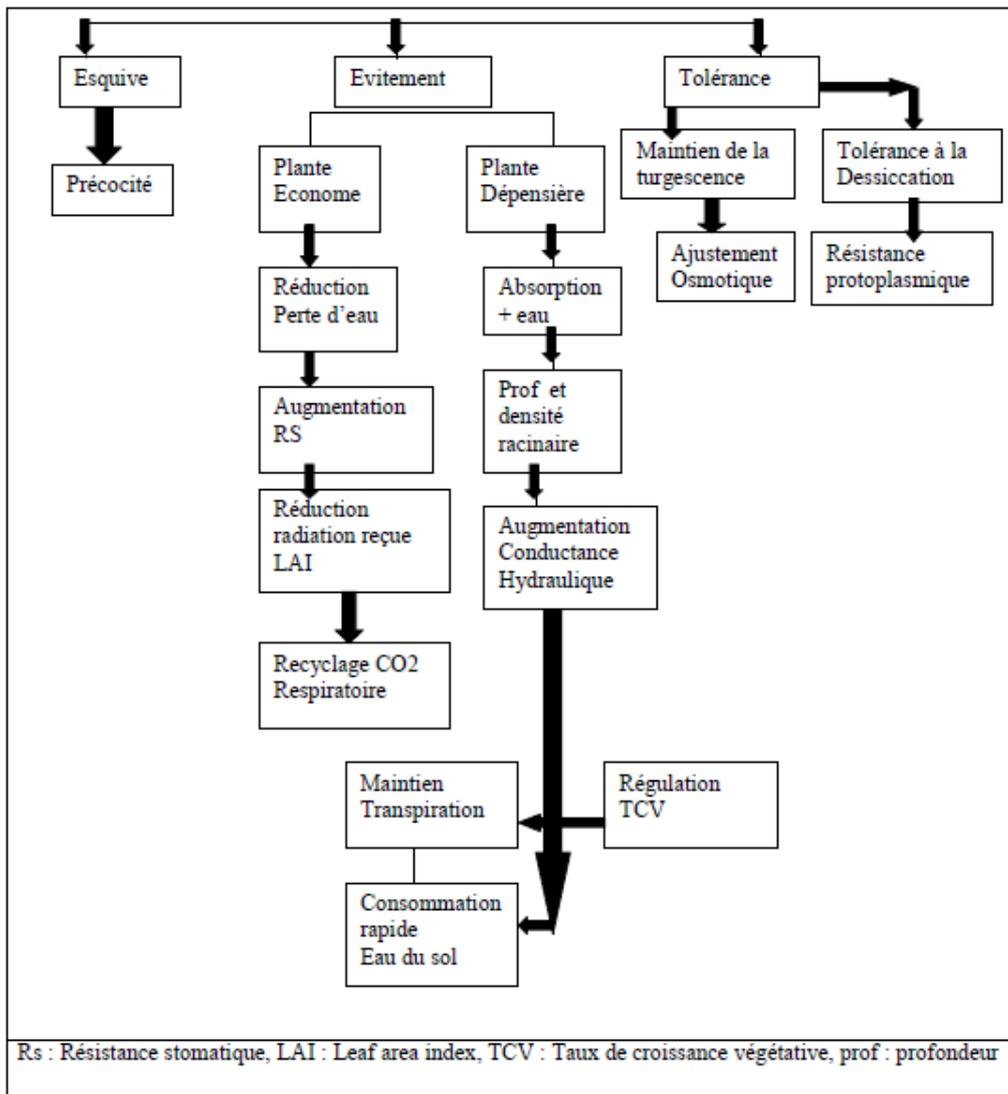


Figure 8: Mécanismes de résistance des plantes aux stress abiotiques (El Jaafari et Paul, 1993)

2.2 Stress hydrique

-Influence du stress hydrique sur le rendement de blé dur :

Selon Tribouï (1990), le rendement en grains chez le blé dépend fortement du nombre de grains par épi, du poids de grains par épi et du nombre d'épis par m². L'effet du déficit hydrique sur ces composantes de rendement et donc sur le rendement, dépend du stade de développement au cours duquel ce déficit survient (Debaeke et *al.*, 1996). Ainsi, à la montaison, un déficit hydrique se traduit par la régression intense des talles, la baisse du nombre de grains par épi et la chute du nombre d'épis (Debaeke et *al.*, 1996). À la fin de la montaison, 10 à 15 Jours avant l'épiaison, la sécheresse influence sur la fertilité de la plante en réduisant le nombre de fleurs fertiles par épillet (Debaeke et *al.*, 1996).

Chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.), la sécheresse est l'une des causes principales des pertes de rendement, qui varient de 10 à 80% selon les années, en région méditerranéenne (Nachit et *al.*, 1998).

Ainsi, la pénurie d'eau après la floraison, combinée à des températures élevées, entraîne une diminution du poids de 1000 grains par altération de la vitesse de remplissage des grains et de la durée de remplissage (Triboï, 1990). Au cours du remplissage des grains, le manque d'eau entraîne par conséquent, une réduction de la taille des grains (échaudage), et donc induisant une réduction du rendement (Gate *et al.*, 1993). Selon Passioura (2004), la résistance globale d'une plante vis-à-vis du déficit hydrique est la résultante de nombreuses modifications phénologiques (comme la précocité), morphologiques (réduction de la surface foliaire, enroulement du limbe, avoir un système racinaire extensif capable d'extraire l'eau du sol, régulation stomatique, ...), physiologiques (le maintien d'un potentiel hydrique élevé et d'un ajustement osmotique, ...) et biochimiques (accumulation des osmolytes comme la proline, les sucres solubles, ...). Ces mécanismes d'adaptation au stress hydrique interagissent pour permettre le maintien de la croissance, du développement et de la production (Passioura, 2004). Par ailleurs et pour bien assurer son développement, la plante doit faire appel aux mécanismes d'adaptation qui lui permettent de supporter le stress hydrique.

2.3 Stress thermique

-Influence du stress thermique sur le rendement de blé dur :

La température est essentielle pour la durée des phases de pré et post -anthèse. Selon Araus *et al.* (2003), en raison de la variation de la température selon les années et les environnements, le taux de développement des géotypes au cours des phases de pré- et post- anthèse sont différents. Dans les environnements méditerranéens, la limitation de rendement est provoquée par les hautes températures de fin de cycle. Des températures, au-dessus de 30°C, affectent le poids final de grain (Haddad, 2009). Les hautes températures affectent aussi le nombre de grains par épi et par unité de surface (Bahlouli *et al.*, 2005).

Les températures assez élevées, de l'ordre de 15-20°C pendant la période de tallage herbacé, peuvent avoir un effet favorable en permettant à la plante de produire un nombre de talles suffisants. En revanche pendant la phase de montaison, les hautes températures ont un effet défavorable sur la croissance des tiges. La tolérance au froid, c'est-à-dire la capacité à supporter des températures bien inférieures à 4°C, au stade épiaison est importante à considérer (Mekhlouf *et al.*, 2006).

2.4 Stress salin

Parmi les stress abiotiques les plus redoutables, on cite le stress salin qui est l'un des facteurs abiotiques les plus répandus dans les zones arides et semi arides ; ce qui limite fortement les rendements agricoles (Khales *et Baaziz*, 2006). Le terme de stress salin s'applique

essentiellement à un excès d'ions, mais pas exclusivement, aux ions Na^+ et Cl^- dans la rhizosphère et dans l'eau (Parida et Das, 2005). Le stress salin déclenche à la fois un stress osmotique et un stress ionique (Rains, 1972 ; Flowers et *al.*, 1986 ; Flowers et *al.*, 1988 ; Flowers, 2004), et s'accompagne souvent d'une baisse importante du potentiel hydrique (Kinet et *al.*, 1998).

a. Mécanismes d'adaptation des plantes au stress salin

La plante peut s'adapter au stress salin de différentes manières :

-L'exclusion : Les racines doivent exclure la plus grande partie du Na et du Cl dissous dans la solution du sol, sinon le sel dans les pousses s'accumulera progressivement avec le temps, jusqu'à atteindre des niveaux toxiques (Munns, 2005).

-L'inclusion : La plante absorbe le sel, qui vient aux feuilles, au même titre que l'eau, par le mouvement ascendant de la sève dans les vaisseaux. A l'intérieur des cellules, le sel est alors stocké dans les compartiments fermés au sein de la cellule ou vacuoles, grâce à des systèmes de pompe moléculaire. Ensuite, le sel est ainsi isolé des constituants cellulaires vitaux (Berthomieu et *al.*, 2003).

b. Action du stress salin sur les plantes

Dans le cas du stress salin, en plus de la toxicité des ions Na^+ et Cl^- (dissous dans l'eau d'irrigation ou présents dans la solution du sol) et de la perturbation de la nutrition minérale (suite aux interactions entre les ions), les plantes trouvent du mal à absorber l'eau du sol vu que sa pression osmotique est élevée. Et cela se traduit par un stress hydrique en plus du stress salin, compliquant et altérant ainsi de façon exponentielle l'état physiologique des plantes.

En rétablissant l'homéostasie ionique cellulaire, les cellules tendent par conséquent à ajuster leur propre potentiel hydrique que ce soit par la compartimentation vacuolaire des ions toxiques (Na^+ et Cl^-) absorbés et (ou) leur exclusion hors de la cellule (Borsani et *al.*, 2003; Blumwald et *al.*, 2004; Munns, 2005).

En revanche, en cas d'insuffisance, la plante synthétise et accumule des solutés organiques osmo-protecteurs, principalement des composés aminés et des sucres, pour faire face au stress salin (Cushman, 2001; Chen et Murata, 2002; Rontein et *al.*, 2002; Munns, 2005).

D'autre part, la production de formes actives d'oxygène par la plante est provoquée par un stress oxydatif lors de la présence de cette dernière dans un sol à forte concentration saline (Halliwell et Gutteridge, 1986).

Dans ce cas, la réduction des dommages pourrait se faire par la production d'antioxydants. Ces principales réactions cellulaires élaborées par la plante afin de faire face et de s'adapter au stress

salin sont inévitablement précédées par une cascade d'éléments de signalisation et de régulation qui peuvent emprunter différentes voies impliquant notamment celles du calcium, de l'acide abscissique (ABA), des « mitogen-activated protein kinases » (MAPKinases), des protéines « salt overly sensitive » (SOS) et de l'éthylène (Chinnusamy et Zhu, 2003 ; Chinnusamy et *al.*, 2005 ; Mahajan et *al.*, 2008).

Selon Munns (2005), cette tolérance à la salinité provient de gènes qui limitent le taux d'absorption de sel par le sol et le transport du sel dans la plante, ajustent l'équilibre ionique et osmotique des racines et des pousses et régulent le développement des feuilles et le début de la sénescence.

Ces gènes, qui sont capable d'augmenter la tolérance au sel, se divisent en trois groupes fonctionnels principaux : ceux qui contrôlent l'absorption et le transport du sel, ceux qui ont une fonction osmotique ou protectrice ; et finalement ceux qui pourraient faire pousser une plante plus rapidement dans un sol salin.

c. Action du stress salin sur le blé dur

La salinité du sol et de l'eau a été considérée comme un stress environnemental majeur affectant la performance de nombreuses plantes cultivées et limitant la production végétale dans les régions arides et semi-arides du monde.

Dans le cas des monocotylédones, la tolérance au sel est généralement associée à la capacité d'exclure le sodium (Na^+) des tissus photosynthétiques de la pousse (Yeo et *al.*, 1990, Tester et Davenport, 2003).

En outre, chez les céréales, l'effet dépressif du sel se manifeste à partir d'un seuil critique de concentration caractéristique de l'espèce ou de la variété (Cramer et *al.*, 1994 ; Bounaqba, 1998).

Selon Abdelly (1997), le stress salin a un effet nocif sur la germination qui peut être de nature soit osmotique soit toxique. La salinité agit également sur la germination en ralentissant sa vitesse, ce qui expose plus les semences aux risques (Slama, 2004). Il a été démontré aussi que la salinité est capable d'inhiber la germination par son effet osmotique (Karmous, 2007), qui se traduit par la difficulté que l'embryon trouve à absorber la quantité d'eau nécessaire pour déclencher les processus métaboliques (Slama, 2004).

Une étude de la tolérance du blé dur (*Triticum durum* L.) à la salinité, faite par Bouaouina et *al.* (2000) a montré que NaCl diminue la croissance des plantes entières, retarde l'émergence des nouvelles feuilles et limite l'accumulation de K^+ et Ca^{2+} dans ces organes. L'accumulation de Na^+ présente un gradient décroissant des feuilles âgées vers les jeunes feuilles. Et ainsi, les paramètres de fluorescence chlorophyllienne, déterminés sur des feuilles matures, suggèrent

que l'accumulation de Na^+ n'affecte pas l'intégrité fonctionnelle du photosystème II (Bouaouina et *al.*, 2000).

Chez plusieurs espèces de blé, la sensibilité au sel est associée à l'accumulation du sodium (Na^+) dans les tissus photosynthétiques, notamment dans la gaine et le limbe des feuilles. L'absorption de cet ion Na^+ dans les feuilles implique une série d'étapes de transport de ces ions et, jusqu'à présent, très peu de gènes candidats ont été impliqués dans le contrôle de ces processus de tolérance à la salinité (Bouaouina et *al.*, 2000).

Le stress salin réduit d'une façon significative les taux de photosynthèse et de transpiration, la conductance des stomates, le contenu relatif en eau, les niveaux de Chlorophylles a et b, et fait augmenter les niveaux de la proline (Chaves et *al.*, 2009).

Ainsi, chez le blé, le stress salin induit une baisse des niveaux de la RuBisCO, un déplacement des cations critiques à partir des structures endomembranaires, l'enflure et la désorganisation du grana conduit à une photosynthèse réduite (Peng et *al.*, 2009). En plus, les concentrations élevées des ions Na^+ peuvent directement affecter la conductance des stomates en réduisant la turgescence des cellules de garde et la pression intercellulaire partielle du CO_2 (Kamal et *al.*, 2012).

Katergi et *al.* (1994) et Houshmand et *al.* (2005) ont montré que toutes les composantes de rendement tel que le nombre de talles par plante, le nombre d'épis, le nombre d'épillets par épi et le poids du grain chez le blé dur subissent une réduction sous l'action de la salinité et que, plus la salinité est élevée plus le rendement est réduit.

Donc, vues les contraintes qui se posent sur la croissance et le développement du blé dur, une amélioration génétique, par exemple par des hybridations interspécifiques, est recommandée en utilisant des espèces apparentées ayant une abondance de gènes de résistance aux différents stress.

VI. Amélioration génétique du blé dur par les espèces sauvages du blé dur

Par rapport à des critères de qualités ou de rendement correspondants à ses besoins, depuis le début de l'agriculture, l'homme a cherché à améliorer les plantes. Selon Rossignol et *al.* (2000), l'amélioration des plantes est devenue un outil extrêmement puissant pour augmenter la productivité et la qualité des cultures et aussi pour augmenter la tolérance des plantes aux stress biotiques et abiotiques. Cette amélioration peut utiliser les techniques de la génétique, du génie génétique, de la biochimie, de la physiologie et de la biotechnologie comme par exemple le cas des croisements interspécifiques.

1. Les croisements interspécifiques

L'hybridation ou croisement interspécifiques consiste à croiser deux plantes de deux espèces différentes ayant des caractères différents et complémentaires, pour créer ainsi des hybrides ayant de nouvelles combinaisons qui seront des parents de sélection. Le but de ces croisements est de créer des hybrides interspécifiques et sélectionner, dans leurs descendances, des introgressions intéressantes pour le sélectionneur. La sélection, dans ce cas, vise la recherche de la ou les plantes qui renferment un maximum de traits ou caractères intéressants, provenant de chacun des deux parents (Simon et *al.*, 1989).

Ces hybridations ou croisements interspécifiques, sont pratiqués lorsque les caractères recherchés n'existent pas au sein de l'espèce cultivée, par exemple la rusticité. Dans ce cas, d'après Demarly et Sibi (1989), les plantes utilisées sont souvent issues d'espèces voisines, généralement sauvages.

2. Introduction d'information génétique nouvelle dans le blé par hybridation interspécifique et importance des espèces sauvages apparentées

Dans le cas du blé, cette introduction d'information génétique nouvelle se fait en faisant appel aux croisements entre l'espèce cultivée à améliorer et des espèces sauvages apparentées ayant une abondance de gènes de résistance aux stress biotiques et abiotiques.

Ces gènes ont la capacité de résoudre des problèmes d'échecs culturaux et permettent de diminuer le recours aux pesticides.

Coméau (2003) a déclaré que les gènes des espèces sauvages ont fait leurs preuves dans les régions soumises aux stress, il faut donc des efforts pour leur conservation et leur utilisation.

Selon Stoskopf (1993), le principal objectif de recourir à l'hybridation interspécifique est d'améliorer une espèce en transférant des caractères qualitatifs spécifiques comme la résistance à un champignon ou un insecte, le froid, la sécheresse et à la salinité. Ceci se fait lorsque, les caractéristiques désirées ne peuvent pas être trouvées dans l'espèce à améliorer. Il est également possible d'atteindre des niveaux d'expression meilleurs d'un caractère grâce par exemple à l'action de gènes complémentaires (Stoskopf, 1993). Le génotype hybride peut alors être meilleur que les parents pour des caractères quantitatifs comme le rendement, la maturité et la résistance au froid. L'hybridation interspécifique est aussi un moyen de produire de nouvelles espèces allopolyploïdes, ou bien des lignées de substitution, d'addition ou de translocation. Dans le cas d'études méiotiques, elle permet d'établir les relations entre les chromosomes des deux parents en observant les appariements. Enfin, le croisement interspécifique est considéré comme un outil pour augmenter la diversité génétique afin de se protéger contre les risques biologiques et environnementaux. Stoskopf (1993) a déclaré que les ressources génétiques

peuvent être réparties en trois groupes selon leur accessibilité, c'est-à-dire selon la difficulté du croisement et du transfert de gènes.

Chaque culture et ses espèces apparentées ont été classées par pool de gènes plutôt que par taxonomie formelle (Harlan et de Wet, 1971) :

- **Pool génétique primaire (PG-1)** : pool génétique primaire qui comprend tout le matériel appartenant à la même espèce comme le cas de blé dur avec les espèces ayant les génomes AB (sous-espèces: *T. turgidum*, *T. dicoccum*, *T. carthlicum*).

Les membres de ce pool génétique appartiennent probablement à la même espèce (utilisation biologique conventionnelle) et peuvent interagir librement.

Harlan et de Wet (1971) ont précisé que : Parmi les formes de ce pool de gènes, la traversée est facile ; les hybrides sont généralement fertiles avec un bon appariement des chromosomes ; la ségrégation des gènes est à peu près normale et le transfert de gènes est généralement facile. Ils ont également conseillé de subdiviser ce pool génétique en deux :

- sous-espèce A (PG 1A) : races cultivées,
- sous-espèce B (PG 1B) : sous-espèces spontanées (sauvages ou adventices) ;

- **Pool génétique secondaire (PG-2)** : les membres de ce pool sont normalement classés comme espèces différentes des espèces de cultures considérées (pool génétique primaire). Cependant, ces espèces sont étroitement liées et peuvent se croiser et produire au moins certains hybrides fertiles.

Ce pool génétique comprend des espèces sauvages de *Triticum* et *Aegilops* (principalement des polyploïdes) partageant un génome étroitement lié aux génomes ABD de blés cultivés, y compris les espèces diploïdes A sauvages et cultivées.

- **Pool génétique tertiaire (PG-3)** : les membres de ce pool génétique sont plus éloignés des membres du pool génétique primaire. Les croisements entre les espèces des pools de gènes primaires et tertiaires peuvent être interrompus par la mort des embryons, la stérilité, mais le transfert de gènes entre eux est possible par l'utilisation de «mesures plutôt extrêmes ou radicales» telles que :

- Le sauvetage d'embryons (ou culture d'embryons, forme de culture d'organes),
- La polyploïdie induite (doublement chromosomique),
- Les croisements (par exemple avec les membres du pool génétique secondaire).

Ce pool génétique comprend les espèces d'*Aegilops* et les espèces apparentées les plus éloignées chez d'autres genres *Triticeae* ayant un génome différent et pour lesquelles l'introgession génique nécessite des techniques radicales à travers des translocations.

Les opinions diffèrent légèrement quant à la composition (taxons inclus) des trois pools de gènes du blé, en particulier les pools de gènes secondaire et tertiaire (Mujeeb-Kazi et Rajaram, 2002).

3. Moyens de sélection variétale

Pour la sélection des génotypes tolérants aux contraintes biotiques et abiotiques, plusieurs moyens de sélection physiologiques et moléculaires ont été proposés comme indicateurs associés à la tolérance aux différents stress. Parmi ces moyens physiologiques figurent la dépression de la température de la feuille étendard, celle de l'épi, l'intégrité de la membrane cellulaire, la fluorescence chlorophyllienne et la réflectance spectroscopique (Balota et *al.*, 2007; Bilge et *al.*, 2008; Pask et *al.*, 2012).

Parmi les moyens de sélection variétale les plus utilisés, on cite la mesure de la fluorescence chlorophyllienne, celle de la température du couvert végétal et l'utilisation des marqueurs moléculaires.

3.1 La fluorescence chlorophyllienne

Le processus complexe de l'activité photosynthétique implique de nombreuses étapes photochimiques et biochimiques, aux cours desquelles l'énergie lumineuse absorbée par les pigments chlorophylliens, regroupés au sein des photosystèmes, est transformée en énergie chimique utilisable par la plante (Lawlor, 1987). Une partie de l'énergie captée par les chlorophylles est dissipée sous forme de chaleur et de fluorescence. La cinétique de la fluorescence est utilisée pour étudier les effets des stress abiotiques sur le rendement de la photosynthèse et principalement l'activité du photosystème PSII (Krause et Wers, 1984).

Pour mesurer la performance photosynthétique de la plante, la fluorescence chlorophyllienne est largement utilisée (Krause et Weis, 1991). Elle fournit une mesure quantitative de la performance sous stress, ainsi qu'elle peut servir à identifier des génotypes présentant d'autres caractéristiques d'évitement, de la déshydratation ou de résistance à la sécheresse (Maxwell et Johnson, 2000), plutôt qu'une amélioration de la performance photosynthétique en soi, pouvant servir de cible pour l'amélioration des plantes.

En utilisant un clip de feuille, une impulsion rapide de lumière de haute intensité est absorbée par la fluorescence induisant la feuille qui est ensuite mesurée par le capteur.

De nombreux paramètres sont enregistrés par le capteur et l'ensemble du processus est très rapide. La mesure la plus significative, en terme de détection de la tolérance au stress, est F_v/F_m (Maxwell et Johnson, 2000).

Le ratio F_v/F_m est défini comme « l'efficacité maximale à laquelle la lumière absorbée par les antennes de récupération de lumière du PSII est convertie en énergie chimique » (Baker and Rosenqvist, 2004). En d'autres termes, il s'agit d'une mesure de l'efficacité photochimique de l'appareil de récolte de la lumière dans le tissu foliaire.

Le site de transfert des électrons à l'intérieur du PSII est sensible aux stress environnementaux, particulièrement les stress qui sont dû à la chaleur et à l'humidité (Sayed, 2003).

3.2 La température du couvert végétal

Récemment, les mesures de la température du couvert végétal sont largement utilisées pour étudier la réponse génotypique à la sécheresse.

La température de la canopée est reconnue depuis longtemps comme un indicateur du stress des plantes. Son utilisation pour quantifier la sécheresse ou le stress salin chez les plantes est basée sur le fait que la température des plantes augmente à mesure que l'eau devient limitante, la transpiration diminuant (Jackson et *al.*, 1988). Il existe deux méthodes principales pour mesurer la température des plantes. La thermométrie, que nous désignons ici par thermométrie infrarouge (IR), est utilisée avec succès dans de tels contextes depuis des décennies. L'imagerie thermique est devenue de plus en plus répandue et étudiée de manière plus approfondie au cours de la dernière décennie, en partie à cause de l'amélioration de la technologie et de la diminution des coûts. La thermométrie et l'imagerie thermique en particulier se sont révélées particulièrement utiles pour le dépistage du stress hydrique des cultures et de leur utilisation (Babar et *al.*, 2006), du stress salin (Sirault et *al.*, 2009) et ainsi pour le phénotypage des plantes (Romano et *al.*, 2011).

3.3 Moyens de sélection moléculaires

La biotechnologie végétale moderne utilise les marqueurs moléculaires de types RFLP, PCR, microsatellites ou SSR, AFLP, ISSR (Inter-Simple Sequence Repeat), qui permettent l'accélération du processus de sélection, d'identification en quelques jours et avec une bonne précision les plantes réellement intéressantes (Zouaoui, 2016).

Chapitre II : Matériel et Méthodes

Partie 1 : Evaluation de la performance des lignées dérivatives du blé dur

1. Matériel végétal

Les génotypes évalués dans cette étude sont en nombre de 67 dont : 20 sont issus du rétrocroisement *Cham5*^{*3}/*Triticum boeoticum*, 13 sont issus du croisement entre la variété Cham5 du troisième rétrocroisement et l'espèce sauvage *Triticum dicoccoides*, 7 sont issus du rétrocroisement *Cham5*^{*4}/*Aegilops Speltoides*, 6 sont issus du rétrocroisement *Cham5*^{*2}/*Triticum dicoccoides*, 6 sont issus du rétrocroisement *Cham5*^{*3}/*Triticum urartu*, 6 sont issus du croisement *Haurani*^{*2}/*T. urartu*, 3 sont issus du rétrocroisement *Cham5*^{*2}/*T. boeoticum*, 3 sont issus du rétrocroisement *Cham5*^{*2}/*Triticum urartu*; 2 sont issus du croisement *Haurani*^{*2}/*Triticum boeoticum* et 1 est issu du rétrocroisement *Haurani*^{*3}/*Triticum dicoccoides* (tableau 3). Dix variétés témoins sont incluses dans l'essai : les parents récurrents (Cham5 et Haurani), les variétés marocaines (Faraj, Marzak et Louiza) et les lignées prometteuses (Icarachaz, MIKI3, 129080, 129081 et 135226).

