

**UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF – M’sila**

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

Numéro de série : .....

Numéro d’inscription: .....



## **THESE**

Présentée pour l’obtention du diplôme de

**DOCTORAT 3<sup>ème</sup> Cycle (LMD)**

**FILIERE** : Sciences Biologiques

**SPECIALITE** : Biodiversité et ressources naturelles

### **Intitulé**

**Etude des mécanismes de tolérance aux stress abiotiques  
chez quelques variétés de blé (*Triticum sp.*)**

Présenté par:

**M<sup>elle</sup> : MESSAOUDI Noura**

**Soutenue le 15/06 /2021 devant le jury composé de:**

<b>Nom &amp; Prénoms</b>	<b>Grade</b>	<b>Etablissement</b>	<b>Qualité</b>
GHADBANE Mouloud	Professeur	UMB-Msila	Président
BENDERRADJI Laid	Professeur	UMB-Msila	Encadreur
BRINI Faïçal	Professeur	CBS, Sfax -Tunisie	Co- Encadreur
BAHLOULI Fayçal	Professeur	UMEBI-B. B. A.	Examineur
YAHIAOUI Merzouk	Maitre de Conférences -A-	UMB-Msila	Examineur

**Année Universitaire : 2020/2021**

## **REMERCIEMENTS**

Avant tout, louange à «ALLAH», le tout puissant qui m'a orienté vers la bonne voie. Sans sa miséricorde, ce travail n'aurait pas abouti.

J'adresse mes remerciements à mon encadreur **Pr. BENDERRADJI Laid**, qu'il trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance, mon immense gratitude et mon grand respect, pour tous ses efforts, son savoir, ses idées, ses orientations, ses remarques, ses conseils précieux, pour l'aide et le temps qu'il m'a apporté tout au long de ce travail, sa grande disponibilité, sa confiance et ses encouragements ainsi que sa gentillesse et ses qualités humaines. Merci pour avoir encadré ce travail, je lui en rends une profonde gratitude.

Je tiens à remercier aussi **Pr. BRINI Faiçal**, Directeur du Laboratoire de Biotechnologie et Amélioration des Plantes du Centre de Biotechnologie de Sfax (CBS)-Tunisie, pour son acceptation de codiriger ce travail. Ainsi, sa gentillesse, ses orientations et conseils précieux, son aide et ses encouragements tout au long de mon stage au CBS.

Je remercie aussi **Pr. GHADBANE Mouloud** de l'Université de M'sila qui m'a fait l'honneur de présider le jury de ma thèse.

Mes remerciements vont aussi au **Pr. BAHLOULI Fayçal** de l'Université EL Bachir EL IBRAHIMI de Bordj Bou Arreridj pour l'honneur que vous m'avez fait d'examiner ce travail.

Je tiens également à remercier **Dr. YAHIAOUI Merzouk** de l'Université de M'sila, pour faire partie du jury de ma thèse.

Mes sincères remerciements vont au **Pr. BENMAHAMMED Amar** de l'Université de Sétif1, qui m'a souvent aidé, je lui suis très reconnaissante.

À Monsieur le directeur de l'Institut Technique des Grandes Cultures **ITGC** de Sétif de m'avoir permis d'installer mon essai au sein de la station expérimentale et Monsieur le directeur du Centre National de Contrôle et de Certification des semences **CNCC** à Sétif de m'avoir donné les semences Veuillez agréer l'expression de ma reconnaissance et de mes remerciements les plus sincères.

Mes considérables remerciements vont également à l'Institut Technologie Moyen Agricole (**ITMA**) de Sétif pour leur accueil chaleureux.

J'adresse mes plus sincères remerciements à tout le personnel du laboratoire du département des sciences de nature et de la vie, et **Mr. SGHIRI Kamel** pour m'avoir facilité le travail dans le laboratoire.

**MESSAOUDI Noura**

## Liste des abréviations

**ACP** : Analyse en composantes principales

**cDNA ou ADNc**: ADN Complémentaire

**BET**: Bromure d'Ethilium

**CC** : Capacité au champ

**CM** : Carré Moyen

**CIMMYT** : International Maize and Wheat Improvement Center

**CV<sub>g</sub>** : Coefficients de la variabilité génotypique

**CV<sub>p</sub>** : Coefficients de la variabilité phénotypique

**Ddl** : Degré de liberté

**DO** : Densité optique

**dNTP** : désoxyribonucléotides Triphosphates

**FAO** : Organisation Des Nations Unies pour L'alimentation et Agriculture

**G x E** : Interaction génotype avec l'environnement ou milieu

**H<sup>2</sup>** : L'héritabilité au sens large

**HKT**: Hight Affinity K<sup>+</sup> Transporter

**Ht** : Hauteur du chaume en centimètres

**IC%** : Intégrité cellulaire

**ITGC** : Institut Technique des Grandes Cultures

**LEA** : Late-Embryogenesis-Abundant proteins

**NEM<sup>2</sup>** : Nombre d'épi par mètre

**NGE** : Nombre de grains par épi

**PCR** : Amplification en Chaîne par Polymérase

**PMG** : Poids de mille grains

**Ppds** : La plus petite différence significative

**RT-PCR**: Transcription Reverse par Amplification en Chaîne par Polymérase

**rpm**: Rotation par minute

**SF** : Surface foliaire

**TRE** : Teneur en eau Relative

**Tris**: Tris (Hydroxyméthyl) Aminométhane

**σ<sup>2</sup>G** : variance génotypique

**σ<sup>2</sup>p** : variance phénotypique

## Liste des Figures

N°	Titre	Page
Figure 1	Origine génétique de différentes espèces de blé	06
Figure 2	Représentation schématique de l'histoire évolutive des espèces du genre <i>Triticum</i> et <i>Aegilops</i> (d'après	06
Figure 3	Evolution de la production Algérienne de céréales durant la période 2000/2012	08
Figure 4	Évolutions de la production et de la consommation du blé en Algérie	08
Figure 5	Structure d'un épi et épillet du blé	10
Figure 6	Cycle de développement du blé	13
Figure 7	Morphologie du blé dur	14
Figure 8	Morphologie du blé tendre	15
Figure 9	Utilisations industrielles du blé	16
Figure 10	Effet du stress salin et mécanismes de régulation de la tolérance à la salinité	22
Figure 11	Gènes induits par le stress et leur fonctions possibles dans la réponse à la tolérance au stress osmotique	36
Figure 12	Représentation schématique des principales voies de signalisation majeure et principaux produits de transcription chez les plantes en réponse au stress osmotique.	37
Figure 13	Mécanisme de réponse des plantes à la sécheresse et caractères impliqués dans la réponse,	38
Figure 14	Site expérimental de la station d'ITGC de Sétif.	39
Figure 15	Mesure de la teneur relative en eau (TRE)	44
Figure 16	Mesure de l'intégrité cellulaire (l'IC%)	45
Figure 17	Feuilles prises au hasard au stade épiaison	45
Figure 18	Mesure de la température du couvert végétal	46
Figure 19	Mesure de la chlorophylle (Unité SPAD)	46
Figure 20	Mesure de la surface foliaire	47
Figure 21	Dosage de la proline	48
Figure 22	Courbe d'étalonnage de la proline.	49
Figure 23	Dosage des sucres solubles	50
Figure 24	Courbe étalon du dosage des sucres solubles	50
Figure 25	Mesure du poids de 1000 grains (PMG)	52
Figure 26	Etapes de germination	54
Figure 27	Application de stress salin et hydrique sur les lignées de blé	54
Figure 28	Méthode d'extraction des ARN totaux des plantes.	55
Figure 29	Appareil PCR « Gene Amp PCR system 2700, Applied Biosystems »	56
Figure 30	Analyse de fragment d'ADN par Electrophorèse sur gel d'agarose	57
Figure 31	Pluviométrie et températures moyennes du site expérimental ITGC de	60

	Sétif des deux campagnes agricoles 2016/17 et 2017/18	
Figure 32	Réduction des valeurs moyennes des variables mesurées des campagnes 2016/2017 et 2017/2018	64
Figure 33	Hauteur du chaume des génotypes étudiés	66
Figure 34	Biomasse aérienne des génotypes étudiés	66
Figure 35	Nombre d'épi /m <sup>2</sup> des génotypes étudiés	66
Figure 36	Performances du rendement grain des génotypes étudiés en 2017 et 2018.	68
Figure 37	Transgression du poids des épis /m <sup>2</sup> des génotypes étudiés.	68
Figure 38	Transgression du nombre de grain / épi des génotypes étudiés	69
Figure 39	Transgression du poids de 1000 grains des 25 génotypes de blé étudiés	71
Figure 40	Transgression de la température du couvert végétal TCV et de la chlorophylle CHL chez les génotypes de blé étudiés.	72
Figure 41	Transgression de la teneur relative en eau TRE% et de l'intégrité cellulaire IC% des génotypes étudiés	74
Figure 42	Transgression de la surface foliaire SF (cm <sup>2</sup> ) des 25 génotypes étudiés	75
Figure 43	Représentation graphique des 14 variables physiologiques à l'intérieur du cercle de corrélation du plan factoriel 1-2, obtenu à partir des données de l'ensemble des deux années 2016/2017 et 2017/2018 du site de Sétif.	108
Figure 44	a/ Surface foliaire de 18 variétés de blé tendre, sous différents traitements de stress hydrique b/ Surface foliaire de 18 variétés de blé dur, sous différents traitements de stress hydrique	114 114
Figure 45	Variation de la teneur relative en eau des 18 génotypes de blé dur et tendre soumis aux différents traitements de stress hydrique.	116
Figure 46	Transgression de l'intégrité cellulaire de 9 variétés de blé dur et 9 variétés de blé tendre.	119
Figure 47	Transgressions de la chlorophylle chez les variétés de blé tendre et blé dur étudiées.	121
Figure 48	Variation de la teneur en proline chez les variétés de blé tendre soumises aux différents traitements de stress hydrique.	124
Figure 49	Variation de la teneur en proline chez les variétés de blé dur soumises aux différents traitements de stress hydrique.	124
Figure 50	Variation de la teneur en Sucre chez les variétés de blé tendre soumises aux différents traitements de stress hydrique.	126
Figure 51	Variation de la teneur en Sucre chez les variétés de blé tendre soumises aux différents traitements de stress hydrique..	126
Figure 52	Etude du niveau d'expression des gènes <i>DHN</i> et <i>HKT</i> de la feuille étendard des 9 variétés de blé dur et 9 variétés de blé tendre en absence et en présence du stress salin et hydrique.	130

## Liste des Tableaux

N°	Titre	Page
Tableau 1	Les dix principaux pays importateurs de blé dans le monde, en millions de tonnes	9
Tableau 2	Composition qualitative pour 100 g de grains entiers du blé dur	14
Tableau 3	Paramètres phénologiques et morpho-physiologiques d'adaptation au déficit hydrique	33
Tableau 4	Nom et pedigree des variétés utilisées comme matériel végétal.	40
Tableau 5	Génotypes de blé utilisés au cours de la campagne 2017/2018	42
Tableau 6	Séquences des amorces utilisées dans l'Amplification des cDNAs par PCR	56
Tableau 7	Carrés moyens des caractères morpho-physiologiques de campagnes 2016/17	61
Tableau 8	Carrés moyens de l'analyse de la variance des caractères morpho-physiologiques de campagne d'étude 2017/18	61
Tableau 9	Carrés moyens de l'analyse de la variance du rendement et ses composantes (2016/2017).	61
Tableau 10	Carrés moyens de l'analyse de la variance du rendement et ses composantes (2017/2018)	62
Tableau 11	Carrés moyens de l'analyse de la variance des caractères morpho-physiologiques de campagnes d'étude (2016/2017 et 2017/2018)	62
Tableau 12	Carrés moyens de l'analyse de la variance du rendement et ses composantes (2016/2017 et 2017/2018)	63
Tableau 13	Comparaison des caractères agronomiques mesurés chez différentes variétés de blé étudiées en campagne 2017	93
Tableau 14	Comparaison des caractères agronomiques mesurés chez différentes variétés de blé étudiées en campagne 2018.	94
Tableau 15	Comparaison des caractères morpho-physiologiques mesurés chez différentes variétés étudiées en campagne 2017.	96
Tableau 16	Comparaison des caractères morpho-physiologiques mesurés chez différentes variétés étudiées en campagne 2018.	97
Tableau 17	Estimation des coefficients de la variabilité phénotypique, génotypique et de l'héritabilité des caractères physiologiques (campagne 2017).	100
Tableau 18	: Estimation des coefficients de la variabilité phénotypique, génotypique et de l'héritabilité des caractères physiologiques (campagne 2018)	101
Tableau 19	Estimation des coefficients de la variabilité phénotypique et génotypique, et de l'héritabilité du rendement et ces composantes (campagne 2017).	102
Tableau 20	Estimation des coefficients de la variabilité phénotypique et génotypique, et de l'héritabilité du rendement et ces composantes (campagne 2018).	103
Tableau 21	Analyse des liaisons inter- caractères Campagne d'étude 2016/17.	105

Tableau 22	Analyse des liaisons inter- caractères Compagne d'étude 2017/18	106
Tableau 23	Carrés moyens de l'analyse de la variance des caractères morphologiques, physiologiques mesurés des 18 Variétés de blé ( <i>Triticum</i> sp.)	109
Tableau 24	Carrés moyens de l'analyse de la variance des caractères biochimiques mesurés des 18 Variétés de blé ( <i>Triticum</i> sp.)	109
Tableau 25	Moyennes des Caractères morphologiques (NR, LR) et leurs groupes homogènes	112
Tableau 26	Moyennes des Caractères morphologiques LE et LF et leurs groupes homogènes	113
Tableau 27	Moyennes des surfaces foliaires et leurs groupes homogènes.	115
Tableau 28	Moyennes de la teneur relative en eau et leurs groupes homogènes	116
Tableau 29	Moyennes de l'intégrité cellulaire et leurs groupes homogènes	119
Tableau 30	Moyennes du taux de chlorophylle et leurs groupes homogènes	120
Tableau 31	Moyennes de dosage de Proline et leurs groupes homogènes.	122
Tableau 32	Moyennes de la teneur en sucres soluble et leurs groupes homogènes.	125

# Table des Matières

Remerciements.....	I
Liste des abréviations.....	II
Listes des figures.....	III
Liste des tableaux.....	V
Sommaire.....	VII
<b>Introduction</b> .....	1
<b>Chapitre I: Synthèse bibliographique</b>	
I. 1. Culture et origine géographique du blé .....	4
I. 1. 1. Culture du blé .....	4
I. 1. 2. Origine génétique .....	4
I. 2. Production du blé en Algérie et dans le monde ...	7
I. 3. Taxonomie du blé.....	9
I. 4. Cycle de développement.....	11
I. 4. 1. Période végétative .....	11
I. 4. 2. Période reproductrice .....	11
I. 4. 3. Période de maturation .....	12
I. 5. Espèces de blé ( <i>Triticum</i> sp.).....	13
I. 5.1. Blé dur ( <i>Triticum durum</i> Desf.).....	13
I. 5. 2. Blé tendre ( <i>Triticum aestivum</i> L.).....	14
I. 6. Importance économique et utilisation du blé.....	15
I. 6. 1. Dans l'alimentation humaine.....	15
I. 6. 2. Dans l'alimentation animale .....	16
I. 7. Effet de stress abiotiques.....	17
I. 7. 1. Effet du stress hydrique .....	18
I. 7. 2. Effet du stress salin .....	19
I. 8. Mécanismes de tolérance au stress hydrique .....	22
I. 9. Mécanismes de la tolérance au stress salin.....	23
I. 10. Sélection pour la tolérance aux stress abiotiques .....	24
I. 10. 1. Sélection pour la productivité.....	25
I. 10. 2. Sélection pour l'adaptation.....	26

I. 10. 2. 1. Adaptation phénologique.....	26
I. 10. 2. 2. Adaptation morphologique.....	27
I. 10. 2. 3. Adaptation physiologique.....	29
I. 10. 2. 4. Adaptation biochimique.....	31
I. 11. Approches moléculaires pour la tolérance aux stress abiotiques.....	33
I. 11. 1. Marqueurs moléculaires.....	33
I. 11. 2. Gènes candidats liées à la tolérance au stress salin et hydrique.....	34
I. 11. 2. 1. Gènes LEA (Late-Embryogenesis-Abundant protéines) ou (Dehydrines: <i>DHN</i> )...35	
I. 11. 2. 2. Transporteurs <i>HKT</i> (High Potassium Transport).....	35
I. 12. Mécanismes moléculaires de la réponse aux stress abiotiques.....	36

## **Chapitre II : Matériel et Méthodes**

II. 1. Localisation et mise en place de l'expérimentation.....	39
II. 2. Matériel végétal .....	39
II. 3. Dispositif expérimental.....	40
II. 3. 1. Campagne agricole 2016/17.....	40
II. 3. 2. Campagne agricole 2017/18.....	41
II. 3. 3. Caractères mesurés pour la Campagne 2016/17 .....	43
II. 3. 3. 1. Teneur relative en eau (TRE %)... ..	43
II. 3. 3. 2. Intégrité cellulaire .....	44
II. 3. 3. 3. Surface foliaire (SF).....	45
II. 3. 3. 4. Température du couvert végétal (TCV).....	46
II. 3. 3. 5. Mesure de la chlorophylle (Unité SPAD).....	46
II. 3. 4. Caractères mesurés pour la Campagne 2017/18).....	47
II. 3. 4. 1. Paramètres morphologiques .....	47
II. 3. 4. 1. 1. Longueur et nombre de racines .....	47
II. 3. 4. 1. 2. Longueur de l'épi cotyle .....	47
II. 3. 4. 1. 3. Longueur de feuilles .....	47
II. 3. 4. 1. 4. Surface foliaire SF « cm <sup>2</sup> ».....	47
II. 3. 4. 2. Paramètres physiologiques .....	47
II. 3. 4. 2. 1. Dosage de proline .....	47
II. 3. 4. 2. 2. Teneur en sucres solubles.....	49
II. 3. 4. 2. 3. Teneur relative en eau (TRE%), intégrité cellulaire (IC%) et taux de chlorophylle (CHL).....	50

II. 3. 4. 3. Paramètres agronomiques.....	51
II. 3. 4. 3. 1. Rendement (RDT, g/m <sup>2</sup> ) et ses composantes.....	51
II. 3. 4. 3. 2. Hauteur de la plante (HT, cm) .....	51
II. 3. 4. 3. 3. Nombre d'épis, de grain par épi, poids moyen d'un grain et rendement grain...51	
II. 3. 4. 3. 4. Nombre de grains au mètre carrée (NG/M <sup>2</sup> ) .....	51
II. 3. 4. 3. 5. Poids de mille grains (PMG) .....	51
II. 3. 5. Analyse statistique .....	52
II. 4. Etude moléculaire .....	53
II. 5. Extraction des ARN totaux des plantes .....	54
II. 5. 1. Méthode d'Extraction des ARN totaux au Trizol.....	54
II. 5. 2. Transcription inverse (RT-PCR) : Synthèse des cDNAs.....	55
II. 5. 3. Amplification des cDNAs par PCR.....	56
3.5 Analyse de fragment d'ADN par Electrophorèse sur gel d'agarose.....	57

## **Chapitre III : Résultats et discussion**

<b>III. 1. Caractérisation agronomique et morpho-physiologique <i>in vivo</i> de variétés de blé sous conditions semi-arides.....</b>	<b>59</b>
III. 1. 1. Climat du site d'étude .....	59
III. 1. 2. Caractères phéno-morpho-physiologiques et composantes du rendement .....	60
III. 1. 3. Analyse des performances moyennes .....	63
III. 1. 4. Estimation des coefficients de la variabilité phénotypique, génotypique et de l'héritabilité .....	98
III. 1. 5. Analyse des liaisons inter-caractères.....	100
III. 1. 6. Analyse en composantes principales (ACP).....	105
<b>III. 2. Comportement morpho-physiologique et biochimique <i>in vitro</i> des variétés de blé (<i>Triticum sp.</i>) sous stress hydrique.....</b>	<b>109</b>
III. 2. 1. Variation de paramètres morpho-physiologiques et biochimiques.....	109
III. 2. 1. 1. Variation des paramètres morpho-physiologiques .....	109
<b>III. 3. Analyse de l'expression des gènes candidats <i>HKT</i> et <i>DHN</i> chez les variétés de blé (<i>Triticum sp.</i>) sous stress salin et hydrique.....</b>	<b>128</b>
III. 3. 1. Effet du stress salin sur l'expression des gènes <i>DHN</i> et <i>HKT</i> chez le blé .....	128
III. 3. 1. 1. Accumulation des transcrits <i>DHN</i> .....	128
III. 3. 1. 2. Accumulation des transcrits <i>HKT</i> .....	129

III. 3. 2. Effet du stress hydrique sur l'expression des gènes <i>DHN</i> et <i>HKT</i> .....	129
III. 3. 2. 1. Accumulation des transcrits <i>DHN</i> .....	129
III. 3. 2. 2. Accumulation des transcrits <i>HKT</i> .....	129
<b>Conclusion et perspectives</b> .....	134
<b>Références Bibliographiques</b> .....	143
<b>Résumé, الملخص, Abstract</b>	

# **INTRODUCTION**

## **Introduction**

Les céréales occupent, à l'échelle mondiale, une place primordiale dans les programmes de recherche agricole (Slama et *al.*, 2005, Adoui et *al.*, 2017) et dans l'alimentation mondiale, avec les trois quarts de sa production destinés à la consommation humaine (Kara, 2015).

En Algérie, les céréales et particulièrement le blé, sont les cultures prédominantes, nécessitant une amélioration pour satisfaire une demande sans cesse croissante (Attab et Brinis, 2012). La production actuelle des céréales ne couvre que partiellement les besoins de la population, dont l'état fait recours aux importations qui pèse lourdement sur son économie. La céréaliculture Algérienne fait face à plusieurs facteurs qui n'ont pas fondamentalement changés, elle est essentiellement pluviale et soumise à des régimes pluviométriques variables et le plus souvent faibles qui se traduisent par de fortes contraintes hydriques et thermiques, ce qui explique la stagnation du rendement depuis près d'un demi-siècle (Azoui, 2014 ; Benniou et *al.*, 2014).

Dans les milieux arides et semi-arides, les stress abiotiques imposent des limites au développement de la plante. La résistance à ces stress est dépendante du génotype qui développe des mécanismes morphologiques, physiologiques et/ou biochimiques pour échapper (esquiver), éviter ou tolérer la contrainte environnementale (Levitt, 1982 ; Neffar, 2013).

De type méditerranéen, le climat algérien se caractérise principalement par la variabilité intra et interannuelle des précipitations et du régime thermique. Les stress climatiques, comme le déficit hydrique, les températures extrêmes, deviennent très communs à mesure qu'on pénètre à l'intérieur du pays. Ces stress affectent le développement et la production des cultures (Baldy, 1974; Mekhlouf et *al.*, 2006)

Depuis le début des années soixante-dix la recherche agronomique s'évertue à sélectionner de nouvelles variétés de céréales qui seraient capables d'améliorer sensiblement la production dans les zones où ces espèces occupent relativement de larges étendues, et notamment sur les hautes plaines de l'intérieur du pays. Trente années plus tard, plusieurs nouvelles variétés sont mises à la disponibilité des agriculteurs (Benmahammed et *al.*, 1999). Les variétés nouvelles sont le plus souvent sélectionnées sur la base de leur niveau de rendement sans tenir compte des caractères adaptatifs qui sont des régulateurs de la production en milieux variables (Laala, 2010). Ces variétés, si on leurs préconise un milieu

favorable ou sous irrigation, elles arrivent à exprimer leur potentiel en rendement. En conditions pluviales et sous climat semi-aride, elles se montrent plus variables et souvent moins productives que les cultivars locaux suite à leur sensibilité aux stress (Benmahammed et *al.*, 2010).

Pour ce faire, il devient plus que nécessaire d'avoir des connaissances plus approfondies du comportement de la plante sous conditions limitantes pour développer de nouvelles variétés capables de résister au manque d'eau associé aux températures basses et élevées et à la salinité (Munns et *al.*, 2012 ; Adjel et *al.*, 2013). Ce problème de salinité s'accroît avec l'augmentation des surfaces irriguées qui ont passé de 54 500 ha en 1954 à plus de 1 million d'hectare actuellement (Bouderbala, 1999 ; Mrani Alaoui et *al.*, 2013). La tolérance à la présence des sels tel que le chlorure de sodium, est alors une qualité largement recherchée chez les végétaux d'intérêt agronomique afin d'élargir leur culture dans ces régions (Mrani Alaoui et *al.*, 2013). L'identification et la compréhension des mécanismes de tolérance des plantes à la salinité présentent donc un intérêt évident pour l'amélioration variétale. Le blé est généralement considéré comme relativement plus tolérant au sel, par comparaison à l'orge et au triticale (Mrani Alaoui et *al.*, 2013).

La résistance globale d'une plante au stress hydrique apparaît comme le résultat de nombreuses modifications phénologiques, anatomiques, morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires, qui interagissent pour permettre le maintien de la croissance, du développement et de production (Hsissou, 1994). Actuellement, les programmes d'amélioration du blé s'intéressent de plus à l'amélioration génétique de la tolérance au stress hydrique. Cette amélioration exige d'étudier, d'identifier et de vérifier les caractères phénologiques, morpho-physiologiques et biochimiques liés au rendement en condition de stress hydrique (Pfeiffer et *al.*, 2000 ; Mouellef ; 2010).

Pour faire face à telles situations, des techniques de biotechnologies végétales sont avérées efficaces pour améliorer les mécanismes d'adaptation aux stress abiotiques, à la création d'un matériel végétal tolérant aux différentes formes de contraintes abiotiques (salinité, sécheresse...etc.) permettant ainsi aux aires de cultures d'assurer une meilleure suffisance alimentaire (Benderradji et *al.*, 2016).

Plusieurs caractères sont rapportés dans la littérature comme ayant une liaison plus ou moins étroite avec la tolérance ou la performance sous conditions de stress. Parmi ces caractères, on trouve la stabilité de la membrane plasmique, la teneur relative en eau, la surface de la feuille étendard et les pertes d'eau des feuilles excisées (Hamli et *al.*, 2015).

La notion de tolérance, est donc liée à la capacité de maintenir un niveau de production (et/ou de qualité) élevé en présence de stress (Ney *et al.*, 2013 ; Gouache *et al.*, 2013). Tous ces stress environnementaux sont perçus par la plante comme des stimuli qui, par un phénomène de transduction du signal au sein de la cellule végétale, vont à leur tour induire tout un ensemble de réponses physiologiques, biochimiques ou moléculaires d'où l'expression ou la répression de certains gènes (Tafforeau, 2002).

L'amélioration génétique des céréales s'est donnée pendant longtemps pour objectif primordial l'augmentation de la productivité (aptitude au rendement et/ou rendement potentiel), mais le succès de cette stratégie d'amélioration des rendements moyens à travers une augmentation de la productivité est lié à l'existence de conditions environnementales (milieu naturel, techniques) favorables, permettant l'expression des différents facteurs du rendement (Monneveux, 1991).

Dans ce contexte, l'objectif de mon travail de recherche est axé sur l'étude du mécanisme de tolérance aux stress abiotiques chez 25 variétés de blé (*Triticum sp.*).

La thèse présentée est subdivisée en trois parties essentielles qui seront précédés par une introduction .

**Le premier chapitre :** Consacré à la revue bibliographique en donnant un aperçu sur le blé, les stress abiotiques, les paramètres morpho-physiologiques, biochimiques et moléculaires de la tolérance aux stress abiotiques.

**Le deuxième chapitre:** Décrit d'une manière détaillée le matériel végétal, les différents caractères mesurés et les méthodes d'analyse utilisées dans ce travail.

**Le troisième chapitre :** Discutera les principaux résultats obtenus. Elle est subdivisée en trois sous chapitres :

**Sous chapitre 1 :** Caractérisation agronomique et morpho-physiologique *in vivo* de variétés de blé sous conditions semi-arides

**Sous chapitre 2 :** Comportements morpho-physiologiques et biochimiques *in vitro* des variétés de blé (*Triticum sp.*) sous stress hydrique

**Sous chapitre 3 :** Analyse de l'expression de gènes candidats *HKT* et *DHN* chez les variétés de blé (*Triticum sp.*) sous stress salin et hydrique

La thèse est achevée par une conclusion et des perspectives, suivies de la liste des références bibliographiques.

**REVUE**

**BIBLIOGRAPHIQUE**

## **Chapitre I: Synthèse bibliographique**

### **I. 1. Culture et origine géographique du blé**

#### **I. 1. 1. Culture du blé**

Le blé appartient au genre *Triticum* de la tribu des Triticées, de la famille des Poacées (communément connue sous le nom de graminées) (Badr et al., 2000). La tribu Triticeae comprend d'importantes cultures céréalières telles que le blé, le riz, le maïs, l'orge, l'avoine, le seigle et le triticale.