Tableau 3: Les lignées issues des rétrocroisements interspécifiques évaluées au champ à la station Marchouch

Génotypes	Nombre de lignées
<i>Cham5</i> ^{*2} / <i>T. boeoticum</i>	3
<i>Cham5</i> ^{*2} / <i>T. dicoccoides</i>	6
<i>Cham5</i> ^{*2} / <i>T. urartu</i>	3
<i>Cham5</i> ^{*3} / <i>T. boeoticum</i>	20
<i>Cham5</i> ^{*3} / <i>T. dicoccoides</i>	13
<i>Cham5</i> ^{*3} / <i>T. urartu</i>	6
<i>Cham5</i> ^{*4} / <i>Ae. speltoides</i>	7
<i>Haurani</i> ^{*2} / <i>T. boeoticum</i>	2
<i>Haurani</i> ^{*2} / <i>T. urartu</i>	6
<i>Haurani</i> ^{*3} / <i>T. dicoccoides</i>	1
Total	67

Les caractéristiques des parents récurrents sont :

- Cham5 : Variété prometteuse améliorée de ICARDA.
- Haurani : Variété locale, d'origine syrienne, répandue dans l'ensemble du Moyen-Orient, adaptée parfaitement aux régions semi-arides de la Syrie.

2. Dispositif expérimental et conduite de l'essai

L'essai de blé dur est réalisé dans le domaine expérimental de la station Marchouch qui est d'une latitude de 33.5 et une longitude de -6.7166. Cette station est située 63 Km à l'Est de Rabat, précisément sur la route secondaire 106 à 10 Km de Rommani au Maroc.

Cet essai est conduit suivant le design Alpha-lattice avec deux répétitions. Chaque répétition renferme 77 accessions (ou géotypes) et le nombre total de parcelles est de 154 accessions. Dans chaque répétition (77 accessions), il y'a des lignées prometteuses du centre international de recherche agricole dans les régions arides ICARDA, en nombre de 5 (Icarachaz et MIKI3, 129080, 129081 et 135226), les parents récurrents (Cham5 et Haurani) et les variétés marocaines (Faraj, Marzak et Louiza), servant de témoins.

Chaque répétition est constituée de 11 blocs, ces derniers sont constitués de 7 parcelles élémentaires de 4 lignes de 2 m de long chacune avec des interlignes de 0,25 m.

Le précédent cultural est une légumineuse « Pois chiche », utilisée pour l'homogénéisation de la parcelle d'expérimentation.

La fertilisation est assurée par un apport en engrais. Elle consistait en un apport des éléments N (azote), P (phosphore) et K (potassium) avec des doses respectives de 14, 28 et 14 plus 10, 20 et 20 unités en engrais de fond. Alors qu'au tallage, 33 unités d'azote ont été appliquées pour assurer une bonne nutrition azotée et donc une bonne croissance.

Le semis de blé dur a été réalisé le 27 Novembre 2017, avec une dose de 300 grains/m² dans des parcelles unitaires de 4 lignes d'une longueur de 2 m avec des interlignes de 0,25 m, soit une superficie de 2 m².

En ce qui concerne la protection phytosanitaire, aucun traitement avec les pesticides n'a été appliqué, afin de pouvoir évaluer les lignées pour la résistance aux maladies.

3. Les mesures effectuées

3.1 Paramètres physiologiques

a. Mesure de la fluorescence chlorophyllienne

Cette mesure fait appel au photosystème II, vu qu'il est le seul à afficher une fluorescence variable. Par contre, la fluorescence du photosystème I est à un niveau significativement plus bas et ne varie pas avec l'assimilation du carbone, les mécanismes de photo-protection ou les niveaux de stress des plantes. C'est pour cette raison que, l'étude de la fluorescence chlorophyllienne du PSII est beaucoup plus intéressante que celle du PSI (OS-30p MANUAL) et elle a été réalisée dans cette expérimentation en utilisant un fluoromètre de type « OS-30p+ Chlorophyll Fluorometer » (figure 9).



Figure 9: L'appareil de mesure OS-30p+ de la fluorescence chlorophyllienne utilisé

Au stade début épiaison et pour chacune des parcelles élémentaires, la mesure a commencé par la calibration de l'intensité de la lumière de modulation; dans un clip d'adaptation à l'obscurité, une feuille a été placée avec le curseur fermé, et laissée s'adapter pendant plusieurs minutes. La mesure est répétée trois fois pour chaque parcelle en évitant les bordures des parcelles. Puis, la sonde d'instrument a été placée dans l'ouverture de l'agrafe foncée en faisant glisser la lame noire. Cela exposait la feuille à la source de lumière modulée faible. Cela nous permet de mesurer les paramètres illustrés par la figure 9.

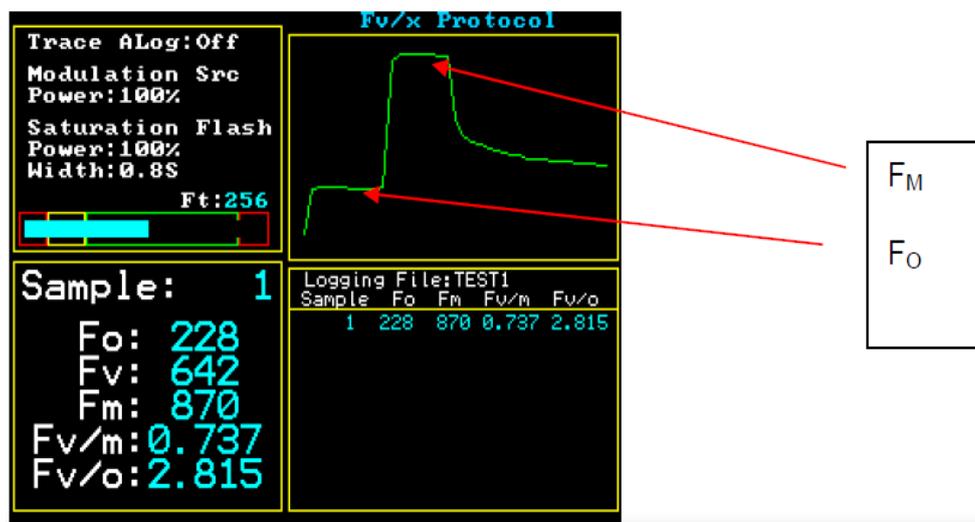


Figure 10: Test d'adaptation du fluoromètre à l'obscurité

FO : Fluorescence minimale (unités arbitraires). La fluorescence des antennes pré-photosynthétiques mesurée avec une source de lumière modulée rouge faible pour l'excitation. L'intensité de la fluorescence résultante est suffisamment élevée pour la détection, mais l'intensité de la lumière d'excitation n'est pas suffisamment élevée pour entraîner la photosynthèse. Fo peut varier dans une certaine mesure avec différents temps d'adaptation à l'obscurité et l'histoire de la lumière.

Il est courant que l'obscurité s'adapte pendant 20 à 30 minutes, cependant, certains chercheurs n'utilisent que l'adaptation nocturne de nuit. Si l'obscurité est correctement adaptée, tous les centres de réaction de PSII disponibles sont complètement oxydés, le cycle de xanthophylle et les transitions d'état se sont relâchés jusqu'à leur état inactif.

FM : Fluorescence maximale (unités arbitraires). Intensité de fluorescence sous exposition à une saturation à haute intensité lumineuse. Tous les centres de réaction PSII disponibles ont été réduits et sont fermés. L'intensité de la lumière saturante doit être suffisamment élevée et suffisamment longue pour saturer complètement tous les centres de réaction PSII disponibles.

FV : Fluorescence variable. C'est la différence entre la fluorescence maximale FM et la Fluorescence minimale FO.

Paramètres calculés (figure 10) :

Au fil des ans, FV / FM s'est avéré être un test robuste et fiable des types de stress des plantes qui affectent PSII (Baker 2004).

FV / FM : Le rapport de la fluorescence variable à la fluorescence maximale. Il est calculé comme $FV / FM = (FM - FO) / FM$. La fluorescence variable (FV) est une fluorescence variable du PSII. FV / FM est un paramètre normalisé qui est mesuré le plus précisément par un fluoromètre modulé. Développé par Kitajima et Butler (1975) et d'autres, il a résisté à l'épreuve du temps pour mesurer l'efficacité quantique maximale du PSII chez les plantes. Il a montré la capacité à mesurer les contraintes des plantes qui affectent PSII. De plus, il présente l'avantage de mesurer les plantes dans un état adapté et reproductible à l'obscurité, et que la mesure a été conçue pour corrélérer avec l'assimilation du carbone (Baker 2004).

FV / FO : C'est un paramètre de détection de contrainte plus sensible que FV / FM car il est normalisé sur FO ou fluorescence minimum. $FV / FO = (FM - FO) / FO$. FV / FO - Bien qu'il ne soit pas directement corrélé avec l'assimilation du carbone, c'est un détecteur de stress très

sensible qui est plus sensible que le FV / FM. Il permet également la comparaison d'échantillons dans le même état adapté à l'obscurité connue.

b. Mesure de la température du couvert végétal

Récemment, la température du couvert végétal ou « Canopy temperature » est utilisée pour étudier la réponse génotypique à la sécheresse et au stress thermique.

Au stade début épiaison, et pendant la période la plus ensoleillée du jour, chacune des 154 parcelles a été prise en photo thermique par l'appareil thermique. L'analyse des photos thermiques (figure 11) a été réalisée par le logiciel « Flir Tools » pour obtenir la température moyenne du couvert végétal au niveau de chaque parcelle. Ce logiciel permet de détecter la température de chaque point dans la parcelle et finalement la moyenne des températures des points choisis a été calculée puis analysée statistiquement. **NB:** Seules les températures des feuilles qui ont été prises.

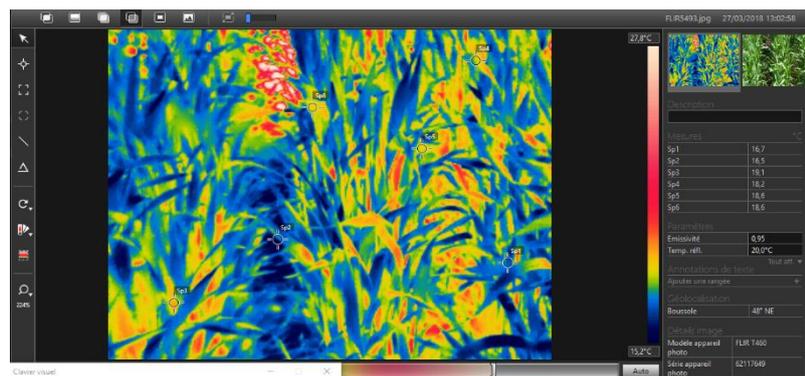


Figure 11: Le logiciel « Flir tools » utilisé pour le traitement des photos thermiques

3.2 Traits agronomiques

a. Nombre de jours à l'épiaison

Ce nombre est calculé selon la formule suivante :

Nombre de jours à l'épiaison = Date d'apparition des épis – Date des premières pluies ou première irrigation.

L'épiaison est considérée lorsque 50% des plantes de la parcelle élémentaire sont à l'épiaison.

b. Nombre de jours jusqu'à maturité

Ce nombre est calculé selon la formule suivante :

Nombre de jours jusqu'à maturité = Date de maturation des grains – Date des premières pluies ou première irrigation.

La maturité est prise en considération lorsque 50% des plantes de la parcelle élémentaire sont jaunes et mures.

c. Durée de remplissage des grains

Ce nombre est calculé selon la formule suivante :

Nombre de jours de remplissage des grains = Nombre de jours jusqu'à maturité - Nombre de jours à l'épiaison.

d. Hauteur des plantes

Elle a été déduite en prenant la moyenne des hauteurs de trois plantes dans chaque parcelle (figure 12).



Figure 12: Prise de la hauteur des plantes

e. Nombre d'épis par m²

Ce nombre a été calculé au niveau de chaque parcelle en utilisant un carré de 0,25 m².

f. Nombre de grains par épi

D'après Nachit (1986), la composante de rendement la plus importante est le nombre de grains par épi, car elle joue un rôle fondamental dans la variabilité du rendement. Ce paramètre dépend essentiellement de la fertilité des épillets et peut s'accrocher à d'autres composantes du rendement (Hamada, 2000).

Ce nombre dépend du nombre d'épillets par épi et du nombre de grains par épillet. Et il diminue au fur et à mesure que la densité en épis augmente. Dans une telle hypothèse, une augmentation se traduit par une diminution correspondante du poids de mille grains et une sensibilité à l'échaudage (Grignac, 1981).

Pour les 154 parcelles, la moyenne de trois épis a donné le nombre de grains moyen par épi (figure 13).

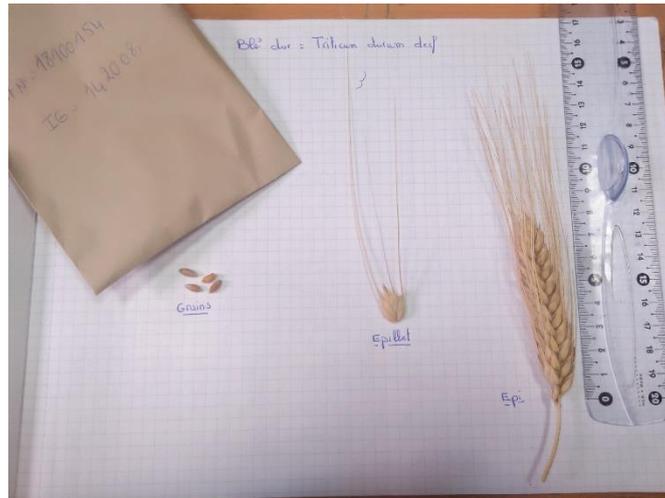


Figure 13: Comptage du nombre de grains par épi, nombre d'épillets par épi et la longueur de l'épi

g. Poids de mille grains

Ce paramètre sert dans la sélection des variétés pour caractériser la grosseur et la densité des grains. Il constitue un critère variétal très important.

Grignac (1981) a déclaré que ce poids dépend strictement des conditions climatiques et de la nutrition azotée durant la maturation.

A la récolte, ce paramètre a été pris tout en utilisant un compteur de graines de type « DATA Cout S26 » pour un nombre de 500 grains. La multiplication de ce nombre par deux a permis l'obtention du poids de mille grains.

h. Rendement en grains

Le rendement biologique appelé encore biomasse et le rendement en grains sont calculés sur la base des deux lignes centrales de la parcelle en considérant le poids total de la gerbe récoltée et du poids des grains après battage.

+L'indice de récolte exprimé en pourcentage donne une idée sur le succès de la reproduction et dépend de la variabilité du climat et des sols. Cet indice est calculé selon la formule suivante:

$$\text{Indice de récolte} = (\text{Rendement en grains} / \text{Rendement biologique}) * 100$$

4. Analyse statistique

Les données de l'essai de blé dur que comporte ce chapitre ont fait l'objet d'une analyse de variance ANOVA à trois facteurs (génotypes, block et répétition) des paramètres de cette étude entre les génotypes étudiés par le logiciel R studio. Le risque fixé était de 5% (0,05).

Partie 2 : Evaluation de la tolérance des génotypes dérivatifs du blé dur au stress salin

1. Matériel végétal

Les grains de blé dur ont été fournis par la banque de gènes de l'ICARDA (International Center for Agricultural Research in the Dry Areas).

Les accessions utilisées sont en nombre de 70. Elles sont issues des rétrocroisements, *Haurani*, *Cham5*, *Haurani*2/Triticum urartu*, *Cham5*3/Triticum dicoccoides*, *Cham5*3/Triticum urartu*, *Cham5*3/Triticum dicoccoides*, *Cham5*3/Triticum boeoticum*, *Cham5*2/Triticum urartu*, *Cham5*4/Aegilops speltoides*, *Haurani*2/T. boeoticum*, *Haurani*3/Triticum dicoccoides*.

En plus des lignées dérivatives, les lignées issues de nouveaux croisements avec l'espèce sauvage *Aegilops bicornis* ; *Segndroue/ Aegilops bicornis (IG 47037)//Segndroue/3/ouassara*, *Segndroue/ Aegilops bicornis (IG 47037)//Faraj/3/Ouassara*, *Segndroue/ Aegilops bicornis (IG 47037)// Marzak/3/ Bezaghras*, *Segndroue/ Aegilops bicornis (IG 47037)// Marzak/3/karim*, *Segndroue/ Aegilops bicornis (IG 47058)// Ouassara/3/ Ouassara*, *Segndroue/ Ae. bicornis (IG 47037)// Bezaghras /3/Khiar*, *Bezaghras/ Ae. bicornis (IG 47037)// Bezaghras/3/Marzak*, *Marzak/ Aegilops bicornis (IG 47572)// Segndroue /3/Ouassara*, *ICAMOR/ Ae. bicornis (IG 47404)// Segndroue/3/Ouassara*, ainsi que les variétés *Bezaghras*, *ICAMOR*, *karim*, *Khiar* et *Marzak*, ont été testées.

2. Préparation des solutions nutritives de Hoagland

Au cours de l'expérimentation, la solution nutritive utilisée en milieu hydroponique a été préparée à partir de la solution de Hoagland (1938) et changée une fois par 15 jours, pour éviter l'épuisement en éléments nutritifs du milieu par les plantes. Elle est constituée de l'ensemble des éléments qui figurent dans le tableau 4.

Tableau 4: Solution nutritive modifiée de Hoagland (pour culture hydroponique / gravie)

Solution Mère	Composé	Concentration finale désirée	Masse molaire	Le poids par litre de la solution mère (g)	Concentration de la solution mère (mM)	Usage (ml / L)
A	KNO ₃	6.5 mM	101,11	82,15	812	8
	Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	4.0 mM	236,16	118,08	500	8
B	NH ₄ H ₂ PO ₄	100 µM	115,03	1,44	13	8
	MgSO ₄ .7H ₂ O	2.0 mM	246,47	61,62	250	8
C	H ₃ BO ₃	4.6 µM	61,83	0,284	4,6	1
	MnCl ₂ .4H ₂ O	0.5 µM	197,9	0,099	0,5	1

	ZnSO ₄ .7H ₂ O	0.2 μM	287,54	0,055	0,2	1
	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ .4H ₂ O	0.1 μM	1235,95	0,124	0,1	1
	CuSO ₄ .5H ₂ O	0.2 μM	249,7	0,05	0,2	1
D	FeCl ₃	45 μM	162,2	24 (ml)	45	1
Composants : (dans 1L)						
	NaOH					5
	EDTA-Na					32,2
	FeCl ₃	162,2		45 μM		24 (ml)

3. Dispositif et milieu de culture

Après rinçage à l'eau de robinet, puis désinfection dans une solution d'hypochlorite de sodium (5 %) pendant 2 min et rinçage à l'eau distillée stérile (figure 14), les graines ont été ensuite mises à germer dans des boîtes de Pétri, entre deux couches de papier filtre, celui-ci a été imbibé avec 5 ml d'eau distillée stérile.



Figure 14: Stérilisation des graines de blé dur

Par la suite, la germination a été effectuée dans une chambre de germination (figure 15) à 20+1 °C et à 84 % d'humidité relative (HR).



Figure 15: Germination des graines de blé dur effectuée dans une chambre de germination à 20 ± 1 °C et à 84 % d'humidité relative (HR)

La germination (figure 16) est repérée par la sortie du coléorhize et du coléoptile hors des téguments de la graine. Le processus de la germination des graines a pris fin après apparition du coléorhize et du coléoptile.

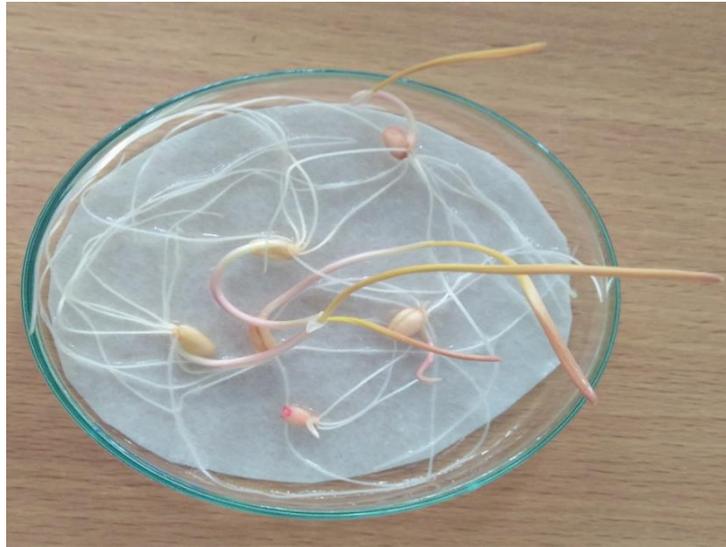


Figure 16: Graines de blé dur après germination

Suite à l'émergence de la racicule, les plantules ont été transmises en culture hydroponique. Dans la chambre de croissance, le dispositif expérimental utilisé est un split plot avec trois répétitions. Le traitement principal est le stress salin à deux niveaux ; 0 mM et 150 mM. Le repiquage des jeunes plantules (figure 16) a été réalisé sur des plaques perforées, adaptées aux bacs en plastique contenant 8,5 L de la solution nutritive de Hoagland. Après deux jours d'acclimatation sur ce milieu, les lots de plantules ont été amenés progressivement à la concentration désirée en sel (150 mM de NaCl); une concentration de 50 mM de la concentration désirée (150 mM) a été ajoutée chaque deux jours aux différents lots de plantules à l'exception des témoins (0 mM de NaCl) jusqu'à atteindre 150 mM, afin de minimiser l'effet du choc osmotique. Les cultures ont été menées dans une chambre de croissance climatisée 20 °C sous un plafond lumineux, une photopériode de 19/5h (jour/nuit), une température maximale diurne de 24 °C et une température minimale nocturne de 18 °C. Après 26 jours de culture (figure 19), les plants ont été séparés en parties aériennes et racines après la mesure de leur longueur. Le poids sec des deux parties est déterminé après un séchage de 120 h à l'étuve à 40°C.



Figure 17: L'état des plantules de blé dur aux premiers jours après le repiquage dans la solution nutritive



Figure 18: L'état des plantules après traitement par NaCl dans la chambre de croissance quelques jours après repiquage dans la solution nutritive

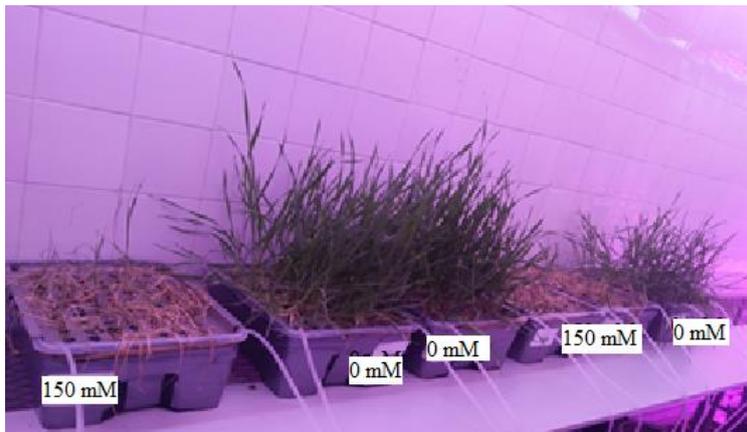


Figure 19: L'état des jeunes plantes témoins (0 mM) et stressées (150 mM) après 26 jours de culture dans la chambre de croissance

4. Analyse statistique

L'analyse de la variance ANOVA à quatre facteurs (Concentration NaCl, génotype, block et Concentration NaCl-Génotype) des données entre les génotypes de cette étude a été faite par le logiciel R studio. Le risque qui a été fixé est de 5% (0,05).

Chapitre III : Résultats et discussion

Partie1 : Performance agronomique des lignées dérivatives sous les conditions pluviales de Marchouch

1. Données climatiques

Le développement du peuplement végétal est très lié aux conditions climatiques. En effet, l'émission de feuilles et l'apparition de différents stades sont déterminées en grande partie par la pluviométrie et les températures journalières depuis le semis jusqu'à la fin du cycle de la plante.

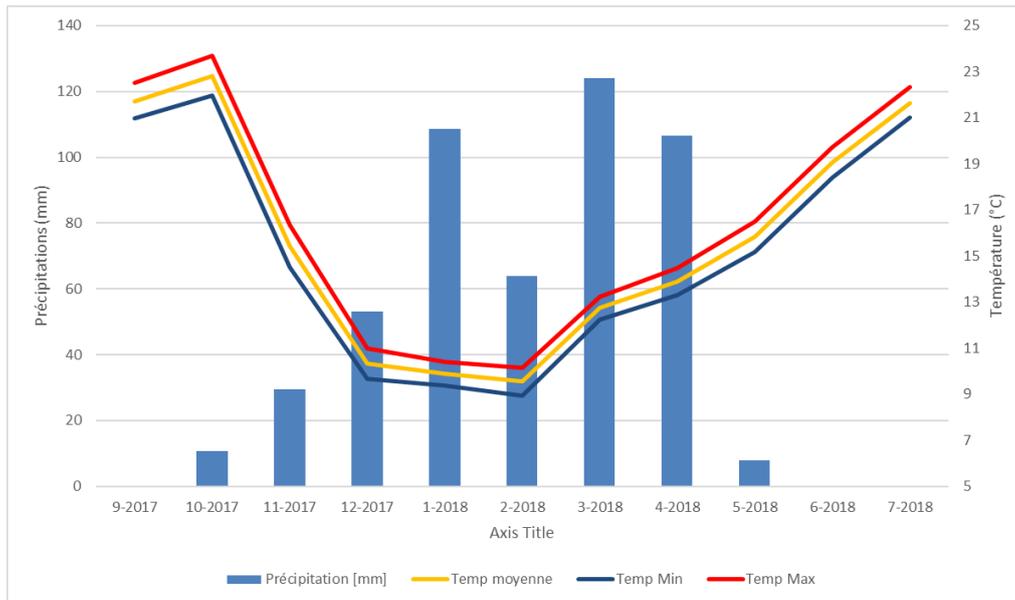


Figure 20: Evolution des températures moyennes, minimales et maximales (°C) et des précipitations (mm) du site expérimental « Marchouch » durant la campagne 2017/2018

D'après la figure 20, le total des précipitations des 7 mois (de Décembre à Juillet) de la campagne 2017/2018 est de 493,8mm. Les précipitations les plus considérables ont été enregistrées en mois de Janvier, Février, Mars et Avril 2018 avec des valeurs de 108,6 ; 63,8 ; 124 et 106,6 mm respectivement.

La gamme des températures moyennes de la campagne 2017/2018 varie de 9,54 °C, pour le mois de Février qui correspond au mois le plus froid, à 21,65 °C en Juillet correspondant au mois le plus chaud pour la période considérée (figure 20).

La figure 20 montre une période humide coïncidant avec les stades germination-levée, tallage, montaison-gonflement et épiaison-floraison et s'étale du mois de Décembre jusqu'au mois de Mai. Tandis que, la période de sécheresse regroupe les mois qui restent Juin et Juillet ayant des précipitations de 0,2 mm pour les deux mois et des températures moyennes élevées de 18,42 °C et 21,01 °C respectivement. Les faibles précipitations et les températures élevées des deux mois de Juin et de Juillet coïncident avec les stades de remplissage et de maturation des grains.

2. Paramètres physiologiques

Selon l'analyse de la variance, effectuée sur l'ensemble des génotypes (Annexe 2), il est à remarquer qu'il existe un effet génotype significatif pour les paramètres de la fluorescence chlorophyllienne (F0, FV, FM, FV/FM et FV/F0) avec des coefficients de variation de 2,66 %; 10,48 %; 8,77 %; 2,47 % et 2,47% respectivement. Des différences non significatives sont observées entre les génotypes pour la température du couvert végétal avec un coefficient de variation de 2,66 %.

a. La fluorescence chlorophyllienne

-La valeur moyenne du **paramètre F0** est de 180,09 (Annexe 2). Le génotype (142041) issu du croisement *Cham5*4/Ae. speltoides* (ICAG 401293) présente la valeur la plus basse de F0 qui est de 150,13 suivi des deux génotypes 142062 issu du croisement *Haurani*3/T. dicoccoides* (ICWT 601116) et 142008 issu du croisement *Cham5*3/T. dicoccoides* (ICWT 601116) avec des valeurs de 157,68 et 159,53 respectivement (Annexe 1). Tandis que, les valeurs de F0 les plus élevées sont enregistrées par les deux génotypes 129081 et celui issu du croisement *Cham5*3/T. dicoccoides* (ICWT 601117) (142000) avec des valeurs de 197,60 et 198,19 respectivement (Annexe 1). Une augmentation de ce paramètre est expliquée, selon Krause (1988), par le disfonctionnement des centres réactionnels du photosystème II (PSII) et des difficultés de transfert de l'énergie d'excitation des antennes vers les centres réactionnels. La résultante est un blocage du transfert de l'énergie d'excitation (Bukhov *et al.*, 1990). Ce blocage conduit à un excès d'énergie d'excitation qui est soit dissipé sous forme de chaleur ou bien redistribué au photosystème I (Schreiber *et al.*, 1986).

-**Pour le paramètre FV**, la valeur moyenne est 625,008 (Annexe 2). La valeur de FV la plus élevée, qui est 754,52, est donnée par le génotype 142031 issu du croisement *Cham5*3/T. boeoticum* (ICWT 500647). Alors que, la plus faible valeur FV 432,88 est enregistrée par le génotype du croisement *Cham5*3/T. dicoccoides* (ICWT 601116) (142067) (Annexe 1). La différence entre FM et F0 est définie comme la fluorescence variable FV.

-**Le paramètre FM** présente une valeur moyenne de 805,02 (Annexe 2). L'hybride 142056, issu du croisement *Haurani*2/T. urartu* (ICWT 500516), présente la valeur FM la plus basse qui est de 106 (Annexe 1). Tandis que, la valeur la plus élevée est observée chez les deux hybrides 141970 issu du croisement *Cham5*2/T. dicoccoides* (ICWT 601116) et 141984 issu du croisement *Cham5*3/T. dicoccoides* (ICWT 601116) avec des valeurs de 138 et 140 respectivement (Annexe 1).

La baisse du paramètre Fm peut être associée à des processus liés à une diminution de l'activité du complexe enzymatique qui sépare l'eau et peut-être à un transport d'électrons cyclique concomitant dans ou autour de PSII (Aro *et al.*, 1993). Ainsi, Gilmore et Björkman (1995) ont constaté qu'une augmentation de la dissipation d'énergie non radiative serait susceptible de s'accompagner d'une atténuation du paramètre Fm.

-La valeur moyenne du **rapport FV/FM** est de 0,77 (Annexe 2). Le génotype 142067, issu du croisement *Cham5*3/T. dicoccoides* (ICWT 601116), présente la valeur la plus basse qui est de 0,68 comparativement aux autres génotypes. Ce rapport FV/FM est positivement lié au rendement quantique de la photosynthèse nette des feuilles non photo inhibées. Et d'après Long *et al.* (1994), la photo inhibition, causée par un excès de flux de photons, est la cause principale du rapport Fv/Fm sous conditions naturelles. La réduction du rapport Fv/Fm est indicatrice de la photo inhibition chez les plantes stressés (Araus et Logan, 1994).

La réduction de Fv/Fm peut être due à une augmentation du Fo, indiquant l'ouverture de tous les accepteurs d'électrons et à un quenching photochimique minimal qui est une caractéristique de la réduction partielle ou totale des centres de réactions du PSII ou du non transfert de l'énergie d'excitations des antennes vers les centres de réactions.

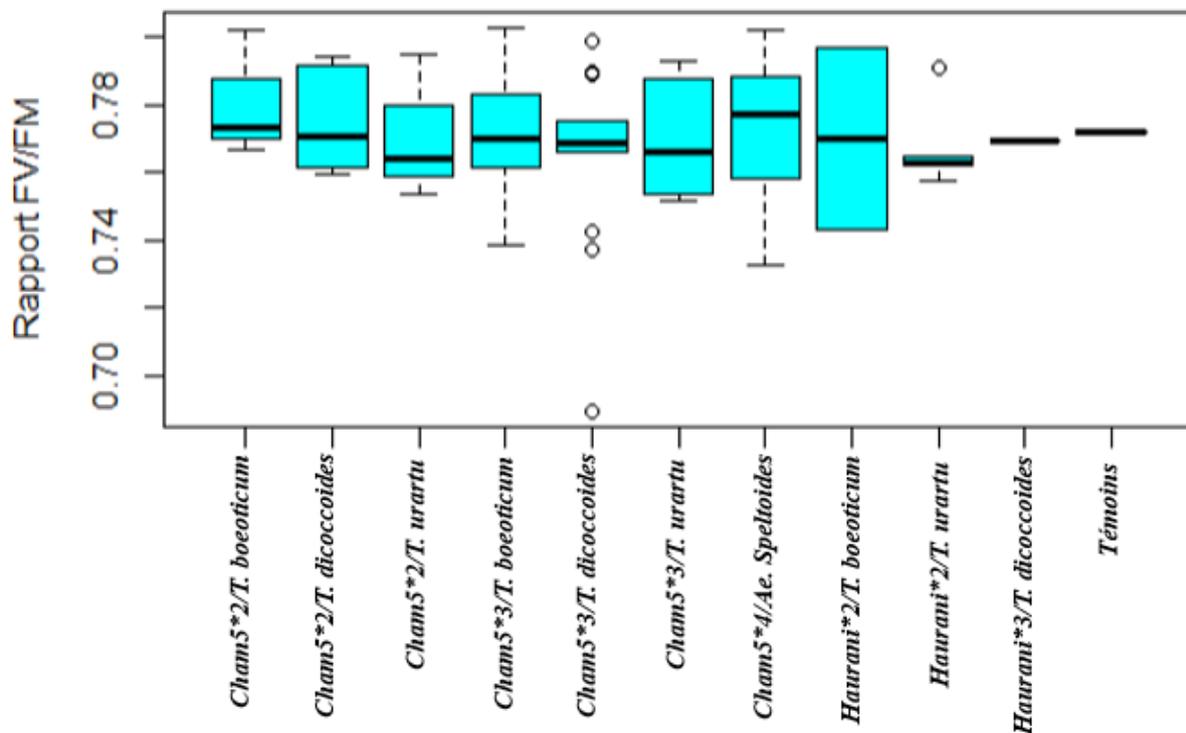


Figure 21: Variation du rapport FV/FM de la fluorescence chlorophyllienne en fonction des génotypes étudiés à la station Marchouch durant la campagne 2017-2018

Alors que, les valeurs les plus élevées du rapport FV/FM, donnés par les trois génotypes 142042 (*Cham5*2/T. boeoticum* ICWT 500647); 142055 (*Cham5*4/Ae. speltoides* ICAG 401294) et 142031 (*Cham5*3/T. boeoticum* ICWT 500647), sont de 0,801; 0,802 et 0,802, respectivement (Annexe 1). Ces résultats peuvent être expliqués par ce qui est déclaré par Shreiber et Bilger (1993); le rapport Fv/Fm prend en général des valeurs variant de 0,75 à 0,85 pour les plantes dont la photosynthèse fonctionne bien (dans des conditions normales). Des valeurs inférieures à celles-ci seront observées lorsque la plante aura été exposée à des contraintes indiquant notamment le phénomène de photo-inhibition (Björkman et *al.*, 1993).

-Le ratio FV/F0 a une valeur moyenne de 0,77 (Annexe 2). Les deux génotypes 142031 et 142042 issus des croisements *Cham5*3/T. boeoticum* (ICWT 500647) et *Cham5*2/T. boeoticum* (ICWT 500647), présentent des valeurs élevées du ratio FV/F0 qui sont de 4,04 et 4,09, respectivement (Annexe 1). Alors que, les deux hybrides 142067 et 142018 issus des croisements *Cham5*3/T. dicoccoides* (ICWT 601116) et *Cham5*4/Ae. speltoides* (ICAG 401293) ont enregistré des valeurs faibles de 2,47 et 2,81 (Annexe 1), respectivement pour le ratio FV/F0.

D'après Krause et Weis (1991), FV / F0 est une expression alternative qui est utilisée parfois et essentiellement identique à FV / FM.

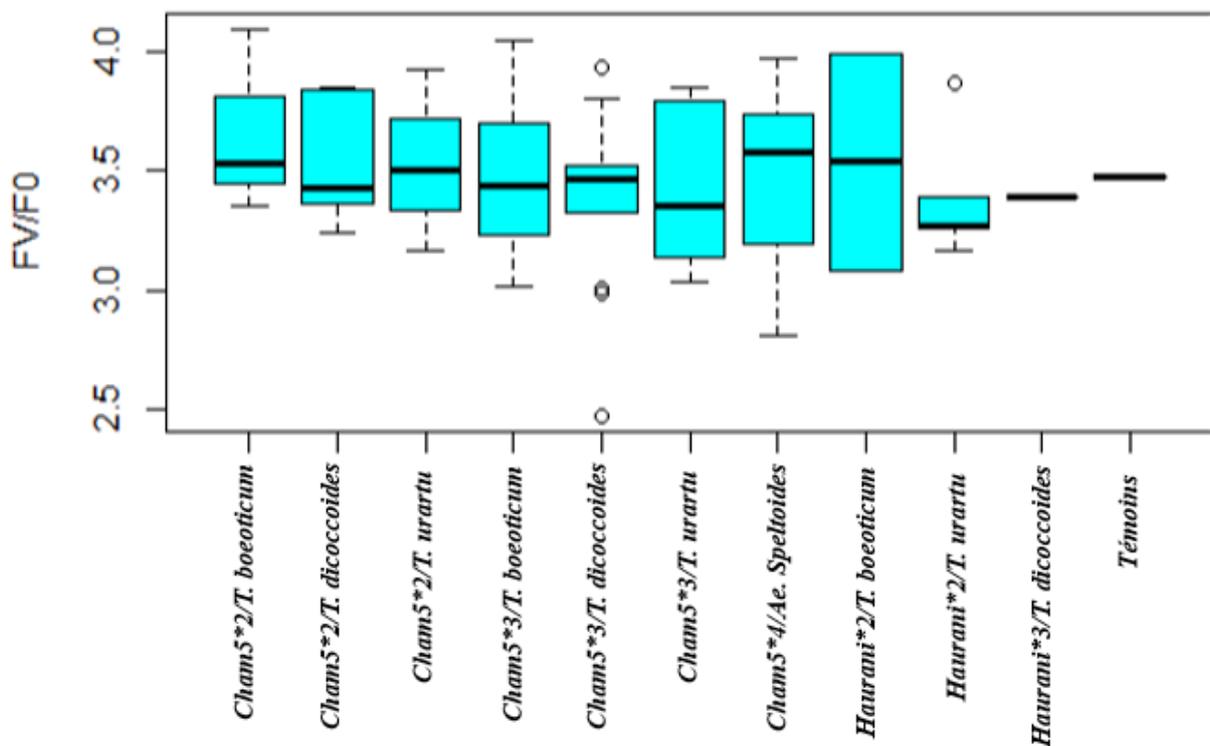


Figure 22: Variation du rapport FV/F0 de la fluorescence chlorophyllienne en fonction des génotypes étudiés à la station Marchouch durant la campagne 2017-2018

b. La température du couvert végétal

Selon l'analyse de variance, la valeur moyenne de la température du couvert végétal des génotypes étudiés est de 18,09 °C (Annexe 2). La température maximale est enregistrée par le génotype 142003 du croisement *Haurani*^{*2}/*T. urartu* (ICWT 500530) avec une valeur de 19,16 °C (Annexe 1 et Figure 22). Tandis que, la température minimale est observée chez le génotype 142014 issu du croisement *Cham5*^{*3}/*T. boeoticum* (ICWT 500647) suivi du génotype 142084 issu du croisement *Cham5*^{*3}/*T. dicoccoides* (ICWT 601116) avec des valeurs de 17,22 °C et 17,35 °C, respectivement (Annexe 1).

D'après Ludlow et *al.* (1990), la température du couvert végétal dépend de la quantité d'eau transpirée par les feuilles, et constitue une mesure intégrative d'un ensemble de mécanismes allant de l'absorption radicale jusqu'au contrôle stomatique de la transpiration. Car, la fermeture des stomates augmente avec la température du couvert végétal. Les stomates se ferment à cause de la réduction du statut hydrique de la plante.

3. Cycle de croissance des lignées dérivatives

a. Caractères phénologiques

En moyenne, le cycle de développement des lignées dérivatives a duré 183 jours (tableau 6) et l'analyse de la variance a montré qu'il n'y a pas de différence significative ($p > 0,05$) entre les génotypes pour la date de maturité et le coefficient de variation est de 2,85 %. Cependant, des différences significatives ($p < 0,05$) ont été enregistrées chez les génotypes pour le nombre de jours à l'épiaison et la durée de remplissage du grain qui ont duré, en moyenne, 118 et 64 jours respectivement, avec des coefficients de variation de 3,83 % et 9,55 %, respectivement (tableau 5). La durée de remplissage observée est longue par rapport aux autres saisons dans la même région, ceci est dû aux conditions climatiques exceptionnellement favorables durant cette saison, notamment les températures basses après l'épiaison et les précipitations qui ont continué jusqu'à Juin 2018.

Tableau 5: Variance des caractères phénologiques entre les lignées dérivatives du blé dur

<u>Caractères phénologiques</u>	<u>Moyenne</u>	<u>CV</u>	<u>Ddl</u>	<u>Somme des carrés</u>	<u>Carré moyen</u>	<u>F de Fisher</u>	<u>Pr (>F)</u>
<u>NJE</u>	118,9091	3,833536					
Génotypes			76	7440,7273	97,904306	4,7116449	5,30E-09
Bloc			20	335,78642	16,789321	0,7558805	0,7512901
Réplication			1	20,363636	20,363636	0,9168016	0,3424318
Variance résiduelle			56	1163,6363	20,77922	NA	NA
<u>NJMA</u>	183,7273	2,853337					
Génotype			76	3032,5078	39,901418	1,451894	0,0720252
Bloc			20	603,15224	30,157612	1,1085289	0,3675805
Réplication			1	62,36366	62,363636	2,2923531	0,1356367
Variance résiduelle			56	1539,01	27,482322	NA	NA
<u>DRG</u>	64,81818	9,558946					
Génotype			76	5698,909	74,985645	1,9532797	0,0046811
Bloc			20	574,7459	28,737295	0,6790821	0,8292807
Réplication			1	11,454545	11,454545	0,2706788	0,6049276
Variance résiduelle			56	2149,8182	38,38961	NA	NA

NJE: Nombre de jours à l'épiaison; NJMA: Nombre de jours jusqu'à maturité; DRG: Durée de remplissage des grains; CV: Coefficient de variation; Pr: probabilité et ddl: Degré de liberté.

-Nombre de jours à l'épiaison : Le génotype le plus précoce à l'épiaison est le génotype 142056 issu du croisement *Haurani*^{*2}/*T. urartu* (ICWT 500516) avec 105,51 jours suivi par les trois génotypes 142058 issu du croisement *Cham5*^{*2}/*T. urartu*, *Icarachaz* et *Marzak* avec 107,14; 107,29 et 108,59 jours, respectivement (Figure 23 et Annexe 3). Cette caractéristique d'épiaison précoce est avantageuse pour esquiver les contraintes de sécheresse et les hautes températures de fin de cycle de la culture (Benseddik et Benabdelli, 2000).

Les génotypes les plus tardifs à l'épiaison sont issus des croisements *Cham5*^{*2}/*T. dicoccoides* (ICWT 601116) (141970) et *Cham5*^{*3}/*T. dicoccoides* (ICWT 601116) (141984) avec des valeurs de 138 et 140 respectivement (Annexe 3). D'après Mouret et al. (1991), le caractère de précocité permet aux plantes d'échapper au stress hydrique en fin de cycle. La précocité est un caractère recherché par les sélectionneurs pour les génotypes résistants à la sécheresse. Selon Bouzerzour et Monneveux (1993), la précocité à l'épiaison permet l'évitement des gelées tardives qui affectent la fertilité de l'épi.

-Nombre de jours à maturité : Les génotypes ayant les nombres de jours à maturité les plus bas sont 142041 issu du croisement *Cham5*^{*4}/*Ae. speltoides* (ICAG 401293) et 142057 issu du croisement *Cham5*^{*3}/*T. boeoticum* (ICWT 500647) avec des valeurs de 166,5 et 168,8 jours respectivement (Annexe 3). Tandis que, le génotype ayant le nombre le plus important est

141990 issu du croisement *Cham5*3/T. boeoticum* (ICWT 500648) avec une valeur de 196,2 jours (Figure 23 et Annexe 3).

-Durée de remplissage des grains : Parmi les 77 génotypes étudiés, les génotypes ayant la durée de remplissage des grains de blé dur la plus courte sont ceux issus des croisements *Cham5*3/T. boeoticum* (ICWT 500647) (142057) et *Cham5*3/T. boeoticum* (ICWT 500647) (142012) avec des valeurs de 46 et 47 jours respectivement. Cependant, les génotypes ayant une durée importante de remplissage (Figure 23) sont issus des croisements *Cham5*2/T. urartu* (ICWT 500649) (142058); *Haurani*2/T. urartu* (ICWT 500516) (142056) et *Cham5*3/T. boeoticum* (ICWT 500648) (141990) avec des valeurs respectives de 78; 80 et 84,5 jours. Selon Sofield et al. (1977), une longue durée de remplissage est souvent indicatrice d'une activité photosynthétique optimale, par contre une vitesse de remplissage élevée est indicatrice des effets des stress hydriques.

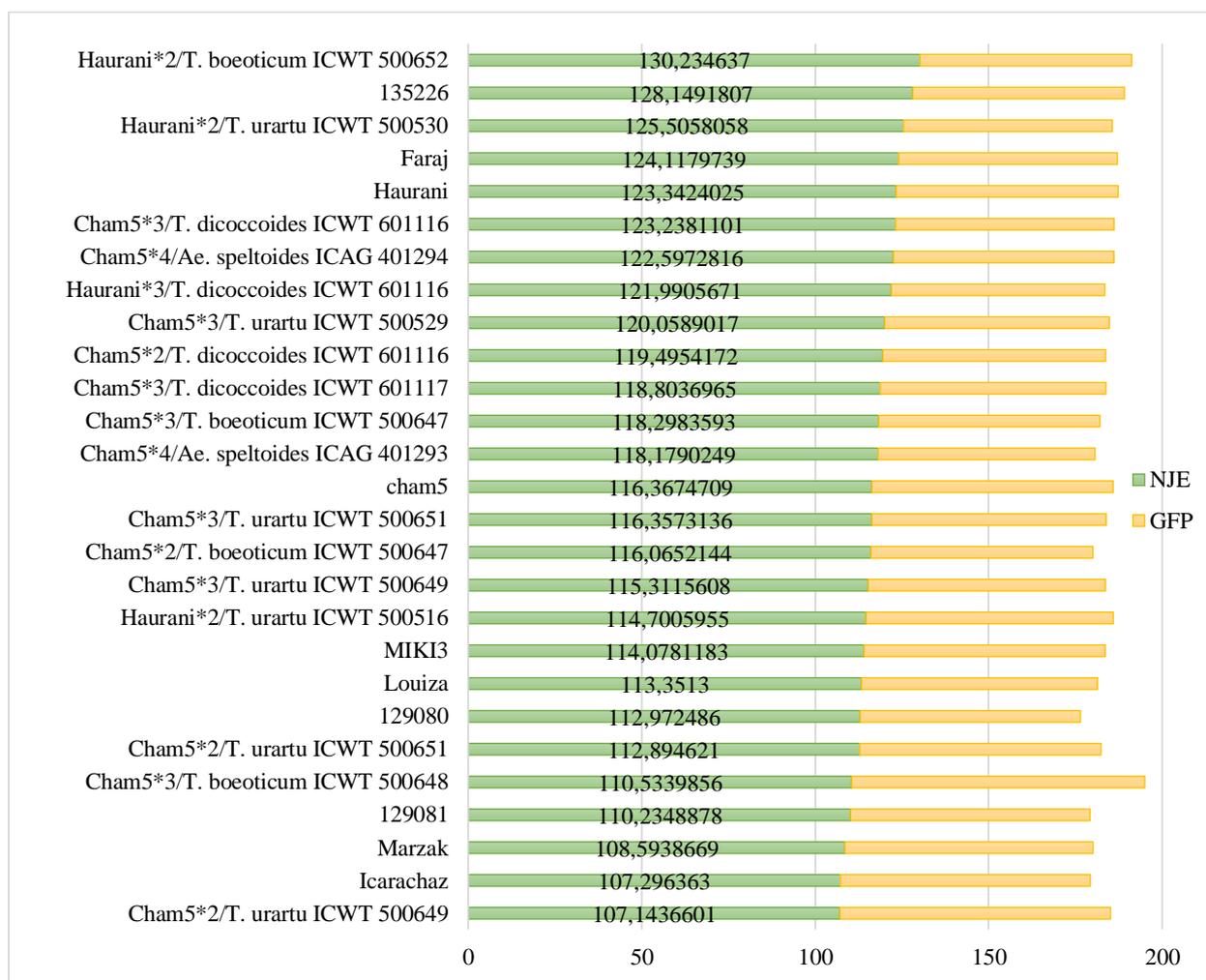


Figure 23: Variation des caractères phénologiques en fonction des génotypes étudiés à la station Marchouch durant la campagne 2017-2018

b. Caractères morphologiques

L'analyse de la variance pour le caractère morphologique « Hauteur de la plante » montre une différence hautement significative entre les génotypes pour ce caractère avec un coefficient de variation de 4,91 % (Annexe4).

-Hauteur de la plante : La moyenne générale pour la hauteur de la plante est de 105,43 cm (Annexe 4). Les hauteurs les plus élevées ont été observées chez les quatre génotypes ; 142003 du croisement *Haurani**2/*T. urartu* ICWT 500530, 122018 du croisement *Cham5**4/*Ae. speltoïdes* ICAG 401293, 142071 du croisement *Cham5**3/*T. urartu* ICWT 500649 et 142070 du croisement *Cham5**3/*T. boeoticum* ICWT 500647 et sont respectivement 117,16 ; 117,5 ; 118 et 118,16 (Figure 24 et Annexe 3). Alors que les hauteurs les plus faibles ont été enregistrées par la lignée 129080 et la variété *Louiza* avec des valeurs de 83,16 et 89,83 cm respectivement (Annexe 3).

Selon Blum (1988) et Bagga et al. (1970), les variétés de céréales les plus tolérantes à la sécheresse sont des variétés à paille hautes. Selon le même auteur, cette tolérance est induite par un développement racinaire important en profondeur permettant l'extraction de l'eau des horizons profonds. D'après Begga et al. (2009), la taille élevée de la plante est souvent associée à un système racinaire profond permettant l'extraction de l'eau et des éléments nutritifs des horizons profonds.

Chez les variétés ou les lignées à tige haute par rapport à celle à tige courte, Monneveux (1989) a montré que, la productivité en grains est plus ou moins importante. Ainsi, selon Pheloung et Siddique (1991), le remplissage du grain est étroitement lié à la remobilisation des quantités d'assimilats stockés dans la tige de plante. Si les tiges sont physiquement courtes, leur aptitude de stockage est plus petite et leur susceptibilité aux stress environnementaux est plus grande.

Cependant, vu que le climat de Marchouch de cette année était favorable, la hauteur des plantes hybrides de blé dur, issus des croisements *Haurani**2/*T. urartu* (ICWT 500530) (142003), *Cham5**4/*Ae. speltoïdes* (ICAG 401293) (122018), *Cham5**3/*T. urartu* (ICWT 500649) (142071) et *Cham5**3/*T. boeoticum* (ICWT 500647) (142070), est liée et améliorée par les parents sauvages comme *Triticum boeoticum*, *Triticum urartu*, *Triticum dicoccoides* et *Aegilops speltoïdes*.

Une hauteur de paille importante est une caractéristique désirable en zone semi-aride, suite à ses effets bénéfiques lors des années sèches (Bahlouli et al., 2005). Il reste vrai que la sélection sur la hauteur doit être appréciée en fonction de ce qu'elle apporte en matière de tolérance aux stress hydrique et thermique et en terme de rendement économique en grains (Laala, 2018).