Le blé qui est la céréale la plus cultivée au monde, constitue une ressource essentielle pour l'alimentation humaine (Feuillet, 2012). Le blé tendre (*Triticum aestivum*) et le blé dur (*Triticum durum*) sont les deux espèces les plus cultivées dans le monde et en Algérie (Kara, 2015)

La découverte du blé remonte à 15000 ans avant Jésus-Christ dans la région du croissant fertile, vaste territoire comprenant, la vallée du Jourdain et des zones adjacentes de Palestine, de la Jordanie, de l'Iraq, et la bordure Ouest de l'Iran (Ouanzar, 2012). D'après Harlen (1977) et Oudjani (2009), des restes de blé, diploïde et tétraploïde ont été découverts sur des sites archéologique au proche orient .

La culture des céréales existe déjà il y a 6000 à 8000 ans dans des régions comme la Mésopotamie ou le Kurdistan. Le blé était cultivé en Egypte 2700 ans avant l'ère Chrétienne, il y a maintenant 4700 ans (Dupin, 1992)

#### **I. 1. 2. Origine génétique**

Le blé appartient à la famille des graminées (Gramineae = Poaceae), qui comprend plus de 10000 espèces différentes (Mac Key, 2005 ; Salmi , 2015) du genre *Triticum* de l'ordre des poales.

Le genre *Triticum* regroupe de nombreuses espèces présentant une large gamme de diversité morphologique et agro-écologique. Notamment, ce genre regroupe des espèces de ploïdies variées : des espèces diploïdes telles que l'Engrain (*Triticum monococcum*), des espèces tétraploïdes avec l'Amidonier (*Triticum dicoccum*) ou le blé dur (*Triticum durum*) et enfin des espèces hexaploïdes telles que le blé tendre (*Triticum aestivum*). Il apparait que la polyploïdisation a joué un rôle majeur dans l'évolution de la famille des Poacées (Salse et al., 2008 ; Bolot et al., 2009 ; Semcheddine, 2015). D'après Feillet , 2000, ces espèces se différencient par leur degré de ploïdie (blés diploïdes : génome AA ; blés tétraploïdes: génomes AA et BB; blés hexaploïdes: génomes AA, BB et DD) et par leur nombre de

chromosomes (14, 28 ou 42). La nature polyploïde du génome des blés aurait également contribué au succès de leur domestication (Dubcovsky et Dvorak, 2007).

Les espèces de blé tirent leur origine génétique de croisements naturels entre *Triticum monococcum*, *Triticum urartu* et des espèces sauvages apparentées appartenant à *Aegilops* (*Aegilops speltaoides*). *Triticum monococcum* et *Triticum urartu* sont les premières formes de céréales cultivées, elles sont de constitution génomique  $2n = 14$  (Fallahi, 2013). La filiation génétique des blés est complexe et incomplètement élucidée. Il est acquis que le génome A provient de *Triticum monococcum*, le génome B d'un *Aegilops* (*bicornis*, *speltaoides*, *longissima* ou *searsii*) et le génome D d'*Aegilops squarrosa* (également dénommé *T. tauschii*). Le croisement naturel *T. monococcum* × *Aegilops* (porteur du génome B) a permis l'apparition d'un blé dur sauvage de type AABB (*T. turgidum* ssp. *dicoccoides*) qui a ensuite progressivement évolué vers *T. turgidum* ssp. *dicoccum* puis vers *T. durum* (blé dur cultivé) (Feillet, 2000).

Les blés tendres cultivés (AA BB DD) seraient issus également d'un croisement naturel entre *T. turgidum* ssp. *dicoccum* (AA BB) et *Aegilops squarrosa* (DD). Ces deux espèces de blé ont une importance économique réelle à l'heure actuelle (Bertrand, 1996).

Le blé dur (*Triticum turgidum* L. Var. *durum*) est une espèce allotétraploïde ( $2n = 4x = 28$ ) possédant sept paires de chromosomes homéologues associées à deux génomes différents A et B. Le génome A vient du blé sauvage *Triticum urartu* plus connu sous le nom einkorn (*Triticum monococcum*) de constitution génomique diploïde AA. Par contre le génome B vient de l'espèce sauvage, diploïde elle aussi, *Aegilops speltaoides tausch* (Schuhwerk et al., 2011).

Le blé tendre possède les trois génomes AA, BB et DD constitué chacun de sept paires de chromosomes homologues, soit au total 42 chromosomes ; le blé dur ne contient que les deux génomes AA et BB, soit 28 chromosomes (Figure 1; Figure 2) (Kerby et Kuspilraj, 1987); Benderradji, 2013).

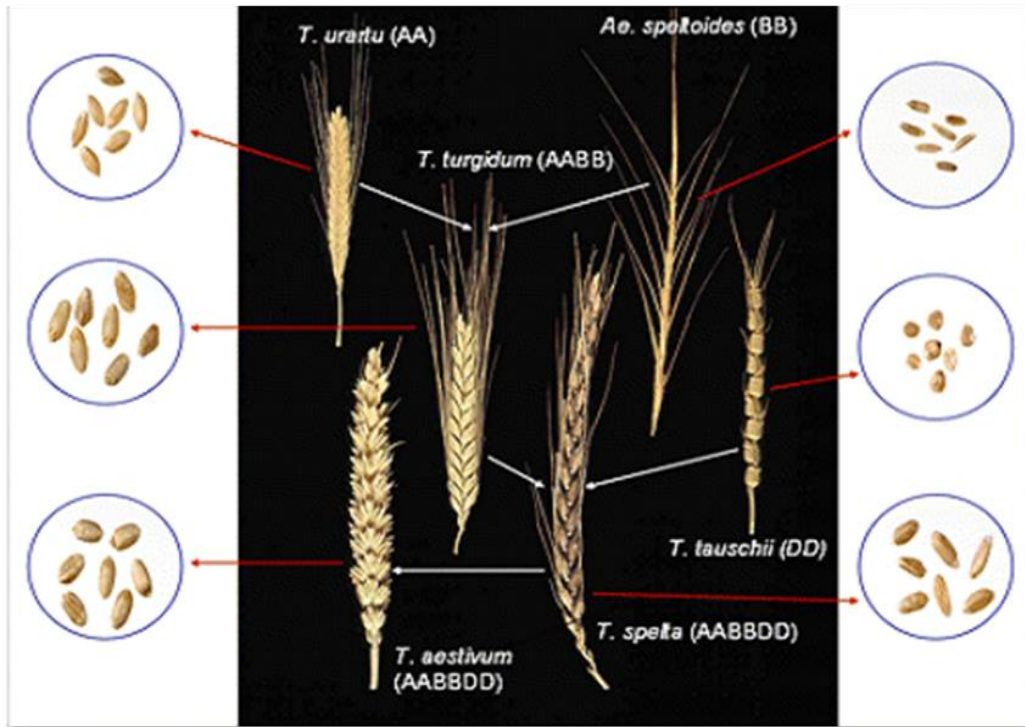


Figure 1 : Origine génétique de différentes espèces de blé (Shewry, 2009).

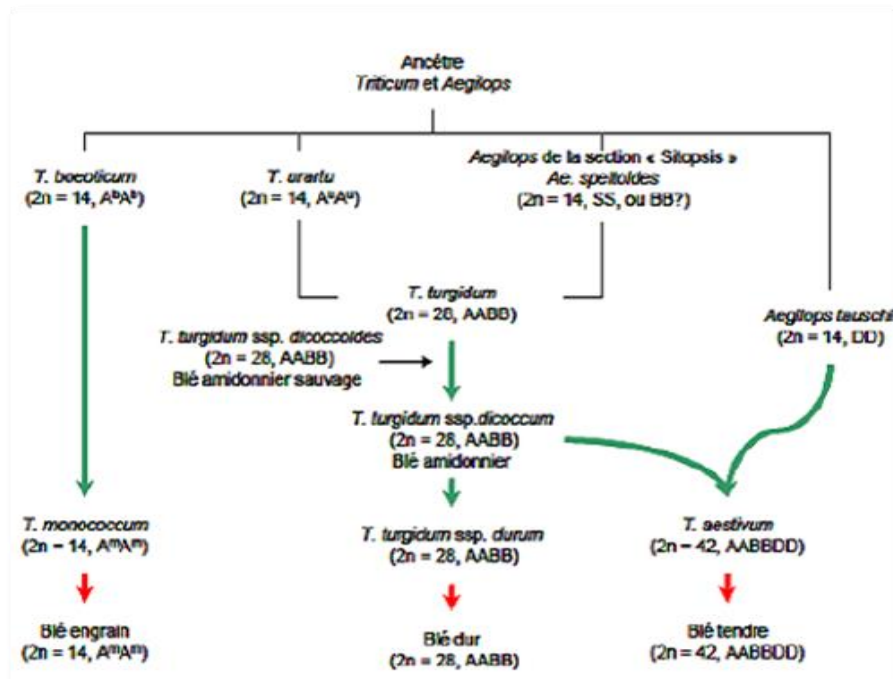


Figure 2 : Représentation schématique de l'histoire évolutive des espèces du genre *Triticum* et *Aegilops* (d'après Feuillet et al., 2008).

## **I. 2. Production du blé en Algérie et dans le monde**

Le blé est cultivé principalement dans les pays du bassin Méditerranéen à climat des régions arides et semi-arides caractérisé par l'augmentation de la température couplée à la baisse des précipitations, en plus de la désertification et la sécheresse qui influent négativement sur les sols agricoles (Abeledo et *al.*, 2008).

En Algérie, la superficie consacrée traditionnellement aux céréales varie de 3 à 3,5 millions d'hectares (Benbelkacem et Kellou, 2001 ; Laala, 2010). Selon Benbelkacem, (2013) et Rabti et *al.*, (2016), cette superficie est diminuée jusqu'à ou 2,7 millions d'hectares selon. A titre d'exemple, Le blé dur est cultivé sur 1,2 millions d'hectares, et sa production représente 45% de la production totale des céréales (Benbelkacem, 2013) avec une moyenne annuelle de 29,3 millions de tonnes pour la période allant de 1988 à 1997 (Laala, 2010).

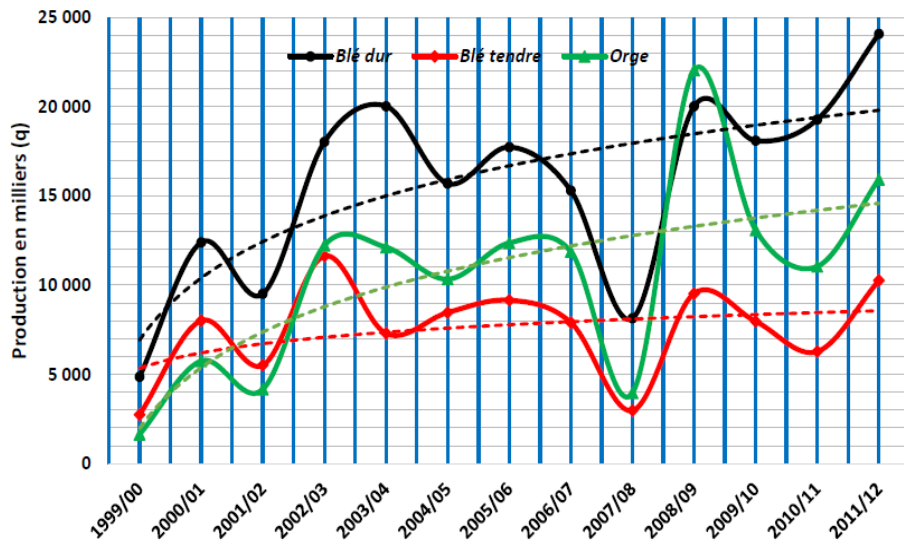
Le blé est produit dans les trois régions les plus favorables, à savoir, la zone littorale (600mm), les plaines intérieures (450 à 600mm) et la partie nord des hauts plateaux (350 à 450mm). Il est conduit sous conditions pluviales subissant les effets des contraintes climatiques dont le déficit hydrique et les températures élevées de fin de cycle sont les plus dominantes (Bouzerzour et *al.*, 2002; Mekhlouf et *al.*, 2006; Laala, 2018).

La production de blé en Algérie, reste très relativement faible et instable d'une année sur l'autre, principalement en raison des conditions climatiques très variables et souvent défavorables (pluviométrie irrégulière, maladies...etc.) (Kara, 2015). Cette faiblesse de la production de blé était toujours liée aux effets du stress hydrique qui se fait ressentir de manière très importante depuis la dernière décennie (Chaise et *al.*, 2005). Les stress abiotiques affectent le développement et la production des cultures (Baldy, 1986) qui se fait ressentir de manière très importante depuis la dernière décennie (Chaise et *al.*, 2005).

La production Algérienne en blé tendre reste très marginale, quoiqu'elle ait connu des augmentations significatives depuis les années 1960, affleurant les 1,02 millions de tonnes en 2012 (Figure 3) (Benbelkacem, 2013 ; Fellahi, 2017). La production de blé tendre a atteint, au cours de la campagne 2014/15, les 0,63 millions de tonnes contre 2,02 millions de tonnes de blé dur et 1,03 millions de tonnes d'orge et 0,07 millions de tonnes d'avoine soit un total pour les céréales à paille de 3,75 millions de tonnes (INRAA, 2016).

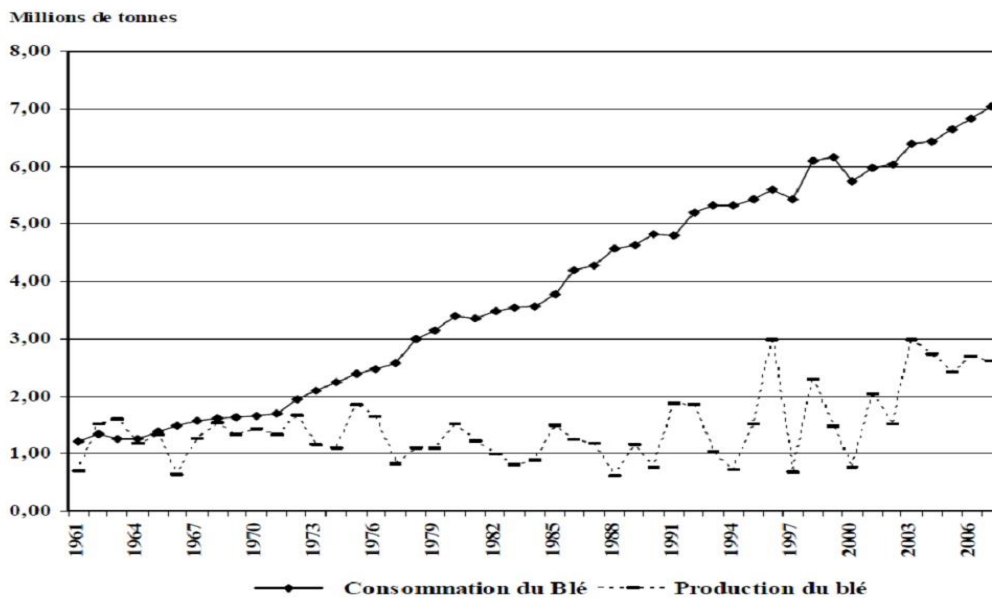
De point de vue productivité par unité de surface, les rendements de la céréaliculture algérienne sont très bas, comparativement à la moyenne mondiale qui est de 2,90 t ha<sup>-1</sup>, et celles des pays voisins qui est de 2,50 t ha<sup>-1</sup> (Bedrani, 2004 ; Fellahi, 2017). Au cours de la période 2000 à 2012, le rendement de blé tendre a varié de 0,94 à 1,63 tonnes par hectare,

avec une moyenne de 1,37 tonnes. Au cours de la campagne 2014/15, la production moyenne était de 1,26 t ha<sup>-1</sup> contre 1.80 t ha<sup>-1</sup> en 2013/14 (INRAA, 2016).



**Figure 3 :** Evolution de la production Algérienne de céréales durant la période 2000/2012 (Benbelkacem, 2013 ; Fellahi, 2017).

L’Algérie se classe actuellement, parmi les grands pays consommateur de blé avec une moyenne dépassant largement 230Kg/hab/an (Hervieu et *al.*, 2006 ; Nouar, 2015) (Figure 4).



**Figure 4 :** Évolutions de la production et de la consommation du blé en Algérie (Chabane, 2010 ; Haddad, 2017).

Selon le Conseil International du Grain, les grands importateurs sont l’Egypte, le Brésil, l’Indonésie, l’Algérie et le Japon (Tableau 1).

**Tableau 1** : Les dix principaux pays importateurs de blé dans le monde, en millions de tonnes (ITGC, 2016 ; Fellahi, 2017).

Pays	2012/13	2013/14	2014/15
Egypte	8.2	10.4	10.4
Brésil	7.7	7.4	6.2
Indonésie	7.2	7.0	7.2
Algérie	6.4	6.6	6.0
Japon	6.3	6.0	6.0
Iran	5.4	6.0	4.3
Union Européenne	5.3	4.2	4.8
Corée du Sud	5.2	4.3	4.3
Irak	3.9	3.2	3.4
Maroc	3.9	3.9	3.0
<b>Monde</b>	<b>140.5</b>	<b>152.2</b>	<b>144.1</b>

### I. 3. Taxonomie du blé

Le blé appartient à la famille des graminées (Gramineae = Poaceae), qui comprend plus de 10000 espèces différentes (Levy et Feldman, 2002). Il s’agit d’une graminée annuelle de hauteur moyenne et dont le limbe des feuilles est aplati et l’inflorescence en épi terminal se compose de fleurs parfaites (Soltner., 1998).

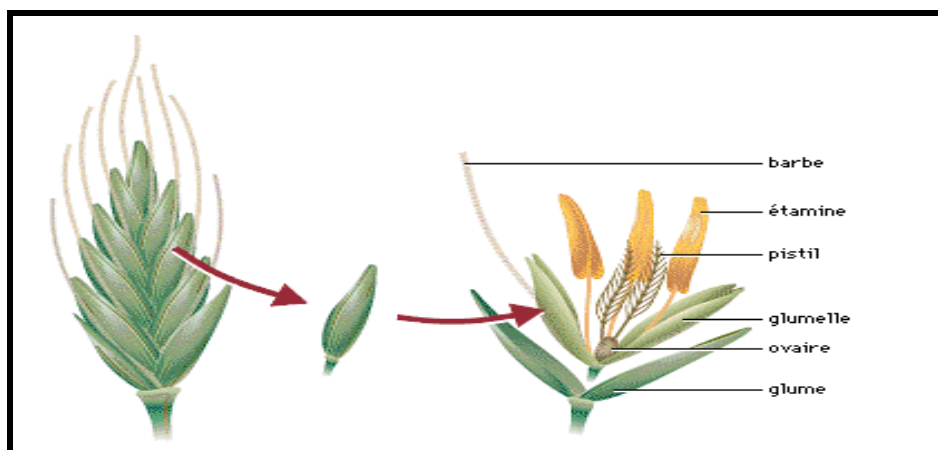
Le blé cultivé (*Triticum* sp.) dont la classification est la suivante (Reignault, 2002) :

- Règne : Végétal
- Embranchement : Spermaphytes
- Sous-embranchement : Angiospermes
- Classe : Monocotylédones
- Ordre : Cypéales
- Famille : Poacées
- Tribu : Triticées
- Genre : *Triticum*

Le genre *Triticum* comporte des espèces herbacées, annuelles, à feuille alterne et à croissance définie, le cycle de développement du blé se compose d’une période végétative marquée par la production des racines, feuilles et tiges puis et d’une phase reproductrice marquée par la formation des épis, des fleurs suivi par le remplissage des graines (Bogard, 2011). Le système racinaire comprend des racines séminales produites par la plantule durant

la levée, ainsi que des racines adventives qui se forment plus tard à partir des nœuds à la base de la plante et constituent le système racinaire permanent (Clarke et *al.*, 2002). Le blé possède une tige cylindrique, dressée, habituellement creuse et subdivisée en entrenœuds. Certaines variétés possèdent toutefois des tiges pleines. Le chaume (talles) se forme à partir de bourgeons axillaires aux nœuds à la base de la tige principale (Bozzini, 1988). Les feuilles sont alternes, chacune d'elles comprend deux parties; une portion inférieure enveloppant l'entre nœuds correspondant, la gaine et une portion supérieure (Mouille, 1971).

Chaque talle est formée d'une tige creuse (chaume) constituée des nœuds et des entrenœuds. Chaque nœud est le point d'attache d'une feuille. La feuille comprend une portion inférieure appelée gaine, enveloppant l'entre-nœud correspondant, et une portion supérieure appelée limbe (Attab, 2014). Cette plante annuelle produit un fruit sec indéhiscent, le caryopse (Debiton, 2011). La structure végétative de la plante est constituée d'une succession d'unités morphologiques similaires, les phytomeres, dont chacun est composé d'un nœud, d'un entre nœuds et d'une feuille (Vincent, 2014). Les grains de blé dur donnent de la semoule qui est utilisée dans la fabrication des pâtes alimentaires (Jeant et *al.*, 2006). La fleur de blé est dite cleistogame, c'est-à-dire, le plus souvent le pollen est relâché avant que les étamines ne sortent de la fleur. L'autofécondation est le mode de reproduction le plus fréquent (autogamie) les glumes et les glumelles sont éliminées au moment du battage pour libérer le grain (Mouille, 1971). L'épi est l'inflorescence du blé, il est composée d'une succession d'épillets attachés à un rachis commun et séparés par des entre nœuds et chaque épillet est constitué de deux glumes qui renferment plusieurs fleurs sans pétales, chacune constituée de deux glumelles renfermant un grain après fécondation (Figure 5) (Vincent, 2014).



**Figure 5 :** Structure d'un épi et épillet du blé (Oudjani, 2009).

#### **I. 4. Cycle de développement**

Le cycle de développement du blé peut donc se décomposer en deux phases majeures; une phase d'élaboration de l'appareil végétatif allant de la germination jusqu'à la floraison et une phase de développement du grain débutant à la floraison et se terminant à la maturité physiologique. La première phase correspond à l'accumulation de biomasse et d'azote via l'absorption d'eau, d'azote du sol et l'activité photosynthétique. Cette phase correspond également au développement de l'épi et des épillets. Durant cette phase se détermine le nombre potentiel de grains par épis à travers le nombre d'épillets (Gate, 1995)

##### **I. 4. 1. Période végétative**

La première période végétative (ou des feuilles) débute de la germination à la fin du tallage (Boyeldieu, 1999 ; Belagrouz, 2013). C'est au cours de la période végétative que la plante produit des feuilles et des racines. Cette phase végétative s'étend de la germination à l'ébauche de l'épi (Bozzini, 1988).

##### **\* Phase germination-levée**

La germination de la graine se caractérise par l'émergence du coléorhize donnant naissance à des racines séminales et du coléoptile qui protège la sortie de la première feuille fonctionnelle. La levée se fait réellement dès la sortie des feuilles à la surface du sol. Au sein d'un peuplement, la levée est atteinte lorsque la majorité des lignes de semis sont visibles (Gate, 1995). Pendant cette phase, les jeunes plantes sont sensibles au manque d'eau qui provoque une perte des plantes et au froid qui provoque le déchaussage (Karou et *al.*, 1998). La germination qui correspond à l'entrée de la semence en vie active et au tout début de croissance de l'embryon. L'élongation du coléoptile, premier organe du système aérien à émerger à la surface du sol. La croissance de la première feuille qui perce en son sommet le coléoptile (Gate, 1995 ; Azoui, 2014).

##### **I. 4. 2. Période reproductrice**

##### **\* Stade montaison- gonflement**

La montaison se produit au début de développement de l'épi, parallèlement les entrenœuds s'allonge (Babba, 2011). À ce stade, un certain nombre de talles herbacées commence à régresser alors que d'autres se trouvent couronnées par des épis. Pendant ce stade de croissance active, les besoins en éléments nutritifs notamment en azote sont accrus (Mazouz, 2006).

### **I. 4. 3. Période de maturation**

Cette phase marque la modification du fonctionnement de la plante qui sera alors orientée vers le remplissage des grains à partir de la biomasse produite. Les besoins des grains sont inférieurs à ce que fournissent les parties aériennes (plus de 3/4 de la matière sèche sont stockés au niveau des tiges et des feuilles). Par la suite, les besoins augmentent et le poids des grains dans l'épi s'élève, alors que la matière sèche des parties aériennes diminue progressivement. Seulement, 10 % à 15 % de l'amidon du grain peut provenir de réserves antérieures à la floraison (Boulelouah, 2002). Durant cette période les substances de réserves (amidon, matières organiques) s'élaborent et migrent dans l'albumen, parallèlement l'embryon se forme cette période comprend trois phases principales; une phase de multiplication cellulaire intense durant laquelle il y a accroissement du poids d'eau et de matière sèche dans le grain. À la fin de cette phase, l'amande encore verte a pris sa forme définitive, l'albumen est devenu laiteux (stade laiteux). Une phase d'enrichissement en glucides et protides; au cours de laquelle le poids d'eau dans le grain demeure sensiblement constant, c'est le « plier » de poids d'eau. À la fin de cette phase, l'amande s'est colorée en roux pâle, ses enveloppes résistant bien à la pression du doigt mais se déchirent à l'ongle (stade pâteux). Il marque la fin de migration des réserves ; la teneur en eau est alors de l'ordre de 40 % du poids frais et une phase de dessiccation durant laquelle il y'a seulement diminution rapide du poids d'eau. Le grain devient alors successivement demi dur ; puis dur ; à sur maturité, il est devenu cassant, c'est le stade propice au battage immédiat (Mouille, 1971). Il est à noter que de la fécondation à la maturation complète, trois phases bien distinctes sont accomplies (Soltner, 1987), à savoir,

- Une Phase de multiplication cellulaire intense (12-15 jours), durant laquelle il y a accroissement du poids d'eau et de matière sèche dans le grain. A la fin de cette phase, l'amande encore verte a pris sa forme définitive, l'albumen est devenu laiteux, c'est le stade laiteux.
- Une Phase d'enrichissement en glucides et protides (10-12 jours), au cours de laquelle le poids d'eau dans le grain demeure sensiblement constant, c'est le palier de poids d'eau. La fin de cette phase, l'amande s'est colorée en roux pâle, ces enveloppes résistent bien à la pression de doigt mais se déchirent à l'angle, c'est le stade pâteux. Il marque la fin de migration des réserves, la teneur en eau est alors de l'ordre de 40 % du poids frais.
- Une Phase de dessiccation, durant laquelle il y a seulement diminution rapide du poids d'eau, le grain devient alors successivement demi-dur, puis dur, à sur maturité, il devient cassant (Figure 6).

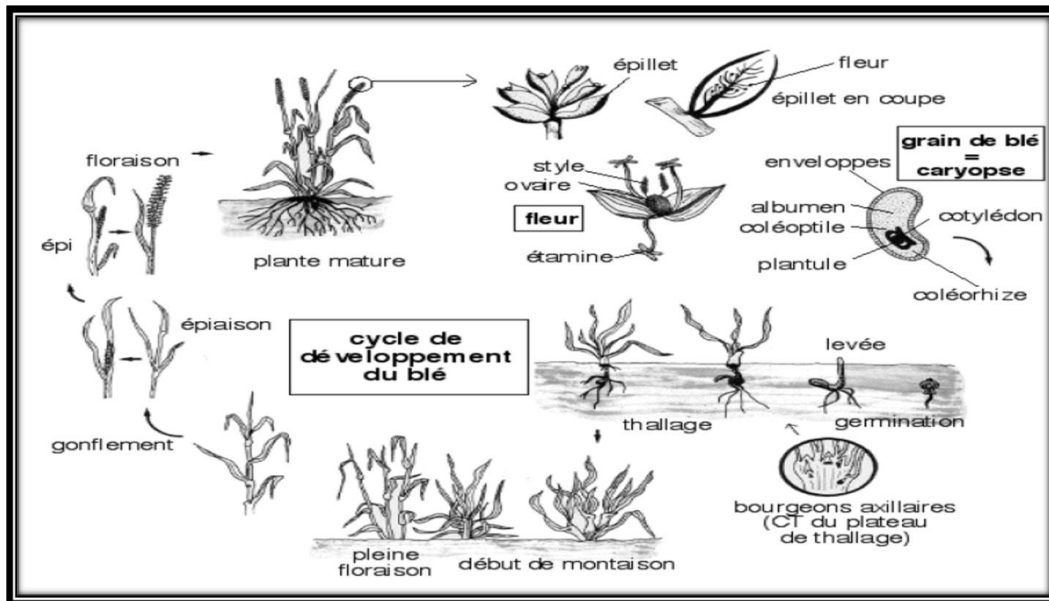


Figure 6 : Cycle de développement du blé (Attab, 2014).