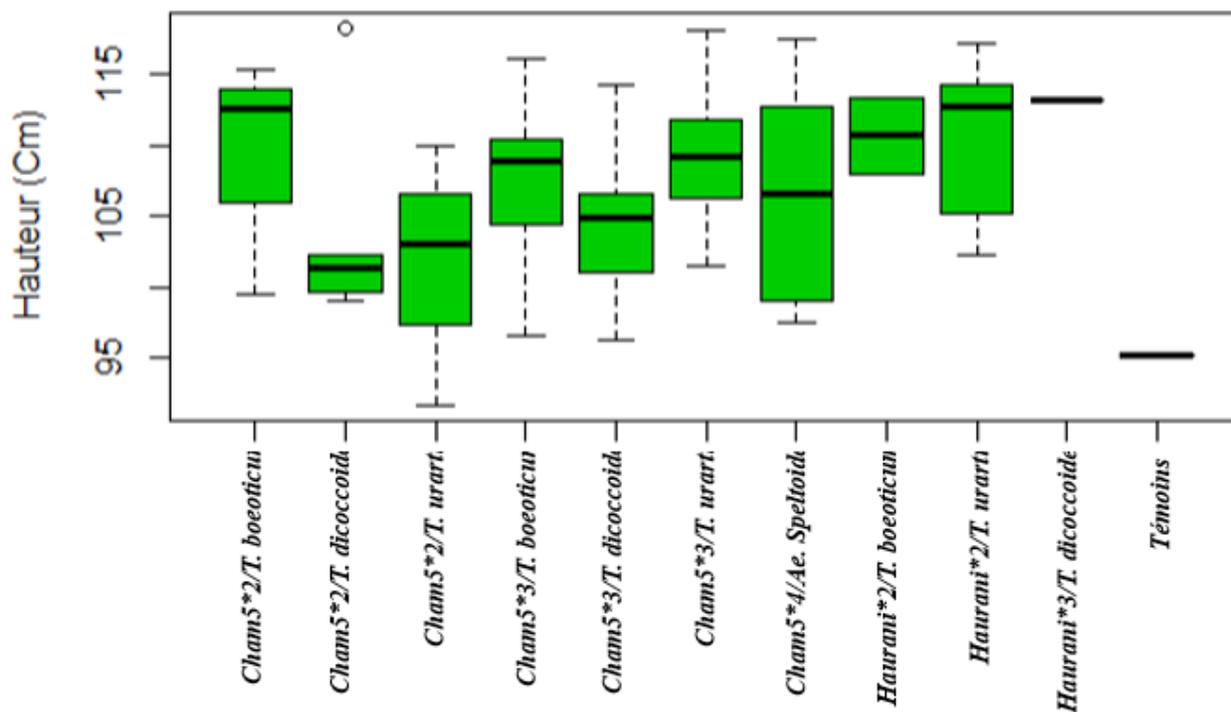


Figure 24: Variation du caractère morphologique (hauteur de la plante) en fonction des génotypes de blé dur testés à la station Marchouch durant la campagne 2017-2018

c. Rendement et composantes de rendement

L'analyse de la variance effectuée sur l'ensemble des génotypes (Annexe 6) a montré qu'il existe un effet génotype très hautement significatif pour le poids de 1000 grains, le rendement en grain et l'indice de récolte avec des coefficients de variation de 8,02 %; 20,09 % et 14,15 % respectivement. Une différence significative est aussi observée entre les génotypes pour le rendement biologique (paille + grains) avec un coefficient de variation de 11,63 %. Les autres caractères agronomiques ont montré une différence non significative entre les génotypes avec des coefficients de variation qui varient de 8,26 % (le nombre d'épillets par épi), 20,94 % (le nombre de grains par épi) à 25,48 % (le nombre d'épis par m²) (Annexe 6).

-Le nombre d'épillets par épi : Le génotype issu du croisement *Cham5*3/T. boeoticum* (ICWT 500648) (141990) se distingue des autres variétés par la valeur la plus élevée qui est de 78,66 épillets / épi (Annexe 5), tandis que le nombre le plus faible est obtenu par le génotype issu du croisement *Cham5*3/T. boeoticum* (ICWT 500647) (142057) soit de 54,18 épillets / épi (Annexe 5). Ceci peut être expliqué par le fait que le nombre total d'épillets par épi est surtout fonction de la somme des températures entre le stade début tallage et la montaison, et de la durée du jour (photopériode) (Belaid, 1986). En effet, plus la durée du tallage sera longue, plus l'épi sera long avec un nombre d'épillets élevé (Couvreur et Masse, 1983; Kayyal, 1973).

En outre, le nombre d'épillets est carrément fonction du climat et il est peu influencé par la nutrition azotée (Gate, 1995).

-Nombre d'épis par mètre carré : Le nombre moyen d'épis par mètre carré est de 717,42 épi/m². La variété qui a présenté le plus faible nombre d'épis par mètre carré est *Icarachaz* avec une valeur de 396,14 épi/m². Tandis que, le génotype du croisement *Cham5^{*3}/T. boeoticum* (ICWT 500647) (142009) a donné le nombre le plus élevé d'épis par mètre carré qui est de 1123,61 épi/m² (Annexe 5).

Selon Gate (1995), l'obtention d'un faible nombre d'épis par mètre carré peut être due à l'effet d'un stress hydrique durant le tallage herbacé qui ralentit l'émission des talles et entraîne la réduction du nombre d'épis par unité de surface. Donc, un nombre élevé d'épis/m² est caractéristique des plantes non stressées.

-Le nombre de grains par épi pour chaque variété est présenté dans le tableau et illustré par la figure 26. Le nombre moyen de grains par épi le plus élevé est enregistré par le génotype du croisement *Haurani^{*2}/T. urartu* (ICWT 500530) (141999), il est de 56,34 grains / épi (Annexe 5) alors que le génotype issu du croisement *Cham5^{*3}/T. dicoccoides* (ICWT 601116) (142039) présente la plus faible valeur qui est de 26,69 grains / épi (Annexe 5). Les deux auteurs, Bouzerzour et Benmahamed (1995), constatent que la variation du nombre de grains par épi varie en fonction des variétés et des dates de semis. Alors que, Jonard (1964) cité par Yousfi (2011), note que la variation du nombre de grains par épi est surtout due aux conditions d'alimentation minérale. Les valeurs optimales de ce paramètre, permettant d'obtenir des rendements plus élevés en zones méditerranéennes et en absence de déficit hydrique, balancent entre 38 et 51 grains par épi (Grignac, 1981).

-Rendement biologique ou biomasse : La valeur moyenne de la biomasse est de 23146,1 Kg/ha (Annexe 6). Le rendement biologique est présenté dans l'annexe 5 et illustré par la figure 30. Le génotype présentant plus de biomasse est issu du croisement *Cham5^{*3}/T. urartu* (ICWT 500649) (142026) avec une valeur de 29297,29 Kg/ha (Annexe 5) suivi des quatre génotypes 142064 du croisement *Haurani^{*2}/T. boeoticum* (ICWT 500652), 141996 du croisement *Cham5^{*4}/Ae. speltoides* (ICAG 401293), 142008 du croisement *Cham5^{*3}/T. dicoccoides* (ICWT 601116) et 141997 du croisement *Cham5^{*2}/T. boeoticum* (ICWT 500647) avec des valeurs de 27638,69 ; 27553,49 ; 27470,38 et 27455,05 Kg/ha respectivement (Annexe 5). Tandis que, le génotype qui présente le rendement biologique le plus faible est issu du croisement *Cham5^{*3}/T. boeoticum* (ICWT 500647) (142057) avec une valeur de 15270,72 Kg/ha (Annexe 5).

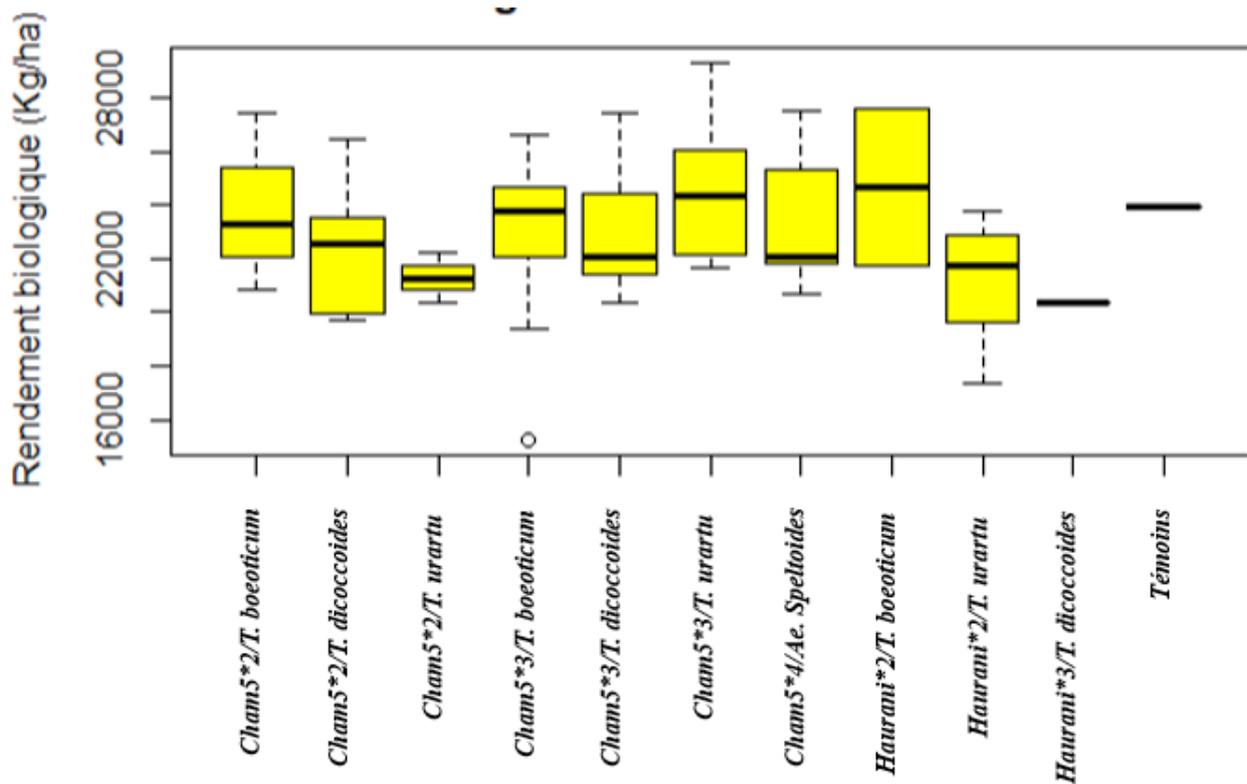


Figure 25: Variation du rendement biologique en fonction des génotypes de blé dur testés à la station Marchouch durant la campagne 2017-2018

Selon Austin et *al.* (1980), la capacité d'un génotype à produire une biomasse élevée est indicatrice d'une meilleure adaptation au milieu de production. Et aussi, lorsqu'une production de biomasse aérienne suffisante est assurée, un rendement en grain considérable grâce à une redistribution optimale des ressources sera garanti (Bouzerzour et Oudina, 1989 ; Bouzerzour et *al.*, 1996; Bouzerzour et *al.*, 2000; Mekhlouf et Bouzerzour, 2000).

-Rendement en grains : La valeur moyenne du rendement en grains est de 6468,21 Kg/ha (Annexe 6). Les meilleurs rendements en grains ont été obtenus par les génotypes 129081, 141997 issu du croisement *Cham5*2/T. boeoticum* (ICWT 500647), 142060 issu du croisement *Cham5*3/T. boeoticum* (ICWT 500647) et 142026 issu du croisement *Cham5*3/T. urartu* (ICWT 500649) avec des valeurs de 9270,55 ; 9280,29 ; 9282,49 et 9856,14 Kg/ha respectivement (Figure 26 et Annexe 5). Alors que, le plus faible rendement en grains a été enregistré par la variété *Haurani* (84859) avec 3136,04 Kg/ha (Annexe 5).

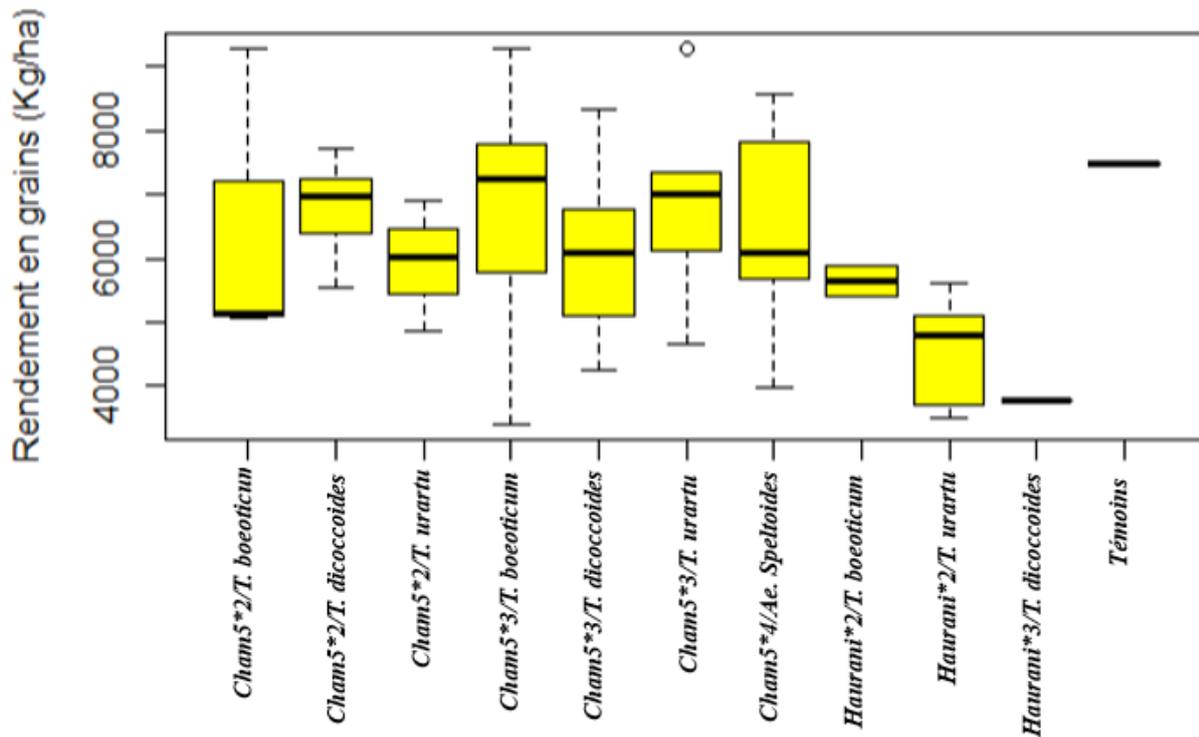


Figure 26: Variation du rendement en grains en fonction des génotypes de blé dur testés à la station Marchouch durant la campagne 2017-2018

Des études faites sur le blé dur, par Abbassenne *et al.* (1997) en zones semi-arides et par Oudjani (2009) en région méditerranéenne, ont montré que les meilleurs rendements en grain sont le résultat de la capacité génétique du génotype à produire plus d'épis par unité de surface associée à une bonne fertilité. Alors que, les faibles rendements peuvent être le résultat d'une carence en azote aux alentours de la fécondation, ce qui réduit le nombre de grains par épi, augmente le nombre de fleurs avortées et donc réduit le rendement en grains par la suite (Gate, 1995).

-Le poids de 1000 grains: Le poids moyen de 1000 grains est de 33,77 Kg/ha (annexe 6). Le génotype qui a le poids de 1000 grains le plus élevé est issu du croisement *Cham5*3/T. boeoticum* (ICWT 500647) (142030) avec une valeur de 43,63 Kg/ha suivi des deux génotypes 142020 issu du croisement *Cham5*3/T. boeoticum* (ICWT 500647) et 142012 issu du croisement *Cham5*3/T. boeoticum* (ICWT 500647) (Annexe 5). Alors que, les génotypes ayant le poids de 1000 grains le plus faible sont issus des croisements *Haurani*2/T. urartu* (ICWT 500530) (141999) et *Cham5*4/Ae. speltoides* (ICAG 401293) (142041) avec des valeurs de 26,18 et 27,43 Kg/ha respectivement (Annexe 5).

D'après Grignac (1981), le poids de 1000 grains subit une diminution considérable sous l'effet des fortes températures et d'un déficit hydrique au moment du remplissage du grain. Et il est peu influencé par les densités de semis (Bendjama, 1977).

-Indice de récolte : La valeur moyenne de l'indice de récolte est de 27,71% (Annexe 6). Le génotype, ayant montré l'indice de récolte le plus bas, est la variété *Haurani* (84859) avec une valeur de 16,82 %. Tandis que, les deux variétés *Icarachaz* et *Marzak* ont donné les indices de récolte les plus élevés avec des valeurs de 38,41 % et 38,61% respectivement (Annexe 5).

D'après Monneveux (1991), un indice de récolte élevé participe favorablement dans l'accroissement du rendement.

4. Corrélation des paramètres agronomiques et physiologiques

Nous avons étudié les corrélations entre les paramètres physiologiques et agronomiques en utilisant le logiciel R studio pour l'ensemble des génotypes (lignées dérivatives) étudiés.

La matrice des corrélations (Figure 27) a révélée qu'il n'y a pas de corrélations entre les caractères physiologiques et agronomiques considérés. Cependant, il existe des corrélations entre les paramètres physiologiques et d'autres entre les caractères agronomiques.

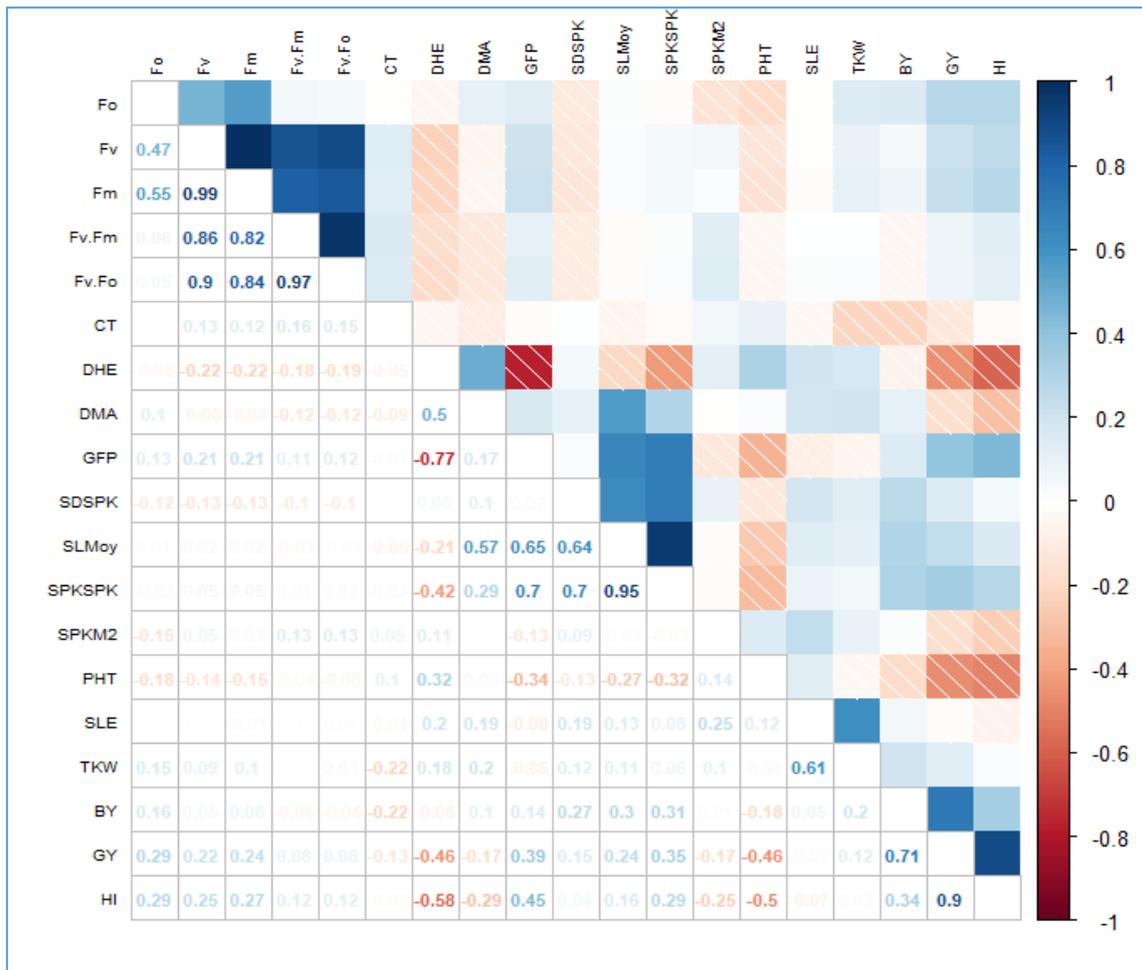


Figure 27: Matrice des corrélations entre les paramètres physiologiques et agronomiques des génotypes de blé dur testés à la station Marchouch durant la campagne 2017-2018

a. Corrélations entre les paramètres physiologiques

Les coefficients de corrélation entre les paramètres de la fluorescence chlorophyllienne sont tous positifs (figure 34). Ils varient de 0,47 à 0,99. Des coefficients de corrélation très élevés, c'est-à-dire ceux qui sont hautement significatifs, ont été observés entre le paramètre FM et le paramètre FV ($r = 0,99$) et le ratio FV/F0 avec le ratio FV/FM ($r = 0,97$) et le paramètre FV ($r = 0,9$). Alors que, des coefficients de corrélation élevés ont été mis en évidence entre le ratio FV/FM avec le paramètre FV ($r = 0,86$) et le paramètre FM ($r = 0,82$), le ratio FV/F0 avec le paramètre FM ($r = 0,84$). Par contre, des coefficients de corrélation faibles ont été observés entre le paramètre FV avec le paramètre F0 ($r = 0,47$) et le paramètre FM avec le paramètre F0 ($r = 0,55$).

b. Corrélation entre les caractères agronomiques

Les coefficients de corrélation entre les caractères agronomiques varient de -0,46 à 0,95. Il existe une corrélation positive hautement significative entre l'indice de récolte et le rendement en grains ($r = 0,9$). Selon Ali Dib *et al.* (1992), plus le rendement est important plus l'indice de récolte est élevé, plus on déduit que la plante est hautement performante. Alors qu'il existe des corrélations significativement positives entre le nombre de jours jusqu'à maturité avec le nombre de jours à l'épiaison ($r = 0,5$). Le nombre d'épillets par épi est corrélé positivement au nombre de grains par épi et à la durée de remplissage des grains avec un coefficient de corrélation $r = 0,7$. Une autre corrélation significativement positive a été observée entre le rendement biologique et l'indice de récolte avec un coefficient de corrélation $r = 0,71$.

En outre, il existe des corrélations négatives entre quelques caractères agronomiques. Le nombre de jours à l'épiaison est corrélé négativement à la durée de remplissage des grains ($r = -0,77$), au nombre d'épillets par épi ($r = -0,42$), au rendement en grains ($r = -0,46$) et à l'indice de récolte ($r = -0,58$). Ainsi, il existe une corrélation négative modérée entre la hauteur de la plante avec le rendement en grains ($r = -0,46$) et l'indice de récolte ($r = -0,5$). Plus la hauteur de la plante augmente, plus le rendement en grains et l'indice de récolte diminuent. Bouzerzour et Hafsi, (1993) ; Meziani *et al.* (1993) et Hamada (2002) ont montré que les variétés à paille courte produisent mieux que celles à paille haute en zones semi-arides.

5. Discussion

Cette étude a permis de mettre en évidence la performance physiologique et agronomique des génotypes issus des croisements interspécifiques entre des variétés cultivées (*Cham5* et *Haurani*) et les espèces sauvages (*T. urartu*, *T. boeoticum*, *Ae. speltoides* et *T. dicoccoides*) cultivés en conditions normales de la station Marchouch.

Pour les paramètres de la fluorescence chlorophyllienne, le génotype 142041 issu du croisement *Cham5^{*4}/Ae. speltoides (ICAG 401293)* a présenté la valeur la plus basse de F0 suivi des deux génotypes 142062 issu du croisement *Haurani^{*3}/T. dicoccoides (ICWT 601116)* et 142008 issu du croisement *Cham5^{*3}/T. dicoccoides (ICWT 601116)*. Ceci peut être expliqué par le meilleur fonctionnement des centres réactionnels du photosystème II (PSII) chez ces trois génotypes et des difficultés de transfert de l'énergie d'excitation des antennes vers les centres réactionnels. Ainsi, les trois génotypes 142042 (*Cham5^{*2}/T. boeoticum (ICWT 500647)*); 142055 (*Cham5^{*4}/Ae. speltoides ICAG 401294*) et 142031 (*Cham5^{*3}/T. boeoticum (ICWT 500647)*) présentent les meilleures valeurs du rapport FV/FM. Ces résultats sont en accord avec ceux de Shreiber et Bilger (1993); le rapport Fv/Fm prend en général des valeurs variant de 0,75 à 0,85 pour les plantes dont la photosynthèse fonctionne bien (dans des conditions normales). Les faibles valeurs du rapport FV/FM sont observées lorsque la plante est exposée à des contraintes indiquant notamment le phénomène de photo-inhibition (Björkman et al., 1993).

La différence de température du couvert végétal est non significative entre les génotypes étudiés. La plus faible CT a été enregistrée par les génotypes 141984 issu du croisement *Cham5^{*3}/T. dicoccoides (ICWT 601116)* et 141914 issu du croisement *Cham5^{*3}/T. boeoticum (ICWT 500647)*. Une faible température du couvert végétal est une indication que le sol où ces génotypes ont été cultivés possédait un très bon statut hydrique. L'absence de différences significatives peut s'expliquer par les bonnes conditions hydriques durant la période de mesure. Dans le cas des caractères phénologiques et morphologiques, l'étude de la variance a révélé que les génotypes 142056 (*Haurani^{*2}/T. urartu ICWT 500516*), 142058 (*Cham5^{*2}/T. urartu ICWT 500649*), *Icarachaz*, *Marzak*, ainsi que les génotypes du croisement *Cham5^{*3}/T.boeoticum* sont les plus précoces. Selon cette étude, il a été déduit que les génotypes issus de ce dernier croisement possèdent une hauteur intéressante, qui peut être expliquée par une tolérance à la sécheresse. D'après Blum (1988) et Bagga et al. (1970), les variétés de céréales les plus tolérantes à la sécheresse sont des variétés à paille hautes. Cette tolérance est induite par un développement racinaire important en profondeur permettant l'extraction de l'eau des horizons profonds (Blum, 1988 ; Bagga et al., 1970). Mais, vu que le climat de la station Marchouch de cette année est favorable, la hauteur des plantes hybrides de blé dur, issus des croisements *Haurani^{*2}/T. urartu (ICWT 500530)* (142003), *Cham5^{*4}/Ae. speltoides (ICAG 401293)* (122018), *Cham5^{*3}/T. urartu (ICWT 500649)* (142071) et *Cham5^{*3}/T. boeoticum (ICWT 500647)* (142070), est liée et améliorée par les parents sauvages *Triticum boeoticum* et *Triticum urartu*. Selon Bahlouli et al. (2005), une hauteur de paille importante est une caractéristique désirable en zone semi-aride, suite à ses effets bénéfiques lors des années sèches. Il reste vrai

que la sélection sur la hauteur doit être appréciée en fonction de ce qu'elle apporte en matière de tolérance aux stress hydrique et thermique et en terme de rendement économique en grains (Laala, 2018). Les hauteurs les plus faibles ont été enregistrées par la lignée 129080 et la variété *Louiza* qui présentent les meilleurs rendements en grains de cette étude. Les variétés à paille courte produisent mieux que celles à paille haute en zones semi-arides (Bouzerzour et Hafsi, 1993 ; Meziani et al., 1993 ; Hamada, 2002).