## I. 5. Espèces de blé (*Triticum* sp.)

### I. 5.1. Blé dur (*Triticum durum* Desf.)

Le blé dur (*Triticum durum*) est une plante annuelle monocotylédone de la famille des Graminées (tribu des Triticées) (Feillet, 2000). Comme toutes les céréales, c'est un système vivant qui peut être divisé en deux parties, à savoir, une partie souterraine assurant la communication sol/plante, c'est le système racinaire, et une partie aérienne qui permet les échanges plante-atmosphère, notamment les processus de photosynthèse et de transpiration (Soltner, 1990). En termes de production commerciale et d'alimentation humaine, cette espèce est la deuxième plus importante du genre *Triticum* après le blé tendre (Feillet, 2000). Le blé dur (*T. durum*) est cultivé dans les pays à climat chaud et sec. Il s'identifie par ses graines dures, allongées, souvent même pointues, et avec des enveloppes assez minces et légèrement translucides (Essiane Ondo, 2014). La tige principale porte une inflorescence en épi terminal se compose de fleurs parfaites (Soltner, 1998). L'inflorescence du blé dur est un épi muni d'un rachis portant des épillets séparés par de courts entre-nœuds (Soltner, 1998). Il s'agit d'une graminée annuelle de hauteur moyenne et dont le limbe des feuilles est aplati.

Le blé dur (*T. durum*. Desf.), est l'une des principales ressources alimentaires de l'humanité (Roudart, 2006 ; Douib, 2013) à raison de 75 % de la production, destiné aussi à l'alimentation des animaux à raison de 15% de la production et à des usages non alimentaires (Feillet, 2004; Douib, 2013). La semoule issue des grains de blé dur est à l'origine de produits alimentaires très divers : Pâtes alimentaires, du couscous et à bien d'autres produits comme le frik, et divers gâteaux (Troccoli et al., 2000; Douib, 2013). La paille est utilisée comme litière

et comme aliment pour les animaux (Doré et Varoquaux, 2006; Douib, 2013). Le blé dur à une grande valeur nutritionnelle, suite à sa richesse en protéines et la présence du gluten, qui donne aux pâtes alimentaires un meilleur terme à la cuisson (Hébrard, 1996; Douib, 2013), il renferme en plus d'acides aminées, des lipides, et des glucides (Tableau 2).

**Tableau 2 :** Composition qualitative pour 100 g de grains entiers du blé dur (Hébrard, 1996 ; Douib, 2013).

Constituents	Quantité	Constituents	Quantité
Eau (g)	13	Ca (mg)	35
Energie (kj)	1383	Mg (mg)	100
Energie (kcal)	331	P (mg)	390
Glucides (g)	63	Na (mg)	5
Lipides (g)	2,5	K (mg)	-
Protides (g, N x 6, 25)	14	Fe (mg)	4,5
Fibres alimentaires (g)	9,5	Vit B1 (mg)	0,5
Vit B2 (mg)	0,09	Vit PP (mg)	6
Vit E (mg)	3	Biotine (mg)	0,01
Acide folique (mg)	0,04		

Les céréales d'hivers, en partie le blé dur, demeurent l'aliment de base des régimes alimentaires; de ce fait, elles occupent une place privilégiée dans l'agriculture Algérienne (Boulaï et *al.* 2007). Le blé dur est consommé sous plusieurs forme, essentiellement couscous, pâtes alimentaires, et Frik (Figure 7) (Anonyme, 2003).



**Figure 7( A, B) :** Morphologie du blé dur

**I. 5. 2. Blé tendre (*Triticum aestivum* L.)**

Le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) est une plante annuelle, monocotylédone, composé d'un appareil végétatif herbacé, qui comporte un système racinaire fasciculé, une tige cylindrique plus ou moins creuse et des feuilles engainantes (Simmonds, 1991). Il est apparu il y'a 7000 à 9500 ans, probablement par la domestication des blés (Nesbitt et Samuel, 1995).

Le blé tendre (*T. aestivum*) compte parmi les espèces les plus anciennement cultivées. L'appareil végétatif est constitué de différentes talles émises depuis le plateau de tallage à la

base de la plante (Figure 8). Ces thalles résultent du développement du bourgeon principal (thalle principale) et des bourgeons axillaires (thalle secondaire). Chaque thalle se compose de différentes photomères comprenant tige, graine, limbe foliaire, un bourgeon axillaire, et porte à son sommet un épi formé de deux rangées d'épillettes situées de part et d'autre du rachis (Bogard, 2011).

Le blé tendre est reconnaissable par des grains arrondis, les enveloppes sont épaisses, sans transparence et se prêtent particulièrement bien à la mouture (Simmonds, 1991) Aujourd'hui, le blé tendre constitue une importante source alimentaire et économique mondiale (Figure 8) (FAO, 2007).



**Figure 8 (A, B) : Morphologie du blé tendre**

## **I. 6. Importance économique et utilisation du blé**

Les blés constituent la première ressource en alimentation humaine et la principale source de protéines. Ils fournissent également une ressource privilégiée pour l'alimentation animale et de multiple application industrielle. Il est à signaler que, presque la totalité de la nutrition de la population mondiale, est fournie par les aliments en grains dont 95% sont produits par les principales cultures céréaliennes (Bonjean et Picard, 1990).

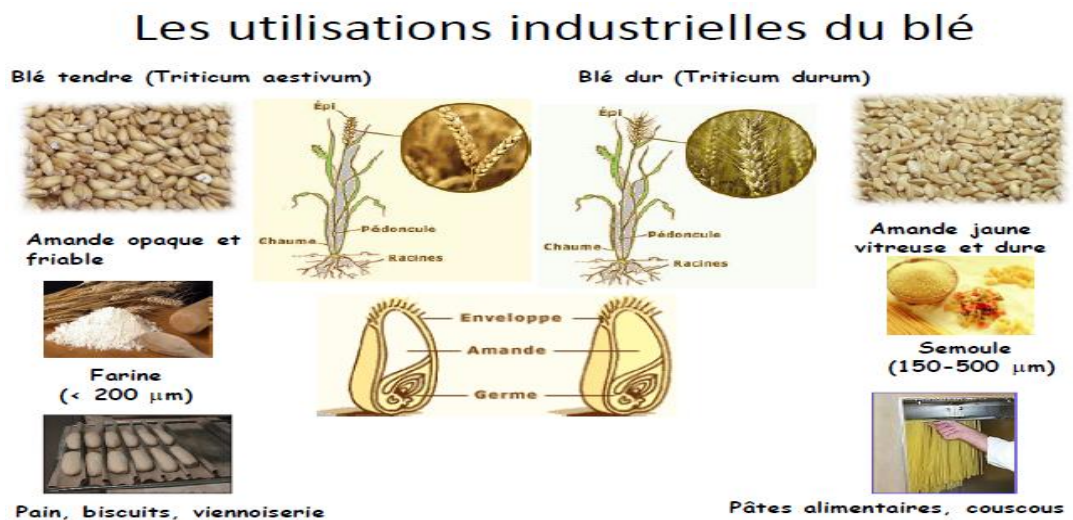
### **I. 6. 1. Dans l'alimentation humaine**

Le blé dur est destiné au pain traditionnel (galettes), à la biscuiterie, à la fabrication de semoule pour le couscous et les pâtes. Quant au blé tendre, il est utilisé principalement en meunerie pour obtenir la farine nécessaire à la production de pain commercial, de viennoiseries ou de pâtisseries. Ces produits sont qualifiés de stratégiques et font de ce fait l'objet d'une politique gouvernementale de subvention très active. La farine obtenue à partir de blé tendre doit avoir des caractéristiques panifiables, avec un produit fini de qualités visuelles et gustatives conformes à l'attente. Le pain obtenu est noté selon 3 grandes familles de critères qui concernent la pâte, la mie et le pain fini (Canadas, 2006). Outre ces utilisations classiques du blé, de nouvelles utilisations à échelle industrielle apparaissent depuis quelques années, telles que la fabrication de bioplastiques à base de gluten ou d'amidon. Les principaux débouchés sont les sacs plastiques, les plastiques

agricoles, les emballages et certains produits d'hygiène. Ces bioplastiques ont l'avantage, par rapport à leurs homologues d'origine fossile, d'être biodégradables et renouvelables (Debiton, 2010). A travers les données disponibles actuellement, les consommateurs algériens apparaissent particulièrement diversifiés. Soumis à des influences culturelles contradictoires, ils peuvent être attachés aux traditions (consommation préparée d'une manière traditionnelle) ou plus au moins tentés par les signes de modernité (restauration de masse et consommation de produits issus de l'industrie alimentaire). Le modèle de consommation algérien change donc en fonction de l'évolution de la composition de la population et ce par rapport à l'évolution démographique (taux de croissance annuel : 2,28%), au tassement des revenus et à la libéralisation des prix des produits de première nécessité (Chehat, 2005).

**I. 6. 2. Dans l'alimentation animale**

Le blé, outre ses applications en alimentation humaine, est largement utilisé en alimentation animale où ses sous-produits sont également valorisés: les sons et remoulages, non utilisés en alimentation humaine. Leur intérêt dans l'alimentation animale, consommés sous forme de poudres ou granules, est lié à leur richesse en vitamines, protéines et minéraux en quantités intéressantes (Figure 9) (Canadas, 2006).



**Figure 9 :** Utilisations industrielles du blé (Abecassis, 2015).

## **I. 7. Effet de stress abiotiques**

Le stress est l'ensemble des conditions qui provoquent des changements des processus physiologique résultant éventuellement en dégâts, dommage blessures, inhibition de la croissance ou de développement (Hopkins, 2003). Le stress chez les plantes apparaît avec des significations différentes en biologie, qui convergent principalement en attribuant le stress à n'importe quel facteur environnemental défavorable pour une plante (Levitt, 1982). Les stress environnementaux nés de la fluctuation des facteurs abiotiques (sécheresse, salinité, basse température) affectent les conditions de croissance et le rendement végétal, (Bouchelaghem, 2012 ; Benniou et Bahlouli , 2015) les végétaux perçoivent les signaux environnementaux et les transmettent à la machinerie cellulaire pour activer des mécanismes de réponses. (Bouchelaghem, 2012). Les stress abiotiques sont des processus impliqués dans l'élaboration du rendement d'une culture, ils sont influencés par deux types de facteurs, à savoir, les facteurs génétiques (intrinsèque à la plante) et les facteurs environnementaux. Ces contraintes environnementales peuvent être divisées principalement en trois groupes selon leur nature: la composition en éléments minéraux du sol (stress salin), les contenus hydrique du sol et de l'air (stress hydrique), et les chocs thermiques (Chahbar, 2008).

Les stress imposent le plus souvent une diminution de la croissance accompagnée, au niveau cellulaire, d'une diminution du nombre de polysomes, d'un ajustement osmotique, d'une modification de l'extensibilité des parois et d'une altération des métabolismes carboné et azoté. Cette diminution est suivie par une réduction de la photosynthèse due à l'accumulation de l'ABA, à la fermeture des stomates et aux dommages causés aux thylakoïdes (Wakabayashi *et al.*, 1997 ; Tardieu *et al.*, 2000 ; Lizana *et al.*, 2006 ; Martinez *et al.*, 2007 ; Neffar, 2012).

Parmi les caractères conditionnant la tolérance du stress figure la teneur relative en eau (TRE) qui est un indice reproductible et fiable de l'état hydrique de la plante, permettant de cribler des lignées tolérantes à la contrainte hydrique (Sanchez-Rodriguez *et al.*, 2010). Fellah *et al.*, (2002) observent des différences génotypiques dans le temps mis par les stomates pour fermer sous stress. Ils notent aussi des différences assez conséquentes dans la teneur relative à laquelle les stomates se ferment. L'ajustement osmotique est de ce fait suggérée comme critère pour cribler les populations en ségrégation pour la tolérance à la contrainte hydrique (Morgan, 1984; Moinuddin *et al.*, 2005). L'étude de l'action des gènes fournit des informations sur la nature de la variance génétique des populations en ségrégations (Hallauer et Miranda, 1988 ; Hamli, 2015).

### **I. 7. 1. Effet du stress hydrique**

Les stress environnementaux, notamment le stress hydrique, limitent sérieusement la croissance des plantes ainsi que la productivité végétale (Wang *et al.*, 2003) ; et de production suite à une alimentation hydrique insuffisante ( Passioura, 2004) . La notion de stress hydrique a toujours été assimilée à la notion de sécheresse (Morizet, 1984 ; Douib, 2013) et peut se définir comme le rapport entre la quantité d'eau nécessaire à la croissance de la plante et la quantité d'eau disponible dans son environnement, sachant que la réserve d'eau utile pour la plante est la quantité d'eau du sol accessible par son système racinaire (Laberche, 2004 ; Mouellef, 2010).

En revanche, l'état hydrique d'une plante est directement lié à la différence entre le flux d'eau entrant par les racines et celui qui s'échappe par les feuilles au même instant (Tardieu *et al.*, 2006 ; Maury *et al.*, 2011). Ce flux d'eau traversant la plante est conditionné à la fois par les conditions physiques de l'environnement de la plante, mais également par le contrôle « biologique » exercé par la plante sur le flux d'eau (via la fermeture des stomates par exemple). La caractérisation de l'état hydrique des plantes fait appel à la quantité d'eau et à l'état thermodynamique de l'eau dans le système considéré (plante, organe, tissu...). (Maury *et al.*, 2011).

Le stress hydrique est toute restriction hydrique qui se traduit par une baisse du potentiel de la plante suite à une perturbation de son activité physiologique provoquée par un déficit de consommation en eau (Mouhouche et Boulassel, 1997). L'origine de ce déficit peut être une salinité excessive du sol, une sécheresse ou du gel qui par cristallisation des molécules d'eau diminue sa disponibilité ce qui réduit significativement les productions agricoles (Bootsma *et al.*, 1996; Chameil, 2006).

Le stress hydrique implique soit un déficit en eau pour les plantes durant la saison de croissance, soit un excès d'eau dans les sols. Un excès d'eau (état de saturation), tout comme un déficit en eau, affecte les rendements des cultures. Les excès d'eau peuvent engendrer une détérioration des propriétés physiques du sol et les rendent plus vulnérables à la dégradation (Bouchelaghem., 2012).

L'effet du déficit hydrique est beaucoup plus marqué sur le développement des parties aériennes que sur le développement racinaire (Kramer, 1980), la réduction de la surface transpirante due à une réduction de la division et de l'expansion cellulaire (Zgallai, 2007), la réduction du nombre de grains par épi, du nombre d'épis par plante, du poids moyen du grain, de l'indice de récolte et du rendement (Condon *et al.*, 2004). Ainsi, un déficit hydrique à la

montaison se traduit par la chute du nombre d'épis par m<sup>2</sup>, la régression intense des tailles et la baisse du nombre de grains par épi (Debaeke et *al.*, 1996 ; Mouellef, 2010 ).

La croissance foliaire est fortement inhibée, dès l'avènement du stress hydrique, l'assimilation du carbone, réagissant moins vite, produit des assimilats qui sont dérivés en priorité vers la croissance racinaire et utilisés pour l'ajustement osmotique (Condon et *al.*, 2004 ; Fallahi, 2013). Le stress hydrique provoque une multitude d'effets sur l'intégrité des fonctions cellulaires de la plante telles que la réduction de l'élongation des cellules et de la division cellulaire, qui induisent une diminution la surface foliaire photosynthétique (Granier et *al.*, 2000).

Kameli et Lösel (1996), notent que la matière sèche augmente progressivement sous stress hydrique, mais elle reste sous le seuil de 50 %, comparativement à l'évolution de la matière du témoin non stressé. Cependant, le degré d'affection dépend de l'avènement du déficit et du stade végétatif et de la variété utilisés (Chennafi et *al.* 2008b ; Belagrouz, 2013). Le déficit hydrique de montaison réduit le nombre d'épis/m<sup>2</sup> (NE) et le nombre de grains/épi (NGE) et affecte d'une manière indirecte le poids de mille grains (PMG). En effet, en milieu méditerranéen, le déficit hydrique, contrainte principale de la production du blé, réduit le potentiel productif de la culture en période de forte demande climatique et de la rareté des pluies (Oweis et *al.*, 1999 ; Belagrouz, 2013). De la même manière que pour les organes végétatifs, la croissance des jeunes organes reproducteurs (ovules, fleurs puis graines), ainsi que leur nombre (défini par des processus de ramification) sont limités en cas de déficit hydrique. Il en résulte une réduction du nombre de grains, qui aura un effet sur le rendement même si les conditions hydriques redeviennent favorables (INRA, 2006).

### **I. 7. 2. Effet du stress salin**

Les changements climatiques deviennent de plus en plus contraignants pour la croissance et le développement des plantes notamment dans les zones arides et semi-arides (Higazy et Shehata, 1995; Djahra et *al.*, 2015). Ces écosystèmes sont caractérisés par une forte irrégularité des précipitations (Mnif et Chaieb, 2004, Rezgui et *al.*, 2004; Djahra et *al.*, 2015) associé à une importante évaporation favorisant l'accumulation des sels dans le sol (Hayek et Abdelly, 2004 ; Djahra et *al.*, 2015). Le stress salin est une augmentation brutale de la concentration en sels qui conduit à un afflux plus élevé d'ions dans la cellule suite à la chute de la concentration du milieu externe, et à une perte d'eau par voie osmotique (Amane et *al.*, 1999). Ce phénomène affecte près de 7 % de la surface globale dans le monde (Munns, 2002 ; Djahra et *al.*, 2015). L'Algérie se situe parmi les pays touchés, presque 3,2 millions d'hectares de la surface sont salins (Hamdy, 1999 ; Djahra et *al.*, 2015).

La salinisation des terres est un problème majeur à l'échelle du globe qui affecte déjà au moins 400 millions d'hectares et en menace gravement une surface équivalente (Legros, 2009 ; Achour et *al.*, 2015). En Algérie, 3,2 millions d'hectares de terres arables sont menacés par la salinisation (Benmahiouel et *al.*, 2009 ; Achour et *al.*, 2015). La salinité des sols et des eaux d'irrigation est parmi les facteurs limitatifs du développement et des productions agricoles (Chalbi et Demarly, 1989).

Physiologiquement, l'impact néfaste de la salinité se traduit par la conjonction d'un effet indirect sur le potentiel hydrique se traduisant par une réduction de la disponibilité de l'eau pour la plante et également par la toxicité et les perturbations de la nutrition minérale induites par l'excès des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  (Levigneron *et al.*, 1995 ; Niu *et al.*, 1995 ; Al Karaki, 2000a ; Ben Khaled et *al.*, 2007 ; Bendif et *al.*, 2017).

La réponse à la salinité se manifeste généralement chez la plupart des plantes cultivées par un effet dépressif sur la croissance et le développement (Munns, 1986; Schachtman, 1995). Cette réponse varie considérablement en fonction du genre, de l'espèce et même de l'écotype ou de la variété (Epstein et *al.*, 1980; Cramer, 1994).

La salinisation enregistrée dans les écosystèmes aride et semi-aride résulte de la forte évaporation d'eau à partir du sol (Munns et *al.*, 2006 ; Belfakih et *al.*, 2013) et d'une irrégulière et insuffisante pluviométrie (Mezni et *al.*, 2002; Belfakih et *al.*, 2013). Cette salinisation provient aussi de l'irrigation, le plus souvent mal contrôlée (Bennaceur et *al.*, 2001; Belfakih et *al.*, 2013). On compte généralement deux formes de salinité (primaire et secondaire).

\* Salinité primaire résulte de l'accumulation des sels dans le sol à travers un long processus naturel de dégradation des roches salines et des apports éoliens des sels des mers et océans.

\* Salinité secondaire est d'origine anthropique, résultant des activités humaines, notamment l'irrigation avec des eaux chargées de sels (Munns et *al.*, 2006; Benderradji, 2013).

Benkaddour (2014), montre que la salinité affecte la croissance des végétaux à travers de nombreux mécanismes du métabolisme cellulaire tels que : l'absorption des éléments nutritifs, l'altération de la photosynthèse, la respiration, la synthèse des protéines et des acides nucléiques, l'accumulation des solutés organiques, l'activité des enzymes, l'équilibre hormonal et la disponibilité en eau. Il affecte aussi la structure de la membrane, déshydrate la cellule après que la vacuole soit fortement concentrée.

Benkhaled et *al.*, (2003 ; 2007) ont montré que le NaCl a induit une désorganisation des membranes thylakoïdiennes et une accumulation de l'amidon et des globules lipidiques au niveau des chloroplastes d'une légumineuse fourragère. Chez le blé et l'orge, le sel peut

altérer certaines structures cytoplasmiques comme les microtubules, les micro-fibrilles, les sphérosomes et les ribosomes (Mansour et *al.*, 1993a ; Benkhaled et *al.*, 2007).

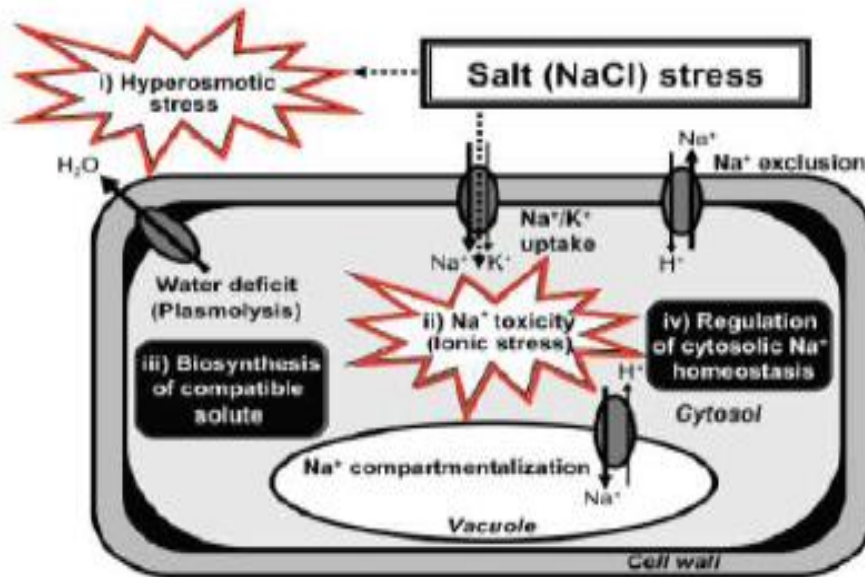
Les mécanismes contrôlant la tolérance sont de deux types, à savoir, ceux minimisant l'entrée des ions toxiques et ceux minimisant l'accumulation des ions toxiques dans le cytoplasme. Les espèces halophytes possèdent les deux mécanismes. Elles excluent les ions toxiques et les compartimentent aussi dans la vacuole où ils font le moins de dégâts (Kadi, 2012). Cet effet est marqué par un retard de tallage, une diminution de la biomasse sèche, une réduction de la surface foliaire et de la longueur des racines (Benkhaled et *al.*, 2007). Le stress salin influe négativement sur la longueur et le nombre des racines et même sur le poids frais des parties aériennes et racinaires (Kadi, 2012).

Le sel peut exercer un effet inhibiteur sur les divers processus biochimiques impliqués dans la photosynthèse. De même, il peut induire une fermeture des stomates limitant ainsi la concentration interne en CO<sub>2</sub> (Alem et *al.*, 2002).

Ouhaddach et *al.*, (2016) ont mentionné l'augmentation de la teneur en NaCl dans l'eau d'irrigation au stade montaison, provoquant ainsi la diminution de la croissance de l'appareil végétatif en agissant par une augmentation de la pression osmotique du milieu, ce que empêche l'absorption de l'eau par le système racinaire et par conséquent l'altération de la photosynthèse et de l'activité enzymatique. L'accumulation de Na<sup>+</sup> et l'inhibition d'absorption de K<sup>+</sup> sont été observées chez plusieurs céréales telles que le blé tendre et l'orge. En présence de stress salin, les plantes ont tendance à sélectionner certains ions. Cette sélectivité est généralement liée aux mécanismes d'exclusion des ions Na<sup>+</sup>. Une forte sélectivité K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> a été démontrée au niveau du plasmalemmes du cortex racinaire et dans le xylème des plantes les plus tolérantes au NaCl (Taleisnik et Grunberg, 1994 ; Benkhaled et *al.*, 2007). Le maintien de ce rapport K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> élevé constitue un mécanisme aidant au bon déroulement des processus métaboliques sous stress salin (Ashraf et Khanum, 1997; Benkhaled et *al.*, 2007).

Les effets de la salinité se manifestent par deux actions sur la plante, la toxicité directe due à l'accumulation excessive des ions (Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup>) dans les tissus et un déséquilibre nutritionnel provoqué par l'excès de certains ions. Des concentrations salines trop fortes dans le milieu provoquent une altération de la nutrition minérale des plantes. L'accumulation des ions Na<sup>+</sup> dans la plante limite l'absorption des cations indispensables tels que K<sup>+</sup> et Ca<sup>2+</sup>, il y'aurait une compétition entre Na<sup>+</sup> et Ca<sup>2+</sup> pour les mêmes sites de fixation apoplasmiques. L'interaction entre les ions Na<sup>+</sup> et Ca<sup>2+</sup> influe sur la croissance des racines. Chez le blé, la concentration élevée en Na<sup>+</sup> diminue l'absorption de K<sup>+</sup> et la concentration élevée de NaCl

diminue également l'absorption de  $\text{Ca}^{2+}$  (Figure 10) (Haoula *et al.*, 2007; Djerah et Oudjehih, 2015).



**Figure 10 :** Effet du stress salin et mécanismes de régulation de la tolérance à la salinité (Cheong et Yun, 2007 ; Benderradji, 2013).

L'ultra structure des chloroplastes peut aussi être modifiée par les fortes doses en sel aussi bien chez les halophytes que chez les glycophytes (Salama *et al.*, 1994 ; Benkhaled *et al.*, 2007). Il en résulte un développement anormal des plantes et une diminution du rendement (Benkhaled *et al.*, 2007).

### I. 8. Mécanismes de tolérance au stress hydrique

La résistance d'une plante à une contrainte hydrique peut être définie, de point de vue physiologique, par sa capacité à survivre et à s'accroître et du point de vue agronomique, par l'obtention d'un rendement plus élevé que celui des plantes sensibles (Madhava Rao *et al.*, 2006).

Au niveau de la plante de nombreuses modifications physiologiques sont provoquées par la sécheresse comme l'augmentation du taux d'acide abscissique, l'activité photosynthétique, la fermeture des stomates, l'ajustement osmotique et l'accumulation de solutés (Sandhu et Laude, 1985). Donc, la diminution de la photosynthèse est liée à une augmentation du taux d'acide abscissique (ABA) (Bray, 2002 ; Schachtman et Goodger, 2008 ; Bousba, 2012) et aux dommages dans les thylakoïdes (Tambussia *et al.*, 2000; Huseynova *et al.*, 2007 ; Bousba, 2012). En parallèle, la transpiration diminue (fermeture des stomates) en même temps que l'accumulation des solutés compatibles (Robredo *et al.*, 2007;

Zhu *et al.*, 2005, Bousba *et al.*, 2006a; Bousba, 2012). Parmi les solutés accumulés sous stress hydrique, on note une augmentation des sucres solubles, des acides aminés comme la proline et à un degré moindre la glycine-bétaïne (Rebetzke *et al.*, 2002).

L'accumulation de la proline chez le blé, a été associée à l'adaptation à des conditions de stress sévères (Stewart et Bogges, 1978). la teneur relative en eau, l'intégrité cellulaire, la perte d'eau foliaire, la translocation des assimilés, la discrimination isotopique du carbone, l'utilisation des indices de tolérances ont été proposées comme caractères liés à la tolérance (Adjabi *et al.*, 2007; Rebetzke *et al.*, 2008; Reynolds *et al.*, 2010; Benmahammed *et al.*, 2010; Richards *et al.*, 2010; Neffar, 2013).

La deuxième façon d'éviter ce déficit est la capacité de la plante à maintenir un état hydrique satisfaisant. Cette stratégie adoptée par les plantes est principalement liée, d'une part, à la réduction de la transpiration (fermeture des stomates, réduction de la surface foliaire et diminution de la conductance stomatique) et d'autre part, à une optimisation de l'absorption d'eau par les racines (masse et volume, ramification, profondeur) (Son, 2010).

La fermeture stomatique s'accompagne d'une réduction de l'assimilation de CO<sub>2</sub> dans les feuilles (par diminution de diffusion) et d'une augmentation de la température des feuilles (le flux transpiratoire contribue à une dissipation de l'énergie radiative incidente) qui peut entraîner une altération des processus photochimiques de la photosynthèse (Grieu *et al.*, 2008 ; Semcheddine, 2015). Donc un stress hydrique, en provoquant la fermeture des stomates se traduit par un ralentissement de la photosynthèse en même temps que la transpiration (Teulat *et al.*, 1997 ; Son, 2010). Cette réduction de l'activité photosynthétique induit le plus souvent une réduction de la production économique (Condon *et al.*, 2002 ; Neffar, 2012).