La précocité au stade épiaison est une composante importante d'esquive des stress de fin de cycle chez le blé dur. Mekhlouf et al., (2006) rapportent que l'adoption de variétés à cycle relativement court est nécessaire dans les régions arides à semi-arides compte tenu de la distribution aléatoire des précipitations. Fisher et Maurer (1978) affirment que chaque jour de plus en précocité génère un gain en rendement de 30 à 85 Kg/ha. Abassene et al. (1997) confirment que les meilleures performances agronomiques sont le fait des génotypes précoces à l'épiaison.

Pour la durée de remplissage des grains, le génotype 141990, issu du croisement *Cham5^{*3}/T. boeoticum* (ICWT 500648), présentait la longue durée de remplissage comparativement à celle des autres génotypes par rapport aux autres saisons dans la même région. Ceci est dû aux conditions climatiques exceptionnelles durant la saison, notamment la température basse après l'épiaison et les précipitations qui ont continué jusqu'à Juin 2018.

De plus, à la lumière des résultats concernant le rendement et ses composantes, l'étude de la variance a montré que tous les génotypes sont productifs en moyenne et qu'il existe, en général, un effet génotype très hautement significatif pour le poids de 1000 grains, le rendement en grain et l'indice de récolte. Une différence significative a été observée entre les génotypes pour le rendement biologique (paille + grains). Pfeiffer et al. (2000) ont déclaré que l'accroissement de la biomasse aérienne est dû principalement à l'augmentation du nombre de grains. Autrement dit, un nombre de grains élevé est souvent accompagné d'un rendement élevé sachant qu'un nombre de grains élevé est déterminé par un nombre d'épis et un nombre de grains par épis élevés.

Tandis que les autres caractères : le nombre d'épillets/épi, le nombre d'épis/m² et le nombre de grains/épi n'ont montré aucune différence significative. Les génotypes issus du croisement *Cham5^{*3}/T. boeoticum* ont montré une performance agronomique positive pour la plupart des caractères mesurés. Ils ont présenté un haut rendement biologique ou biomasse aérienne, un poids de 1000 grains élevé et un rendement en grains relativement important alors que les deux variétés *Icarachaz* et *Marzak* étaient les meilleures en ce qui concerne l'indice de récolte. Selon Bouzerzour et Djekoun (1996), l'adaptation d'un génotype à un milieu ait lieu lorsque le

compromis entre les éléments climatiques et le développement du génotype, est en moyenne le plus favorable à l'extériorisation du rendement potentiel.

Généralement, l'amélioration génétique des céréales s'est donnée pendant longtemps pour objectif primordial, l'augmentation de la productivité : rendement potentiel (Monneveux, 1989). Chez le blé dur, Nachit et *al.* (1998) estiment que la qualité du grain est primordiale, les espèces sauvages et les variétés locales représentent une source très riche de variabilité pour les caractères de productivité et de qualité. De nombreux caractères intéressants comme la tolérance aux stress abiotiques (déficit hydrique, salinité, hautes et basses températures) sont présents chez les espèces sauvages des genres *Triticum* et *Aegilops*. Ces espèces sont des réservoirs importants de gènes pour l'amélioration des rendements et ont été largement utilisées pour l'amélioration de la résistance aux maladies.

Au terme de cette première partie de l'étude, il est à constater que les génotypes issus du rétrocroisement *Cham5*^{*3}/*Triticum boeoticum* donnent une bonne réponse physiologique et une meilleure performance agronomique comparativement aux parents récurrents (*Cham5* et Haurani) et aux autres génotypes étudiés. Et ceci pourrait être dû au parent sauvage *Triticum boeoticum*.

Partie 2 : Evaluation de La tolérance des géotypes dérivatifs du blé dur au stress salin

1. Résultats

Dans cette étude, l'objectif est de révéler les effets du stress salin, sur la croissance et le développement des jeunes plants des lignées dérivatives de blé dur, soumis à une concentration de 150 mM de chlorure de sodium (NaCl), en milieu hydroponique, comparativement aux témoins (0 mM). Un paramètre biométrique qui est la longueur des parties aérienne et racinaire a été mesuré pour déduire l'état des plants testés de blé dur à la fin de l'expérimentation.

L'analyse de la variance effectuée sur l'ensemble des géotypes (Annexe 7) montre qu'il existe un effet concentration en NaCl très hautement significatif ($p \ll 0,05$) pour la longueur de la partie aérienne entre les géotypes. Alors qu'il existe un effet géotype faiblement significatif ($p < 0,05$) pour la longueur de la partie aérienne. Et les effets du block et de l'interaction « Concentration en NaCl – Géotypes » restent non significatifs (Annexe 7).

-La longueur de la partie aérienne : L'analyse statistique des résultats montre que la concentration de NaCl (150 mM) dans le milieu hydroponique influe négativement sur la croissance en longueur de la partie aérienne des géotypes étudiés de blé dur. Les variations observées sur la longueur des parties aérienne et racinaire sont illustrées dans la figure 28.

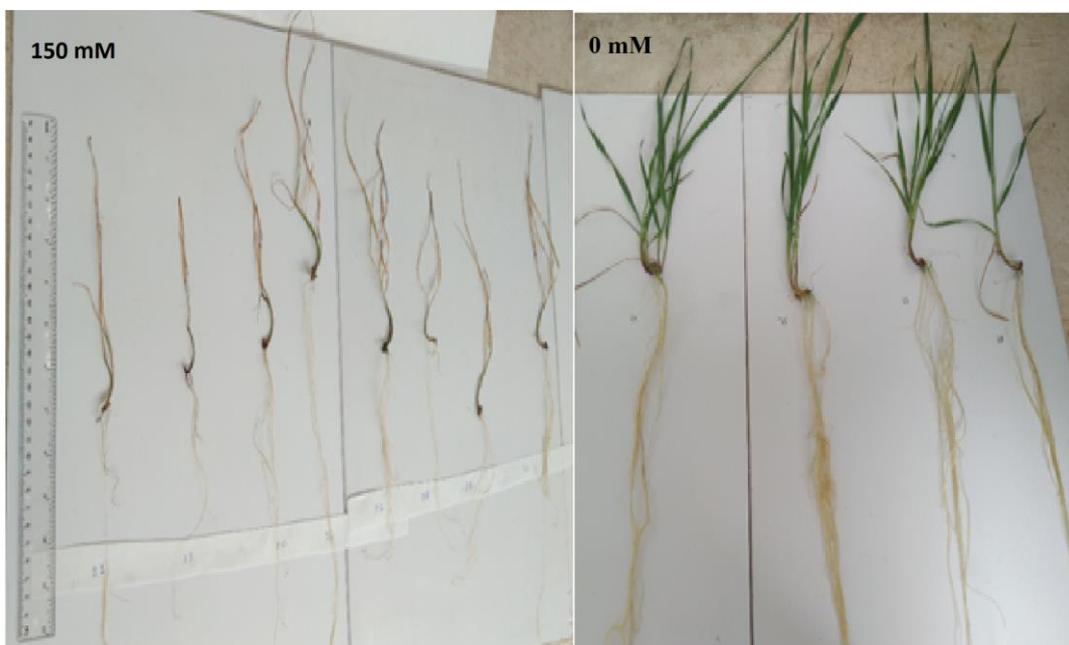


Figure 28: Exemple de mesure de la longueur des parties aérienne et racinaire des géotypes testés de blé dur, ayant été soumis au stress salin (150 mM de NaCl) et sous condition normale (0 mM de NaCl)

Les résultats obtenus montrent que la forte concentration de NaCl (150 mM) affecte la croissance de la partie aérienne chez tous les géotypes étudiés (Figure 30 et Annexe 7).

En condition de stress salin (150 mM de NaCl), les allongements les plus importants de la partie aérienne (24,7 et 24,2 cm) ont été enregistrés chez les génotypes traités qui sont respectivement *Khiar* et *Segndroue/ Ae. bicornis* (IG 47037)//*Marzak/3/karim* (Annexe 8) par rapport aux témoins (0 mM de NaCl) (Figure 32 et Annexe 8).

Le taux de réduction de la partie aérienne des génotypes étudiés varie de 23,49 % (*Cham5*4/Ae. speltoides* ICAG 401293) à 64,82 % (*Cham5*3/T. dicoccoides* ICWT 601116) (Figure 29 et Annexe 8).

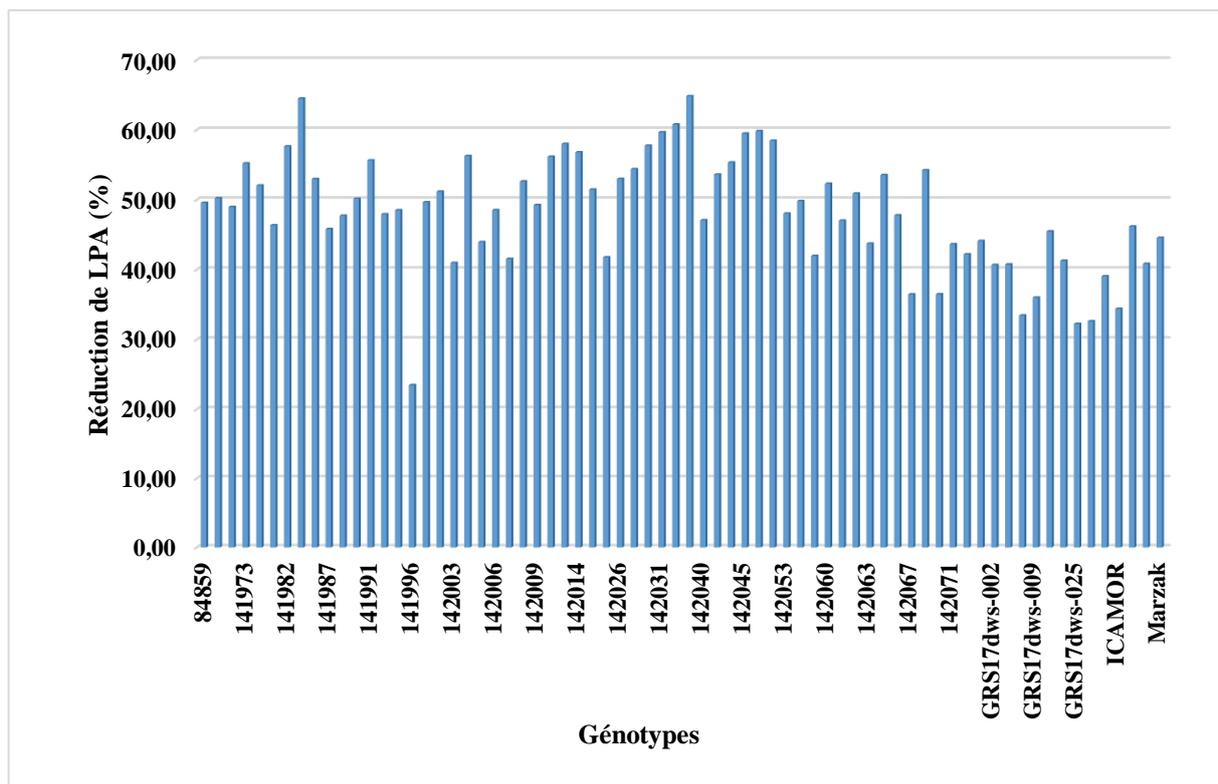


Figure 29: Le pourcentage de réduction de la longueur de la partie aérienne (LPA) des génotypes de blé dur évalués sous stress salin (150 mM NaCl)

Une observation visuelle de la photo ci-dessous montre l'action défavorable du NaCl sur la croissance des génotypes étudiés. Les plantes affectées, étaient plus petites en dimension avec des feuilles chlorosées, alors qu'ils y avaient peu de génotypes non affectés par le stress ; ils ont pu poursuivre leur croissance en condition de stress (150 mM).

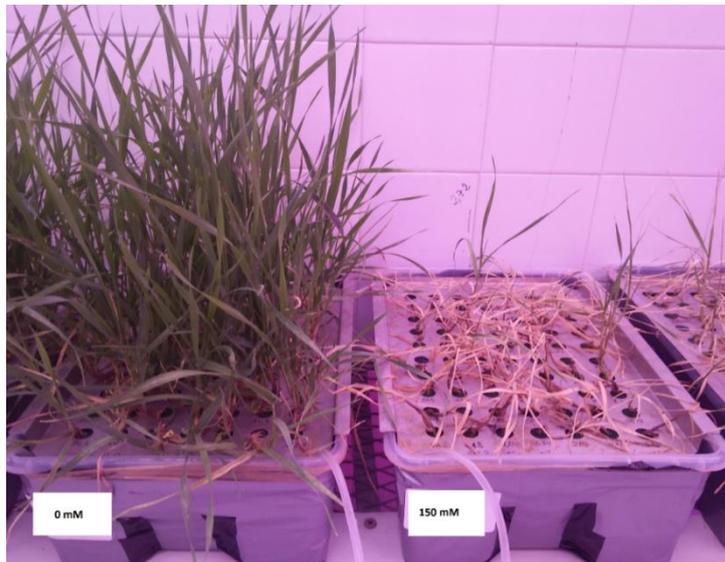


Figure 30: La croissance et le développement des jeunes plants des lignées dérivatives de blé dur, soumis à une concentration de 150 mM de chlorure de sodium (NaCl) en milieu hydroponique comparativement aux témoins (0 mM)

-Longueur des racines : L'analyse de la variance de la longueur de la partie racinaire effectuée sur l'ensemble des géotypes montre qu'il existe un effet concentration en NaCl hautement significatif ($p \ll 0,05$) pour la longueur de la partie racinaire entre les géotypes. Alors que, les effets du block et de l'interaction « Concentration en NaCl – Géotypes » sont non significatifs (Annexe 7).

L'analyse statistique des résultats montre que la concentration de NaCl (150 mM) dans le milieu hydroponique influe négativement sur la croissance en longueur de la partie racinaire des géotypes étudiés de blé dur (Annexe 7).

Chez les plantes témoins (0 mM), la longueur du système racinaire varie de 24,74 cm (*Cham5^{*3}/T. dicoccoides ICWT 601116*) à 57,54 cm (*Cham5^{*3}/T. boeoticum ICWT 500647*) (Annexe 8). Tandis qu'en présence de 150 mM de NaCl, la longueur de la partie racinaire des géotypes testés a diminué ; elle varie de 13,66 cm (*Khlar*) à 35,04 cm (Annexe 8).

Les pourcentages de réduction de la partie racinaire des géotypes testés (Figure 31 et Annexe 8) varient de 0,39 % (*Segndroue/ Ae. bicornis (IG 47037)/Marzak/3/ Bezaghras*) à 69,75 % (*Cham5^{*3}/T. boeoticum ICWT 500647*) (Figure 31).

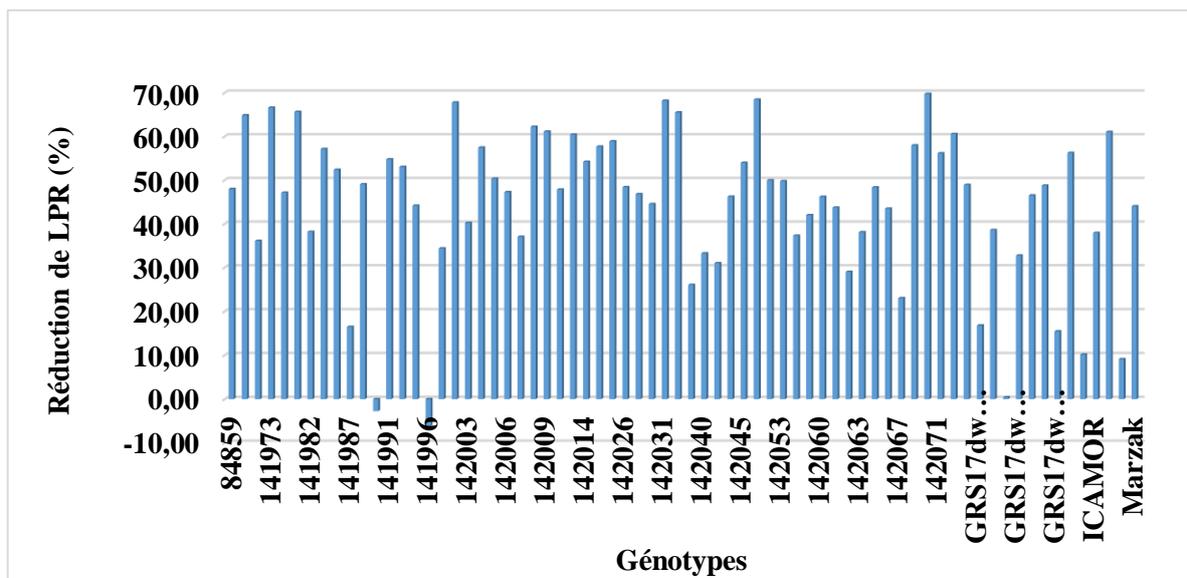


Figure 31: Le pourcentage de réduction de la longueur de la partie racinaire (LPR) des géotypes de blé dur évalués sous stress salin (150 mM NaCl)

Tous les géotypes testés ont subi une régression de leurs parties aérienne et racinaire sous condition de stress salin (150 mM de NaCl), à l'exception des géotypes : *Cham5*2/T. dicoccoides* (ICWT 601116), *Cham5*4/Ae. speltoides* (ICAG 401293), *Cham5*4/Ae. speltoides* (ICAG 401293) (142048, 142013, 142070 et 142012), *Haurani*2/T. urartu* ICWT 500530 (142003), *Bezaghras/ Ae. bicornis* (IG 47037)//*Bezaghras/3/Marzak* (GRS17dws-025), *Segndroue/ Ae. bicornis* (IG 47037)//*Segndroue/3/ouassara* (GRS17dws-025) et *Cham5*2/T. urartu* (ICWT 500651) (142015), qui ont pu poursuivre leur croissance et leur développement en milieu salin (150 mM de NaCl).

NB : Dans les résultats, la longueur de la partie racinaire des géotypes à 0 mM de NaCl, issus des croisements *Cham5*3/T. boeoticum* (ICWT 500648) (141990) et *Cham5*4/Ae. speltoides* (ICAG 401293), est plus faible que celle des même géotypes en condition de stress (150 mM de NaCl). Car, elle a été abimée lors du prélèvement des géotypes à partir de la plaque perforée à la fin de l'expérimentation.

2. Discussion

La présente étude fournit des informations pouvant aider à déterminer les lignées de blé dur qui ont une haute tolérance au stress salin. Nos résultats montrent que les géotypes étudiés se développent parfaitement en absence de NaCl. En milieu de culture additionné de 150 mM de NaCl, les géotypes se comportent différemment comparativement aux témoins ; ils réduisent leurs parties aérienne et radiculaire pour fuir au stress salin.

D'après Munns et Rawson (1999), l'effet de la salinité se traduit généralement par une réduction de la croissance végétative (réduction de la hauteur, du nombre de tiges et de feuilles) qui est en fonction de la division et l'élongation cellulaire. Elle retarde la croissance des pousses qui sont plus sensibles aux sels que les racines mais elle pousse prématurément la plante vers la maturité.

La réduction de la partie aérienne des génotypes testés est expliquée par le fait que, les plantes de blé dur développent cette stratégie adaptative sous stress salin, pour atténuer les effets de la limitation de la disponibilité de l'eau en conditions de stress salin (Laribi et *al.*, 2016). En outre, cette diminution de la croissance de la partie aérienne peut aussi être due à des perturbations des taux des régulateurs de croissance dans les tissus, particulièrement l'acide abscissique et les cytokinines induites par le sel, et aussi par une diminution de la capacité photosynthétique provoquée par la diminution de la conductance stomatique de CO₂ sous la contrainte saline (Fahad et *al.*, 2015).

Selon Ashraf et Foolad (2007), la diminution de la longueur de la plante et de la surface foliaire serait la conséquence de la réduction de la taille des cellules exposées au stress salin.

Tandis que, la réduction de la partie racinaire des génotypes testés est expliquée par le fait que, le NaCl agit en augmentant la pression osmotique du milieu, ce qui empêche l'absorption en eau par le système racinaire et entraîne par conséquent, une réduction de la croissance (R'him et *al.*, 2013).

Les résultats de cette étude montrent que les taux de réduction de la longueur de la partie aérienne des génotypes testés sont plus importants que ceux de la longueur de la partie racinaire. Selon Benmahioul et *al.* (2009), il s'est avéré que les feuilles sont les tissus les plus sensibles de la plante à une salinité excessive, par contre la croissance des racines s'en trouve faiblement affectée.

Nos résultats s'accordent avec ceux de Bouaouina et *al.* (2000) et avec ceux d'Ouerghi et *al.* (2000) qui ont travaillé sur le blé dur (*Triticum durum L.*) en milieu salin et montrent que la concentration de NaCl diminue la croissance. Ainsi, la salinité est un facteur défavorable pour la croissance et le développement des plantes. La réduction de la croissance semble être associée à une forte accumulation de Na⁺ dans la plante (Bouchoukh, 2010). D'après Arbaoui et *al.* (1999), les sels accumulés dans le sol peuvent limiter ou complètement arrêter la croissance du végétal.

Le flétrissement et la chlorose des génotypes étudiés, après 26 jours en milieu hydroponique salin, peuvent être expliqués par le fait que le stress salin joue un rôle dans la diminution de l'activité de la chlorophylle, la diminution du taux d'assimilation du CO₂ dans les feuilles est

associée à une inhibition de la photosynthèse (Achour et *al.*, 2015). Alors que, les génotypes tels que, *Cham5*^{*2}/*T. dicoccoides* (ICWT 601116), *Cham5*^{*4}/*Ae. speltoides* (ICAG 401293), *Cham5*^{*4}/*Ae. speltoides* (ICAG 401293) (142048, 142013, 142070 et 142012), *Haurani*^{*2}/*T. urartu* (ICWT 500530) (142003), *Bezaghbras/ Ae. bicornis* (IG 47037)//*Bezaghbras/3/Marzak* (GRS17dws-025), *Segndroue/ Ae. bicornis* (IG 47037)//*Segndroue/3/ouassara* (GRS17dws-025) et *Cham5*^{*2}/*T. urartu* (ICWT 500651) (142015), ont pu poursuivre leur croissance et leur développement après 26 jours de culture en milieu salin (150 mM de NaCl). La survie de ces génotypes, en présence de 150 mM NaCl, peut être due à la capacité de la plante à limiter ou à contrôler l'accumulation de l'ion dans ses tissus (Ashraf et McNeilly, 1988). Ce contrôle se produit à travers un système d'échange K⁺/Na⁺ qui diminue l'accès de Na⁺ à la plante (Poustinia et Siosemardeh, 2004), ce système devrait être localisé sur le plasmalemme cellulaire des plantes tolérantes (Iyengar et Reddy, 1994). Ce sont essentiellement les tissus racinaires qui exercent le contrôle sélectif de l'entrée des ions et leur accumulation dans la plante. Par conséquent, la sélectivité K⁺/Na⁺ pourrait être considérée comme un indice efficace pour la tolérance du blé au sel (Colmer et *al.*, 2006).

Les parents sauvages apparentés au blé tels que *T. dicoccoides*, *Ae. speltoides*, *T. urartu*, et *Ae. bicornis* ont été utilisés en croisements pour améliorer la tolérance des variétés de blé dur (*Cham5*, *Bezaghbras*, *Segndroue* et *Haurani*) vis-à-vis du sel.

Le genre *Aegilops*, genre considéré comme le plus proche du genre *Triticum*, constitue une source de variabilité génétique importante utilisable dans l'amélioration des blés pour non seulement la résistance aux stress biotiques mais également aux stress abiotiques (Kara et Bellkhiri, 2011). Selon les résultats de Bouatrous (2012), l'*Aegilops* est un genre résistant au stress salin, comparativement aux autres variétés de blé dur, donc les espèces d'*Aegilops* peuvent être utilisées dans les programmes d'amélioration de blé pour transférer les gènes de résistance au blé dur à l'aide des croisements interspécifiques. L'espèce *Aegilops speltoides* est une source de gènes utilisables pour l'amélioration des cultivars modernes de blé (Doussinault et *al.*, 2001).

Le Emmer sauvage ou *Triticum dicoccoides* est un précurseur du blé tétraploïde et pousse actuellement dans des environnements soumis à des stress abiotiques, notamment une salinité élevée (Shavrukov et *al.*, 2010). D'après Nevo et Chen (2010), le pool génétique d'Emmer sauvage est riche en gènes tolérants à la sécheresse et à la salinité et contient aussi des locus de caractères quantitatifs nécessaires à l'amélioration du blé. Donc, la survie des génotypes issus des rétrocroisements *Cham5*^{*2}/*T. dicoccoides* (ICWT 601116), *Cham5*^{*4}/*Ae. speltoides* (ICAG 401293), *Cham5*^{*4}/*Ae. speltoides* (ICAG 401293), *Haurani*^{*2}/*T. urartu* (ICWT 500530),

*Bezaghra*s/ *Ae. bicornis* (IG 47037)//*Bezaghra*s/3/*Marzak*, *Segndroue*/ *Ae. bicornis* (IG 47037)//*Segndroue*/3/*ouassara* et *Cham5*^{*2}/*T. urartu* (ICWT 500651) est expliquée par la transmission de la richesse des espèces sauvages de blé (*T. dicoccoides*, *Ae. speltoides*, *T. urartu*, et *Ae. bicornis*) en gènes de tolérance aux fortes concentrations en sel à leur descendance.

Conclusion générale

Produire des céréales avec un bon rendement est une préoccupation majeure pour le secteur agricole dans tous les pays y compris le Maroc. Le blé dur compte parmi les espèces à grand intérêt nutritionnel et économique. Cependant, sa production est limitée par plusieurs contraintes environnementales (stress hydrique, thermique, salin...). L'amélioration génétique du blé dur demeure ainsi une nécessité. Les croisements interspécifiques entre le blé dur et les espèces sauvages apparentées au blé présentent un outil important pour l'enrichissement génétique du blé dur. Les formes sauvages apparentées au blé forment des ressources importantes de différents gènes utiles pour l'amélioration du rendement et le rendre plus stable, ainsi que pour l'adaptation des génotypes de blé dur aux contraintes environnementales.

Le présent travail a permis d'étudier les descendants, issus des croisements interspécifiques entre des variétés cultivées et des formes sauvages apparentées au blé dur, qui ont été cultivés dans la station Marchouch.

Dans la première partie de cette étude, la mesure des paramètres physiologiques (la fluorescence chlorophyllienne et la température du couvert végétal) a montré que la variance de la CT n'a pas donné une différence significative entre les génotypes. Par contre, la mesure de la fluorescence chlorophyllienne a révélé que la photosynthèse fonctionne bien chez les génotypes issus des croisements *Cham5*^{*2}/*T. boeoticum*, *Cham5*^{*4}/*Ae. speltoides* et *Cham5*^{*3}/*T. boeoticum*, car leur rapport FV/FM se situe entre 0,75 et 0,85.

L'étude de la phénologie, de la morphologie et des paramètres de production (rendement et ses composantes) a permis également de sélectionner les génotypes les plus performants parmi les génotypes étudiés. Les génotypes issus du croisement *Cham5*^{*3}/*T. boeoticum* se sont révélés les plus performants du point de vue agronomique, ainsi que les génotypes issus du croisement *Cham5*^{*3}/*T. urartu* pour le rendement en grains et les variétés *Icarachaz* et *Marzak* pour ce qui concerne l'indice de récolte. Chacun des génotypes étudiés présente des caractéristiques propres à lui. Ce qui veut dire que, la productivité des descendants étudiés dépend des parents sauvages apparentés au blé et non pas aux conditions climatiques, car le climat de Marchouch était favorable durant la campagne 2017/2018. Ces parents sauvages apparentés au blé représentent un outil puissant pour améliorer la physiologie et la productivité des génotypes de blé dur, puisqu'ils renferment de nombreux caractères intéressants comme ceux liés à la productivité, à la tolérance aux stress abiotiques (déficit hydrique, salinité, hautes et basses températures) ainsi que, ceux liés à la résistance aux maladies.

Dans la deuxième partie de cette étude, il a été constaté que la salinité (150 mM de NaCl) affecte fortement la croissance et le développement de la plupart des génotypes testés, tout en causant

une réduction remarquable des parties aérienne et racinaire des plantes. Ces génotypes sont susceptibles aux fortes concentrations en sel. Les résultats ont montré que, les feuilles ont été plus affectées par le stress salin comparativement aux racines car, les feuilles sont les tissus les plus sensibles de la plante à une salinité excessive. Le flétrissement et la chlorose des génotypes testés, en milieu hydroponique salin, est due à la diminution de l'activité de la chlorophylle, la diminution du taux d'assimilation du CO₂ dans les feuilles est associée à une inhibition de la photosynthèse.

Cependant, certains génotypes (*Cham5*^{*2}/*T. dicoccoides* (ICWT 601116), *Cham5*^{*4}/*Ae. speltoides* (ICAG 401293), *Cham5*^{*4}/*Ae. speltoides* (ICAG 401293), *Haurani*^{*2}/*T. urartu* (ICWT 500530), *Bezaghbras/ Ae. bicornis* (IG 47037)//*Bezaghbras/3/Marzak*, *Segndroue/ Ae. bicornis* (IG 47037)//*Segndroue/3/ouassara* et *Cham5*^{*2}/*T. urartu* (ICWT 500651)) ont pu survivre sous stress salin (150 mM de NaCl). Cette survie peut être liée aux parents sauvages apparentés au blé tels que, *T. dicoccoides*, *Ae. speltoides*, *T. urartu*, et *Ae. bicornis*, qui possèdent un réservoir précieux de gènes de tolérance aux fortes concentrations en sel.

Cette recherche ouvre de nouvelles perspectives, il serait donc intéressant de :

- Etudier la capacité des génotypes tolérants à accumuler les ions Na⁺ (étude du rapport K⁺/Na⁺).
- Evaluer les génotypes de cette étude sous différentes contraintes.
- Etudier les mécanismes génétiques impliqués dans la tolérance de blé dur au stress salin.
- Etudier les marqueurs moléculaires spécifiques qui pourraient être liés à la tolérance des génotypes (*Cham5*^{*2}/*T. dicoccoides* (ICWT 601116), *Cham5*^{*4}/*Ae. speltoides* (ICAG 401293), *Cham5*^{*4}/*Ae. speltoides* (ICAG 401293), *Haurani*^{*2}/*T. urartu* (ICWT 500530), *Bezaghbras/ Ae. bicornis* (IG 47037)//*Bezaghbras/3/Marzak*, *Segndroue/ Ae. bicornis* (IG 47037) // *Segndroue/3/ouassara* et *Cham5*^{*2}/*T. urartu* (ICWT 500651)) qui ont pu survivre sous stress salin (150 mM de NaCl).

Références bibliographiques

- Abassenne F., Bouzerzour H. et Hachemi, L., (1998). Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi – aride d'altitude. Annales Agronomiques. INA, 18: 24-36.
- Abassenne, F., Bouzerzour, H., et Hachemi, L. (1997). Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride. Ann. Agron. INA, El Harrach, 18: 24-36.
- Abdelly C., (1997). Mécanismes d'une association de luzernes spontanées et des halophytes pérennes en bordure de sebkha. Thèse de doctorat d'État : Université Tunis II, Faculté des Sciences de Tunis (Tunisie).
- Aït El Mekki A. (2006). Les politiques céréalières au Maroc. Les notes d'analyse du CIHEAM. N°. 7, Mars 2006.
- Ali Dib T., Monneveux P., Araus J.L., (1992). Adaptation à la sécheresse et notion d'idéotype chez le blé dur. II : caractères physiologiques d'adaptation. Agronomie. 12: 381-393.
- Amallah, L. (2017). Structuration de la variabilité génétique d'une collection de blé dur au Maroc par les marqueurs agro-morphologiques, physico-chimiques, biochimiques et moléculaires et étude des associations marqueurs SSR-paramètres de qualité.
- Appels, R.; Dvorak, J. (1982). Relative rates of divergence of spacer and gene sequences within the rDNA region of species in the *Triticeae* : implications for the maintenance of homogeneity of a repeated gene family. Theor. Appl. Genet. 63, 361-371.
- Araus, J. L., Villegas, D., Aparicio, N., Del Moral, L. F., El Hani, S., Rharrabti, Y., ... and Royo, C. (2003). Environmental factors determining carbon isotope discrimination and yield in durum wheat under Mediterranean conditions. Crop Science, 43(1), 170-180.
- Arbaoui M., Benkhalif M., Belkhodja M., (1999). Réponses physiologiques de quelques variétés de blé dur à la salinité au stade juvénile. CIHEAM - Options Méditerranéennes, pp. 167.
- Aro E.-M., Virgin I., Andersson B. (1993) Biochem. Biophys. Acta, 1143, 113-134.
- Ashraf, M. and Foolad, M.R. (2007). Roles of Glycine Betaine and Proline in Improving Plant Abiotic Stress Resistance. Environmental and Experimental Botany, 59, 206-216.

- Austin R.B. Bingham J. Blackwell R.D. Evans L.T. Ford M.A. Morgan C.L. et Taylor M., (1980). Genetic improvements in winter wheat yields since 1900 and associated physiological changes. *The journal of agricultural science, Cambridge* 94 : 675-689.
- Bagga A.K., Ruwali K.N. et Asana R.D. (1970) : comparaison of responses of some Indian and semi dwarf Mexican wheat to irrigated cultivation. *Indien J. Agri.Sci*, 40 : 421-427. *Agri.Sci*, 40: 421-427.
- Bahlouli, F., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Hassous, K. S. (2005). Selection of high yielding and risk efficient durum wheat (*Triticum durum Desf.*), cultivars under semi-arid conditions. *Pak. J. Agro*, 4: 360-365.
- Baldy C., (1984). Utilisation efficace de l'eau par la végétation en climats méditerranéens. *Bull. Soc.Botan .Fr* 131 (2, 3, 4) (Actuel Boton) : 491- 499.
- Belaid D., 1986. Aspects de la céréaliculture Algérienne. Ed .OPU, Alger, 207 p.
- Benbelkacem A, Sadli F, Brinis L. (1995). La recherche pour la qualité des blés durs en Algérie. Séminaires Méditerranéens. ICARDA / CIHEAM / CIMMYT.zaragoza 17-19 novembre.
- Bendjama O., (1977). Contribution à l'étude de l'élaboration du rendement de quelques variétés de blé dur en fonction des densités de semis dans les conditions écologiques de la station d'El-Kharoub. Thèse.Ing. INA. 105 p.
- Bendjemaa O., (1977). Contribution à l'étude de l'élaboration de rendement de quelques variétés de blé dur fonction des conditions de semis dans les conditions écologiques de la station d'El Khroub.
- Benlaribi M., Monneveux PH., Grignac P., (1990). Etude des caractères d'enracinement et de leurs rôles dans l'adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum Desf.*). *Agronomie* 10: 305-322.
- Benmahioul B., Daguin F., et Kaid-Harche M., (2009). Effet du stress salin sur la germination et la croissance in vitro du pistachier (*Pistacia vera L.*).*C. R. Biologies*, 332: 164- 170.
- Benseddik, B., et Benabdelli, K. (2000). Impact du risque climatique sur le rendement du blé dur (*Triticum durum Desf.*) en zone semi-aride: approche éco-physiologique. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 11(1), 45-51.
- Berthomieu, (2003). Berthomieu. Tina: TIme petri Net Analyzer, 2003.

- Bjorkman, J. E., & Cassinelli, J. P. (1993). Equatorial disk formation around rotating stars due to Ram pressure confinement by the stellar wind. *The Astrophysical Journal*, 409, 429-449.
- Blum, A. (1988). *Plant breeding for stress environments*. Boca Reaton, Florida ed., C.R.C. Press, I.N.C. 86 p.
- Blumwald, E., Grover, A., et 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.
- Bonjean A., (2001). Histoire de la culture des céréales et en particulier celle de blé tendre (*Triticum aestivum L.*). Dossier de l'environnement de l'INRA, 21: 29-37.
- Borsani, O., Valpuesta, V., and Botella, M.A. (2003). Developing salt tolerant plants in a new century: a molecular biology approach. *Plant Cell Tissue Organ Cult.* 73(2): 101–115.
- Bouaouina, S., Zid, E. et Hajji, M. (2000). Tolérance à la salinité, transports ioniques et fluorescence chlorophyllienne chez le blé dur (*Triticum turgidum L.*). CIHEAM – Options Méditerranéennes. pp.-2.
- Bouatrous, Yamina (2012). "Effet du stress salin et l'haplodiploïdisation chez le blé dur."
- Bouchoukh I., (2010). Comportement éco-physiologique de deux Chénopodiacées des genres *Atriplex* et *Spinacia* soumises au stress salin. p: 16- 29- 6 -35.
- Boujnah M., Abecassis J., Bakhella M., Amri A., Ouassou A., Nachit M., Chaurand M., et Jaouhari A. (2004). Mise au point de tests directs de laboratoire pour l'évaluation de la valeur boulangère des farines de blé dur. *AL AWAMIA* 111. Vol. 1 N. 3. Été 2004.
- Boulmane H., M. El Bouhssini, S. Lhaloui, A. Sekkat, M. El Yamani, B. Bencharki, M. Mergoum, A. Amri and N. Nsarellah. (1994). Evaluation of Cereal Germplasm for Resistance to Russian wheat Aphid. P: 123. In *Résumés-Abstracts, Conférence sur le thème "acquis et perspectives de la recherche agronomique dans les zones arides et semi-arides"*, Rabat, 24-27, Mai 1994, Maroc.
- Bounaqba, S. (1998). Analyse des déterminants de la tolérance à NaCl chez le blé tendre, le triticale et l'orge. Utilisation de la fluorescence chlorophyllienne dans le diagnostic de l'état fonctionnel du photosystème II. Doctorat de Biologie, Faculté des Sciences de Tunis, Univ. Tunis II.

Bounejmate M., (1992). Distribution des luzernes annuelles spontanées au Maroc en relation avec certains facteurs climatiques et édaphiques. *Al Awamia* 79: 35-49.

Bouzerzour H. Benmahammed A. Benbelkacem A., Hamzoune T., Mimouni H. Bourmel S. et Mekhlouf A., (2000). Stabilité des performances et caractéristiques phéno-morphologiques de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf) issues d'une sélection multilocale. Actes du premier symposium international sur la filière Blé 2000; enjeux et stratégies. ITGC. Février 2000: 187-194.

Bouzerzour H. et Benmahammed A., (1995). Analyse graphique d'un croisement diallèle d'orge. *Céréaliculture* 28, 9-12.

Bouzerzour H. et Monneveux P., (1993). Analyse des facteurs de stabilité du rendement de l'orge dans les conditions des hauts plateaux de l'Est algérien. In. Tolérance à la sécheresse des céréales en zones méditerranéennes : diversité génétique et amélioration variétale. Ed.INRA. Paris. Les colloques, 64 : 139-158.

Bouzerzour H. et Oudina M., (1989). Variabilité du rendement de l'orge sous l'influence du climat des hauts plateaux. In séminaire W.O.M. Eds. ICARDA, 110-119.

Bouzerzour H., Djekoun A. et Benmahammed A., (1996). Analyse du déterminisme génétique et de l'indice de récolte dans un croisement diallèle de l'orge (*Hordeum vulgare* L). *Annales agronomique INA*, 17 (1 et 2), 150-158.

Boyeldieu J., (1997). Blé tendre. Techniques agricoles. Editions Techniques Agricoles. Fascicule 2020.

Bozzini A. (1988). Origin, distribution, and production of durum wheat in the world. Dans Fabriani G. et C. Lintas (éd). *Durum: Chemistry and Technology*. AACCC (Minnesota), Etats-Unis.p. 1-6.

Bray, E.A., Bailey-Serres, J., et Weretilnyk, E. (2000). Responses to abiotic stress. Dans *Biochemistry and molecular biology of plants*. Sous la direction de B.B. Buchanan, W. Gruissem et R.L. Jones. American Society of Plant Physiologists, Rockville, Md. p. 1158– 1203.

Brink M., Belay G., (2006). Céréales et légumes secs. Ressources végétales de l'Afrique tropicale1. Fondation PROTA/ Backhuys Publishers/CTA. Pays-Bas, 327 p.

Bukhov NG, Sabat SC, Mohanty P (1990). Analysis of chlorophyll a fluorescence changes in weak light in heat-treated *Amaranthus* chloroplasts. *Photosynth Res* 23:81–87.

- Calvel R. (1984). La boulangerie moderne. Eyrolles, 10^{ème} Edition Paris, 460 p.
- Ceccarelli S., Grando S., Hamblin J., (1992). Relationships between barley grain yield measured in low and high yielding environments. *Euphytica* 64: 49-58.
- Chaves MM, Flexas J, Pinheiro C (2009). Photosynthesis under drought and salt stress : regulation mechanisms from whole plant to cell. *Ann Bot* 103: 551-560.
- Chen, T.H., and Murata, N. (2002). Enhancement of tolerance of abiotic stress by metabolic engineering of betaines and other compatible solutes. *Curr. Opin. Plant Biol.* 5(3): 250–257.
- Chinnusamy, V., et Zhu, J.K. (2003). Plant responses to abiotic stress. Topics in current genetics. Vol. 4. Sous la direction de H. Hirt et K. Shinozaki. Springer-Verlag, Berlin. p. 242–271.
- Chinnusamy, V., Jagendorf, A., and Zhu, J.K. (2005). Understanding and improving salt tolerance in plants. *Crop Sci.* 45(2): 437–448.
- Clarke, J.M., Norvell W.A., Clarke F.R., Buckle T.W., (2002). “Concentration of cadmium and other elements in the grain of near-isogenic durum lines.” *Can. J. Plant sci. /Revue canadienne de phytotechnie*, 82:27-33.
- Clement G. et prats J., (1970). Les céréales. Collection d’enseignement agricole. 2^{ème} Ed. 351.
- 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.
- Comeau A., Collm J. et C.A. ST-Pierre. (1993). Hybridation interspécifique des céréales: comment allier anciennes et nouvelles technologies ? p. 165- 171. 117 Le Progrès génétique passe-t-il par le repérage et l’inventaire des gènes ? AUPELF-UREF (Ed.), John Libbery Eurotext, Paris.
- Couvreur F. (1985). Formation des Perspectives agricoles, N° 95: 12-19.
- Couvreur F. et Masse J., (1983). Formation du rendement et niveau de production. *Rev. Perspective* 32, 8- 11.
- Cramer GR, Alberico GJ, Schidt C (1994). Salt tolerance is not associated with the sodium accumulation of two maize hybrids. *Australian Journal of Plant Physiology* 21: 675-692.
- Cushman, J.C. (2001). Osmoregulation in plants: Implication for agriculture. *Am. Zool.* 41(4): 758–769.

- Dakheell A.J., Nadji I., Mahalazkshmi V., Peacock J.M., (1993). Morphophysiological traits associated with adaptation of Durum wheat to harsh Mediterranean environments. *Aspects of Applied Biology*. 34: 297-307.
- De Wet JMJ, Harlan JR (1971). The origin and domestication of *Sorghum bicolor*. *Econ Bot* 25:128–135.
- Debaeke P, Puech J, Casals ML (1996). Élaboration du rendement du blé d'hiver en conditions de déficit hydrique. I. Étude en lysimètres. *Agronomie* 16, 3-23.
- Demarly Y et Sibi M, (1989). Amélioration des plantes et biotechnologie. Ed JOHN LIBBEY, EUROTEXT Paris. 152p.
- Destrait F., Defense T., (2011). Des céréales pour nourrir le monde. *Défis Sud*, 100 :10-12.
- Dubcovsky J et Dvorak J (2007). Genome plasticity a key factor in the success of polyploid wheat under domestication. *Science* 316: 1862-1866.
- El Bouhssini M. and M. M. Nachit. (2000). New sources of resistance in durum wheat and wild relatives to Russian wheat aphid (homoptera : aphididae). In: *Durum wheat improvement in the Mediterranean region: new challenges*, ed. Royo, C., Nachit, M.M., Di Fonzo and Araus, J.L. INO Reproducciones, S.A., Zaragoza, Spain. Pp 393-395.
- El Jaafari, S. et Paul, R. (1993). Accumulation foliaire de proline et résistance à la sécheresse chez le blé (*Triticum aestivum L.*). *Arch. Int. Physiol. Biochem. Biophys.*, 101: B8.
- Emillie, (2007). *Connaissance des aliments Base alimentaire et nutritionnelles de la diététique*. ED: Tec et Doc, Lavoisier, paris.
- enhancement in durum wheat breeding in Morocco. In: Porceddu E. (ed.), Damania A.B. (ed.), Qualset C.O. (ed.). *Proceedings of the International Symposium on Genetics and breeding of durum wheat*. Bari: CIHEAM. pp. 109-119.
- Ezzahiri B, (1995). Situation of durum diseases in Maghreb. In Nachit, M.M., M. Baum, E. Porceddu, P., b and E. Piccard (ed.) 1998. *Proceeding of the SEWANA (South Europe, West Asia and North Africa) Durum research workshop, 20-23 March 1995, ICARDA Aleppo, Syria*. International Centre for agricultural Research in the dry areas. (ICARDA), Aleppo, Syria. VII + 354 pp.
- Fahad, S., Hussain, S., Matloob, A., et al. (2015). Phytohormones and plant responses to salinity stress: a review. *Plant Growth Regulation*, 75(2): p. 391-404.

FAO, (2016). FAO Cereal Supply and Demand Brief. World cereal production forecast up 22 million tonnes, global stocks and trade also raised Release date: 08/09/2016.

Feldman, M. (2001). "Origin of Cultivated Wheat ". In Bonjean A.P. and W.J. Angus (éd.) The World Wheat Book: a history of wheat breeding. Intercept Limited, Andover, Angleterre, p: 3-58.

Fellah A., Benmahammed A., Djekoun A., Bouzerzour H., (2002). Sélection pour améliorer la tolérance aux stress abiotiques chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Actes de l'IAV, Hassan II, (Maroc) 22: 161-170.

Feuillet P, (2000). Le grain de blé, composition et utilisation. Ed INRA. Paris : 88-199.

Fischer, R.A, Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivar. Grain yield responses. Aus J. Agr. Res 29: 897-912.

Flowers TJ., Hajibagheri MA, Clipson NJW. (1986). Halophytes. The Quarterly Review of Biology 61,313–337.

Flowers TJ., Yeo AR. 1988. Ion relation of salt tolerance. In: Baker DA, Hall JL, eds. Solute transport in plant cells and tissues. Harlow: Longman Scientific and Technical, 392–413.

Flowers, T. J. (2004). Improving crop salt tolerance. Journal of Experimental Botany, 55(396), 307-319.

FranceAgriMer, (2015). Turbulences sur le marché du blé dur ? Retour sur la campagne 2014/15 et perspectives 2015/16. La note de conjoncture Céréales.

Fuger D., (2011). Mise en application de processus analytique complexe. Euro fins Analyse pour l'Environnement France. p: 5-21.

Gallais, L., Douti, D. B., Commandre, M., Batavičiūtė, G., Pupka, E., Ščiuka, M., ...and Melninkaitis, A. (2015). Wavelength dependence of femtosecond laser-induced damage threshold of optical materials. *Journal of Applied Physics*, 117(22), 223103.

Gate P., (1995). Ecophysiologie du blé de la plante à la culture. Paris, Lavoisier Tech et Doc - ITCF. 351p.

Gate P., Bouthier A., Casablanca H. et Deleens E. (1993). Caractères physiologiques décrivant la tolérance à la sécheresse des blés cultivés en France. Interprétation des corrélations entre le rendement et la composition isotopique du carbone des grains. In: Tolérance à la sécheresse des

céréales en zone Méditerranéenne. Diversité génétique et amélioration variétale. Ed. INRA, Montpellier (France), 64: 61-73.

Gate P., Giban M., (2003). Stades du blé. Ed. Paris, ITCF, 68p.

Gérard Doussinault, Marie-Thérèse Pavoine, Bénédicte Jaudeau et Joseph Jahier (2001). « Évolution de la variabilité génétique chez le blé », sur Dossier de l'environnement de l'INRA, n°21.

Gilmore A.M., Björkman O. (1995) *Planta*, 197, 646-654.

Grignac P., (1965). La culture et l'amélioration génétique du blé dur. Guide national de l'agriculture T. III, pp 279-289.

Grignac P., (1981). Limites de potentialité de production dans différents systèmes de cultures et dans différentes zones méditerranéennes. Agrimed. Séminaire Bari, Italie.

Grignac P.H., (1981). Rendement et composantes du rendement du blé d'hiver dans l'environnement méditerranéen français.

Grignac. P, (1978). «Le blé monographie succincte». Annale de l'INR. Paris. 83-98.

Gueorguiv D et Arifi., (1978). Corrélation entre le tallage et l'épiaison du blé dur .Al Awamia. Revue, 55: 57- 53.

Guergah N., (1997). Contribution à l'étude de l'effet de la profondeur de semis sur le comportement d'un génotype de blé dur (*Triticum durum Desf.*) en pot et en plein champs dans la région d'El-Khroub. Mémoire. Ing. Univ. Batna: 69 p.

Haddad, L. (2009). Contribution à l'étude de la stabilité des rendements du blé dur (*Triticum durum Desf.*) sous climat méditerranéen. Mémoire de Magister, Dept.Agron, Faculté des sciences, Univ.Ferhat Abbas, Sétif. 70p.

Halliwell, B., and Gutteridge, J.M.C. (1986). Oxygen free radicals and iron relation to biology and medicine : some problems and concepts. *Arch. Biochem. Biophys.* 246(2): 501–514. Doi: 10. 1016/0003-9861(86)90305-X. PMID: 3010861.

Hamadache A.M., (2001). Manuel illustré des grandes cultures à l'usage des valorisateurs et techniciens de l'agriculture. Stades et variétés de blé, ITGC, Alger; p 22.

Hamed M., (1979). Plantes et culture des cultures céréalières, les cultures légumineuses. Syria.

- Hayek, T., Ben Salem, M., & Zid, E. (2000). Mécanisme ou stratégie de résistance à la sécheresse : Cas du blé, de l'orge et du triticale. CIHEAM-IAMZ, Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens, 40: 287-290.
- Hazmoune T., (1994). Contribution à la caractérisation de l'appareil racinaire de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) en relation avec les composants de rendement. Thèse Magistère. Univ Constantine; 168p.
- Hopkins W. G., (2003). Physiologie végétale. Editions De Boeck Université: 451.
- Houshmand S., Arzani A., Maibody, S. A. M. and Feizi, M., (2005). Evaluation of salt-tolerant genotypes of durum wheat derived from in vitro and field experiments. Field Crops Res., 91: 345–354.
- Jardat A (1986). Phenotypic divergence for morphological and yield traits among from Jordan. Revue en Phytica n°52.
- Jauhar, P.P. and L.R. Joppa. 1996. Chromosome pairing as a tool in genome analysis: Merits and limitations. In: Jauhar, P.P. (Ed.) Methods of Genome Analysis in Plants. CRC Press, Boca Raton. pp. 9-37.
- Johnson R.R. and Moss D.V. (1976). Effect of water stress on photosynthesis and transpiration of flag leaves and spikes of barley and wheat. Crop. Sci., 14(5): 728-731.
- Jonard P., (1964). Etude comparative de la croissance de deux variétés de blé tendre. Ann. Amélior. Plant. 14(2).
- Kahali A. (1995). Contribution of carbohydrates and other solutes to osmotic adjustment in wheat leaves under water stress. Plant. Physiol, 145: 363-366.
- Kamal, A. H., Cho, K., Kim, D. E., Uozumi, N., Chung, K. Y., Lee, S. Y., et al. (2012). Changes in physiology and protein abundance in salt-stressed wheat chloroplasts. Mol. Biol. Rep. 39, 9059–9074. Doi: 10.1007/s11033-012-1777-7.
- Kara, Y and Bellkhiri, C. E. (2011). "Etude des caractères d'adaptation au déficit hydrique de quelques variétés de blé dur et d'espèces sauvages apparentées : intérêt potentiel de ces variétés pour l'amélioration de la production."
- Karakas, E., Simorowski, N., and Furukawa, H. (2011). Subunit arrangement and phenylethanolamine binding in GluN1/GluN2B NMDA receptors. *Nature*, 475(7355), 249.