La principale réaction de la plante soumise à un manque d'eau est de réduire de manière active sa transpiration, par la fermeture de ses stomates dès que le déficit hydrique apparaît et par une réduction de sa surface foliaire (réduction de la vitesse de croissance des feuilles ou de leur nombre et sénescence accélérée des feuilles) (INRA, 2006).

### **I. 9. Mécanismes de la tolérance au stress salin**

Les plantes réagissent à ces variations de la salinité dans le biotope pour déclencher des mécanismes de résistance. Parmi ces mécanismes, l'ajustement osmotique joue un rôle primordial dans la résistance ou la tolérance de la plante à un stress (Munns, 2002 ; Belfakih *et al.*, 2013). La plante devra synthétiser des solutés organiques pour ajuster son potentiel hydrique. Une des stratégies d'adaptation à la salinité consiste à synthétiser des osmoprotecteurs, principalement des composés aminés et des sucres, et à les accumuler dans

le cytoplasme et les organites (Ashraf et Foolad, 2007; Chen et Jiang, 2010; Majumder et *al.*, 2010; Belfakih et *al.*, 2013).

L'accumulation de ces composés organiques a été mise en évidence chez plusieurs espèces végétales soumises à la contrainte saline. Cette accumulation varie dans de larges proportions suivant l'espèce, le stade de développement et le niveau de la salinité. Les différences d'accumulation des solutés (Acides aminés libres, la proline et les sucres solubles totaux) entre les plantes témoins et les plantes soumises au stress salin sont très importantes. La liaison entre l'aptitude d'accumulation de ces solutés et la tolérance des plantes à la salinité a fait l'objet de nombreuses discussions (Greenways et Munns, 1980 ; Ashraf, 1994 ; Ashraf, 2002 ; El Midaoui et *al.*, 2007).

La réponse des espèces végétales au sel dépend de leurs génotypes, de la concentration en sel, des conditions de culture et du stade de développement de la plante (Malek-Maalej et *al.*, 2004 ; Mrani Alaoui et *al.*, 2013). En effet, la tolérance, dans le cas d'un abaissement du potentiel hydrique, s'exprime par un maintien de la turgescence (Garg et *al.*, 2002; Moinuddin et *al.*, 2005), grâce au phénomène d'ajustement osmotique. Ce phénomène apparait aujourd'hui comme un mécanisme majeur d'adaptation aux stress ionique et osmotique qui s'exprime par la capacité d'un végétal à accumuler au niveau symplasmique et de manière active des ions tels que  $K^+$  et  $Na^+$  (Parida et Das, 2005; Navarro et Rubio, 2006) et  $Cl^-$  (Munns et *al.*, 2006; Teakle et *al.*, 2007) ou de composés organiques tels les sucres solubles (Ottow et *al.*, 2005) et certains aminoacides comme la proline (Morant-Manceau et *al.*, 2004 ; Bouatrous, 2013).

## **I. 10. Sélection pour la tolérance aux stress abiotiques**

L'objectif de la sélection est l'identification de nouvelles lignées qui portent un ensemble de caractéristiques désirables leur permettant d'être adoptées comme variétés agricoles, sans de grands risques pour les producteurs. Elles doivent produire plus pour réduire les coûts de production au niveau de l'exploitation et surtout doivent se distinguer par une meilleure régularité des rendements et une nette amélioration de la qualité du produit récolté (Lecomte, 2005 ; Benderradji, 2013). La diminution des coûts de production, en zones sèches, passe par l'adoption de variétés relativement plus plastiques et plus adaptées qui valorisent des itinéraires techniques moins intensifs et tolèrent un climat de nature variable (Benmahammed et *al.*, 2010 ; Benderradji, 2013). L'amélioration de rendement et de la qualité du blé dur passe par la création variétale et le choix de critères fiables pour l'identification de mécanismes d'adaptation aux contraintes environnementales. Parmi ces

critères, la stabilité du rendement, la tolérance aux stress abiotiques, la résistance aux maladies et une bonne qualité technologique restent les plus recherchés (Benbelkacem et *al.*, 1995).

### **I. 10. 1. Sélection pour la productivité**

L'amélioration de la productivité du blé dur par la création de nouvelles variétés plus performantes et plus résistantes à la sécheresse est donc essentielle (Bajji et *al.*, 1997). En présence des stress abiotiques variables en intensité et durée, le génotype désirable est celui qui donne une production régulière et une bonne performance de rendement dans la région pour laquelle il est destiné (Kadi, 2012).

L'amélioration du rendement grain est généralement abordée de manière directe ou indirecte. La sélection directe utilise le rendement lui-même qui est mesuré après la mort de la plante. La sélection indirecte utilise les composantes du rendement et les caractères morpho-physiologiques (Reynolds et *al.*, 2007 ; Adjabi et *al.*, 2007).

La connaissance des liaisons qui existent entre les composantes et le rendement permet d'identifier les composantes à utiliser comme critères de sélection. Ces informations permettent d'orienter le processus de sélection de manière à promouvoir les caractères capables d'engendrer une amélioration du rendement (Mekhlouf et Bouzerzour, 2000). L'inefficacité de la sélection directe est expliquée par des interactions génotype x lieux qui réduisent la variance génotypique et le coefficient de l'héritabilité (Annichiarico et *al.*, 2006; Kamoshita et *al.*, 2008 ). De plus, dans ces milieux, la présence d'interaction génotype x environnement réduit de l'efficacité d'utilisation du rendement comme seule critère de sélection (Benmahammed et *al.*, 2008), donc une sélection multi-caractères est nécessaire. Elle doit tenir compte, en plus du rendement en grain, de la précocité d'épiaison (en vue d'éviter le gel tardif et les hautes températures de fin de cycle) et de la biomasse aérienne, qui est un bon indicateur de l'adaptation au milieu et d'efficacité de l'utilisation de l'eau (Bouzerzour et *al.*, 1998). Une biomasse qui émerge suite à la contribution concomitante de la hauteur de paille et du nombre d'épis/m<sup>2</sup> est indicatrice d'une meilleure stabilité de la production. L'indice de récolte, dans ce cas, impose le contrôle sur le degré de répartition de la biomasse ainsi produite. Ces variables sont facilement mesurables et avec une meilleure précision, surtout pour la hauteur et le nombre d'épis/m<sup>2</sup>. La corrélation positive et significative entre la hauteur des plantes et le rendement en grains suggère que la sélection de génotypes, améliore la production surtout en conditions limitantes (Benmahammed et *al.*, 2003).

## **I. 10. 2. Sélection pour l'adaptation**

L'adaptabilité est définie comme étant la capacité d'un génotype à donner un haut rendement sous diverses conditions, aussi bien favorables que contraignantes (Fordyce, 2006). La notion d'adaptation se confond parfois avec celles de résistance et de tolérance au stress. En fait, l'adaptation n'est que la résultante de la tolérance des contraintes. Une plante adaptée est donc celle qui tolère ou résiste à un stress donné et réussit à produire à un niveau satisfaisant par rapport à une autre plante qui sera dite non adaptée (Tardieu, 2003). La sélection pour l'adaptation ou pour la tolérance aux stress abiotiques suit plusieurs voies dont l'utilisation de la phénologie, la morphologie, la physiologie, le moléculaire, ainsi que le comportement global de la plante vis-à-vis de la variation environnementale (Kadi, 2012).

### **I. 10. 2. 1. Adaptation phénologique**

Les paramètres phénologiques d'adaptation ou paramètres de précocité définissent le calage du cycle vis-à-vis des contraintes environnementales (Bennaceur et *al.*, 1999 ; Mouellef, 2010). La phénologie permet d'éviter la coïncidence des phases critiques de développement de cycle de la plante avec l'avènement des accidents climatiques (Brinis, 1995). La précocité assure une meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau. En effet, en produisant la biomasse la plus élevée, les génotypes à croissance rapide et à maturité précoce utilisent mieux l'eau disponible et ils sont moins exposés aux stress environnementaux que les génotypes tardifs (Bajji, 1999). La précocité à l'épiaison peut donc être utilisée comme critère de sélection pour améliorer la production dans les zones sèches. C'est l'un des traits les plus importants dans l'adaptation des plantes au stress hydrique (Bensalem et *al.*, 1997). La stratégie la plus utilisée par les sélectionneurs pour identifier des variétés plus tolérantes aux stress est l'esquive, par raccourcissement de la durée du cycle (Sayre et *al.*, 1995; Mekhlouf et *al.*, 2006).

L'esquive permet à la plante de réduire ou d'annuler les effets de la contrainte hydrique par une bonne adaptation de son cycle de culture à la longueur de la saison des pluies. Le développement phénologique rapide avec une floraison précoce, permet à la plante d'éviter les périodes sèches. Cette stratégie appliquée aux espèces cultivées a amené à décaler la date de semis et/ou à sélectionner des variétés plus précoces permettant d'éviter les déficits hydriques de fin de cycle (Son, 2010). L'esquive permet à certains génotypes d'échapper au stress en accomplissant leur cycle de développement en dehors des périodes de sécheresse. Ce phénomène est largement expliqué par la phénologie. Mais la sécheresse est imprévisible et les plantes sont forcément confrontées au stress une année ou l'autre (Teulat-Merah et *al.*, 2001). Abbassenne et *al.*, (1998) et Douib, (2013) recommandent que soient étudiés les

mécanismes génétiques et physiologiques qui sont à la base du contrôle de la précocité à l'épiaison, pour faciliter le choix de génotypes appropriés dans la recherche d'une plus grande adaptation à la variabilité climatique de la région semi-aride. La précocité au stade épiaison est une composante importante d'esquive des stress de fin de cycle chez le blé dur. L'adoption de variétés à cycle relativement court est nécessaire dans les régions arides à semi-arides compte tenu de la distribution temporelle des précipitations (Mekhlouf et *al.*, 2006). Les mécanismes d'esquive permettent à la plante de conserver un potentiel hydrique faiblement négatif en conditions de stress, évitant ainsi la déshydratation des tissus. Cela peut être réalisé par une absorption efficace de l'eau du sol, grâce à un système racinaire très développé (Hsiao et Acevedo, 1974 ; El Jaafari et *al.*, 1995), ou par une grande conductivité hydraulique des tissus (Levitt, 1982 ; El Jaafari et *al.*, 1995).

Les paramètres phénologiques d'adaptation caractérisent le 'calage' du cycle vis-à-vis des événements climatiques. En jouant sur ce type de paramètres, il est possible d'éviter la coïncidence des phases critiques du cycle avec les dates d'occurrence maximale de certains accidents climatiques (hautes températures, déficit hydrique). La prise en compte de ce type de paramètres renvoie à la notion d'évitement ou d'esquive, définie par Levitt, (1972) et Monneveux, (1991). Dans le cas de la contrainte hydrique par exemple, la mise en place d'une stratégie d'évitement consiste à inscrire le cycle à l'intérieur d'une période au cours de laquelle les potentiels initiaux (sol) et finaux (atmosphère) de l'ensemble sol-plante-atmosphère sont élevés et permettent d'éviter une baisse du potentiel hydrique de la plante (Monneveux, 1991). Fisher et Maurer, (1978) ont montré dans une étude sur 53 cultivars de blé, d'orge et de Triticale, que chaque jour de précocité confère un gain de rendement compris entre 30 et 85 kg/ha. Toutefois la précocité à la floraison s'accompagne d'une réduction du potentiel de production, par diminution du nombre de sites de remplissage (Fisher. 1979). De plus, les variétés précoces ont de faibles potentiels en année favorable (Gate, 1995 ; Mekliche et *al.*, 2003).

### **I. 10. 2. 2. Adaptation morphologique**

Ces modifications affectent la partie aérienne ou souterraine, à savoir, la réduction de la surface foliaire et du nombre de talles, enroulement des feuilles et/ou meilleur développement du système racinaire (Slama et *al.*, 2005). L'enroulement foliaire, fréquent chez de nombreuses plantes cultivées (blé, sorgho...) peut donc être considéré comme un indicateur de perte de turgescence en même temps qu'un caractère d'évitement de la déshydratation (Monneveux et This, 1997) ; il entraîne une diminution de 40 à 60 % de la transpiration (Amokrane et *al.*, 2002). Une deuxième stratégie est l'évitement qui permet le

maintien d'un potentiel hydrique élevé dans la plante. Ceci peut être obtenu par une réduction de la transpiration s'effectuant par la cuticule et les stomates incomplètement fermés (Belhassen et *al.*, 1995 ; Mekliche et *al.*, 2003). La glaucescence, la pilosité des feuilles ou des tiges, la couleur claire des feuilles et la présence des cires qui est un caractère génétique et qui s'extériorise en conditions de stress hydrique (Gate, 1995 ; Mekliche et *al.*, 2003 ) induisent tout une augmentation de la réflectance qui conduit à une réduction des pertes d'eau (Al Hakim, 1992 ; Mekliche et *al.*, 2003) ; le ratio des chlorophylles a et b et la température de la feuille sont des caractéristiques indicatrices de la résistance au stress abiotiques (Slama et *al.*, 2005).

La surface foliaire détermine progressivement à la fois les quantités d'eau utilisées par la plante sous forme de transpiration et les quantités de carbone fixées par voie photosynthétique (Cooper et *al.*, 1983; Benmahammed et *al.*, 2008). En milieux variables, la diminution de la surface foliaire peut avoir des effets bénéfiques en réduisant de la surface évaporant et celle soumise à la radiation solaire (Cooper et *al.*, 1983; Benmahammed et *al.*, 2008 ; Belkherchouche et *al.*, 2009). Un système racinaire capable d'extraire l'eau du sol serait un caractère essentiel pour l'adaptation à la sécheresse. Cette caractéristique revêt une importance particulière pour les cultures qui subissent régulièrement des déficits hydriques durant le cycle de croissance (El Fakhri et *al.*, 2010). L'exploitation d'un plus grand volume de sol permet à la plante de satisfaire ses besoins en eau, de maintenir ses échanges gazeux et sa croissance en conditions de sécheresse (Annerose, 1990). En effet, les barbes peuvent améliorer le rendement en conditions de sécheresse par augmentation de la surface photosynthétique de l'épi (Slama et *al.*, 2005 ; Salmi , 2015). De nombreux travaux, réalisés sur une large gamme de génotypes, semblent confirmer le rôle des barbes dans le remplissage du grain en conditions de déficit hydrique (Ali Dib et *al.*, 1992 ; Salmi, 2015). La hauteur de paille est souvent rapportée comme étant une caractéristique bénéfique en cas de stress (Annichiarico et *al.*, 2005).

Fischer et Maurer, (1978) mentionnent que les blés hauts ont un indice de sensibilité à la contrainte hydrique plus faible comparativement aux blés nains et semi – nains.

Ehdaie et *al.*, (2006) expliquent cette liaison entre la hauteur de paille et l'adaptation par le transfert des assimilés stockés dans la tige vers le grain et la réalisation de ce fait d'un niveau de rendement acceptable sous stress. Pour Rebetzke et *al.*, (2002), l'importance de la hauteur sous stress est liée à la capacité de croissance du système racinaire en profondeur.

Benmahammed, (2005) trouve une liaison positive et significative entre le rendement et la hauteur de la paille. Ceci s'expliquerait par le fait qu'une paille haute s'accompagne

souvent d'un système racinaire profond ce qui conférerait à la plante une capacité d'extraction de l'eau supérieure (Bagga et *al.*, 1970). Fischer et Maurer, (1978) utilisent le rapport des rendements grains en présence et en absence du stress comme indicateur de la tolérance au stress.

### **I. 10. 2. 3. Adaptation physiologique**

La recherche sur la tolérance physiologique aux stress a pour objectif d'améliorer les capacités génétiques de production des plantes sous des conditions qui sont, en générale, moins favorables à l'expression du potentiel. Cette approche se justifie par le fait que certaines variétés sont plus tolérantes aux stress que d'autres. Le stress hydrique provoque la mise en place d'un état de régulation hydrique de la plante qui se manifeste par la fermeture stomatique et par une régulation du potentiel osmotique (Anjum et *al.*, 2011). Cette régulation est réalisée grâce à une accumulation de composés osmorégulateurs conduisant à une réduction du potentiel osmotique permettant ainsi le maintien du potentiel de turgescence. L'ajustement osmotique est réalisé grâce à une accumulation des solutés, principalement vacuolaire, conduisant à un maintien du potentiel de turgescence (Blum, 1989 ; Morgan et *al.*, 1986; Mekliche et *al.*, 2003). Les solutés responsables de l'osmorégulation sont essentiellement des acides organiques, des acides aminés et des sucres. Certains constituants inorganiques peuvent être présents. Parmi les acides aminés, l'accumulation de la proline pourrait conduire à une osmorégulation plus efficace. L'ajustement osmotique peut être aisément évalué à partir des mesures de potentiel osmotique et de teneur relative en eau, l'accumulation des sucres solubles étant la cause essentielle de la baisse du potentiel osmotique (Reklka, 1997 ; Mekliche et *al.*, 2003).

- **Régulation stomatique**

L'un des principaux caractères physiologiques de tolérance aux contraintes du milieu est l'ajustement osmotique. Celui-ci est réalisé grâce à une accumulation de composés osmorégulateurs conduisant à une réduction du potentiel osmotique permettant ainsi le maintien du potentiel de turgescence (El Midaoui et *al.*, 2007). Les plantes tolérantes utilisent le processus d'ajustement osmotique pour maintenir la turgescence et ainsi assurer le maintien des fonctions physiologiques nécessaire a la croissance, malgré la présence du déficit hydrique (Chaves et *al.*, 2003). Le maintien de la turgescence lors d'un déficit hydrique permet de retarder la fermeture des stomates, de maintenir le volume chloroplastique et de réduire le flétrissement foliaire (Passioura, 2006 ; Son, 2010). D'autres mécanismes encore peuvent intervenir dans le maintien de la turgescence cellulaire, comme l'élasticité membranaire, la réduction de la taille des cellules (Tyree et Jarvis, 1982 ; El Jaafari et *al.*,

1995) et la résistance protoplasmique. Cette dernière dépend de la capacité des cellules à résister à un dommage mécanique et à la dénaturation des protéines au niveau membranaire ou cytoplasmique (Gaff, 1980 ; El Jaafari et *al.*, 1995).

Fellah et *al.*, (2002) observent des différences génotypiques dans le temps mis par les stomates pour fermer sous stress. La fermeture des stomates est déclenchée par une diminution du potentiel hydrique du mésophile. Une hormone l'acide abscissique (ABA) semble jouer un rôle important dans la fermeture des stomates (Hopkin, 2003 ; Salmi, 2015). L'accumulation d'ABA dans un organe, chez les plantes en conditions hydriques limitantes, est due tout d'abord à une augmentation de sa synthèse, mais peut être aussi le résultat d'une diminution de sa dégradation ou d'une augmentation de son importation à partir d'un autre compartiment (Cornic, 2008 ; Salmi, 2015). On peut classer les plantes en deux groupes, à savoir, les plantes dites iso-hydriques comme le maïs, fermant rapidement leurs stomates lors d'un déficit hydrique, ceci conduit à une économie de l'eau du sol disponible, mais entraîne une baisse précoce de la photosynthèse et les plantes dites aniso-hydriques comme le tournesol, maintiennent tardivement leurs stomates ouverts. L'état hydrique des tissus de ces plantes tend à suivre celui du sol lorsque ce dernier se dessèche (Tardieu et Simonneau, 1998 ; Salmi, 2015).

- **Teneur relative en eau de la feuille (TRE %)**

La capacité de rétention de l'eau par le feuillage est très utilisée pour déterminer la résistance des plantes vis à vis du stress hydrique. Clarke et Mc Craig, (1982) rapportent que la mesure du contenu relatif en eau du feuillage est un bon indicateur de la résistance d'un génotype au déficit hydrique. Le maintien d'un potentiel hydrique élevé est lié à l'aptitude à extraire l'eau du sol et à la capacité à limiter les pertes d'eau par transpiration (Turner, 1986). Fahmi et *al.*, (2011) rapportent qu'en présence d'un stress hydrique, la teneur relative en eau (TRE) des feuilles d'*Argania spinosa* augmente de 55.09% à 77.82%. Cette augmentation est due à une fermeture graduelle des stomates ; ce qui permet de maintenir la turgescence foliaire de la plante pour tolérer la déshydratation. La capacité de rétention de l'eau au niveau du feuillage conduit au maintien de la turgescence qui est nécessaire à la poursuite des activités métaboliques de la plante. Ce mécanisme est dû à l'accumulation de divers osmolytes. Les substances accumulées à cette fin sont des acides aminés, des acides organiques, des ions inorganiques comme les ions Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> et des sucres solubles (Morgan, 1984).

#### **I. 10. 2. 4. Adaptation biochimique**

D'après plusieurs études, il est connu qu'à fin de limiter les effets de la sécheresse liée à la salinisation du sol, le végétal accumule des composés organiques, tels que les sucres solubles (Lessani, 1969 ; Djahra et *al.*, 2015) et la proline (Stewart et Lee, 1974 ; Djahra et *al.*, 2015) qui est considérée comme "élément osmorégulateur" (EI-Haddad et O'leary, 1994 ; Ullah et *al.*, 1993; Djahra et *al.*, 2015). L'accumulation de cet acide aminé est suggérée comme indice de résistance non seulement au stress salin mais également au stress hydrique (Monneveux et Nemmar, 1986 ; Dib et *al.*, 1992 ; Djahra et *al.*, 2015).

- **Accumulation de la proline**

L'accumulation de la proline est l'une des manifestations les plus remarquables des stress salins et hydriques. Cependant, chez la tomate il est mentionné que les espèces et les variétés les plus sensibles aux stress hydriques et salins sont celles qui accumulent le plus de proline comparativement aux génotypes tolérants (Tal et *al.*, 1979 ; Alem, 2000). D'autres auteurs pensent que cette accumulation permet de neutraliser les effets ioniques et osmotiques de l'accumulation de sel dans les vacuoles (Salsac et Monneveux, 1991; Alem, 2000). La stratégie d'accumulation de proline libre a été rapportée chez plusieurs espèces, soumises à différentes contraintes du milieu, incluant le tournesol (El Midaoui *et al.*; 1999a, 1999b ; El Midaoui et *al.*, 2007) ainsi que le blé et l'orge (Monneveux et Nemmar, 1986 ; El Midaoui et *al.*, 2007). Cette accumulation régule le pH cytoplasmique (Pesci et Beffagna, 1984 ; Neffar, 2013) et constitue une réserve d'azote utilisable par la plante en conditions de stress (Tal et Rosenthal, 1979 ; Neffar, 2013). Une variabilité génotypique importante a été notée pour ce caractère, mais les relations liant les teneurs en proline à la tolérance à la salinité ont été le plus souvent contradictoires. Le rôle de l'accumulation de la proline reste encore mal connu : s'agit il d'un simple symptôme de souffrance (Singh et al, 1973) ou d'un véritable mécanisme de tolérance (Hubac et Guerrier, 1972 ; El Midaoui et *al.*, 2007).

L'accumulation rapide de la proline dans les feuilles à la suite d'un déficit hydrique a été mise en évidence chez l'orge par Savitskaya, (1967) et chez le blé par Tyankova, (1967) et Vlasyuk et *al.*, (1968) ; Monneveux, (1991). En suivant l'évolution des teneurs foliaires en proline au cours du cycle, Monneveux et Nemmar (1986), Monneveux, (1991) ont confirmé que la dynamique d'accumulation était indépendante du stade de développement et, au contraire, très étroitement liée à la pluviométrie.

L'accumulation de la proline, induite par les stress, peut être le résultat de trois processus complémentaires, à savoir, la stimulation de sa synthèse (Morris et *al.*, 1969 ; Boggess et *al.*, 1976 ; Tahri et *al.*, 1998), l'inhibition de son oxydation (Stewart et *al.*, 1977 ;

Rayapati et Stewart, 1991 ; Tahri et *al.*, 1998) et/ou altération de la biosynthèse des protéines (Stewart et *al.*, 1977 ; Tahri et *al.*, 1998). La proline serait synthétisée à partir de l'acide glutamique via l'acide 5-carboxylique 1 pyrroline (P5C) mais également via l'arginine et l'ornithine (Lignowski et Slittstoesser, 1971 ; Tahri et *al.*, 1998).

- **Accumulation de sucres solubles**

Les sucres sont considérés par plusieurs auteurs comme de bons osmorégulateurs (Kameli et Losel, 1995; Sanchez et *al.*, 1999) qui peuvent jouer un rôle important dans l'ajustement osmotique et l'adaptation des plantes à la sécheresse (Morgan, 1984; Zhang et *al.*, 1999). Les sucres peuvent servir de composés solubles compatibles pour cet ajustement osmotique (Dubos, 2001). Ils permettent également une préservation de l'intégrité membranaire dans les organes desséchés ainsi qu'une protection des protéines (Darbyshire, 1974). Généralement, on pense que l'accumulation de sucres solubles peut avoir comme origine l'hydrolyse de réserves (en particulier, d'amidon) mais aussi une modification du métabolisme carboné, la dégradation de polysaccharides et une réduction de l'utilisation de carbohydrates plus importante que la réduction de la photosynthèse en conditions de déficit hydrique (Lepoivre, 2003).

Les sucres solubles sont également impliqués dans de nombreuses conditions de stress biotiques où ils peuvent jouer un rôle dans l'induction de la résistance à une infection par un agent pathogène comme dans le cas du riz infecté par (*Magnaporthe oryzae* B. C. Couch) et du taro infecté par (*Phytophthora colocasiae*). Il est démontré de plus en plus que la disponibilité des glucides joue un rôle dans la résistance des plantes contre les micro-organismes pathogènes et que celles-ci ont développé des mécanismes permettant de moduler leurs flux d'hydrates de carbone en réponse aux infections. Les niveaux les plus importants d'accumulation des sucres solubles semblent être une preuve de la résistance de la plante contre les maladies alors que la réduction en hydrates de carbone peut augmenter sa sensibilité (Attab et Brinis, 2012).

En effet, Hare et Cress, (1997) ; Mouellef, (2010) remarquent que les sucres : glucose, fructose et le saccharose représentent des osmotocums beaucoup moins puissants que la proline Ils participent eux aussi au maintien de la balance de la force osmotique. Par ailleurs, il a été observé que sous stress hydrique, les réserves amylicées sont progressivement utilisées suite à leur conversion rapide en saccharose qui pourra être associé à une inhibition de la synthèse de l'amidon (Tableau 3) (Geigenberger et *al.*, 1997 ; Mouellef, 2010).

**Tableau 3 :** Paramètres phénologiques et morpho-physiologiques d’adaptation au déficit hydrique (Monneveux, 1991).

Paramètres d’adaptation	Exemples
Paramètres phénologiques	- Précocité.
Paramètres morphologiques	- extension du système racinaire
Paramètres macromorphologiques	- port et surface des feuilles
Paramètres micromorphologiques	- taille du chaume, - longueur des barbes - enroulement des feuilles, - densité du trichome - glaucescence et couleur des familles - présence de cires, - densité et taille des stomates - compaction du mésophylle, - épaisseur de la cuticule - nombre et diamètre des vaisseaux au xylème racinaire
Paramètres physiologiques	- effets stomatiques et non stomatiques du déficit hydrique sur la photosynthèse - réduction de la transpiration par fermeture des stomates - maintien d’un potentiel hydrique élevé, - osmorégulation (accumulation d’ions minéraux, de proline, de sucres solubles)

## **I. 11. Approches moléculaires pour la tolérance aux stress abiotiques**

L’amélioration de blé porte maintenant sur des caractères très complexes, présentant en majorité une distribution continue (Maccaferri et *al.*, 2006 ; Salmi, 2015 ; Chahredine et Benderradji, 2019). Face aux difficultés d'utilisation de critères physiologiques de prédiction en sélection. Le développement des outils de marquage moléculaire est susceptible d'apporter d'importants éléments de réponse, l'idée de base étant de rechercher des relations entre la présence de certains marqueurs et certains mécanismes physiologiques liés à la tolérance (Monneveux et This, 1995 ; Salmi, 2015).

### **I. 11. 1. Marqueurs moléculaires**

Un marqueur moléculaire peut être défini comme une étiquette présente à un endroit donné sur la molécule d’ADN. Comme un gène, chaque étiquette présente des variantes (ou allèles) qui diffèrent par leur séquence des bases de l’ADN (Gallais, 2015; Amallah, 2017). Ils sont susceptibles de fournir une nouvelle image de la structuration de la diversité au sein d’une espèce ou d’un complexe d’espèces. Cette information est particulièrement importante en vue de la gestion des ressources phylogénétiques, mais aussi en vue de leur utilisation raisonnée dans les programmes d’amélioration génétique des plantes (Charcosset et Gallais, 1996; Amallah, 2017). Contrairement aux marqueurs traditionnels (morphologiques et biochimiques), les marqueurs moléculaires ne sont pas influencés par les fluctuations de l’environnement et sont indépendants de l’organe analysé et du stade de développement de la

plante. Ces marqueurs moléculaires deviennent aujourd'hui un outil essentiel d'amélioration des plantes et ouvrent de nouvelles perspectives pour le sélectionneur (Salmi, 2015).