Karmous C., (2007). Contribution à l'étude des mécanismes de tolérance à la salinité au stade juvénile chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.): aspects physiologique, biochimique et moléculaire. Thèse de doctorat en agronomie et science de la production végétale. INAT, Tunis: 211p.

Karou M., Haffid R., Smith D.N., Samir K., (1998). Roots and shoot growth water use and water use efficiency of spring durum wheat under early – season drought. *Agronomie*, 18: 182-186.

Katerji N, Van Hoom JW, Hamdy A, Karam F, Mastrordli M (1994). Effect of Salinity on Emergence and on Water Stress and Early Seedling Growth of Sunflower and Maize. *Agric. Water Manage.* 26:81-91.

Kayyal H., (1973). Caractéristiques agro-écologiques du type Haurani (*Triticum durum* Desf) et les possibilités de son amélioration. *Ann. Amélio. des Plantes* 23, 245-257.

Kellou R., (2008). Analyse du marché algérien du blé dur et les opportunités d'exportation pour les céréaliers français dans le cadre du pôle de compétitivité Quali-Méditerranée. Le cas des coopératives Sud Céréales, Groupe coopératif Occitan et Audecoop. Série «Master of Science» Master of Science du CIHEAM - IAMM n° 93.39; 48p. Haut-Commissariat au Plan, ENCDM, 2000-2001.

Khales, A. et Baaziz, M. (2006). Etude des peroxydases d'écotypes d'*Opuntia ficus indica* L. en relation avec le développement dans des conditions de stress salin. In Actes du Deuxième Congrès International de Biochimie, Baaziz, M., Hakkou, A. et Serghini, A. ed. p: 133-136.

Kharouba M. Investigation des taux de salinité dans la région de la station de dessalement de Béni Saf .Mémoire de Master. Université de Tlemcen.2013, p: 36.

Kinet M., F.Z Benrebiha, S.Bouزيد, S.Lailcahar et P.Dupuit., (1998). Réseau Atriplex. Atelier biotechnologies et écologie pour une sécurité alimentaire accrue en régions arides et semi arides. *Cahiers Agricultures*, Vol.7, N°6,505509.

Krause GH. (1988). Photoinhibition of photosynthesis. An evaluation of damaging and protective mechanisms. *Physiol Plantarum*. 74:566–574.

Laala, Z. (2018). Analyse en chemin des relations entre le rendement en grains et les composantes chez des populations F3 de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides (Doctoral dissertation).

- Levitt J., (1980). Responses of plants to environmental stresses. I chilling, freezing, and high temperature stresses. 2 ed. Academic press. NY. 640 pp.
- Long SP, Humphries S and Falkowski PG (1994) Photoinhibition of photosynthesis in nature. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol* 45: 633-662.
- Ludlow, M.M. and R.C. Muchow, (1990). A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments. *Advances in Agronomy*, 43: 107-153.
- Maalej-Mallek E., Boulesnam F. and Ben Salem M., (1998). Effet de la salinité sur la germination de graines de céréales cultivées en Tunisie. *Cahiers Agricultures* 1998; 2: 153-6.
- Mahajan, S., Pandey, G.K., and Tuteja, N. (2008). Calcium- and salt-stress signaling in plants: Shedding light on SOS pathway. *Arch. Biochem. Biophys.* 471(2): 146–158. doi:10.1016/j.abb.2008.01.010. PMID: 18241665.
- Mazouze, L., (2006). Etude de la contribution des paramètres phéno-morphologique dans l'adaptation du blé dur (*Triticum durum* Desf) dans l'étage bioclimatique semi-aride. Mémoire de Magister, Université Hadj Lakhdar, Batna.
- Mekhlouf A. et Bouzerzour H., (2000). Comparaison de l'efficacité de la sélection précoce directe et indirecte pour améliorer le rendement en grain chez le blé dur (*Triticum durum* Desf), en zone semi-arides d'altitude. *Recherche agronomique* 9.
- Mekhlouf A., Bouzerzour H., Benmahammed A., Hadj Sahraoui A., Harkati N., (2006). Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi- aride. *Sécheresse* (sous presse).
- Mekhlouf A., Bouzerzour H., Dehbi F., Hannachi A., (2001). Rythme de développement et variabilité de réponses du blé dur (*Triticum durum* Desf.) aux basses températures. Tentatives de sélection pour la tolérance au gel. In *Proceeding Séminaire sur la valorisation des milieux semiarides*. Université, Oum El Bouaghi.
- Mekhlouf, A., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Hadj Sahraoui, A., Harkati, N. (2006). Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. *Sécheresse*. Vol 17, Num 4, 507-13.
- Mergoum M., A. Lyamani and N. Nsarellah. (1995). Root Rot of Wheat. *Al Awamia* 98: 1-25.

Mergoum M., J. S. Quick, J. Hill, N. Nsarellah M. Nachit and W. H. Pfeifer. (1998). Root Rot of Wheat: Inoculation and Screening Techniques, Yield Loss Assessment and Germplasm Evaluation. In Duveiller, E., H. J. Dubin, J. Reeves, and A. McNab (eds). *Helminthosporium Blights of Wheat: Spot Blotch and Tan spot*. Mexico, D.F.: CIMMYT.

Meynard JM., Sebillotte M., (1994). L'élaboration du rendement du blé, base pour l'étude des autres céréales à paille. In: *Le Point sur l'élaboration du rendement* (D Picard, L Combe, eds), Éditions INRA, Paris, 31-51.

Monneveux P., (1991). Quelle stratégie pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hiver ? In : Chalbi Demarly Y. éds. *L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides*. Ed. AUPELF-UREF. John Libbey. ENSA-INRA : 165-186.

Monneveux, P. (1989). Quelles stratégies pour l'amélioration génétique des céréales d'hiver ? Dans: *Jour. Scie. de l'AUPELEF*, Tunis (Tunisie), 4-9 Déc., ENSA-INRA, Montpellier, 24 pp.

Monneveux, P. (1991). Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hiver. *L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides*. John Libbey Eurotext Paris, 165-185.

Mouret JC, Conesa AP, Bouchier A, Gaid M, Ould Said O (1991). Identification des facteurs de variabilité du rendement du blé dur en conditions hydriques limitantes dans la région de Sidi-Bel-Abbès, (Algérie). In: *Physiology-breeding of winter cereals for stressed Mediterranean environments*. Montpellier, France, 3-6 July 1989 (E Acevedo, AP Conesa, P Monneveux, J Srivastava, eds) *Colloques INRA n° 55*, 35-48.

Mujeeb-Kazi, A. and S. Rajaram. (2002). Transferring alien genes from related species and genera for wheat improvement. In: *Bread Wheat Improvement and Production*, FAO, pp. 199-215.

Munns R. and Rawson H.M. (1999). Effect of salinity on salt accumulation and reproductive development in the apical meristem of wheat and barley. *Australian Journal of Plant Physiology* 26, 459-464.

Munns, R. (2005). Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytol.* 167(3): 645–663. doi:10.1111/j.1469-8137.2005.01487.x. PMID : 16101905.

- Nachit, M. M., Nachit, G., Ketata, H., Gauch, H. G., & Zobel, R. W. (1992). Use of AMMI and linear regression models to analyze genotype-environment interaction in durum wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 83(5), 597-601.
- Nachit, M.M., Picard, E., Monneveux, P., Labhilili, M., Baum, M. et Rivoal, R. (1998). Présentation d'un programme international d'amélioration du blé dur pour le bassin méditerranéen. *Cahiers Agric.*, 7: 510-515.
- Nevo E, Chen G (2010) Drought and salt tolerances in wild relatives forwheat and barley improvement. *Plant Cell Environ* 33:670–685.
- Oosterom, V. E., Ceccarelli, S., & Peacock, J. M. (1993). Yield response of barley to rainfall and temperature in Mediterranean environments, *J. Agri. Sci*, 121: 307-313.
- Oudjani, W. (2009). Diversité de 25 géotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf) étude des caractères de production et d'adaptation. Mémoire de magistère, 113.
- Ouerghi, Z., Cornic, G., Roudani, M., Ayadi, A., & Brulfert, J. (2000). Effect of NaCl on photosynthesis of two wheat species (*Triticum durum* and *T. aestivum*) differing in their sensitivity to salt stress. *Journal of Plant Physiology*, 156(3), 335-340.
- Oukarroum A., (2007). Vitalité des plantes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) en conditions de stress hydrique et thermique analysée par la fluorescence chlorophyllienne. Thèse doctorat. Université De Genève.
- Papadakis J.S., (1932). *Ecologie agricole*. Eds Jules Duculot. Gembloux. 303 pp.
- Parida A.K., Das A.B. (2005). Salt tolerance and salinity effect on plants: a review. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 60: 324–349.
- Passioura J (2004). Increasing crop productivity when water is scarce- from breeding to field management. In 'New directions for a diverse planet' Proceedings of 4th International Crop Sciences Congress, Brisbane, Australia.
- Peng Z., Wang M., Li F., Lv H., Li C., Xia G. (2009). A proteomic study of the response to salinity and drought stress in an introgression strain of bread wheat. *Mol. Cell. Proteomics* 8, 2676–2686. 10.1074/mcp.M900052-MCP200.
- Perrino P., Polignano G.P., Kwong J.S., Khouya-Ali M., (1984). Collecting germplasm in southern Morocco. *Plant Genet. Resour. Newsl.* 65: 26-28.

- Pheloung, P. C., & Siddique, K. H. M. (1991). Contribution of stem dry matter to grain yield in wheat cultivars. *Functional Plant Biology*, 18(1), 53-64.
- Picard E. (1988). Sélection du blé, intégration des biotechnologies. *Revue* n°68, p28-38.
- R'him T, Tlili I, Hnan I, Ilahy R, Ben ali A, Jabbari H (2013). Effet du stress salin sur le comportement physiologique et métabolique de trois variétés de piments (*Capsicum annum* L). *Journal of applied Biosciences* 66: 5060-5069.
- Rains, DW., (1972). Salt transport by plants in relation to salinity *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 23: 367.
- Rontein, D., Basset, G., and Hanson, A.D. (2002). Metabolic engineering of osmo protectant accumulation in plants. *Metab. Eng.* 4(1): 49–56.
- Rossignol. J.L., Berger. R., Deutsch. J., Fellous. M., Lamour Isnard. O., Ozier Kalageropoulos. O., Picard. M et Devienne. D.N (2000). *Génétique, Gènes et génomes*. Dunod. Paris. 229 p.
- Ruel T., 2006- Document sur la culture du blé, Ed: Educagri.18p.
- Schreiber U and Bilger (1993). Progress in chlorophyll fluorescence research: Major developments during the last years in retrospect. *Prog Bot* 54: 151-173.
- Schreiber, U., Schliwa, U., Bilger, W., (1986). Continuous recording of photochemical and non-photochemical chlorophyll fluorescence quenching with a new type of modulation fluorometer. *Photosynth. Res.* 10 (1), 51–62.
- Shavrukov, Y., Langridge, P., Tester, M., and Nevo, E. (2010). Wide genetic diversity of salinity tolerance, sodium exclusion and growth in wild emmer wheat, *Triticum dicoccoides*. *Breeding science*, 60(4), 426-435.
- Simane B., Peacock J.M., Struik P.C., (1993). Differences in development plasticity growth rate among drought. Resistant and susceptible cultivars of durum wheat (*Triticum turgidum* L. *var.durum*). *Plant and Soil*, 157: 155-166.
- Simon H., Codaccioni P., Lequeur X. (1989). Produire des céréales à paille Coll. Agriculture d'aujourd'hui. Science, Technique, Application, pp 63-296.
- Slama F., (2004). La salinité et la production végétale. Centre de publication universitaire, Tunis.163P.

- Sofield T., Evans J., Cook M.G. & Wardlaw I.F., 1977. Factors influencing the rate and duration of grain filling in wheat. *Aust. J. Plant Physiol.*, 4, 785-797.
- Soltner D., (1998). Les grandes productions végétales: céréales, plantes sarclées, prairies. Sainte- Gemme-sur-Loire, Sciences et Techniques Agricoles.
- Soltner D., (2005). Les grandes productions végétales. 20^{ème} Edition. Collection science et techniques agricoles. Pp: 303-308.
- Steduto, P., Albrizio, R., Giorio, P., & Sorrentino, G. (2000). Gas-exchange response and stomatal and non-stomatal limitations to carbon assimilation of sunflower under salinity. *Environmental and experimental botany*, 44(3), 243-255.
- Stoskopf N.C. (1993). Interspecific and intergeneric hybridization. p. 345-37. In *Plant breeding. Theory and practice*. Westview Press, Boulder.
- Stouff P., (2002). Le blé. <http://pst.chez-alice.fr/svtiufm/images/cycleble.gif> mises à jour le 01/09/2002.
- Surget A., Baron C. (2005). Histologie du grain de blé. *Industrie des céréales*.
- Taghouti M., Rhrib K., Gaboun F., (2014). Exploiting landrace genetic diversity for germplasm.
- Tahhar A., (2015). Organisation de la chaîne logistique dans la filière céréales au Maroc: Etat des lieux et perspectives. Thèse de Master, Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier (CIHEAM- IAM Montpellier), France, 93.
- Tazi M., Birouk A., Fatemi Z., Heiffer P., (1989). Collecting germplasm in Morocco. *Plant Genet. Res. Newsl.* 77: 39-40.
- Tester M. and Davenport R. (2003). Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Ann. Bot.* 91: 503-527.
- Triboï E (1990). Modèle d'élaboration du poids du grain chez le blé tendre (*Triticum aestivum* em Thell). *Agronomie* 10, 191-200.
- Triboï E. et Ollier J.L. (1990). Évolution et rôle des réserves glucidiques azotées des tiges chez 21 génotypes de blé. *Agron.J.*, 11: 239-246.
- Vavilov N.L., (1934). Studies on the origin of cultivated plants. *Bull. Appl. Bot and plant breed*, X VI : 1- 25.

Wardlaw I.F., (2002). Interaction between drought and chronic high temperature during kernel filling in wheat in a controlled environment .*Annals of Botany*, 90:469-476.

Yousfi, K. (2011). Etude agronomique et analyse diallèle de six variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.).

Annexes

Annexe 1: Pedigree et paramètres physiologiques (la fluorescence chlorophyllienne et la température du couvert végétal) mesurés pour 77 génotypes de blé dur évalués à la station Marchouch durant 2017-2018

Pedigree	Génotypes	F0	FV	FM	FV/FM	FV/F0	CT (°C)
<i>Haurani</i>	84859	171,14	672,37	123,5	0,79	3,85	17,82
<i>129080</i>	129080	181,7	549,05	113	0,75	3,01	18,48
<i>129081</i>	129081	197,6	728,07	110	0,79	3,68	18,04
<i>135226</i>	135226	183,46	613,7	128	0,76	3,3	17,44
<i>Cham5^{*2}/T. dicoccoides ICWT 601116</i>	141966	192,75	661,3	113	0,77	3,45	17,89
<i>Cham5^{*2}/T. dicoccoides ICWT 601116</i>	141967	179,41	696,22	116,5	0,79	3,85	18,18
<i>Cham5^{*3}/T. dicoccoides ICWT 601116</i>	141969	182,88	721,51	119	0,8	3,93	18,14
<i>Cham5^{*2}/T. dicoccoides ICWT 601116</i>	141970	187,94	647,43	138	0,77	3,42	18,41
<i>Haurani^{*2}/T. urartu ICWT 500530</i>	141972	169,68	542,07	124,5	0,76	3,26	18,37
<i>Cham5^{*2}/T. dicoccoides ICWT 601116</i>	141973	188,57	638,81	113	0,76	3,36	18,29
<i>Cham5^{*3}/T. dicoccoides ICWT 601116</i>	141976	186,43	708,99	120	0,79	3,81	18,46
<i>Cham5^{*3}/T. urartu ICWT 500529</i>	141979	174,45	560,73	125,5	0,76	3,35	17,86
<i>Cham5^{*3}/T. urartu ICWT 500529</i>	141982	185,99	723,56	114,5	0,79	3,85	18,55
<i>Cham5^{*3}/T. dicoccoides ICWT 601116</i>	141984	188,94	575,4	140	0,74	3,01	17,36
<i>Cham5^{*3}/T. dicoccoides ICWT 601116</i>	141986	182,27	645,43	119	0,77	3,52	17,9
<i>Cham5^{*3}/T. boeoticum ICWT 500647</i>	141987	183,18	576,96	128,5	0,76	3,18	18,83
<i>Cham5^{*2}/T. urartu ICWT 500651</i>	141989	178,44	571,63	111,5	0,75	3,17	18,3
<i>Cham5^{*3}/T. boeoticum ICWT 500648</i>	141990	171,47	563,31	111,5	0,76	3,26	18,03
<i>Cham5^{*3}/T. dicoccoides ICWT 601116</i>	141991	182,29	597,41	118,5	0,77	3,33	18,08
<i>Cham5^{*3}/T. boeoticum ICWT 500647</i>	141994	185,29	737,22	116	0,8	3,91	18,32

<i>Cham5*4/Ae. speltoides ICAG 401293</i>	141995	182,82	646,73	115,5	0,78	3,58	17,76
<i>Cham5*4/Ae. speltoides ICAG 401293</i>	141996	179,81	678,66	113	0,79	3,82	17,74
<i>Cham5*2/T. boeoticum ICWT 500647</i>	141997	184,69	628,61	119,5	0,77	3,35	17,63
<i>Haurani*2/T. urartu ICWT 500530</i>	141999	174,59	536,3	130,5	0,76	3,17	18,34
<i>Cham5*3/T. dicoccoides ICWT 601117</i>	142000	198,19	671,05	114,5	0,77	3,35	17,69
<i>Haurani*2/T. urartu ICWT 500530</i>	142001	170,33	585,08	118,5	0,76	3,39	18,55
<i>Haurani*2/T. urartu ICWT 500530</i>	142003	187,25	605,67	128,5	0,76	3,27	19,16
<i>Cham5*3/T. boeoticum ICWT 500647</i>	142004	186,94	674,31	112,5	0,78	3,59	18,08
<i>Cham5*4/Ae. speltoides ICAG 401293</i>	142005	172,96	583,14	116,5	0,76	3,31	17,94
<i>Haurani*2/T. boeoticum ICWT 500652</i>	142006	173,88	538,72	125,5	0,74	3,08	17,92
<i>Haurani*2/T. urartu ICWT 500516</i>	142007	174,19	566,55	123,5	0,76	3,27	17,99
<i>Cham5*3/T. dicoccoides ICWT 601116</i>	142008	159,53	493,12	119,5	0,74	2,99	17,78
<i>Cham5*3/T. boeoticum ICWT 500647</i>	142009	183,79	692,47	116,5	0,79	3,77	17,89
<i>Cham5*3/T. boeoticum ICWT 500647</i>	142012	165,61	609,97	134,5	0,79	3,73	17,67
<i>Cham5*3/T. boeoticum ICWT 500647</i>	142013	186,4	689,98	119,5	0,77	3,67	18,18
<i>Cham5*3/T. boeoticum ICWT 500647</i>	142014	179,61	646,27	115,5	0,78	3,56	17,22
<i>Cham5*2/T. urartu ICWT 500651</i>	142015	168,12	663,44	115,5	0,8	3,93	18,03
<i>Cham5*4/Ae. speltoides ICAG 401293</i>	142018	170,07	483,46	116,5	0,73	2,81	17,72
<i>Cham5*3/T. boeoticum ICWT 500647</i>	142020	185,14	637,97	120	0,77	3,43	18,66
<i>Cham5*3/T. urartu ICWT 500649</i>	142026	179,79	574,77	119,5	0,75	3,14	18,21
<i>Cham5*3/T. urartu ICWT 500651</i>	142027	180,78	531,56	116,5	0,75	3,03	18,12
<i>Cham5*3/T. boeoticum ICWT 500647</i>	142030	186,76	583,84	120	0,75	3,12	17,57
<i>Cham5*3/T. boeoticum ICWT 500647</i>	142031	185,78	754,52	119	0,8	4,04	18,42

<i>Cham5*3/T. boeoticum ICWT 500647</i>	142032	182,08	575,14	112	0,76	3,14	18,13
<i>Cham5*3/T. dicoccoides ICWT 601116</i>	142039	170,1	647,6	125	0,79	3,77	18,34
<i>Cham5*3/T. dicoccoides ICWT 601116</i>	142040	173,39	611,47	118	0,77	3,47	18,12
<i>Cham5*4/Ae. speltoides ICAG 401293</i>	142041	150,13	565,4	115	0,79	3,66	18,44
<i>Cham5*2/T. boeoticum ICWT 500647</i>	142042	168,25	697,06	118,5	0,8	4,09	18,13
<i>Cham5*3/T. dicoccoides ICWT 601117</i>	142044	177,55	632,2	124	0,78	3,53	17,98
<i>Cham5*3/T. urartu ICWT 500649</i>	142045	178,12	677,11	114,5	0,79	3,79	18,02
<i>Cham5*2/T. boeoticum ICWT 500647</i>	142046	181,81	647,23	113	0,77	3,54	18,22
<i>Cham5*3/T. boeoticum ICWT 500647</i>	142048	169,05	578,95	119,5	0,76	3,34	18,18
<i>Cham5*2/T. dicoccoides ICWT 601116</i>	142053	181,93	581	122,5	0,76	3,24	17,55
<i>Cham5*4/Ae. speltoides ICAG 401294</i>	142055	179,2	717,33	122	0,8	3,97	18,03
<i>Haurani*2/T. urartu ICWT 500516</i>	142056	183,3	711,15	106	0,79	3,87	17,85
<i>Cham5*3/T. boeoticum ICWT 500647</i>	142057	182,24	601,47	123	0,77	3,4	18,04
<i>Cham5*2/T. urartu ICWT 500649</i>	142058	172,37	638,93	107	0,76	3,51	18,64
<i>Cham5*3/T. boeoticum ICWT 500647</i>	142060	184,03	712,7	115	0,79	3,85	17,95
<i>Cham5*3/T. boeoticum ICWT 500647</i>	142061	179,3	644,94	118,5	0,78	3,6	18,25
<i>Haurani*3/T. dicoccoides ICWT 601116</i>	142062	157,69	540,44	122	0,77	3,39	18,06
<i>Cham5*3/T. dicoccoides ICWT 601116</i>	142063	182,96	613,04	128,5	0,77	3,38	17,92
<i>Haurani*2/T. boeoticum ICWT 500652</i>	142064	188,64	744,98	134	0,8	4	18,33
<i>Cham5*3/T. boeoticum ICWT 500647</i>	142066	188,09	601,89	113	0,76	3,2	18,15
<i>Cham5*3/T. dicoccoides ICWT 601116</i>	142067	170,94	432,89	124,5	0,69	2,48	17,83
<i>Cham5*3/T. boeoticum ICWT 500647</i>	142068	180,85	614,57	116	0,77	3,45	17,9

<i>Cham5^{*3}/T. boeoticum ICWT 500647</i>	142069	172,54	516,45	117	0,74	3,02	18,31
<i>Cham5^{*3}/T. boeoticum ICWT 500647</i>	142070	188,57	636,91	111	0,77	3,42	17,67
<i>Cham5^{*3}/T. urartu ICWT 500649</i>	142071	180,82	609,12	113	0,77	3,36	17,76
<i>Cham5^{*4}/Ae. speltoides ICAG 401293</i>	142072	191,86	580,67	132,5	0,75	3,07	18,49
<i>Cham5^{*2}/T. dicoccoides ICWT 601116</i>	142073	189,49	731,28	114	0,79	3,84	18,84
<i>Cham5^{*3}/T. dicoccoides ICWT 601116</i>	142074	188,43	655,83	121,5	0,77	3,49	17,58
<i>cham5</i>	cham5	184,99	662,32	116	0,78	3,56	18,57
<i>Faraj</i>	Faraj	191,04	567,37	124	0,75	3,03	17,8
<i>Icarachaz</i>	Icarachaz	189,3	586,03	107	0,76	3,16	18,38
<i>Louiza</i>	Louiza	184,82	723,49	112,5	0,8	3,9	18,42
<i>Marzak</i>	Marzak	186,23	670,29	108,5	0,76	3,56	18
<i>MIK13</i>	MIK13	160	591,07	113,5	0,78	3,68	18,29

Annexe 2: Résultats de l'analyse de variance des paramètres physiologiques entre les génotypes évalués à la station Marchouch durant 2017-2018

<u>Paramètres physiologiques</u>	Moyenne	CV	Ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr(>F)
<u>F0</u>	18,0933701	2,66770729					
Génotypes			76	11862,37	156,083816	2,13639537	0,00166956
Bloc			20	1596,37626	79,8188131	1,08400272	0,39084075
Réplication			1	15002,5974	15002,5974	203,747159	2,62E-20
Variance résiduelle			56	4091,32774	73,059424	NA	NA
<u>FV</u>	625,008658	10,485286					
Génotypes			76	545289,626	7174,8635	1,67063283	0,02255748
Bloc			20	463882,024	23194,1012	5,40692039	2,89E-07

Réplication			1	129978,416	129978,416	30,3000724	9,58E-07
Variance résiduelle			56	240503,088	4294,698	NA	NA
<u>FM</u>	805,021645	8,77496893					
Génotypes			76	638952,152	8407,26516	1,68480039	0,02087566
Bloc			20	503866,885	25193,3443	5,05441251	8,10E-07
Réplication			1	233298,935	233298,935	46,8055786	6,32E-09
Variance résiduelle			56	1163,63632	20,77922	NA	NA
<u>FV/FM</u>	0,77052381	2,47547834					
Génotypes			76	0,04434447	0,00058348	1,60374552	0,03242047
Bloc			20	0,03647827	0,00182391	5,03079631	8,69E-07
Réplication			1	0,00086984	0,00086984	2,39924164	0,12702748
Variance résiduelle			56	0,0203741	0,00036382	NA	NA
<u>FV/F0</u>	0,77052381	2,47547834					
Génotypes			76	11,73294	0,15438079	1,6738839	0,02216036
Bloc			20	19,3860194	0,96930097	4,11534909	1,48E-05
Réplication			1	16,997744	16,997744	72,1671104	1,19E-11
Variance résiduelle			56	5,16482904	0,09222909	NA	NA
<u>CT</u>	18,0933701	2,66770729					
Génotypes			76	16,9992684	0,22367458	0,96006658	0,56976315
Bloc			20	19,3860194	0,96930097	4,11534909	1,48E-05
Réplication			1	16,997744	16,997744	72,1671104	1,19E-11
Variance résiduelle			56	13,1898542	0,23553311	NA	NA

Annexe 3: Les caractères phénologiques et morphologiques des génotypes du blé dur évalués à la station Marchouch durant 2017-2018

Génotypes	NJE	NDMA	DRG	HP	LE	LE1
84859	123,3	187,4	64	110,7	7,2	6,8
129080	113,0	176,4	63,5	83,2	7,5	6,6
129081	110,2	178,9	69	100,7	5,7	4,7

135226	128,1	188,9	61	90,7	6,1	6,1
141966	112,8	181,5	68,5	100,8	6,0	5,8
141967	116,5	186,0	69,5	99,0	5,7	6,1
141969	119,2	185,0	66	96,2	7,4	6,5
141970	138,2	190,2	52	118,2	6,2	5,7
141972	124,9	189,9	65,5	105,2	7,6	5,9
141973	112,7	180,6	67,5	99,7	6,4	5,5
141976	120,0	182,6	62,5	113,3	6,4	6,3
141979	125,4	188,6	63	111,7	6,4	6,0
141982	114,7	181,0	66,5	108,7	6,7	6,3
141984	140,5	192,8	53	108,8	5,6	6,6
141986	118,5	186,9	68	105,7	6,2	5,9
141987	128,8	188,8	60,5	111,3	7,4	7,2
141989	110,2	180,7	69	110,0	6,4	6,8
141990	110,5	196,2	84,5	110,5	6,7	6,5
141991	118,8	184,0	65,5	103,8	6,4	6,3
141994	115,8	182,0	66	102,8	6,6	6,1
141995	115,6	181,6	66	106,5	6,7	6,4
141996	112,7	180,1	67	97,5	6,7	6,0
141997	118,4	183,7	64	99,5	6,9	6,3
141999	130,3	186,1	55,5	112,7	6,5	6,0
142000	113,6	182,2	67,5	100,7	6,5	5,5
142001	118,8	181,6	63	112,7	6,0	5,5
142003	128,0	185,0	56,5	117,2	6,6	6,8
142004	112,5	183,4	71	114,7	6,9	7,1
142005	116,5	185,5	69	98,5	6,6	6,2
142006	125,9	188,5	63	108,0	6,2	6,1

142007	123,9	185,8	62,5	102,2	5,9	5,7
142008	119,2	182,9	63,5	105,2	7,9	6,8
142009	116,7	184,0	67,5	105,0	7,3	6,5
142012	134,3	181,6	47	109,8	7,2	6,8
142013	119,3	183,1	63,5	109,0	5,9	6,4
142014	115,5	183,3	68	104,5	6,9	6,1
142015	115,6	185,4	70	103,0	7,1	6,5
142018	116,4	181,0	64,5	117,5	6,9	5,5
142020	120,0	185,5	65,5	109,7	7,3	7,1
142026	119,4	189,9	70,5	106,2	6,8	6,9
142027	116,4	184,0	67,5	101,5	7,1	7,0
142030	119,3	182,9	63	110,3	7,5	7,1
142031	119,3	184,1	65	103,7	6,3	6,2
142032	110,8	180,2	68	111,8	6,4	5,8
142039	125,2	185,3	60,5	106,5	5,7	5,3
142040	118,6	185,9	68	101,0	5,8	6,7
142041	115,5	166,5	51,5	116,2	6,2	5,3
142042	117,4	180,2	61,5	115,3	7,2	6,8
142044	124,0	186,5	62,5	104,8	6,3	6,0
142045	113,6	180,0	65,5	109,5	8,1	8,0
142046	112,4	179,6	66,5	112,5	6,4	6,0
142048	119,7	181,9	62,5	108,8	7,6	6,9
142053	121,9	184,1	61,5	101,8	6,1	6,7
142055	122,6	185,4	63,5	99,5	7,0	7,1
142056	105,5	186,2	80	114,2	6,7	6,3
142057	123,5	168,8	46	116,0	6,6	6,7
142058	107,1	184,7	78	91,7	6,7	6,0

142060	115,8	183,1	68	104,3	6,6	6,0
142061	118,8	184,8	66,5	96,5	6,7	5,9
142062	122,0	183,5	61,5	113,2	7,5	6,0
142063	129,1	188,3	60	114,2	6,7	7,4
142064	134,5	193,1	59	113,3	7,7	6,7
142066	112,8	179,4	66,5	109,0	6,7	6,4
142067	124,5	187,0	62,5	104,3	6,6	6,0
142068	116,5	182,0	66	105,0	6,9	6,7
142069	117,2	178,8	62	108,3	6,2	5,9
142070	110,9	180,6	69,5	101,7	6,4	5,4
142071	112,9	182,1	69	118,0	6,3	5,5
142072	132,4	189,3	57	109,2	6,8	5,5
142073	114,9	180,7	66,5	102,3	6,5	5,5
142074	122,0	184,1	62,5	97,3	6,3	6,2
cham5	116,4	185,5	69,5	101,0	6,1	6,6
Faraj	124,1	187,1	63	92,8	7,4	6,9
Icarachaz	107,3	179,2	72	97,3	6,7	6,1
Louiza	113,4	180,5	68	89,8	6,5	6,1
Marzak	108,6	179,9	71,5	90,7	6,6	6,0
MIKI3	114,1	182,9	69,5	94,3	6,6	5,6

Annexe 4: Résultats de l'analyse de variance des caractères morphologiques entre les géotypes de blé dur évalués à la station Marchouch durant 2017-2018

Caractères morphologiques	Moyenne	CV	Ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr(>F)
HP	105,4354	4,915015					
Géotypes			76	8506,86018	111,932371	4,16805049	5,44E-08
Bloc			20	461,956102	23,0978051	0,81916834	0,68096332
Réplication			1	55,4248009	55,4248009	1,96565179	0,16642904
Variance résiduelle			56	1503,8716	26,85485	NA	NA
LE	6,663636	8,122214					
Géotypes			76	42,9224229	0,56476872	1,92796522	0,00539705
Bloc			20	2557,01709	127,850855	1,74905207	0,05204483
Réplication			1	224,649351	224,649351	3,07329515	0,08506064
Variance résiduelle			56	16,4043667	0,29293512	NA	NA
LE1	6,268398	10,04074					
Géotypes			76	46,9497968	0,61776048	1,55946376	0,04108523
Bloc			20	9,70701834	0,48535092	1,19887053	0,28980523
Réplication			1	5,84415584	5,84415584	14,4357123	0,00035954
Variance résiduelle			56	22,1836429	0,39613648	NA	NA

Annexe 5: Le rendement et ses composantes des lignées dérivatives de blé dur évaluées à la station Marchouch durant la saison 2017-2018

Géotypes	NGE	NEtE	NEm ²	1000KW	RB	RG	IR
84859	35,60	64,98	650,13	40,52	18603,62	3136,05	16,83
129080	44,91	67,54	615,39	38,03	24720,24	8771,50	35,44
129081	37,34	66,41	635,51	32,26	26571,02	9856,15	36,74

135226	41,91	66,78	458,58	37,04	26241,38	6697,65	25,39
141966	37,88	66,46	670,34	32,30	22689,23	7241,60	31,97
141967	45,29	73,04	591,90	36,21	19755,64	6408,35	32,56
141969	48,32	71,44	1008,46	34,79	20721,06	4841,80	22,94
141970	32,68	57,85	600,10	32,34	23503,51	5539,85	23,56
141972	39,60	67,93	629,46	33,34	19629,37	3484,80	17,83
141973	39,41	68,20	651,11	32,31	22465,24	6726,35	29,99
141976	31,57	62,43	582,88	30,38	22997,67	5237,35	22,41
141979	31,90	63,39	581,99	28,43	21676,77	4662,40	21,50
141982	41,01	68,41	567,42	33,20	26056,30	7347,80	28,17
141984	34,74	60,33	668,46	35,49	22507,80	4241,30	18,98
141986	39,80	69,30	918,00	34,01	25553,26	6756,40	26,28
141987	46,01	66,48	987,83	38,79	21755,58	4270,25	20,02
141989	40,09	68,72	526,86	30,61	21248,15	6915,75	32,54
141990	43,75	78,67	574,63	32,68	22725,58	7324,85	32,22
141991	31,13	63,26	998,82	32,54	24418,52	8344,20	33,93
141994	45,85	70,74	709,65	34,13	24173,86	7480,10	30,93
141995	40,39	68,09	745,67	32,79	22091,23	7130,45	32,47
141996	34,49	65,04	703,39	36,33	27553,49	8521,85	30,92
141997	45,72	68,91	644,24	33,54	27455,05	9282,50	33,40
141999	56,34	69,70	723,94	26,18	23809,20	5085,80	21,16
142000	34,90	65,93	727,41	31,09	20469,14	5501,55	27,06
142001	41,00	65,65	554,77	32,08	21965,41	5597,35	26,04
142003	40,73	65,81	664,20	30,58	21567,68	4787,35	22,17
142004	40,20	69,72	785,70	38,31	24281,22	7836,55	32,45
142005	49,66	73,50	615,45	34,41	25358,66	8574,30	33,75
142006	28,30	61,69	878,01	30,89	21754,66	5401,80	23,78
142007	38,45	64,00	810,57	30,42	17335,65	3716,70	21,66
142008	52,77	72,04	1010,03	33,23	27470,38	6918,25	25,19

142009	44,61	72,22	1123,61	34,43	24785,72	7749,45	31,28
142012	48,39	62,69	803,13	41,33	22410,62	5871,50	26,31
142013	30,99	62,56	674,58	36,68	26469,63	9137,75	34,47
142014	39,39	68,02	653,14	34,40	20796,93	5567,75	26,76
142015	41,68	70,46	836,74	29,29	22266,89	4866,25	21,73
142018	36,02	65,81	867,16	29,58	25280,57	5539,20	21,90
142020	39,80	67,35	960,79	40,48	19394,39	4635,85	23,87
142026	49,74	74,15	673,41	35,82	29297,29	9270,55	31,62
142027	43,11	69,56	718,39	39,55	24286,80	7196,80	29,71
142030	41,42	66,78	609,38	43,63	26661,35	8167,90	30,54
142031	37,95	65,63	764,84	32,96	24438,58	7738,20	31,57
142032	39,17	66,59	746,17	33,50	20765,43	6399,25	30,70
142039	26,70	61,28	705,95	32,68	21808,26	4772,05	22,08
142040	33,59	64,89	542,77	32,11	21407,16	6761,05	31,93
142041	36,19	57,46	688,89	27,44	21996,20	5843,20	26,71
142042	37,60	63,33	984,91	34,13	20850,50	5120,50	25,04
142044	42,98	67,98	469,03	36,39	20345,77	6085,65	29,65
142045	47,96	70,44	664,37	36,41	22128,04	6109,60	26,79
142046	39,01	67,06	972,02	32,87	23283,64	5060,55	21,91
142048	33,96	62,81	1014,83	37,34	23825,57	7045,15	29,48
142053	40,21	66,00	802,98	35,85	26491,31	7704,55	28,79
142055	44,65	69,35	1078,09	33,05	21616,28	6097,65	28,20
142056	30,91	69,19	717,60	35,16	22879,92	4810,65	20,91
142057	35,76	54,19	736,28	30,97	15270,73	3408,30	22,52
142058	43,19	74,11	600,14	29,89	20380,36	6034,05	29,75
142060	54,57	75,00	683,22	31,37	26558,64	9280,30	34,95
142061	37,07	65,52	769,90	29,83	23465,20	7622,95	32,26
142062	41,58	68,02	661,22	34,62	20345,19	3760,80	18,47
142063	37,74	63,76	609,07	38,72	22014,29	6078,35	27,55

142064	48,25	68,70	785,37	38,18	27638,69	5896,65	21,38
142066	39,82	66,54	759,08	34,59	23654,31	6248,90	26,50
142067	53,09	71,74	694,96	34,69	22106,15	5113,45	23,00
142068	48,07	71,33	731,07	36,55	26104,33	8163,20	31,31
142069	45,27	66,93	734,52	32,24	24568,29	5664,65	23,30
142070	45,88	71,69	528,48	29,44	23440,09	7188,25	30,77
142071	48,04	72,44	538,49	31,56	24397,15	6843,35	28,79
142072	45,22	65,65	810,87	28,79	20662,69	3974,00	19,24
142073	39,26	66,43	639,53	31,33	19958,00	7253,75	36,44
142074	33,73	62,89	571,86	34,52	25717,01	7902,65	30,31
cham5	44,48	71,13	781,22	35,48	24291,10	7254,30	29,93
Faraj	44,57	69,15	585,18	37,11	26652,91	7399,55	27,98
Icarachaz	27,41	64,11	396,15	29,91	20571,08	7939,55	38,42
Louiza	41,14	67,76	738,20	33,63	24745,44	7241,70	28,29
Marzak	39,99	69,85	621,22	34,63	21935,22	8454,95	38,62
MIKI3	44,08	72,93	702,28	28,28	25160,70	8139,25	32,36

Annexe 6: Résultats de l'analyse de variance du rendement et ses composantes entre les génotypes du blé dur évalués à la station Marchouch durant la saison 2017-2018

<u>Composantes de rendement</u>	<u>Moyenne</u>	<u>CV</u>	<u>Ddl</u>	<u>Somme des carrés</u>	<u>Carré moyen</u>	<u>F de Fisher</u>	<u>Pr(>F)</u>
<u>NGE</u>	40,72727	20,94601					
Génotypes			76	5370,85314	70,6691203	0,97108357	0,55173923
Bloc			20	2557,01709	127,850855	1,74905207	0,05204483
Réplication			1	224,649351	224,649351	3,07329515	0,08506064
Variance résiduelle			56	4075,31426	72,773469	NA	NA

<u>NEtE</u>	67,32323	8,264939					
Génotypes			76	2658,83021	34,984608	1,12997226	0,31757459
Bloc			20	648,986477	32,4493238	1,06639801	0,40806948
Réplication			1	81,7780984	81,7780984	2,68751366	0,10674402
Variance résiduelle			56	1733,79304	30,96059	NA	NA
<u>NEm²</u>	717,4286	25,48057					
Génotypes			76	3396117,59	44685,7577	1,33719145	0,12730193
Bloc			20	659064,866	32953,2433	0,95594547	0,52493232
Réplication			1	347557,506	347557,506	10,0823467	0,00243403
Variance résiduelle			56	1871386,8	33417,6214	NA	NA
<u>1000KW</u>	33,77489	8,021905					
Génotypes			76	1612,17684	21,2128532	2,88972249	2,69E-05
Bloc			20	255,921863	12,7960931	1,716655	0,05806801
Réplication			1	24,4271284	24,4271284	3,27701212	0,07562324
Variance résiduelle			56	411,08438	7,3407925	NA	NA
<u>RB</u>	23146,1	11,63964					
Génotypes			76	1021590956	13441986,3	1,85194594	0,00826586
Bloc			20	147720917	7386045,86	1,00209113	0,47446252
Réplication			1	97952937,7	97952937,7	13,2896236	0,00058575
Variance résiduelle			56	406465013	7258303,8	NA	NA
<u>RG</u>	6468,219	20,09679					
Génotypes			76	380941716	5012391	2,96634889	1,80E-05
Bloc			20	23603736,4	1180186,82	0,63052977	0,8722446
Réplication			1	5125440,18	5125440,18	2,73833137	0,10356173
Variance résiduelle			56	94626056	1689751	NA	NA

IR	27,71903	14,15098					
Génotypes	76	4122,35664	54,2415348	3,52535727	1,08E-06		
Bloc	20	229,968972	11,4984486	0,67920427	0,82916567		
Réplication	1	6,72119878	6,72119878	0,3970159	0,53119715		
Variance résiduelle	56	861,62216	15,38611	NA	NA		

Partie 2 : Evaluation de La tolérance des génotypes dérivatifs du blé dur au stress salin

Annexe 7: Analyse statistique de la variance de la longueur des parties aérienne et racines des lignées de blé dur évaluées de la station Marchouch durant la saison 2017-2018

Source de variation	Df	Longueur de la partie racinaire				Longueur de la partie aérienne			
		Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr(>F)	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr(>F)
Concentration NaCl	1	39497,436	39497,436	370,93745	1,45E-49	29625,954	29625,954	1263,4248	4,75E-94
Génotype	69	6424,8524	93,113803	0,8744719	0,7406702	2219,1669	32,161839	1,3715699	0,0448034
Block	2	433,58231	216,79116	2,0359792	0,1329403	77,525136	38,762568	1,6530638	0,1937894
Concentration NaCl- Génotype	69	7832,0788	113,50839	1,0660062	0,3577957	1803,8883	26,143308	1,1149044	0,275201
Variance résiduelle	226	24064,49	106,48004	NA	NA	5252,5592	23,448925	NA	NA

Annexe 8: La longueur des parties aérienne et racinaire des 70 géotypes de blé dur testés sous stress salin (150 mM de NaCl)

Géotypes	Parents	LPA(0mM)	LPA(150mM)	Réduction de LPA (%)	LPR(0mM)	LPR(150mM)	Réduction de LPR (%)
84859	<i>Haurani</i>	38,87	19,6	49,57	45,23	23,53	47,97
129081	<i>Cham 5</i>	36,97	18,4	50,23	47,13	16,57	64,85
141972	<i>Haurani*2/T. urartu ICWT 500530</i>	34,5	17,6	48,99	29,27	18,7	36,1
141973	<i>Cham5*2/T. dicoccoides ICWT 601116</i>	37,73	16,9	55,21	50,4	16,83	66,6
141976	<i>Cham5*3/T. dicoccoides ICWT 601116</i>	34	16,3	52,06	43	22,73	47,13
141979	<i>Cham5*3/T. urartu ICWT 500529</i>	35,43	19,01	46,36	49,97	17,18	65,62
141982	<i>Cham5*3/T. urartu ICWT 500529</i>	39,4	16,69	57,65	46,2	28,56	38,18
141984	<i>Cham5*3/T. dicoccoides ICWT 601116</i>	50,23	17,84	64,49	42,6	18,26	57,13
141986	<i>Cham5*3/T. dicoccoides ICWT 601116</i>	32,4	15,23	52,98	41,8	19,9	52,39
141987	<i>Cham5*3/T. boeoticum ICWT 500647</i>	35,07	19	45,82	33,57	28,03	16,48
141989	<i>Cham5*2/T. urartu ICWT 500651</i>	34,31	17,93	47,73	39,26	20	49,05
141990	<i>Cham5*3/T. boeoticum ICWT 500648</i>	37,79	18,84	50,15	25,61	26,31	-2,73
141991	<i>Cham5*3/T. dicoccoides ICWT 601116</i>	40,06	17,77	55,65	49,23	22,27	54,77
141994	<i>Cham5*3/T. boeoticum ICWT 500647</i>	33,49	17,44	47,93	45,38	21,31	53,04

141995	<i>Cham5*4/Ae. speltoides ICAG 401293</i>	37,03	19,07	48,51	45,07	25,17	44,16
141996	<i>Cham5*4/Ae. speltoides ICAG 401293</i>	24,97	19,1	23,5	27,63	29,33	-6,15
141999	<i>Haurani*2/T. urartu ICWT 500530</i>	36,61	18,43	49,64	40,18	26,37	34,38
142001	<i>Haurani*2/T. urartu ICWT 500530</i>	34,21	16,7	51,18	42,4	13,67	67,77
142003	<i>Haurani*2/T. urartu ICWT 500530</i>	37,67	22,23	40,97	44,72	26,73	40,22
142004	<i>Cham5*3/T. boeoticum ICWT 500647</i>	42,47	18,57	56,28	42,47	18,07	57,46
142005	<i>Cham5*4/Ae. speltoides ICAG 401293</i>	32,77	18,37	43,95	49,07	24,37	50,34
142006	<i>Haurani*2/T. boeoticum ICWT 500652</i>	38,73	19,93	48,54	55,3	29,17	47,26
142007	<i>Haurani*2/T. urartu ICWT 500516</i>	35,7	20,87	41,55	39,97	25,17	37,03
142008	<i>Cham5*3/T. dicoccoides ICWT 601116</i>	38,29	18,13	52,64	50,56	19,1	62,23
142009	<i>Cham5*3/T. boeoticum ICWT 500647</i>	35,49	18,01	49,26	56,48	21,96	61,13
142012	<i>Cham5*3/T. boeoticum ICWT 500647</i>	42,73	18,73	56,16	49,03	25,57	47,86
142013	<i>Cham5*3/T. boeoticum ICWT 500647</i>	40,16	16,87	58	47,41	18,77	60,41
142014	<i>Cham5*3/T. boeoticum ICWT 500647</i>	39,74	17,17	56,8	44,61	20,43	54,2
142015	<i>Cham5*2/T. urartu ICWT 500651</i>	39,77	19,3	51,47	52,77	22,33	57,68
142018	<i>Cham5*4/Ae. speltoides ICAG 401293</i>	35,67	20,77	41,78	50,77	20,87	58,9

142026	<i>Cham5*3/T. urartu ICWT 500649</i>	32,77	15,4	53	32,23	16,63	48,4
142027	<i>Cham5*3/T. urartu ICWT 500651</i>	40,86	18,63	54,39	43,43	23,1	46,81
142030	<i>Cham5*3/T. boeoticum ICWT 500647</i>	43,23	18,27	57,75	34,43	19,1	44,53
142031	<i>Cham5*3/T. boeoticum ICWT 500647</i>	36,7	14,8	59,67	51,43	16,37	68,18
142032	<i>Cham5*3/T. boeoticum ICWT 500647</i>	41,06	16,1	60,79	52,48	18,1	65,51
142039	<i>Cham5*3/T. dicoccoides ICWT 601116</i>	36,39	12,8	64,82	24,74	18,3	26,03
142040	<i>Cham5*3/T. dicoccoides ICWT 601116</i>	30,73	16,27	47,07	30,66	20,47	33,24
142041	<i>Cham5*4/Ae. speltoides ICAG 401293</i>	39,89	18,5	53,62	36,04	24,87	31
142042	<i>Cham5*2/T. boeoticum ICWT 500647</i>	41,73	18,63	55,35	55,23	29,7	46,23
142045	<i>Cham5*3/T. urartu ICWT 500649</i>	36,37	14,73	59,49	37,8	17,4	53,97
142046	<i>Cham5*2/T. boeoticum ICWT 500647</i>	42,56	17,09	59,85	56,71	17,9	68,43
142048	<i>Cham5*3/T. boeoticum ICWT 500647</i>	45,33	18,83	58,46	51,97	26	49,97
142053	<i>Cham5*2/T. dicoccoides ICWT 601116</i>	35,8	18,6	48,04	44,8	22,5	49,78
142056	<i>Haurani*2/T. urartu ICWT 500516</i>	32,9	16,51	49,83	41,8	26,21	37,3
142058	<i>Cham5*2/T. urartu ICWT 500649</i>	33,16	19,24	41,98	39,68	23,01	42
142060	<i>Cham5*3/T. boeoticum ICWT 500647</i>	38,8	18,51	52,3	47,37	25,48	46,21

142061	<i>Cham5*3/T. boeoticum ICWT 500647</i>	37,3	19,76	47,03	45,23	25,46	43,72
142062	<i>Haurani*3/T. dicoccoides ICWT 601116</i>	38,3	18,81	50,9	33,5	23,78	29,02
142063	<i>Cham5*3/T. dicoccoides ICWT 601116</i>	32,93	18,53	43,72	35,8	22,17	38,08
142064	<i>Haurani*2/T. boeoticum ICWT 500652</i>	34,87	16,2	53,54	47,37	24,47	48,35
142066	<i>Cham5*3/T. boeoticum ICWT 500647</i>	37,47	19,57	47,78	45,23	25,57	43,48
142067	<i>Cham5*3/T. dicoccoides ICWT 601116</i>	28,6	18,17	36,48	29,53	22,73	23,02
142068	<i>Cham5*3/T. boeoticum ICWT 500647</i>	37,66	17,23	54,24	52,11	21,9	57,97
142070	<i>Cham5*3/T. boeoticum ICWT 500647</i>	28,59	18,16	36,49	57,54	17,41	69,75
142071	<i>Cham5*3/T. urartu ICWT 500649</i>	33,19	18,7	43,65	49,17	21,57	56,14
142072	<i>Cham5*4/Ae. speltoides ICAG 401293</i>	36,33	21	42,2	57,37	22,63	60,55
Bezaghra	<i>Bezaghra</i>	33,7	18,83	44,11	42,93	21,93	48,91
GRS17dws-002	<i>Segndroue/ Ae. bicornis (IG 47037)//Segndroue/3/ouassara</i>	37,2	22,07	40,68	39,7	33,03	16,79
GRS17dws-004	<i>Segndroue/ Ae. bicornis (IG 47037)//Faraj/3/Ouassara</i>	35,51	21,03	40,76	45,16	27,73	38,59
GRS17dws-007	<i>Segndroue/ Ae. bicornis (IG 47037)// Marzak/3/ Bezaghra</i>	33,67	22,41	33,45	30,6	30,48	0,39
GRS17dws-009	<i>Segndroue/ Ae. bicornis (IG 47037)// Marzak/3/karim</i>	37,83	24,21	36,01	45,17	30,38	32,75
GRS17dws-016	<i>Segndroue/ Ae. bicornis (IG 47058)// Ouassara/3/ Ouassara</i>	35,51	19,36	45,49	44,53	23,83	46,49

GRS17dws-017	<i>Segndroue/ Ae. bicornis (IG 47037)// Bezaghras /3/Khiar</i>	38,73	22,74	41,3	50,97	26,11	48,76
GRS17dws-025	<i>Bezaghras/ Ae. bicornis (IG 47037)// Bezaghras/3/Marzak</i>	36,07	24,43	32,26	41,2	34,83	15,45
GRS17dws-027	<i>Marzak/ Ae. bicornis (IG 47572)// Segndroue /3/Ouassara</i>	31,93	21,51	32,63	52,67	23,06	56,23
GRS17dws-030	<i>ICAMOR/ Ae. bicornis (IG 47404)// Segndroue/3/Ouassara</i>	33,46	20,39	39,06	36,56	32,84	10,17
ICAMOR	<i>ICAMOR</i>	31,77	20,83	34,42	36,83	22,87	37,92
Karim	<i>Karim</i>	30,6	16,47	46,19	47,67	18,57	61,05
Khiar	<i>Khiar</i>	41,91	24,79	40,85	38,56	35,04	9,12
Marzak	<i>Marzak</i>	30,67	17	44,57	47,63	26,67	44,02