La sélection assistée par des marqueurs (SAM) devient de plus en plus un complément nécessaire aux schémas de sélection classique d'amélioration des céréales (Hospital, 2001; Benderradji, 2013). Cette technique a été utilisée de manière avantageuse dans l'amélioration de la résistance aux maladies et aux insectes (Langridge *et al.*, 2001; Benderradji, 2013).

Les marqueurs sont, en effet, considérés comme des caractères liés au caractère principal à sélectionner. Paterson *et al.*, (1991) et Benderradji, (2013) montrent l'existence de QTL (Quantitative Traits Loci) spécifiques pour l'adaptation à certains milieux. Pour obtenir donc, des variétés stables, il faut accumuler dans un même fond génétique, le maximum de QTL d'adaptation. La SAM devrait permettre de construire plus rapidement et avec plus de sécurité de tels génotypes.

### **I. 11. 2. Gènes candidats liées à la tolérance au stress salin et hydrique**

#### **I. 11. 2. 1. Gènes LEA (Late-Embryogenesis-Abundant protéines) ou (Dehydrines : *DHN*)**

Les Late-Embryogenesis-Abundant protéines (LEA) sont un groupe de protéines à faible poids moléculaire (10-30 kDa) riches en Glycine et Lysine (Shao *et al.*, 2005). En réponse à la déshydratation, les LEA sont produites en abondance dans les dernières phases de développement des graines (Nylander *et al.*, 2001). Différents gènes qui codent pour les protéines LEA sont impliqués dans la tolérance au stress hydrique chez le blé dur (Rampino *et al.*, 2006). Parmi ces gènes ; les *pTd27e*, *pTd16*, *pTd25a*, *pTd38* (Labhilili *et al.*, 1995) et *DHN-5* (Brini *et al.*, 2007).

Dans ce contexte les gènes codant pour les LEA, qui s'accumulent au cours de la dessiccation du grain et dans les tissus végétaux soumises à un déficit hydrique, ont émergé récemment comme des candidats attractifs pour la génomique de la tolérance au stress (Lee et Vierling, 2000 ; Benderradji, 2013).

Les Dehydrines (*DHN*), appelés aussi Late Embryogenesis Abundant (LEA) D11 ou Rab protéines (Responsive to abscissic acid), ils constituent une famille multi génique dont la majeure partie des protéines est cytosolique et hydrophile (Dure, 1993 ; Mouellef 2010). Appartenant à la famille *LEA*, les déhydrines jouent un grand rôle dans la protection de la structure cellulaire des effets du déficit hydrique (Close, 1997 ; Neffar, 2013). Il existe des déhydrines basiques, qui s'expriment durant les événements de déshydratation, et des déhydrines acides, impliquées dans l'acclimatation au froid. Close *et al.*, 2000 ; Neffar, 2013) reconnaissent que lors de la déshydratation, cette famille génique est hautement régulée. Les

dehydrines, LEA forment un groupe remarquable de protéines induites par le stress hydrique et qu'on trouve chez toutes les plantes (Campbell et Close, 1997 ; Mouellef 2010).

### **I. 11. 2. 2. Transporteurs *HKT* (High Potassium Transport)**

La résistance au stress salin met en jeu des mécanismes complexes incluant le contrôle des transports de  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$ . Les espèces tolérantes au sel se caractérisent par la capacité d'accumuler efficacement  $\text{K}^+$  même en présence de fortes concentrations de  $\text{Na}^+$ , et le contrôle de l'accumulation de  $\text{Na}^+$  dans les parties aériennes. Des transporteurs de  $\text{Na}^+$  de la famille *HKT* font partie des systèmes de transports identifiés comme jouant un rôle important dans la résistance au stress salin (Berthomieu et al., 2003 ; Ren et al., 2005 ; Tounsi et al., 2016).

Fonctionnellement, les données disponibles actuellement suggèrent que les transporteurs *HKT* peuvent être séparés en 2 sous-familles : les transporteurs sélectifs de  $\text{Na}^+$  et les symports  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ . Les *HKT* identifiés comme impliqués dans la tolérance des plantes au sel sont jusqu'à présent tous des transporteurs sélectifs de  $\text{Na}^+$ . Il a été récemment mis en évidence que plusieurs transporteurs de  $\text{Na}^+$  de la famille *HKT* jouent un rôle dans la tolérance des plantes au sel chez *Arabidopsis*, le riz et le blé (Tounsi et al., 2016).

Tous les transporteurs *HKT* caractérisés jusqu'à présent chez les végétaux sont perméables à  $\text{Na}^+$  et certains le sont également à  $\text{K}^+$ . Le rôle de ces transporteurs dans le transport *in planta* de  $\text{K}^+$  n'a pas encore été précisé. Par contre, plusieurs études ont mis en évidence un rôle de ces systèmes dans le transport *in planta* de  $\text{Na}^+$  et ont révélé que des *HKTs* sont impliqués dans la tolérance des plantes à la salinité (Jabnour, 2008).

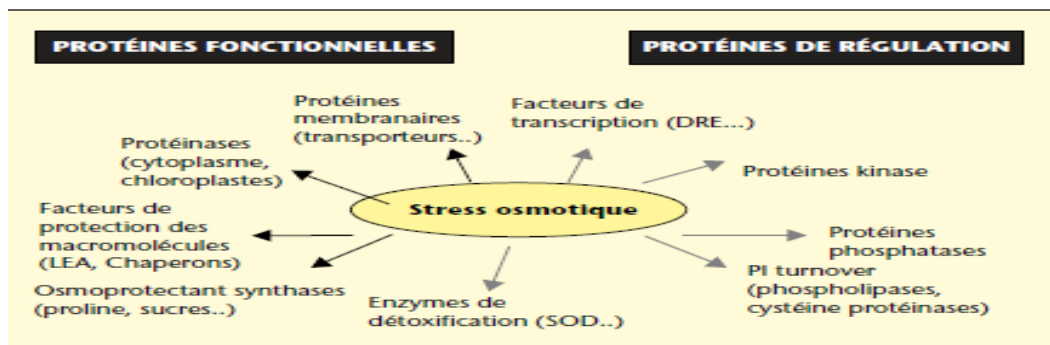
Les fonctions cellulaires végétales sont tributaires d'un rapport  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  élevé. En présence d'une forte concentration en  $\text{NaCl}$ , les ions  $\text{Na}^+$  entrent en compétition avec les ions  $\text{K}^+$  à travers les Co-transporteurs  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  ou même les transporteurs  $\text{K}^+$  spécifiques des cellules racinaires (Zhu, 2003 ; Benderradji, 2013). Ce déséquilibre ionique entraîne des niveaux toxiques de  $\text{Na}^+$  et des concentrations en  $\text{K}^+$  insuffisantes pour les réactions enzymatiques et l'ajustement osmotique. Chez certaines plantes, telles que *Arabidopsis* et le blé, sous l'effet d'un stress salin, des transporteurs  $\text{K}^+$  spécifiques *HKT* (High Affinity Potassium Transporter) de la membrane cytoplasmique ont aussi une faible affinité pour les ions  $\text{Na}^+$  (Benderradji, 2013).

Chez le blé, trois QTL de résistance au stress salin, *Kna1*, *Nax1*, et *Nax2* qui correspondent respectivement aux gènes *TaHKT1 ; 5-D*, *TmHKT1 ; 4-A2* et *Tm HKT1 ; 5-A*, ont été identifiés. L'identification et la caractérisation fonctionnelle des gènes *HKT* impliqués

dans la tolérance aux stress salin, constituent une étape fondamentale dans l'élucidation de mécanismes de transport du sodium et du potassium chez les plantes cultivées dans des conditions de stress et pourraient être utilisées dans le recensement et la valorisation des ressources génétiques des céréales afin d'évaluer leur potentiel d'adaptation aux zones aride et semi-arides (Tounsi et *al.*, 2016).

**I. 12. Mécanismes moléculaires de la réponse aux stress abiotiques**

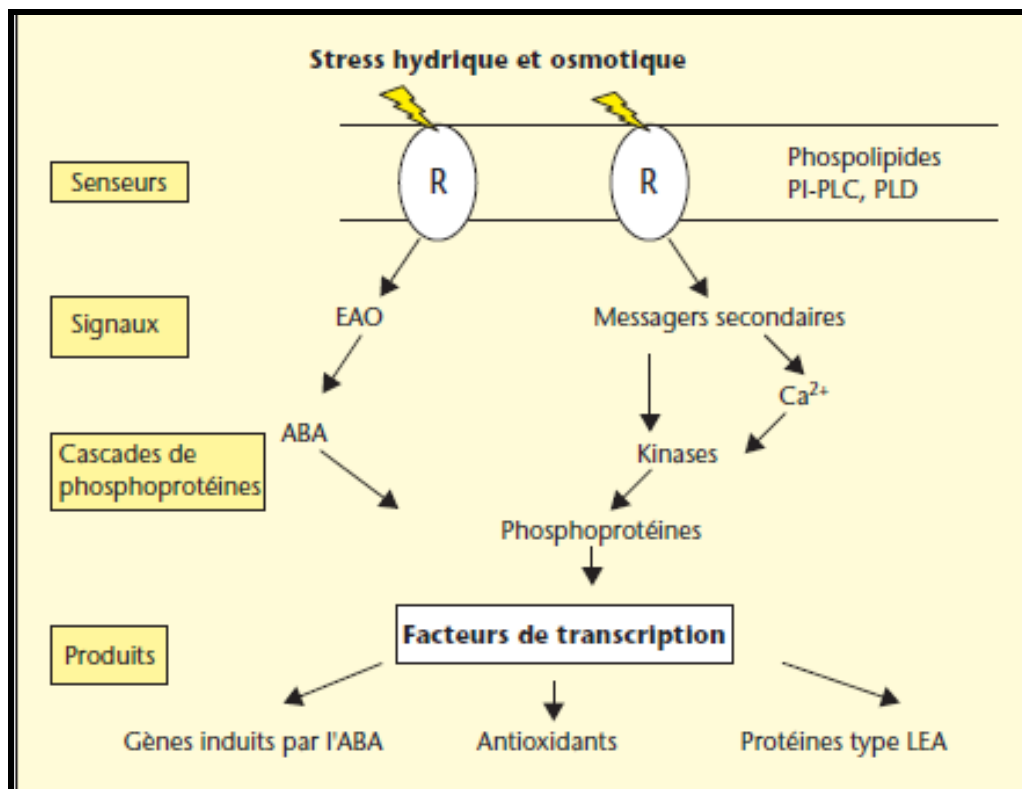
La biologie moléculaire propose des outils pour l'étude de l'expression des gènes et des protéines. La génomique fonctionnelle s'intéresse à l'ensemble des transcrits et des protéines. Elle étudie les méthodes d'analyse de l'expression des gènes et des protéines (De Leonardis et *al.*, 2007). L'expression de ces gènes reste, toutefois, dépendante du génotype utilisé, de l'intensité et la durée du stress mises en œuvre et de la nature du stress (Ergen et *al.*, 2009). Les produits de ces gènes interviennent non seulement dans la tolérance au stress mais aussi dans la régulation de l'expression des gènes et dans la transduction des signaux de la réponse au stress (Yamaguchi-Shinozaki et *al.*, 2002 ; Clavel et *al.*, 2005). Ces produits de gènes induits par la sécheresse, ou plus généralement, par le stress osmotique (stress hydrique, salin et du au froid) peuvent être classés en deux groupes : les protéines fonctionnelles et les protéines de régulation (Figure 17) (Clavel et *al.*, 2005). Schulze et *al.*, (2005) ont décrit qu'une partie des protéines induites, ont une fonction directe dans l'augmentation de la tolérance au stress (protéines fonctionnelles), d'autres ont une fonction dans la chaine de transduction (protéines régulatrices) qui aboutiront à la production de protéines fonctionnelles. Les gènes du stress, une fois induits, sont transcrits en mRNAs qui migrent du noyau vers le cytoplasme. Ces derniers transcrits sont traduits en protéines spécifiques au stress considéré dans le cytosol. La vitesse de la transcription et la quantité des protéines synthétisées sont déterminées par des facteurs dépendant des stimuli du milieu ambiant (Figure 11) (Miller et *al.*, 2001).



**Figure 11 :** Gènes induits par le stress et leur fonctions possibles dans la réponse à l'atolérance au stress osmotique (Yamaguchi-Shinozaki, 2002 ; Clavel et *al.*, 2005).

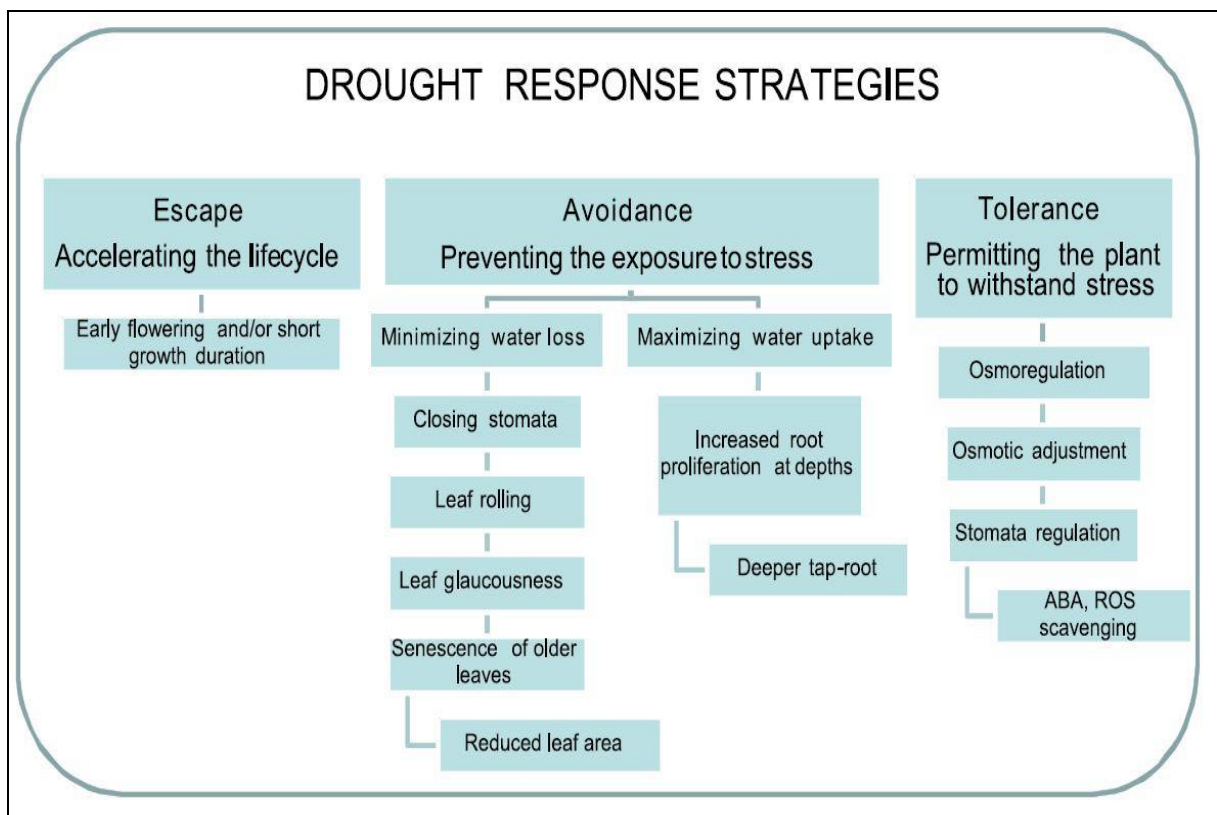
La cascade d'événements moléculaires conduisant au développement de la tolérance au stress comporte :

- La perception du signal de stress par les récepteurs de la membrane cellulaire qui captent les variations du milieu externe (Neffar, 2013).
- la transduction du signal du stress du cytoplasme vers le noyau cellulaire, suivie d'une cascade d'évènements matérialisés par l'accumulation transitoire des ions  $Ca^{++}$ , l'activation des protéines de type kinases, l'accumulation de l'ABA et la modification de la structure de la membrane plasmique.
- l'activation, dans le noyau, des facteurs de transcription associés à l'expression des gènes de réponse au stress.
- l'expression des gènes du stress codant des protéines qui gèrent la situation de stress en réparant ou en maintenant l'homéostasie cellulaire (Figure 12) (Yamaguchi-Shinozaki *et al.*, 2002 ; Neffar, 2013).



**Figure 12 :** Représentation schématique des principales voies de signalisation majeure et principale produits de transcription chez les plantes en réponse au stress osmotique. R : récepteurs, EAO : espèces activées de l'oxygène, PI-PLC : phospholipase C, PLD : phospholipase D, ABA : acide abscissique, LEA : « Late Embryogenesis Abundant » (Diop, 2002 ; Clavel *et al.*, 2005).

La cascade d'événements moléculaires induisent une augmentation du  $Ca^{2+}$  dans le cytoplasme, la production d'antioxydants (Knight, 2000 ; Clavel et al., 2005) et une série de phosphorylations qui activent des protéines impliquées dans la protection cellulaire ou leurs facteurs de transcription. Par exemple, les voies d'activation des gènes codant pour des protéines de type LEA (*Late Embryogenesis Abundant*) ont été trouvées sur certaines plantes très résistantes en réponse au stress hydrique (Ingram et Bartels, 1996 ; Thomashow, 1999 ; Clavel et al., 2005). L'activation des LEA pourrait représenter les voies de réparation des dommages (Xiong et Zhu ,2002; Clavel et al., 2005). La contrainte osmotique induit en particulier des changements dans la composition en phospholipides précurseurs de la production de messagers secondaires via les phospholipases (Figure 13). (Clavel et al., 2005).



**Figure 13 :** Mécanisme de réponse des plantes à la sécheresse et caractères impliqués dans la réponse, (De Leonardis et al., 2010 ; Neffar, 2013).

**MATERIEL**

**ET**

**METHODES**

## Chapitre II : Matériel et Méthodes

### II. 1. Localisation et mise en place de l'expérimentation

L'expérimentation a été réalisée sur le site expérimental relevant de la station de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) de Sétif, situé dans l'étage bioclimatique semi-aride central, qui culmine (1080 m d'altitude, 36° 9'N., 5° 21'E) (Figure 14).

L'expérimentation a été réalisée au cours des deux campagnes agricoles successives 2016/17 et 2017/18.

Le site se caractérise par des terres plates, peu fertiles et un fort risque de gel tardif et de la sécheresse en fin de cycle. Le sol est de texture limono-argileuse avec un taux moyen en matière organique de 2,8 %. La densité apparente est de  $1,35\text{g.cm}^{-3}$ , la capacité au champ est de 25% et le point de flétrissement se situe à 12% (Chennafi et *al.*, 2006).



**Figure 14 :** Site expérimental de la station d'ITGC de Sétif.

### II. 2. Matériel végétal

L'étude porte sur le comportement de 24 variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) en plus du témoin (variété Waha) (Tableau 4). Waha (W) est une sélection récente de l'ITGC. C'est une variété alternative, de type printemps, demi-naine et précoce à l'épiaison. Elle est sensible aux basses températures (gel) après le stade début-montaison (Mekhlouf et *al.*, 2006). En plus de 9 variétés de blé tendre qui ont été utilisées pendant la campagne 2017/2018

**Tableau 4 :** Nom et pedigree des variétés étudiées .

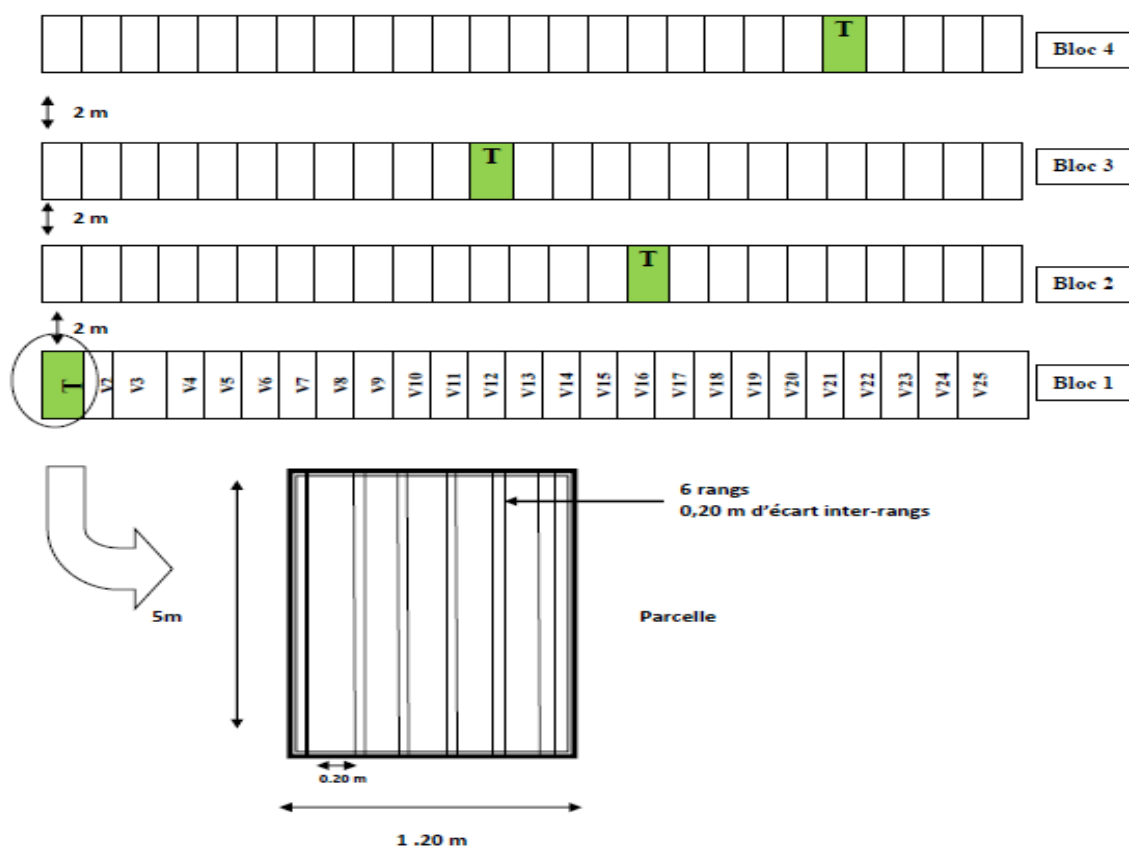
Code	Nom/ Pédigrées
V1	Waha /- syn Pelicano//Ruff/Rolette
V2	JUPARE C 2001*2/IM/6/ADAMAR_15//ALBIA_1/ALTAR....
V3	SOOTY_9/RASCON_37//STORLOM/5/TOSKA_26/RASCON ....
V4	AJAIA_4/CANELO_3/4/AR/ENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO ....
V5	CANELO9 .1/SNITAN/10/PLATA_10/6/MQUE/4/USDA537....
V6	BELLARIO/4/BCRIS/BICUM//LLRETA INIA/3/DUKEM _12* RASCON_21
V7	ISLOM_1/DUKEM_2//TARRO_3/5/CREX//BOY/YAV_1/3/PLATA...
V8	P91.272.3.1/3*MEXI75//2*JUPARE C.....
V9	Guemgoum Rkhem/4/Stj3 //Bcr/Lks4/3/Ter-3
V10	Brak //Ajaia_8/3/Canelo_8//Sora//...
V11	SOOTY_9/RASCON_37//STORMLOM/8/RISSA/GAN// .....
V12	SILK_3/DIPPER_6/3.ACO89/DUKM_4//5*ACO89/4/
V13	SOOTY_9/RASCON_37//STORMLOM/5/TOSKA_26/RASCON_37//SNITAN/4/.....
V14	Terbol975/Geruftl2
V15	Langdon /Kucuk
V16	20048 Traikia (Mor)/Mrb5//Stj3
V17	<i>Triticum Polonicum</i> / Zenati Bouteille//Inrat69
V18	Icasyrl/3/Gcn//Stj /M rb3
V19	Ouasloukos1/5/Azn1/4/BEZAIZSHF//SD19539/Waha/3/Gdr2
V20	MOHAWK/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO5
V21	Icasyrl/3/Bcr/Sb15// <i>Triticum urartu</i> /4/13376/Berchl /Ossll /Stj5
V22	Korifla/Aeg Speltoides Syr/Amedakul
V23	Amedakull/ <i>Triticum dic</i> Syr Col//Loukos
V24	Terbol 97-5/Geruftel2
V25	Ouasloukos 1/5/Azn1/4/BEZAIZSHF//SD19539/Waha/3/Gdr2

### II. 3. Dispositif expérimental

#### II. 3. 1. Campagne agricole 2016/17

L'expérimentation a été conduite dans un dispositif en blocs randomisés avec 4 répétitions. La parcelle élémentaire fait 6 rangs x 5m de long x 0,2m d'écart inter-rangs. (Schéma 1). Les techniques culturales recommandées pour la région ont été suivies pour la

mise en place de l'expérience. Quatre-vingt kg/ha de mono-ammonium phosphate (52% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 12% N) ont été appliqués avant le semis et 80 kg/ha d'urée (46% N) ont été pulvérisés au stade tallage. Les adventices ont été contrôlées par des applications de 150g/ha de Zoom (Dicamba 66% Triasulfuron 4%) et 1,2 L/ha de Traxos (22,5g/L de Pinoxaden, 22,5g/L de Clodinafo-propargyl et 6,5g/L de Cloquintocet-mexyl) d'herbicides chimiques. Cette étude évalue l'utilisation de quelques tests physiologiques comme aide à la sélection pour la tolérance aux stress abiotiques chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) cultivé en zone semi-aride d'altitude.



**Schéma 1** : Dispositif expérimental composé de 4 blocs. Chaque bloc comporte 25 parcelles correspondant aux 25 variétés étudiées. Chaque parcelle correspond à un génotype de la collection de blé dur, formée de 6 lignes de 5m de long, espacée entre elles de 0,20m. La lettre T indique la distribution aléatoire de témoins (Waha).

### II. 3. 2. Campagne agricole 2017/18

L'étude a porté sur dix huit génotypes dont : 9 variétés de blé dur et 9 variétés de blé tendre, le tout a été fourni gracieusement par l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) de Sétif (Tableau 5) , dont on a testé les mêmes paramètres que la première année.

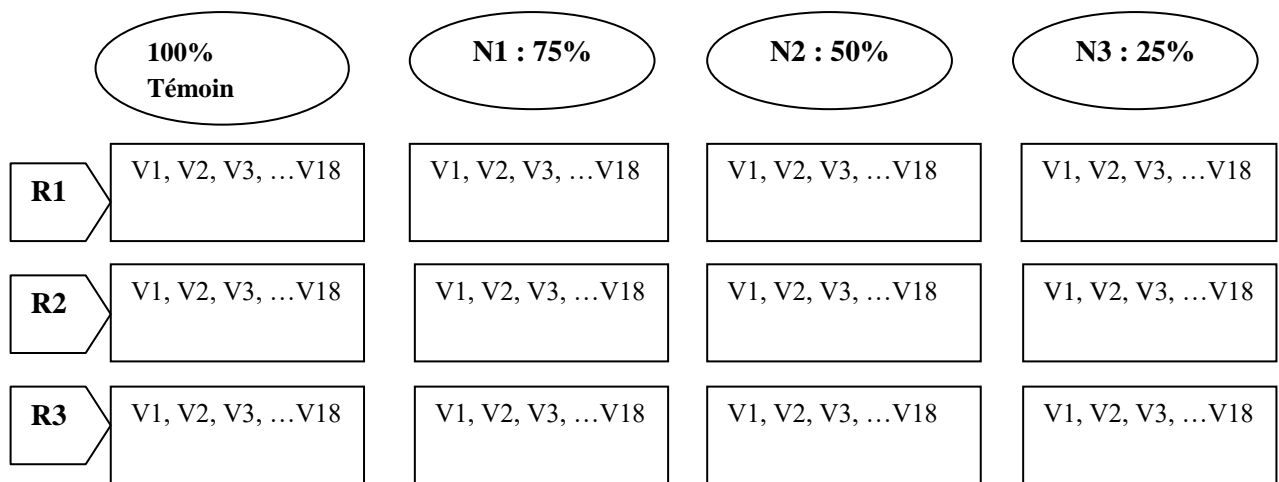
**Tableau 5 :** Géotypes de blé utilisés au cours de la campagne 2017/2018

N°	<i>Triticum aestivum</i> (blé tendre)	Origine	N°	<i>Triticum durum</i> (blé dur)	Origine
1	Hidhab1220	Algérie ITGC	10	WAHA	Algérie ITGC
2	ARZ	Algérie ITGC	11	CANELO_9 .1/SNITAN/1 0/PLATA_10/6/MQUE/4/ USDA537	ITGC Algérie
3	WIFAK	Algérie ITGC	12	GuemgoumRkhem/4/Stj3 / /Bcr/Lks4/3/Ter-3	ITGC Algérie
4	DJMELA	Algérie ITGC	13	BRAK^ //AJAIA_8/3/CA NELO_8//SORA//	ITGC Algérie
5	ANAPO	ITGC Italie	14	T.PoloxZB/Inrat69	ITGC Algérie
6	RMADA	Algérie ITGC	15	Icasyrl/3/Gcn//Stj /M rb3	ITGC Algérie
7	AIN.ABID	Algérie ITGC	16	Icasyrl/3/Bcr/Sb15//Turart u /4/13376/Bcrchl /Ossll / Stj5	ITGC Algérie
8	AKHAMOUKH	ITGC Mexique	17	Amedakull/TdicoSyrCol// Loukos	ITGC Algérie
9	ACSAD981	ITGC	18	Terbol97-5/Geruftel2	ITGC Algérie

Le semis a été réalisé sous l’abri semi contrôlé, dans des pots remplis d’un substrat constitué d’un mélange de sable et terreau à des proportions respectives de 2/1 (en volume), ayant une capacité de rétention de 49,35 %. Cette caractéristique hydrique est nécessaire car elle permet le calcul des quantités de solution nutritive à apporter lors des arrosages.

Quatre traitements sont retenus; le témoin (100% CC), stress niveau 1 (75% CC), stress niveau 2 (50%), stress niveau 3 (a été maintenu à 25% de la CC). Les pots sont séparés en quatre lots. Chaque lots a subit un traitement hydrique différent jusqu’à la fin de l’essai: le premier lot concerne les plantes témoins (100% CC), il est irrigué à saturation. Parallèlement,

le deuxième, le troisième et le quatrième lot sont privés d'irrigation, ils représentent les plantes stressées. (75, 50 et 25%) avec trois répétitions pour chaque niveau (Schéma 2).



**Schéma 2.** Plan expérimental de la campagne 2017/18

Pour calculer les niveaux d'irrigation par apport à la capacité au champ du pot, nous avons pesé des pots contenant 550g de substrat sec utilisé dans l'expérimentation= P1 (P1 = poids de substrat sec). En suite nous avons irrigué ces derniers jusqu'à saturation. Après 24h de repos, les pots sont pesés de nouveau P2 (P2 = poids à saturation). La différence entre P2 et P1 est la quantité d'eau retenue par le sol et qui représente la capacité de rétention des pots. On estime la capacité de rétention (C. R.) par l'équation suivante :

$$CR = (P2 - P1) / P1.100$$

Les pots sont irrigués régulièrement 2 fois par semaine jusqu'à l'obtention de la quatrième feuille.

### **II. 3. 3. Caractères mesurés pour la campagne 2016/17**

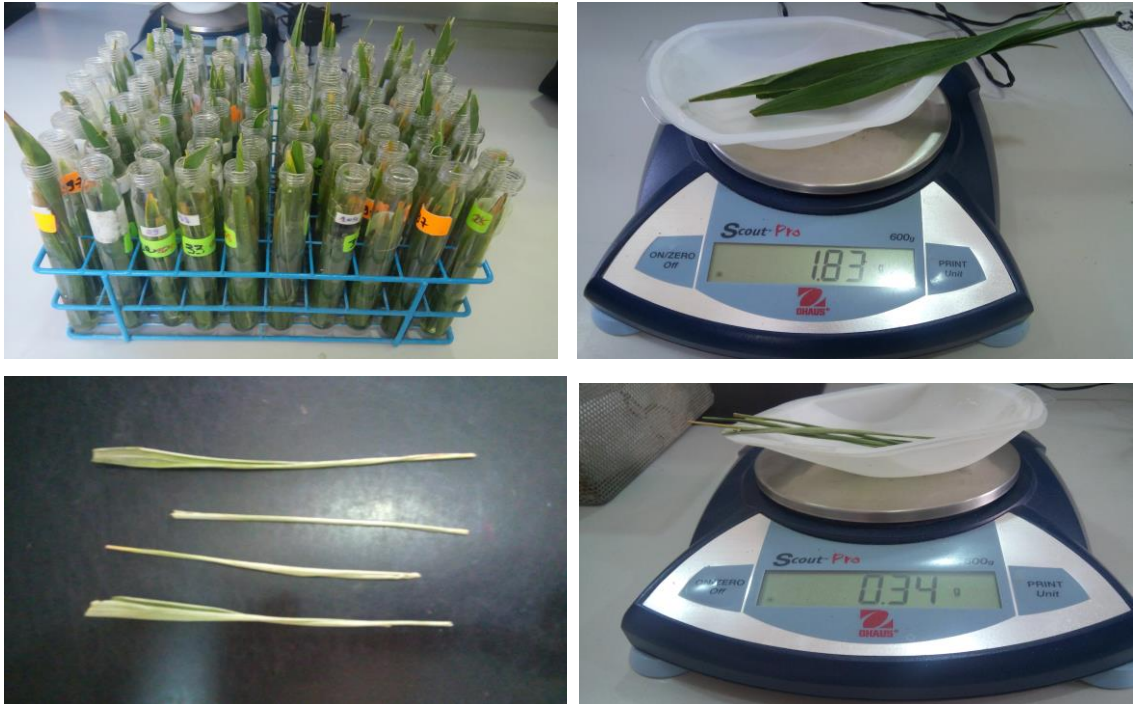
#### **II. 3. 3. 1. Teneur relative en eau (TRE %)**

C'est un paramètre physiologique indicateur de la résistance des espèces vis-à-vis d'un stress hydrique (Berka et Aïd, 2009). La teneur relative en eau est d'un intérêt majeur dans les travaux de sélection, car il serait selon, Araus et *al.*, (1991); El Hakimi et *al.*, (1995), d'une forte héritabilité (Labdelli, 2011). La mesure de la teneur relative en eau a été réalisée par la méthode de Barrs (1968). Les feuilles drapeaux sont pesées immédiatement pour obtenir leur poids frais (PF). Ensuite, ces feuilles ont été mises dans de l'eau distillée à l'obscurité et à 4°C pendant 24 h puis pesées de nouveau pour obtenir le poids de la pleine turgescence (PPT). Les échantillons sont enfin séchés à l'étuve à 80°C pendant 48 h et pesés pour avoir leur poids sec (PS).

La teneur relative en eau des feuilles est déduite par la formule suivante :

$$\text{TRE \%} = [(\text{PF} - \text{PS}) / (\text{PPT} - \text{PS})] \times 100$$

où TRE = Teneur relative en eau, PF=Poids frais, PS = Poids sec, PPT = Poids de la pleine turgescence (Figure 15).



**Figure 15 :** Mesure de la teneur relative en eau (TRE)

### II. 3. 3. 2. Intégrité cellulaire

L'intégrité cellulaire (IC %) est déterminée selon la méthode décrite Saadallah et *al.*, 1990b). La température testée est de 50°C (C1) pendant 30 min et la température létale (C2) étant de 100°C pendant 30 min. La lecture est faite à l'aide du conductimètre. Le pourcentage des cellules endommagées est estimé par :  $\text{IC (\%)} = 100 \times (\text{C1}/\text{C2})$ . Le test de l'intégrité cellulaire (IC) est effectué sur les 5 dernières feuilles entièrement développées, prises au hasard par génotype et traitement. Ces échantillons sont lavés à l'eau courante. Les feuilles sont découpées en segments de 1 cm de long. Un échantillon de 10 segments du limbe foliaire est mis dans un tube à essai et lavé par trois avec de l'eau distillée pour enlever les poussières adhérentes qui influent sur les résultats du test. A Chaque tube on ajoute 10 ml d'eau distillée déminéralisée. Les tubes, ainsi traités, sont périodiquement agités manuellement et laissés à la température ambiante du laboratoire. Une première lecture est faite (C1) avec le conductimètre 24 h après. Les tubes sont ensuite mis au bain marie, dont la température est

portée à 100°C, pendant 60 min. Une deuxième lecture de la conductivité est faite 24 h après le passage des échantillons dans le bain marie (C2) (Figure 16).



**Figure 16 :** Mesure de l'intégrité cellulaire (l'IC%)

### **II. 3. 3. 3. Surface foliaire (SF)**

La surface de la feuille étandard (SFE, cm<sup>2</sup>) est déterminée par le produit de la longueur (L) par la largeur du limbe (l) par le coefficient 0.607. L et l sont mesurées sur un échantillon de 5 feuilles prises au hasard au stade épiaison:  $SFE (cm^2) = (L \times l) \times 0,607$ , où SF, L, l comme définis ci-dessous (Figure 17). 0,607 est la valeur du ratio entre la surface de la feuille estimée par le produit L x l et celle mesurée par planimétrie (Fellahi et al., 2018).

Où :

$$SF (cm^2) = (L * l) * 0.607$$

SF= surface moyenne de la feuille étandard (cm<sup>2</sup>)

L= longueur moyenne de la feuille étandard (cm)

l= largeur moyenne de la feuille étandard (cm)

0,607 = coefficient de régression de la surface



**Figure 17 :** Feuilles prises au hasard au stade épiaison

### II. 3. 3. 4. Température du couvert végétal (TCV)

La température du couvert (TC. temperature Canopy) a été définie comme la température radiométrique mesurée dans l'infrarouge thermique (IRT) et pour laquelle la végétation est dominante dans le champ de vue du capteur, l'effet du sol étant minime (Moran, 2000).

La température de la canopée végétale (TCV, °C) est mesurée à l'épiaison avec un thermomètre à infra rouge Modèle AG-42 (Tele-temp Corp. Fullerton, CA) (Figure 18).



**Figure 18 :** Mesure de la température du couvert végétal

### II. 3. 3. 5. Mesure de la chlorophylle (Unité SPAD)

La teneur en chlorophylle (CHL, Unité-Spad) est déterminée à l'aide d'une chlorophylle-mètre, model Minolta (Konika-Minolta Chlorophyll Meter SPAD-502). Avant toute mesure, l'appareil doit être réglé (nombre de signal par tour) et calibré (N=0). Le chlorophylle-mètre, Minolta SPAD-502 (Soil and Plant Analysis Development) a été utilisé pour estimer l'azote (indirectement par la mesure de la chlorophylle corrélée à une valeur SPAD) chez le blé. L'instrument mesure la transmission de la lumière rouge à 650 nm, à laquelle la chlorophylle absorbe la lumière, et la transmission de la lumière infrarouge à 940nm, à laquelle aucune absorption n'a eu lieu. Sur la base de ces deux valeurs de transmission, l'instrument calcule une valeur SPAD qui est assez bien corrélée à la teneur en chlorophylle (Wood *et al.*, 1993 ; Markwell *et al.*, 1995 ; Semcheddine, 2015) (Figure 19).



**Figure 19 :** Mesure de la chlorophylle (Unité SPAD)

## **II. 3. 4. Caractères mesurés pour la campagne 2017/18**

### **II. 3. 4. 1. Paramètres morphologiques**

#### **II. 3. 4. 1. 1. Longueur et nombre de racines**

La longueur des racines est déterminée comme étant la longueur de la racine la plus longue, les mesures ont été mesurés à l'aide d'une règle graduée et ce pour évaluer la croissance de la plante vis -à-vis du stress.

#### **II. 3. 4. 1. 2. Longueur de l'épicotyle**

La longueur est mesurée à partir de la couronne ou premier nœud jusqu'à la sortie de la première vraie feuille.

#### **II. 3. 4. 1. 3. Longueur de feuilles**

La longueur de feuille mesurée à l'aide du papier millimètre nous renseigne sur l'effet du stress sur la longueur de feuilles stressées comparativement au témoin.

#### **II. 3. 4. 1. 4. Surface foliaire SF « cm<sup>2</sup> »**

La Surface foliaire (SF) est mesurée comme c'était décrit ci-dessus (Figure 20), à travers la formule suivante :

$$SF (cm^2) = (L * l) * 0.607$$



**Figure 20** : Mesure de la surface foliaire

### **II. 3. 4. 2. Paramètres physiologiques**

#### **II. 3. 4. 2. 1. Dosage de proline**

La proline a été dosée par la méthode de Troll et Lindsley, (1955) modifiée par Monneveux et Nemmar, (1986). Cette méthode se base sur la coloration rouge produite par l'interaction de la proline avec la ninhydrine dans un tampon acide. 100 mg de matériel végétal est prélevée puis mis dans des tubes à essai, auquel on ajoute 2ml de méthanol à 40%, le tout est chauffé à 85°C dans un bain marie pendant 60 mn (les tubes sont recouverts de papier aluminium pendant le chauffage pour éviter la volatilisation de l'alcool). Après refroidissement, on prélève 1ml d'extrait auquel est ajouté 1ml d'acide acétique (CH<sub>3</sub>COOH), 1ml d'un mélange contenant (12ml d'eau distillée, 30ml d'acide acétique, 80ml d'acide ortho phosphorique (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) densité 1,7) et 25mg de la Ninhydrine. La solution est portée à

ébullition pendant 30mn, elle vire progressivement au rouge, après refroidissement, on ajoute 5ml de toluène à la solution, après agitation 2 phases se forment : la supérieure qui contient la proline est récupérée et déshydratée par l'adjonction de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  anhydre (Figure 21). Enfin, la densité optique est déterminée par un spectrophotomètre à la longueur d'onde 528nm. Les valeurs obtenues sont ensuite reportées sur la courbe d'étalonnage



**Figure 21** : Dosage de la proline

La courbe d'étalonnage de la proline (Figure 22) a été élaborée comme suit :

✓ Une première solution de proline S1 est préparée de la manière suivante :

20 mg de proline sont mis dans une fiole jaugée de 100 ml sur lequel on verse du méthanol à 40% jusqu'à atteindre 100ml.

✓ Une deuxième solution de proline S2 est préparée de la manière suivante :

- 10 ml de la solution mère S1 est porté dans une nouvelle fiole jaugée de 100ml. On ajuste à 100 ml avec le méthanol 40%, on obtient une solution S2 de  $20\mu\text{g/ml}$  de proline.
- 10 fioles jaugées de capacité 10ml sont prises et numérotées de 1 à 10.

On porte dans chacune d'elle 1 à 10ml de la solution S2, puis chacune est ajustée à 10 ml avec du méthanol 40%.

- Ensuite 11 tubes à essai sont numérotés de T0 à T10 dont chacun contiendra : 1 ml du méthanol qui servira à faire le zéro à la lecture de la DO.

T1= 1ml prélevé de la fiole n°1, soit  $2\mu\text{g}$  de proline

T2= 1ml prélevé de la fiole n°2, soit  $4\mu\text{g}$  de proline

T3= 1ml prélevé de la fiole n°3, soit  $6\mu\text{g}$  de proline

T4= 1ml prélevé de la fiole n°4, soit  $8\mu\text{g}$  de proline

T5= 1ml prélevé de la fiole n°5, soit  $10\mu\text{g}$  de proline

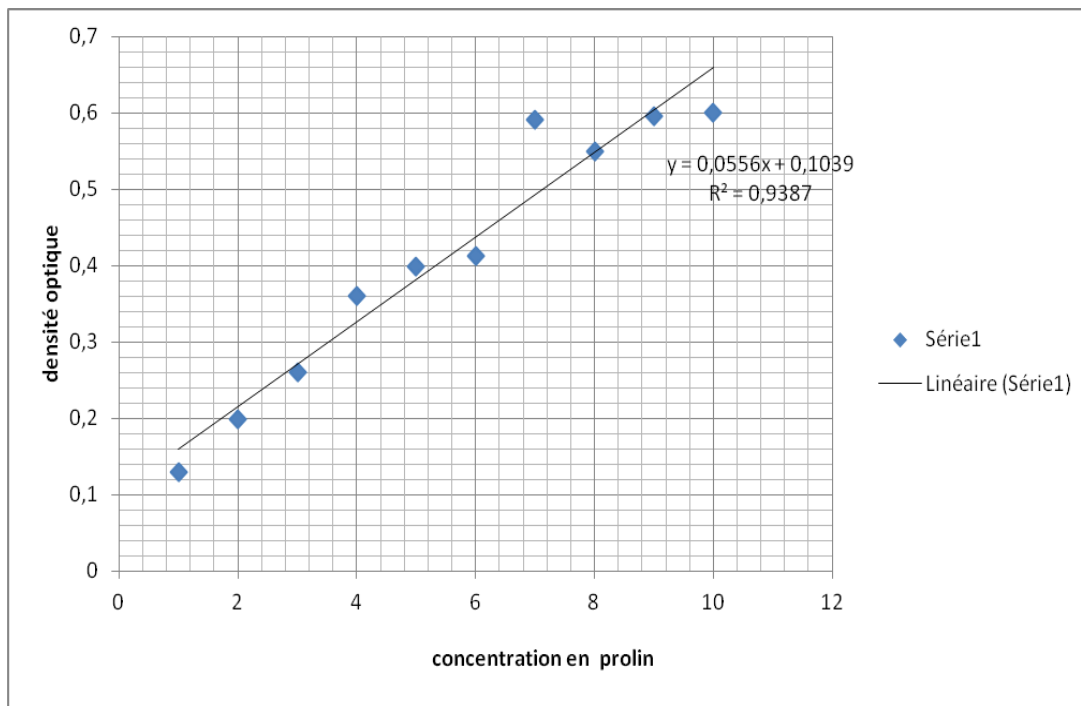
T6= 1ml prélevé de la fiole n°6, soit  $12\mu\text{g}$  de proline

T7= 1ml prélevé de la fiole n°7, soit  $14\mu\text{g}$  de proline

T8= 1ml prélevé de la fiole n°8, soit 16µg de proline

T9= 1ml prélevé de la fiole n°9, soit 18µg de proline

T10= 1ml prélevé de la fiole n°10, soit 20µg de proline



**Figure 22** : Courbe d'étalonnage de la proline.

**II. 3. 4. 2. 2. Teneur en sucres solubles**

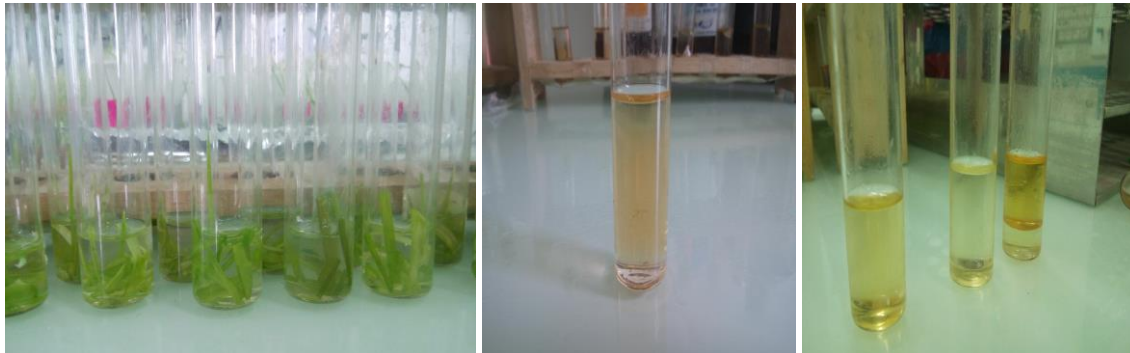
Les sucres simples (glucose, fructose, et saccharose) sont extraits par un solvant capable de les solubiliser et de bloquer les activités enzymatiques susceptibles de les dégrader. Ils sont dosés par la méthode de Schields et Burnett, (1960).

Les sucres solubles sont dosés par la méthode du phénol (Dubois et *al.*, 1956), simplifiée et mise au point par Benderradji et *al.*, (2016) ; le principe de la réaction est basée sur la coloration des produits de dégradation des oses neutres par l'acide sulfurique qui, très concentré, transforme à chaud les glucides en dérivés sulfuriques se colorant en jaune orange avec le phénol. Elle consiste à prendre 100 mg de matière fraîche placées dans des tubes à essais, on ajoute 3 ml éthanol à 80% pour faire l'extraction des sucres.

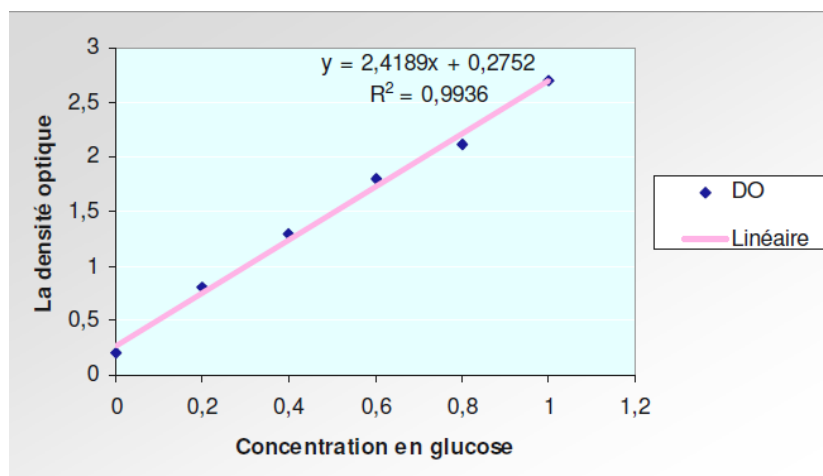
On laisse le tout à température ambiante pendant 48h à l'obscurité Au moment du dosage, les tubes sont placés dans l'étuve à 80°C pour faire évaporer l'alcool. Dans chaque tube on ajoute 20 ml d'eau distillée à l'extrait pour obtenir la solution à analyser. Dans des tubes à essais propres, on met 2 ml de la solution à analyser, on ajoute 1 ml de phénol à 5% (le phénol est diluée dans l'eau distillée).

Enfin, on ajoute rapidement 5 ml acide sulfurique concentrée 96% (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) à l'aide d'une burette en évitant de verser de l'acide contre les parois des tubes. On obtient une solution jaune-orange à la surface. On passe au vortex pour homogénéiser la couleur de la solution. On laisse les tubes pendant 10 à 20mn à une température de 30°C (Figure 23).

Les mesures d'absorbances sont effectuées à une longueur d'ondes de 485 nm. Les résultats des densités optiques sont rapportés sur un courbe étalon des sucres solubles (exprimés en glucose) (Figure 24).



**Figure 23 :** Dosage des sucres solubles.



**Figure 24 :** Courbe étalon du dosage des sucres solubles (Mouellef, 2010).

### **II. 3. 4. 2. 3. Teneur relative en eau (TRE%), intégrité cellulaire (IC%) et taux de chlorophylle (CHL)**

Ces trois paramètres ont été déterminées par les méthode décrite par Barrs, (1968) ; Saadallah et *al.*, (1990b) et à l'aide d'un chlorophylle-mètre respectivement comme a été décrite pour la campagne 2016/2017 .

### **II. 3. 4. 3. Paramètres agronomiques**

#### **II. 3. 4. 3. 1. Rendement (RDT, g/m<sup>2</sup>) et ses composantes**

A maturité, on a mesuré les rendements en grain et en paille et les composantes du rendement. Ces observations sont déterminées à partir de la végétation des bottillons récoltés sur un segment de rang de 1 m de long/génotype/répétition.

#### **II. 3. 4. 3. 2. Hauteur de la plante (HT, cm)**

Les mesures et notations faites au cours du cycle de la culture concernent la hauteur de la plante (HT, cm) qui a été mesurée, à maturité, du sol au sommet de l'épi, barbes non incluses, par trois endroits par parcelle élémentaire, La moyenne de trois mesures représente la valeur moyenne de la parcelle élémentaire.

La hauteur de la plante (HT, cm) est mesurée juste avant la récolte de la culture. Des échantillons de plantes pour chaque génotype, ont été mesurés aux stades épiaison et maturité à partir du ras du sol jusqu'aux sommets des barbes de l'épi.

#### **II. 3. 4. 3. 3. Nombre d'épis, de grain par épi, poids moyen d'un grain et rendement grain**

La récolte a été réalisée durant le mois de Juillet sur le site d'étude, selon le degré de maturité des génotypes. A maturité, un échantillon d'un mètre linéaire pour chaque parcelle élémentaire est moissonné manuellement. Le rendement en grains est déterminé en g/m<sup>2</sup>. Le même échantillon est utilisé pour estimer : le nombre d'épis/m<sup>2</sup>, le nombre de grains/épi, le nombre de grains/m<sup>2</sup> et le poids de mille grains.

Les épis par plante sont comptés (NE) ; ils sont décortiqués, pour déterminer le rendement par plante (RDT, g). Le nombre de grains produit par plante est compté et utilisé pour estimer le poids de 1000 grains (PMG, g). Le nombre de grains par épi (NGE) est estimé par le rapport entre le nombre de grains sur le nombre d'épis produit par plante.

#### **II. 3. 4. 3. 4. Nombre de grains au mètre carrée (NG/M<sup>2</sup>)**

C'est le résultat du produit du nombre d'épi/m<sup>2</sup>(NE) et du nombre de grains /épi (NGE).

#### **II. 3. 4. 3. 5. Poids de mille grains (PMG) :**

Le poids de mille grains (PMG), est l'un des caractères descriptifs de l'obtention de l'information sur le rendement, il est nécessaire pour déterminer l'importance de l'échantillon d'après le nombre de semences qui ont été conservées à long terme et c'est un test qui détermine la viabilité des semences (Figure 25).



**Figure 25 :** Mesure du poids de 1000 grains (PMG)

### II. 3. 5. Analyse statistique

#### \*Campagne 2016/17

Les données collectées ont été soumises à l'analyse de la variance à deux facteurs (campagnes, avec 2 modalités et génotypes avec 25 modalités), en utilisant l'ANOVA via le logiciel Costat version 6,4 (Costat, 2008). Les composantes environnementale ( $\sigma^2e$ ), génotypique ( $\sigma^2g$ ), d'interaction G x E ( $\sigma^2gxe$ ) et phénotypique ( $\sigma^2p$ ) de la variation sont déduites à partir des valeurs des carrés moyens des écarts qui sont prises comme étant les estimées des espérances moyennes des sources de variations génotype, interaction G x E et résiduelle pondérée (Acquaah, 2012) :

$$\begin{aligned}\sigma^2e &= CMe \text{ résiduel} , \\ \sigma^2gxe &= \frac{CMe \text{ gxe} - \sigma^2e}{r} , \\ \sigma^2g &= \frac{CMe \text{ g} - CMe \text{ gxe}}{r \times s} , \\ \sigma^2p &= \sigma^2g + \sigma^2gxe + \sigma^2e ,\end{aligned}$$

Avec CMe = carré moyen des écarts, r = nombre de répétitions et s = nombre de saisons ou campagnes d'étude. Les composantes de la variation ont servi à la détermination des coefficients de variation phénotypique, génotypique et résiduelle, suivants :

$$\begin{aligned}CVp(\%) &= \frac{100 * \sqrt{\sigma^2p}}{\mu} \\ CVg(\%) &= \frac{100 * \sqrt{\sigma^2g}}{\mu} \\ CVe(\%) &= \frac{100 * \sqrt{\sigma^2e}}{\mu}\end{aligned}$$

Le degré de détermination génotypique ( $H^2_{sl}$ ) est estimé, selon Singh et Chaudhary (1985), par :

$$H^2_{sl} = \frac{\sigma^2_g}{\sigma^2_g + \frac{\sigma^2_{gxe}}{e \times r} + \frac{\sigma^2_e}{r}}$$

L'héritabilité au sens large représente la part de la variabilité génétique ( $\sigma^2_G$ ) par rapport à la variabilité phénotypique totale ( $\sigma^2_P$ ). La variance génétique est la somme des variances d'origine additive et d'interaction génotype x environnement (Benmahammed et *al.*, 2003). Bhateria et *al.*, (2006) et Salmi, (2015) mentionnent que le degré de l'héritabilité dont les valeurs sont supérieures à 0,5 est classé comme élevé ; il est moyen pour des valeurs situées entre 0,30 et 0,50 et il est faible pour des valeurs inférieures à 0,30. La sélection simple par plant au cours des générations précoces est plus efficace pour les caractères à héritabilité élevée (Salmi, 2015). Francis et Kannenberg, (1978) et Kadi, (2012) proposent l'utilisation du coefficient de variation (CV) pour mesurer la stabilité génotypique.

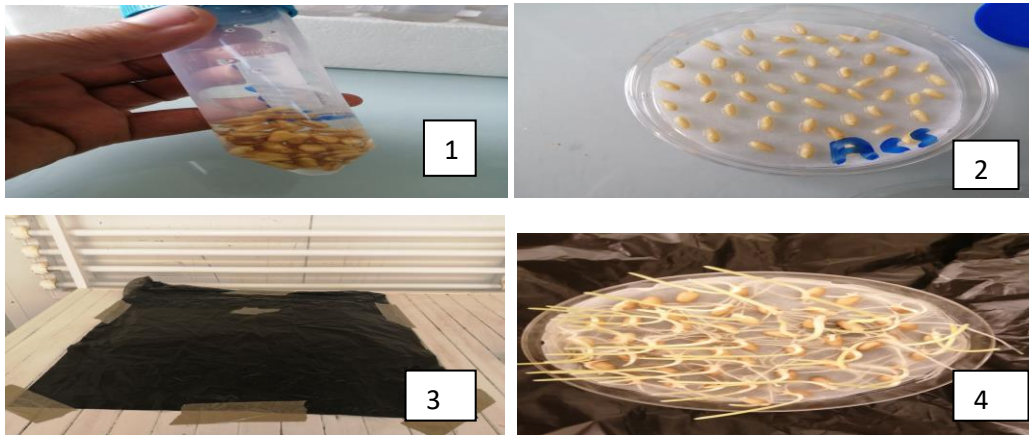
Les coefficients de corrélation de Pearson entre les différentes paires de caractères montrant un effet génotype significatif et analyse des composantes factorielles (ACP) ont été effectués par le logiciel EXSTAT.

#### **\*Campagne 2017/18**

L'essai a été du type complètement randomisé comportant 4 traitements avec 3 répétitions pour chaque traitement. Afin de mettre en évidence l'effet des différents facteurs ainsi que leurs éventuelles interactions sur les différents paramètres physiologiques et biochimiques, une analyse de la variance à deux facteurs (variété et Traitement) a été réalisée. L'analyse de la variance a été effectuée par le logiciel XLSTAT le test de DUNCAN a été utilisé pour comparer les moyennes et dégager les groupes homogènes au seuil de 5%.

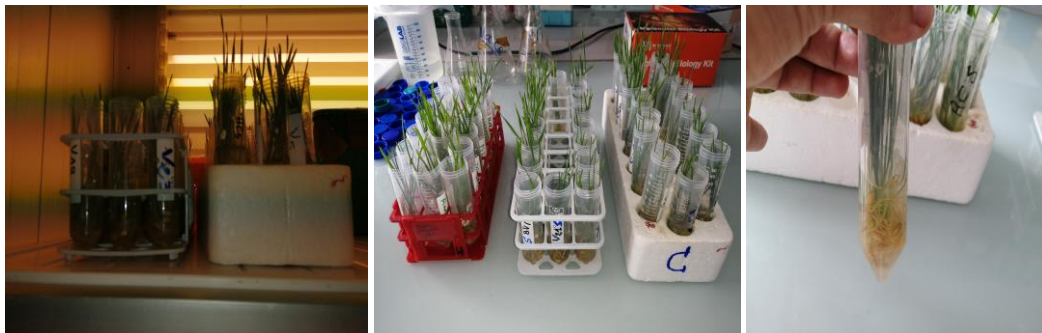
#### **II. 4. Etude moléculaire**

Une expérimentation au niveau moléculaire portant sur l'étude des stress salin et hydrique a été conduite, avec les variétés de la campagne 2017/2018 au niveau du Laboratoire de Protection et d'Amélioration des Plantes (LPAP) au Centre de Biotechnologie de Sfax (CBS), Tunisie. Les grains ont été fournis par l'institut technique des grandes cultures de Sétif (ITGC). Les grains sont stérilisés pendant 10 min avec une solution 10% (v/v) d'eau de javel, puis lavées trois fois avec de l'eau stérile et placées dans des boîtes de pétri sur une feuille de papier filtre pour la germination à l'obscurité. Les échantillons ont été incubés à 25°C dans une chambre de culture sous une photopériode 16h de lumière et 8h d'obscurité et 60 ±10% d'humidité relative (Figure 26)



**Figure 26 :** Etapes de germination

Les plantules atteignant le stade de 3 feuilles, sont transférées dans des tubes Eppendorff. Les stress salin et hydrique sont appliqués par culture hydroponique de solution de 150mM NaCl et 15% PEG 6000. Les plantules sont séparées en trois lots. Chaque lots a subit un traitement différent pendant 4 jours : le premier lot concerne les plantes témoins c'est-à-dire les plantes cultivées sur l'eau. Parallèlement les deuxièmes et troisièmes lots représentent les plantes stressées par 150mM NaCl et 15% PEG 6000. (Figure 27).



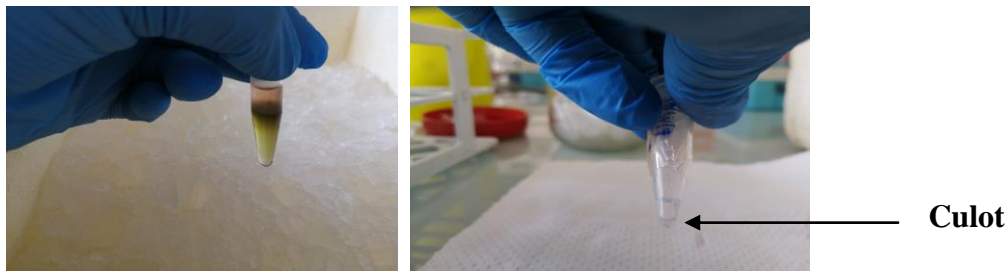
**Figure 27 :** Application de stress salin et hydrique sur les lignées de blé

## **II. 5. Extraction des ARN totaux des plantes**

### **II. 5. 1. Méthode d'Extraction des ARN totaux au Trizol (Chomczynski et Mackey, 1995).**

Un échantillon de feuilles (200 mg) est broyé dans un mortier en présence d'azote liquide jusqu'à l'obtention d'une poudre fine qui est transvasée dans un tube Eppendorf pour être homogénéisée dans 1ml du tampon Trizol (Invitrogen). L'homogénat est incubé pendant 5 min à température ambiante afin de dissocier le complexe nucléoprotéiques. Ensuite, on ajoute 200µl de chloroforme par ml de Trizol, traitement qui assure l'extraction des protéines et on agite vigoureusement pendant 15 s. Puis, l'extrait est laissé à température ambiante pendant 2 à 3min et enfin centrifugé à 12000rpm pendant 15 min à 4°C.

On récupère la phase supérieure contenant l'ARN dans un nouveau tube et on ajoute 500 µl d'Isopropanol. Après incubation pendant 10 min à température ambiante, une centrifugation à 12000rpm pendant 15 min à 4°C permet de récupérer l'ARN sous forme de culot qui sera enfin lavé avec 1 ml de l'éthanol 75% (Figure 28). Après une centrifugation à 7500rpm pendant 5 min à 4°C, le surnageant est éliminé et le culot est séché pendant 5 à 10min à l'air libre et repris dans un volume approprié de H<sub>2</sub>O traitée au DEPC et stocké à – 80°C (Figure 28).



**Figure 28** : Méthode d'extraction des ARN totaux des plantes.

### **II. 5. 2. Transcription inverse (RT-PCR) : Synthèse des cDNAs** (Sambrouk et *al.*, 1989)

Le but de la transcription inverse est de transcrire l'ARN messager (ARNm) en ADN complémentaire (ADNc), en utilisant la transcriptase inverse. Cette enzyme utilise les désoxyribonucléotides triphosphates pour former une chaîne d'ADN complémentaire à la chaîne d'ARNm servant de matrice. La synthèse du cDNA se fait comme suit :

10 µl d'ARN sont utilisés afin de dénaturer les structures secondaires à 80°C pendant 5 min, Puis cet ARN sera placé dans la glace immédiatement.

A cet ARN dénaturé, on ajoute les ingrédients suivants :

- Tampon 10X ..... 4µl
- dNTPs (10mM) .....2µl
- OligodT..... 2µl
- RNase inhibitor .....0.5µl
- DTT.....2µl
- Reverse transcriptase..... 2µl

On incube à 45°C pendant 1h, ensuite à 70°C pendant 15 min pour inactiver l'enzyme. Le produit de la réaction de reverse transcription est dilué pour l'utiliser comme matrice pour des amplifications par PCR.

### II. 5. 3. Amplification des cDNAs par PCR

La technique d'amplification PCR consiste à effectuer des cycles multiples de réplication de l'ADN ou du cDNA *in vitro* et cela en utilisant des oligonucléotides de synthèse qui s'hybrident avec des séquences complémentaires bordant la séquence à amplifier. Les réactions PCR ont été réalisées à l'aide d'un appareil PCR « Gene Amp PCR system 2700, Applied Biosystems » (Figure 29). Un volume réactionnel de 25 µl est classiquement réalisé. Chaque cycle comprend une étape de dénaturation de la matrice, une étape d'hybridation des amorces et une étape de polymérisation. Il est important de noter que la température d'hybridation des amorces varie en fonction de Tm des amorces.

La réaction PCR fait intervenir les ingrédients suivants (Tableau 6):

ADNc (50 ng/µl) .....	1µl
Tampon PCR 10X .....	2, 5µl
MgCl <sub>2</sub> (25 mM).....	1, 5µl
dNTPs (10 mM).....	1µl
Amorce 1 (50 ng/µl) .....	1µl
Amorce 2 (50 ng/µl) .....	1µl
Taq DNA polymérase .....	1µl
H <sub>2</sub> O, Qsp.....	25µl



**Figure 29:** Appareil PCR « Gene Amp PCR system 2700, Applied Biosystems »

**Tableau 6:** Séquences des amorces utilisées dans l'Amplification des cDNAs par PCR

Désignation	Séquence
<b><i>HKT- Fw</i></b>	5'- GAGGACTAAGAATAACCAGAGC-3'
<b><i>HKT-Rv</i></b>	5'-GTTAGAACCCAAGGCCTTTGTG -3'
<b><i>DHN5 -Fw</i></b>	5'- GAATTCATGGAGTTCCAAGGGCAG -3'
<b><i>DHN5 -Rv</i></b>	5'- GAATTCTCAGTGCTGGCCTGGG-3'
<b><i>Actin -Fw</i></b>	5'- GCACGGCCTGAATTGCGACGTACATGG-3'
<b><i>Actin- Rv</i></b>	5'- CTGACGGTGAGGACATCCAGC-3'

### **3.5 Analyse de fragment d'ADN par Electrophorèse sur gel d'agarose**

Le produit d'amplification PCR est analysé sur un gel d'agarose en présence de BET (bromure d'ethidium 1µg/ml). Le tampon de dépôt utilisé est concentré 6X (0,25% bleu de bromophénol ; 40% saccharose). Le tampon de migration est le TAE (1X) (TAE 10X : Tris-acétate (400mM) pH 8,5 et EDTANa<sub>2</sub> (20Mm). Les cADNs sont par la suite visualisés sous UV (Figure 30).



**Figure 30 :** Analyse de fragment d'ADN par Electrophorèse sur gel d'agarose

**RESULTATS**

**ET**

**DISCUSSION**

## **Chapitre III. Résultats et discussion**

### **III. 1. Caractérisation agronomique et morpho-physiologique *in vivo* de variétés de blé sous conditions semi-arides**

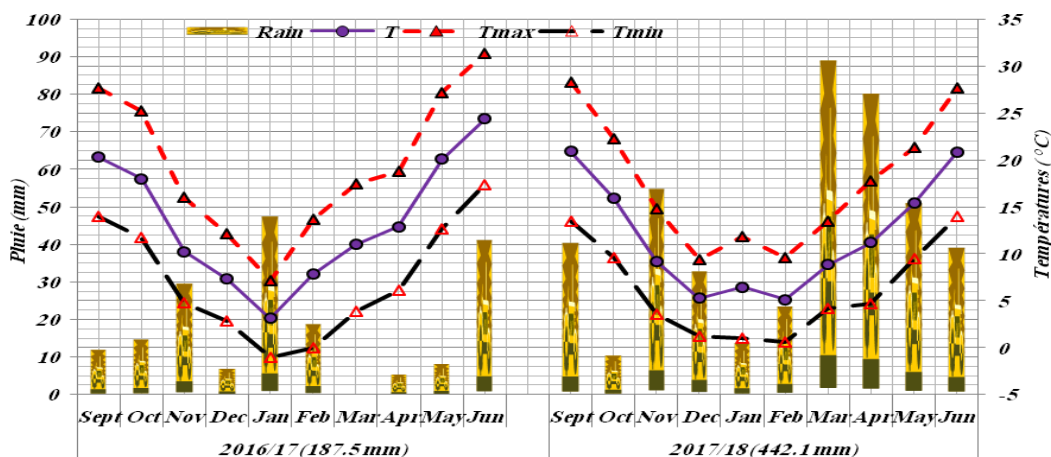
#### **III. 1. 1. Climat du site d'étude**

Au cours de la campagne agricole 2016/17 & 2017/18, Les températures moyennes mensuelles étaient plus proches, sachant que la température moyenne est souvent définie par la moyenne entre la température quotidienne minimale et maximale (Darroch et Baker, 1990; Johnson et Kanemasu, 1983 ; Fossati, 1995). Le mois de Février de la campagne 2017/18 était le plus frais avec une température minimale journalière allant jusqu'à 6°C. Le mois de Septembre a été le plus chaud pour les campagnes 2017/2018 et 2016/2017 avec des températures allant jusqu'à 28 à 30°C. La répartition de la température est bimodale; élevée au cours de l'été et basse au cours de l'hiver. Du mois de Décembre au mois d'Avril, la température moyenne mensuelle reste inférieure à 10°C, seuil qui permet à la végétation de croître normalement pour valoriser les eaux de pluies enregistrées. La température s'élève rapidement à partir du mois d'Avril, passant de 10°C à plus de 25°C enregistrée au cours du mois de Juin. Cette augmentation coïncide avec la phase de remplissage des grains. La croissance à des températures relativement plus basses permet à la plante d'utiliser plus tôt les ressources offertes par le milieu, ce qui lui confère la nature aléatoire des stress abiotiques qui caractérisent ces environnements. Baldy, (1986) et Belagrouz, (2013) abordent les effets du climat méditerranéen sur la croissance, le développement et le rendement agronomique des blés. Il indique que le rythme de développement des blés est affecté sous l'effet des températures élevées. Après floraison, les températures supérieures à 30°C à la surface des épis sont néfastes pour le stockage des assimilés et la qualité des grains.

La pluviométrie est caractérisée par une forte variation avec une répartition inter mensuelle hétérogène des pluies, au cours des deux campagnes agricoles citées ci-dessus elle a enregistré, 187,5mm et 442,10mm respectivement pour la période allant du mois de Septembre au mois de Juin, ce qui concorde avec le cycle de culture du blé.

Durant la campagne 2016/17, les jours de précipitation qui ont été enregistrés est de 67 jours; à l'opposé pour ce qui est de la campagne 2017/18 où on a enregistré 93 jours de précipitations. Pour la campagne 2016/17, les mois de Novembre, Janvier et Juin sont les plus pluvieux avec 29,70 mm, 46,90 mm, et 55,50mm respectivement, alors que pour la campagne 2017/18, les mois de Septembre, Novembre, Décembre, Mars, Avril et Mai qui sont les plus pluvieux avec 41 mm, 55,70 mm, 30,50mm, 90,40mm, 81,30mm et 51,90mm

respectivement. La variation des quantités de pluies reçues d’une année à l’autre, de leurs distributions et du régime des températures hivernales et printanières induit une forte variation des rendements. Sous conditions pluviales, la durée de remplissage atteint rarement sa durée maximale, suite aux effets des stress climatiques qui ne permettent pas au grain d’atteindre son poids potentiel (Figure 31) (Mekhlouf et al., 2006).



**Figure 31:** Pluviométrie et températures moyennes du site expérimental ITGC de Sétif des deux campagnes agricoles 2016/17 et 2017/18 (Tutiempo, 2020).

Ces résultats indiquent la grande variabilité climatique, d’ordre pluviométrique, à laquelle est soumise la production du blé dur sous les conditions des hautes plaines orientales et indiquent aussi que la contrainte hydrique, de nature intermittente, est doublement variable, du point de vu intensité et positionnement tout au long du cycle de la culture du blé. Ceci complique l’identification du stade végétatif pour lequel il faut chercher la tolérance génétique au manque d’eau au cours du cycle végétatif (Haddad, 2017).

**III. 1. 2. Caractères phéno-morpho-physiologiques et composantes du rendement**

Les paramètres étudiés chez 25 génotypes, soumis aux mêmes conditions environnementales, ont permis de révéler une variabilité génotypique importante. Des différences significatives existent entre les lignées évaluées pour les variables mesurées. L’analyse de la variance pour la campagne 2016/2017, révèle un effet significatif du génotype pour l’ensemble des caractères morphologiques mesurés; hormis la température du couvert végétal (TCV). Les résultats ont montré une différence hautement significative entre génotypes pour la surface foliaire (SF, cm<sup>2</sup>), la teneur relative en eau (TRE, %), l’intégrité cellulaire (IC, %) et le taux de chlorophylle (CHL). Les différences entre variétés sont dues à des effets génétiques et environnementaux. Il est à signaler qu’un effet hautement significatif

des blocs était noté pour TRE (%), et très hautement significatif pour l'IC (%) et TCV (°C), à l'opposé d'un effet non significatif pour le CHL et SF (Tableau7).

**Tableau 7:** Carrés moyens des caractères morpho-physiologiques de campagnes 2016/17

Source	Ddl	CHL	TCV	TRE	IC	SF
blocs	3	3.41 <sup>ns</sup>	38.25 <sup>***</sup>	87.45 <sup>**</sup>	822.74 <sup>***</sup>	6.36 <sup>ns</sup>
génotype	24	61.50 <sup>***</sup>	5.12 <sup>ns</sup>	114.94 <sup>***</sup>	347.35 <sup>***</sup>	10.64 <sup>***</sup>
résiduelle	72	12.85	4.03	20.81	69.17	3.87
CV%	99	8.95%	7.45%	5.56%	9.91%	17.29%

TRE %=Teneur relative en eau, CHL= Le taux de chlorophylle, IC% = Intégrité cellulaire, SF =La Surface foliaire, T°CV= Température de couvert végétal. ns, \*, \*\*, \*\*\* : non significatif et significatif au seuil de 5%., respectivement

Pour la campagne d'étude 2017/18, on a noté un effet significatif des blocs uniquement pour l'IC %, alors que ; la TCV et CHL présentent un effet hautement significatif et un effet non significatif concernant le TRE et SF (Tableau 8).

**Tableau 8 :** Carrés moyens de l'analyse de la variance des caractères morpho-physiologiques de campagne d'étude 2017/18

Source	Ddl	CHL	TCV	TRE	IC	SF
blocs	3	236.32 <sup>***</sup>	337.08 <sup>***</sup>	146.01 <sup>ns</sup>	429.88 <sup>*</sup>	2.52 <sup>ns</sup>
génotype	24	50.30 <sup>ns</sup>	14.21 <sup>ns</sup>	292.65 <sup>*</sup>	213.95 <sup>*</sup>	16.31 <sup>*</sup>
résiduelle	72	37.96	11.23	143.24	118.51	8.10
CV%	99	16.85%	13.89%	14.86%	24.25%	13.75%

TRE %=Teneur relative en eau, CHL= Le taux de chlorophylle, IC% = Intégrité cellulaire, SF =La Surface foliaire, T°CV= Température de couvert végétal. ns, \*, \*\*, \*\*\* : non significatif et significatif au seuil de 5%., respectivement

Ces résultats indiquent la présence d'une variabilité assez importante entre les génotypes étudiés, ce qui justifie l'analyse génétique des variables mesurées pour la sélection à fin d'améliorer la productivité et l'adaptation du blé dur en zones semi-arides.

Pour le rendement et ses composantes ; les résultats révèlent la présence d'une importante variabilité d'origine génétique au sein du matériel végétal étudié. Les résultats indiquent aussi un effet génotype significatif pour l'ensemble des caractères, mis à part la HT et PE qui ne présente pas de variabilité génétique. Chez le bloc un effet non significatif pour l'ensemble des caractères excepté RDT, BIO, et PE ; en 2016/2017 (Tableau 9).

**Tableau 9 :** Carrés moyens de l'analyse de la variance du rendement et ses composantes (2016/2017).

Source	ddl	BIO	RDT	Ht cm	NE	PNE	P1E	NGE	NGM	PMG
blocs	3	17105.77 <sup>*</sup>	4104.40 <sup>*</sup>	25.41 <sup>ns</sup>	1059.67 <sup>ns</sup>	22521.27 <sup>*</sup>	0.11 <sup>ns</sup>	32.29 <sup>ns</sup>	522155 <sup>ns</sup>	8.07 <sup>ns</sup>
génotype	24	17869.48 <sup>**</sup>	2574.67 <sup>*</sup>	58.48 <sup>ns</sup>	3881.25 <sup>***</sup>	6802.23 <sup>ns</sup>	0.05 <sup>ns</sup>	45.22 <sup>**</sup>	777462 <sup>ns</sup>	35.13 <sup>***</sup>
résiduelle	72	5000.67	1224.63	37.18	560.36	5847.57	0.05	21.35	264438 <sup>ns</sup>	6.78
CV%	99	12.00	23.18	10.40	7.34	27.42	24.68	27.42	29.64	7.94

La Biomasse aérienne (BIO), Le rendement (RDT), Hauteur de la plante (HT), le nombre d'épis/m<sup>2</sup> (NE), Poids des épis /m<sup>2</sup> (PNE), Poids d'un épi (P1E), le nombre de grains par épi (NGE), le nombre de grains/m<sup>2</sup> (NGM), poids de mille grains (PMG) ns, \*, \*\*, \*\*\* : non significatif et significatif au seuil de 5%., respectivement

Chez la compagne 2017/2018 un effet génotype non significatif est noté uniquement pour la BIO, et PNE alors que chez le bloc, un effet significatif pour l'ensemble des caractères excepté RDT, PMG, et NGE (Tableau 10).

Les résultats de l'analyse de la variance ont montré une différence hautement significative entre génotypes pour les rendements et ses composantes et les caractères morpho-physiologiques pour les deux campagnes d'étude, indiquant une forte variation génétique et la possibilité de sélection de gènes pour l'amélioration de la tolérance à la sécheresse.

**Tableau 10 :** Carrés moyens de l'analyse de la variance du rendement et ses composantes (2017/2018)

Source	ddl	BIO	RDT	Ht cm	NE	PNE	P1E	NGE	NGM	PMG
Blocs	3	26382.67 <sub>ns</sub>	1550.8097***	80.75***	3250.79***	11158.72*	0.81***	41.83 <sup>ns</sup>	2313259.5**	5.55 <sup>ns</sup>
génotype	24	13366.10 <sub>ns</sub>	388.61618***	44.96***	680.53*	4676.63 <sup>ns</sup>	0.27**	93.26***	1232546.4**	56.47***
résiduelle	72	9878.33	138.4175	9.26	399.11	3166.86	0.12	21.02	550437.77	8.90
CV%	99	24.69%	8.50%	3.54%	18.77%	22.87%	14.86%	15.32%	23.45%	6.20%

La Biomasse aérienne (BIO), Le rendement (RDT), Hauteur de la plante (HT), le nombre d'épis/m<sup>2</sup> (NE), Poids des épis /m<sup>2</sup> (PNE), Poids d'un épi (P1E), le nombre de grains par épi (NGE), le nombre de grains/m<sup>2</sup> (NGM), poids de mille grains (PMG) ns, \*, \*\*, \*\*\* : non significatif et significatif au seuil de 5%., respectivement

L'analyse de la variance révèle un effet significatif de compagne et un effet hautement significatif pour l'ensemble des caractères morphologiques mesurés hormis la teneur relative en eau (TRE %) qui ne présente aucun effet significatif (Tableaux 11 et 12). Alors que le contraste entre les Campagnes et les génotypes indique un effet significatif pour les caractères étudiés SF, IC%, NGM<sup>2</sup>, BIO et RDT ; à l'exception de la TRE%, Chl, TCV, et PNE qui ne présentent pas d'effet significatif. L'analyse de la variance des caractères mesurés montre un effet hautement significatif pour les deux caractères étudiés HT et NE.

**Tableau 11:** Carrés moyens de l'analyse de la variance des caractères morpho-physiologiques de campagnes d'étude (2016/2017 et 2017/2018)

Source	Ddl	CHL	TCV	TRE%	IC%	SF
Blocs	3	42.22 ns	17.16***	15.48ns	547.82*	1.30 ns
compagne	1	178.05**	16.83***	127.42ns	21867.09***	1206.995***
génotype	8	121.62***	2.46*	61.49ns	244.03ns	11.42ns
C X G	8	5.97ns	0.34ns	66.20 ns	329.43*	15.93*
Résiduelle	51	21.22	4.54	32.04	142.52	6.20
CV%	71	11.60%	10.74%	6.79%	17.94%	15.08%

TRE =Teneur relative en eau (%), CHL= Taux de chlorophylle, IC = Intégrité cellulaire (%), SF = Surface foliaire (cm<sup>2</sup>), TCV= Température de Couvert Végétal, CV% = Coefficient de variation, ns, \*, \*\*, \*\*\* : non significatif et significatif au seuil de 0.05, 0.01 et 0.001 respectivement.

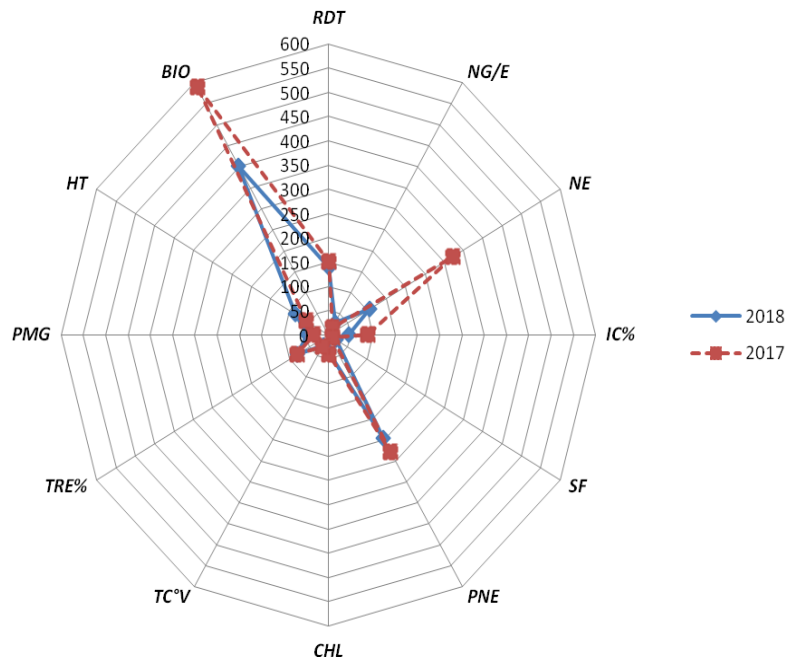
**Tableau 12 :** Carrés moyens de l’analyse de la variance du rendement et ses composantes (2016/2017 et 2017/2018)

Source de variation	ddl	HT	RDT	BIO	NE	PNE	P1E	NGE	NGM <sup>2</sup>	PMG
Blocs	3	60.38 *	2793.52*	3654.25ns	155.80ns	3710.18ns	0.17*	27.08ns	345015.6 6ns	0.76ns
C Compagne	1	1445 0***	8253.13* *	813790.29 ***	909226.1 3***	26775.68*	37.63***	2189.94* **	1.42***	4501.58** *
G genotype	8	42.07 *	3073.58* **	17084.31n s	930.87ns	7510.56ns	0.17*	108.67** *	7325578. 9***	57.52***
C X G	8	72.54 ***	1842.66* **	20658.22* **	2537.19* **	6238.18ns	0.11ns	14.11ns	4527152. 4*	20.25ns
Résiduelle	51	18.06	726.28	9056.04	450.18	5448.67	0.058	20.88	1745347. 8	12.90
CV%	71	5.87 %	18.02%	18.60%	9.63%	27.30%	15.02%	19.75%	29.36%	8.57%

Biomasse aérienne (BIO), rendement (RDT), Hauteur de la plante (HT), nombre d’épis/m<sup>2</sup> (NE), Poids des épis /m<sup>2</sup> (PNE), Poids d’un épi (P1E), nombre de grains par épi (NGE), nombre de grains/m<sup>2</sup> (NGM<sup>2</sup>), poids de mille grains (PMG), , CV% = Coefficient de variation, ns, \*, \*\*, \*\*\* : non significatif et significatif au seuil de 0.05, 0.01 et 0.001 respectivement.

### III. 1. 3. Analyse des performances moyennes

L’étude des valeurs moyennes des caractères analysés par source de variation indique que des effets moyens observés entre les paramètres et montre que les campagnes diffèrent fortement pour l’expression de l’ensemble des caractères. Les réductions les plus importantes observées sont celles de la biomasse aérienne, du nombre des épis par m<sup>2</sup> et l’IC% (Figure 32). Fellahi, (2013) trouve que les meilleures valeurs moyennes sont variables, selon le caractère, d’un génotype à un autre et qu’aucun génotype ne se distingue par des valeurs élevées pour un grand ensemble de variables mesurées. La variation, d’une année à l’autre, des quantités de pluies reçues, de leurs distributions et du régime des températures hivernales et printanières induit une forte variation des rendements. Sous conditions pluviales, la durée de remplissage atteint rarement sa durée maximale, suite aux effets des stress climatiques qui ne permettent pas au grain d’atteindre son poids potentiel (Mekhlouf *el al.*, 2006).



**Figure 32 :** Réduction des valeurs moyennes des variables mesurées des campagnes 2016/2017 et 2017/2018

(HT = hauteur de la plante, cm ; SF= surface de la feuille cm<sup>2</sup> BIO=biomasse aérienne mesurée à maturité, g/m<sup>2</sup> NGE= Nombre de grains par épi ; PMG= Poids de 1000 grains, g ; RDT= Rendement en grains, g/m<sup>2</sup>). TRE %=Teneur relative en eau, CHL= Le taux de chlorophylle, IC% = Intégrité cellulaire, SF =La Surface foliaire, T°CV= Température de couvert végétal

En campagne (2017/18), la moyenne de la hauteur de végétation par plante (HT) la plus élevée est mesurée chez BELLARIO/4/BCRISBICUM/ (V6) avec une valeur de 64.75 cm et la plus faible hauteur de 51.25 cm est observée chez BRAK (10) ; Alors qu'en 2018, la variété BRAK (V10) enregistre une valeur la plus élevée avec 91,67 cm et la variété 20048 Traikia (Mor)Mrb5//Stj 3 (V16) enregistre la plus faible hauteur de 79.33 cm (Figure 33, Tableau 16 & 17). 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, Annichiarico et al., 2005; Laala, 2010). Ces résultats indiquent que la hauteur chez les lignées dans la campagne 2018 s'exprime mieux que chez les lignées en 2017. Cette réduction pourrait s'expliquer par les conditions climatiques défavorables survenues durant cette campagne. En effet, l'avènement des hautes températures dès le printemps, le plus souvent associé au déficit hydrique, accélère le développement de la plante au détriment de la croissance (Bahlouli et al., 2006). Il reste cependant 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 termes de rendement économique et grain (Laala, 2010).

La hauteur des plantes, suite à ses effets bénéfiques lors des années sèches, effets attribués aux réserves stockées dans le col de l'épi, est une des caractéristiques qui contribuent à une meilleure adaptation (Acevedo et *al.*, 1991 ; Nachit et *al.*, 1989; Benmahammed et *al.*, 2003). Ces effets sont attribués à la capacité de stockage et de transfert des substrats glucidiques pour la finition du grain. Bouzerzour et Monneveux, (1992) observent que les variétés les plus hautes produisent un grain plus gros et elles sont plus tardives à l'épiaison. La précocité au stade épiaison est associée à la réduction de la hauteur du chaume et à l'augmentation de la capacité de tallage de l'épi (Berger et *al.*, 1985; Mekhlouf et *al.*, 2006).

Selon les résultats obtenus en 2017, il est observé que la variété Korifla/Aeg Speltoïdes Syr/Amedakul (V22) présente les plus faibles valeurs moyennes pour le nombre d'épis et la biomasse aérienne (Figures 34 & 35, Tableau 16 & 17) avec des valeurs de 250 épis/m<sup>2</sup> et 476.6g respectivement. La biomasse aérienne mesurée enregistre une valeur moyenne maximale de 750,8g chez la variété Icasyl/3/Bcr/Sb15//*Triticum urartu* /4/13376/Bcrchl /Ossll /Stj5 (V21). La variété Korifla/Aeg Speltoïdes Syr/Amedakul (V22) enregistre la meilleure valeur moyenne en 2018 avec 540 g ; alors que la variété Icasyl/3/Gcn//Stj /M rb3 (V18) enregistre la valeur moyenne la plus extrême pour le nombre d'épi avec 134 épis/m<sup>2</sup>.

Les basses températures des mois de Janvier et Février coïncident avec la période du début tallage, ce qui affecte considérablement le nombre des épis / unité de surface. La production de la biomasse aérienne est dépendante de plusieurs facteurs dont le nombre de feuilles produites, la capacité de tallage herbacées et celle de faire monter le plus d'épis par unité de surface emblavée. Elle est aussi sous certaines conditions, dépendante de la hauteur de la plante (Bouzerzour et *al.*, 1998). Dans les environnements plus secs la capacité génotypique de développer une biomasse suffisante en début de cycle ou l'eau est disponible, est une caractéristique désirable pour augmenter le rendement (Ceccarelli et *al.*, 1992; Laala, 2010). La biomasse aérienne produite et le degré de sa répartition sont des caractéristiques qui renforcent l'adaptation et la productivité dans un milieu donné (Benmahammed et *al.*, 1995, Bouzerzour et *al.*, 1998; Benmahammed et *al.*, 2003).

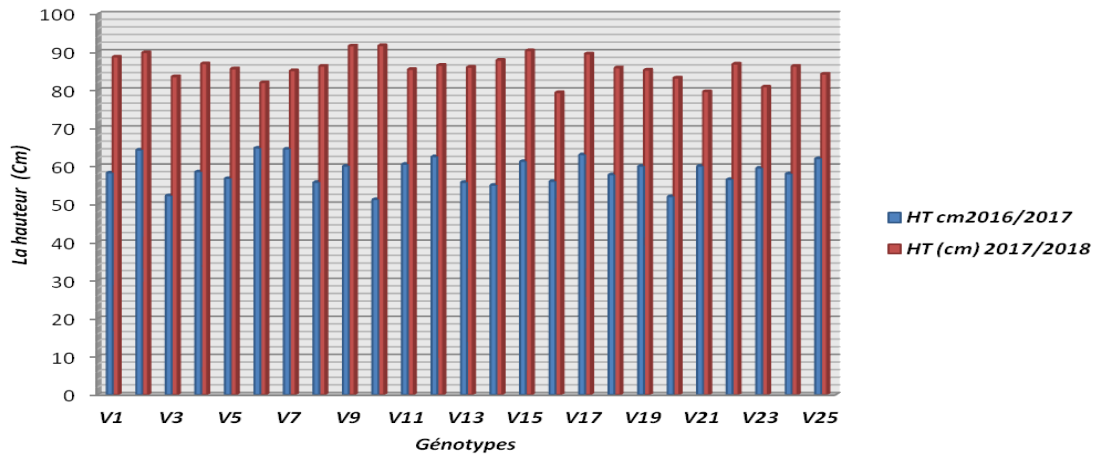


Figure 33 : Hauteur du chaume des géotypes étudiés

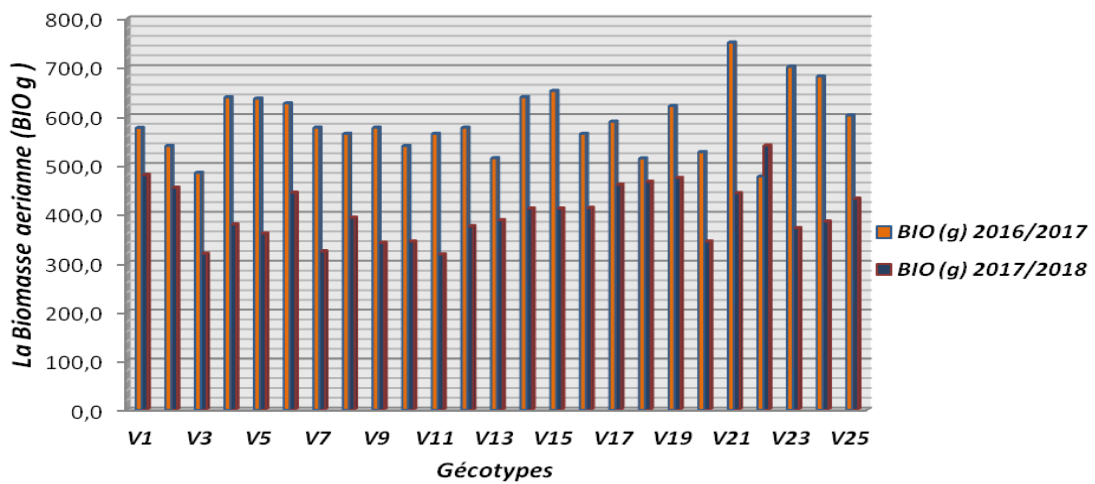


Figure 34 : Biomasse aérienne des géotypes étudiés

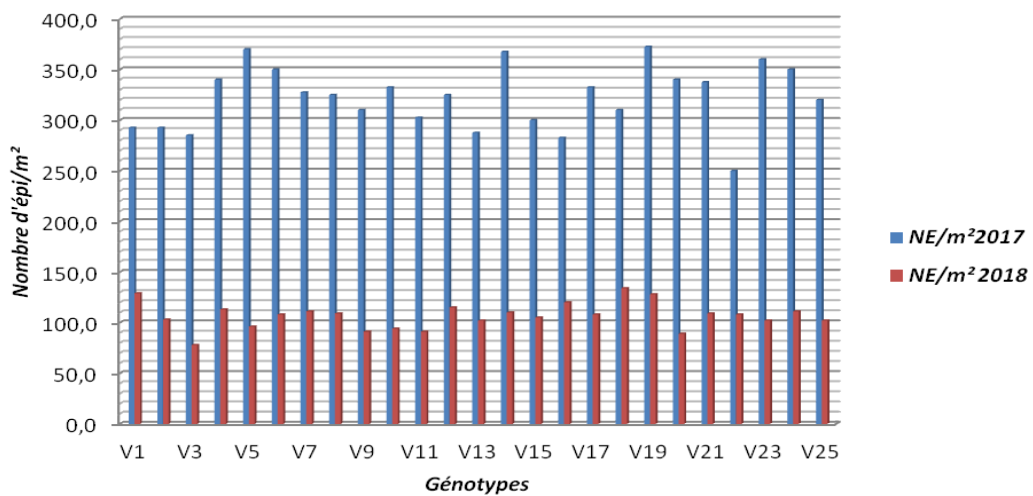


Figure 35 : Nombre d'épi /m² des géotypes étudiés

Le rendement est un indicateur de la productivité propre à chaque variété. Il est l'objectif final du processus de sélection. C'est un caractère complexe sous contrôle polygénique (McNeal *et al.*, 1978). 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 m<sup>2</sup> (Triboï, 1990).

En 2016/2017 ; La meilleure lignée pour le rendement RDT (g) et le nombre de grains par épi (NG/E) est Canelo 9.1/Snitan/10/Plata\_10/6/Mque/4/Usda537 (V5) avec 211.0 g et 25.1 grains respectivement (Figure 36 & 37, Tableau 16 & 17), par contre les plus faibles valeurs sont notées chez Brak //Ajaia\_8/3/Canelo\_8//Sora// (V10) avec 101.4 g et 11.7 grains. La campagne de l'étude, 2017/2018 a enregistré le meilleur rendement chez la variété *Triticum Polonicum* / Zenati Bouteille//Inrat69 (V17) avec 155.45g par rapport la variété Guemgoum Rkhem/4/Stj3 //Bcr/Lks4/3/Ter-3 (V9) enregistre la valeur la plus faible avec 109.4g. Le nombre de grains par épi (NG/E) la plus faible est observée chez SILK\_3/DIPPER\_6/3.ACO89/DUKM\_4//5\*ACO89/4/ (V12); avec une valeur de 22 grains. Alors que la valeur la plus élevée est mesurée chez le génotype Ouasloukos 1/5/Azn1/4/BEZAIZSHF//SD19539/Waha/3/Gdr2 (V25) avec une valeur de 42 grains.

Au cours de la campagne d'étude 2017, la variété Amedakull/*Triticum dic* Syr Col//Loukos (V23) présente les valeurs extrêmes pour PNE et P1E. Les valeurs moyennes de ces deux caractéristiques sont de 365.5g et 1.1g respectivement ; alors que la valeur la plus faible pour le PNE est enregistrée chez V2 avec 202.0g alors que le poids d'épi la plus faible est notée chez les variétés JUPARE C 2001\*2/IM/6/ADAMAR\_15//ALBIA\_1/ALTAR (V2), Brak //Ajaia\_8/3/Canelo\_8//Sora// (V10) et MOHAWK/9/USDA595/3/ D67.3/RABI// CRA/4/ALO5 (V20) avec 0.7g. Cependant en campagne 2018, la lignée Korifla/Aeg Speltoides Syr/Amedakul (V22) a enregistré le PNE par m<sup>2</sup> le plus élevé (310.83g/m<sup>2</sup>) le plus petit poids a été réalisé par Guemgoum Rkhem/4/Stj3 //Bcr/Lks4/3/Ter-3 (V9) avec une moyenne de 195.23g/m<sup>2</sup> ; La moyenne du poids des épis/plante varie entre 1.81 g/plante valeur minimale enregistrée chez la lignée SILK\_3/DIPPER\_6/3.ACO89/DUKM\_4//5\*ACO89/4/ (V12) et 2.90g valeur maximale mesurée chez les lignées Korifla/Aeg Speltoides Syr/Amedakul (V22) et Ouasloukos 1/5/Azn1/4/BEZAIZSHF//SD19539/Waha/3/Gdr2 (V25).

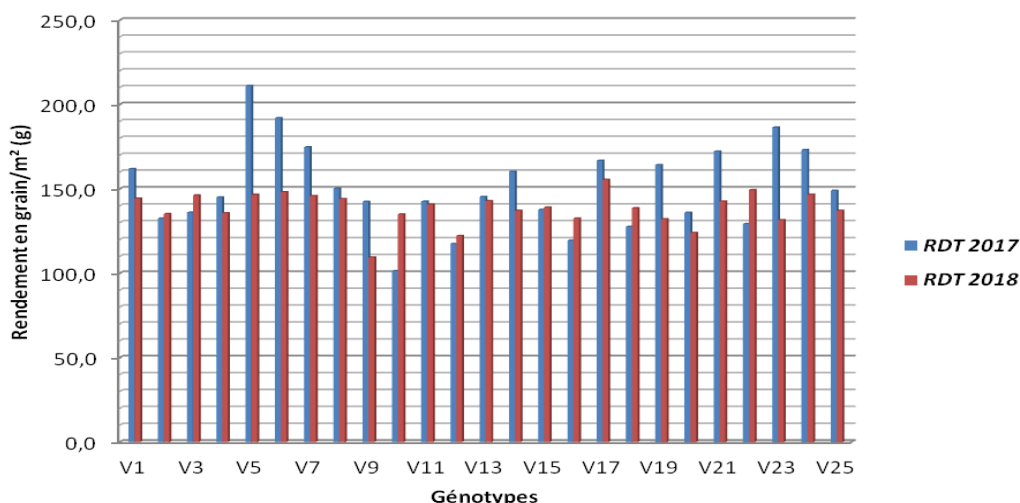


Figure 36 : Performances du rendement grain des génotypes étudiés en 2017 et 2018.

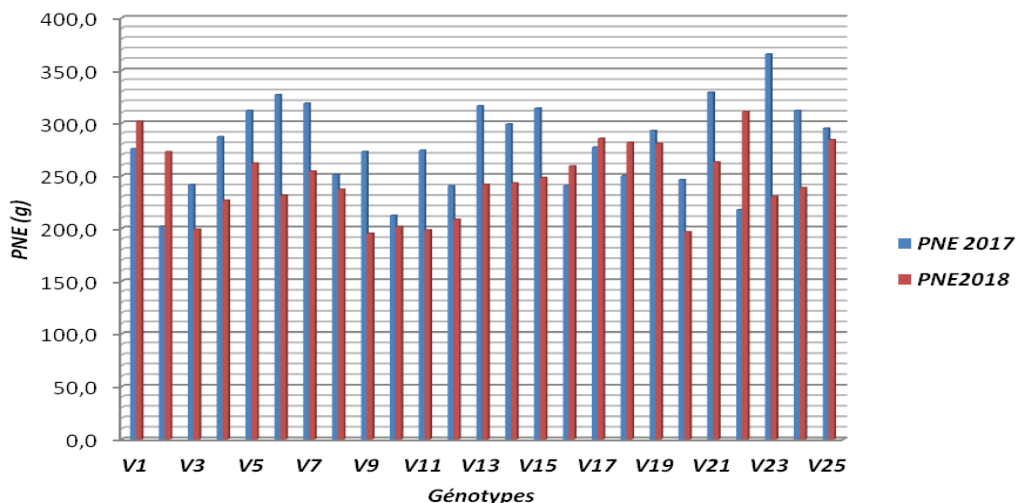


Figure 37 : Transgression du poids des épis /m² des génotypes étudiés.

Le manque d'eau survenu à un stade précoce associé à des hautes températures est responsable de la diminution des rendements. Le rendement est fortement variable sous l'influence des facteurs du milieu, d'où son inefficacité comme critère de sélection (Moragues *et al.*, 2006; Belhacene *et al.*, 2006). Annichiarico *et al.*, (2005), Nouar, (2015) mentionnent les effets de basse température sur la croissance, le développement et l'expression du potentiel de rendement chez les génotypes de blé dur évalués sur les hauts plateaux Algériennes.

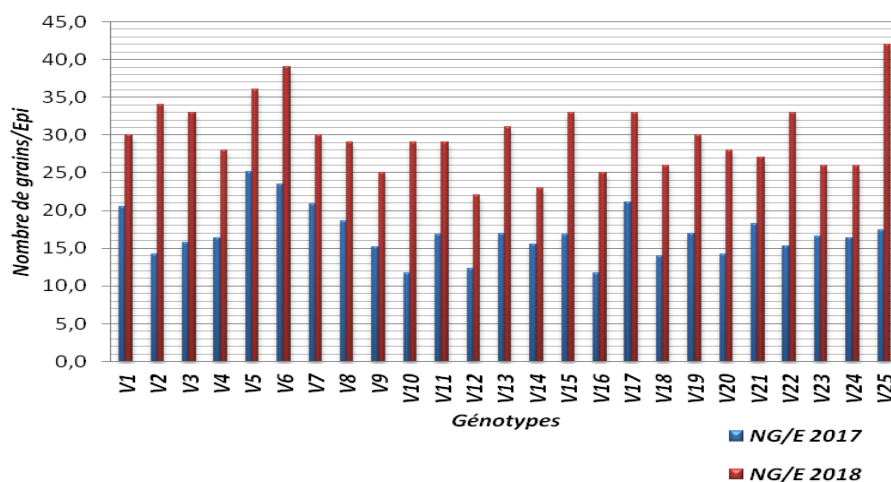
Le nombre de grain varié fortement entre variétés. Ceci est dû à plusieurs origines tels que la différence de fertilité d'épi entre génotypes, des différences génotypiques de nombre

d'épis formé par unité de surface, des différences de nombre d'épillets et de nombre de fleurs formées (Gate, 1995; Nouar, 2015 ; Salmi et al., 2019).

La tombée de la grêle en fin de cycle de la culture a occasionnée des dégâts considérables au niveau des épis, ce qui a provoqué l'égrenage, réduisant ainsi, le nombre de grains par épi donc le rendement grain. Les dégâts ont été remarquables beaucoup plus chez les génotypes précoces que tardifs, suggérant qu'un épillet non mature résiste mieux à l'égrenage par le fait de la grêle qu'un épillet sec (Salmi, 2015).

Le nombre de grains par épi est la composante de rendement la plus importante. Elle joue un rôle primordial dans la variabilité du rendement (Nachit, 1986 ; Amallah, 2017). Selon Hamada, (2000) et Amallah, (2017), ce paramètre dépend de la fertilité des épillets et peut s'associer à d'autres composantes du rendement (Amallah, 2017). Abbassenne et al., (1997), soulignent que les meilleurs rendements en grains de blé dur en zones semi-arides sont le résultat de la capacité génétique à produire plus d'épis par unité de surface associée à une bonne fertilité.

Au cours du remplissage des grains, le manque d'eau a pour conséquence une réduction de la taille des grains (échaudage), réduisant par conséquent le rendement (Figure 38, Tableau 13 & 14) (Gate et al., 1993).



**Figure 38 :** Transgression du nombre de grain / épi des génotypes étudiés.

Dans le cadre de la présente étude, le poids de mille grains varie de 39.3g et 29.2g en 2017 chez les génotypes Terbol 97-5/Geruftel2 (V24) et ISLOM\_1 /DUKEM\_2// TARRO\_3 /5/CREX//BOY/YAV\_1/3/PLATA (V7) ; et entre 55.9 et 40.5g en 2018 chez Terbol975/Geruftel2 (V14) et Ouasloukos 1/5/Azn1/4/ BEZAIZSHF// SD19539/Waha/3/Gdr2 (V25) respectivement. Duggan et folwer, (2006) et Nouar, (2015) mentionnent que la compétition entre le nombre de grains /épi et le poids de 1000 grains explique une grand part

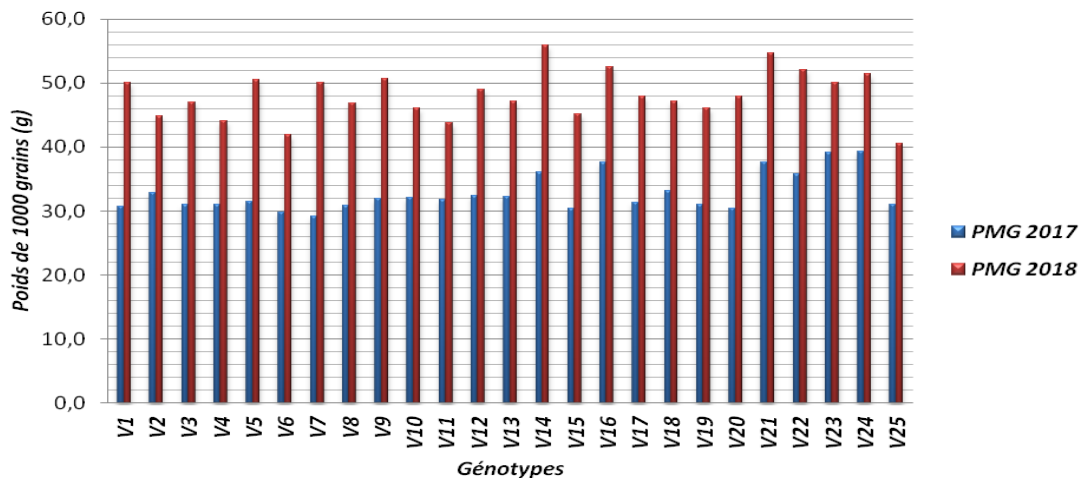
de l'interaction et permet à certaines variétés d'ajuster leur rendement sous stress. Selon Hannachi, (2017), les plants ayant un nombre de grains par épi élevé se distinguent, par contre, par une réduction du poids de 1000 grains. De plus sous les conditions de production des hautes plaines de l'est, le PMG subit le plus souvent l'effet du stress de fin de cycle, et de ce fait, elle atteint rarement le potentiel génétique (Haddad, 2009). Le poids de 1000 grains utilisé surtout dans la sélection des variétés pour caractériser la grosseur et la densité des grains est un critère variétal très important (Grignac, 1981). Amallah, (2017) a précisé que le poids de mille grains diminue lorsque la fertilité de l'épi augmente. Ce poids dépend fortement des conditions climatiques et de la nutrition azotée durant la maturation. De ce fait, il subit des fluctuations liées, en particulier, à l'échaudage (Amallah, 2017). Le gain génétique du rendement grain est associé à l'augmentation du nombre de grains par m<sup>2</sup> et celui du poids de 1000 grains (Cox et al., 1988 ; Bendada et al., 2021). L'augmentation du NG2 pourrait se heurter à la relation négative entre le NG2 et le PMG (Fossati, 1995).

Selon Benbelkacem et Kellou, (2001) le poids de mille grains est élevé chez les populations locales de blé dur par rapport à celui des génotypes introduits. Donc chez le blé, le déficit hydrique agit sur les trois principales composantes du rendement : nombre d'épi, nombre des grains par épis et le poids de 1000 grains (Assem et al., 2006).

Deux hypothèses sont évoquées pour expliquer la baisse du PMG. La première affirme que les sites où sont formés les grains supplémentaires (talles secondaires, fleurs distales, épillets des extrémités de l'épi) produisent en général des grains de poids inférieurs. La deuxième suppose que la source d'assimilats est le facteur limitant (Fischer et al., 1977; Fossati, 1995), n'étant pas suffisante pour remplir les grains (Fossati, 1995). A l'opposé, si le NGM<sup>2</sup> est élevé, cela est à l'origine des fleurs compactes reçoivent suffisamment d'énergie solaire pour fin de produire beaucoup des assimilats, ce qui répercute positivement sur le remplissage des grains.

Ces résultats indiquent que l'utilisation de la biomasse aérienne et du poids des épis comme critères de sélection, pourrait engendrer des améliorations significatives du rendement en grain. Ces liaisons indiquent qu'un haut rendement est la résultante d'une répartition équilibrée de la matière sèche accumulée entre les parties grain et paille, débouchant sur la production d'un nombre élevé de grains par plante qui se manifeste surtout chez les génotypes réussissant un nombre élevé d'épis et une bonne fertilité épi (Fallahi, 2013). Couvreur, (1981) note que le poids moyen du grain, composante formée le plus tardivement, est associé négativement au nombre de grains formés par unité de surface. Siddique et al ., (1989) soulignent que la biomasse élevée est la cause principale des rendements élevés enregistrés

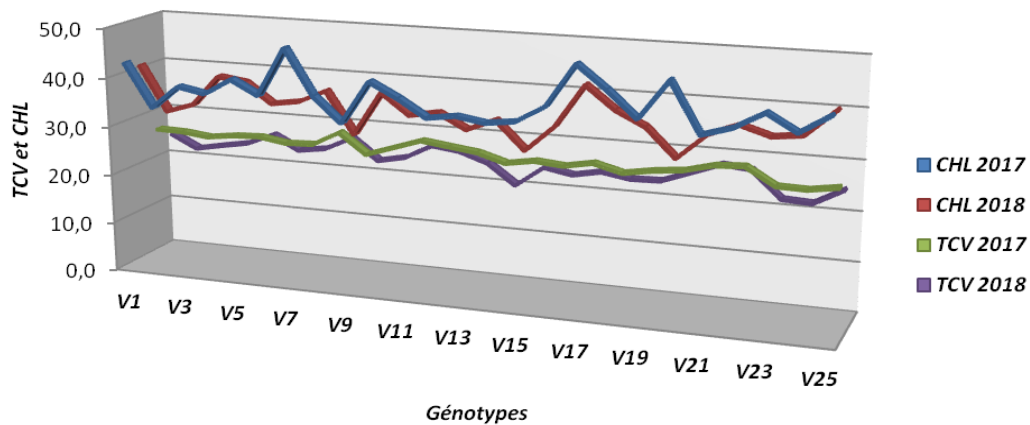
chez les variétés récentes. Un long cycle de développement est plus favorable à la production d'une biomasse aérienne élevée (Figure 39, Tableau 13 & 14).



**Figure 39 :** Transgression du poids de 1000 grains des 25 génotypes de blé étudiés.

A la campagne 2017, la chlorophylle (CHL) varie entre 34 unités de SPAD valeur minimale enregistrée chez la lignée parentale Guemgoum Rkhem/4/Stj3 //Bcr/Lks4/3/Ter-3 (V9) et 48.7 unités de SPAD valeur maximale mesurée chez le génotype *Triticum Polonicum / Zenati Bouteille//Inrat69* (V17). Alors qu’à la campagne 2018, Les valeurs varient entre 30.15 unité de SPAD notée chez la variété Langdon /Kucuk (V15) et 43.66 unités de SPAD enregistrée chez la variété *Triticum Polonicum / Zenati Bouteille//Inrat69* (V17).

Lors de la campagne 2017, la température du couvert végétal, de la variété P91.272.3.1/3\* MEXI75 //2\*JUPARE C (V8) mesure la valeur moyenne la plus élevée avec 29.25°C, par contre la valeur moyenne la plus faible est exprimée par le génotype Guemgoum Rkhem/4/Stj3 //Bcr/Lks4/3/Ter-3 (V9) avec 25.20°C. Tandis que lors de la campagne 2018 ; Icasyl/3/Bcr/Sb15//*Triticum urartu* /4/13376 /Bcrchl /Ossl /Stj5 (V21) présente la valeur moyenne la plus élevée avec 27 .65 °C et la variété Terbol 975/Geruftel2 (V14) mesure la plus faible température avec une moyenne de 20°C (Figure 40, Tableaux 15 & 16).



**Figure 40 :** Transgression de la température du couvert végétal TCV et de la chlorophylle CHL chez les génotypes de blé étudiés.

La teneur en chlorophylle est un facteur important dans la détermination du taux de la photosynthèse et de la production de la matière sèche (Ghosh *et al.*, 2004).

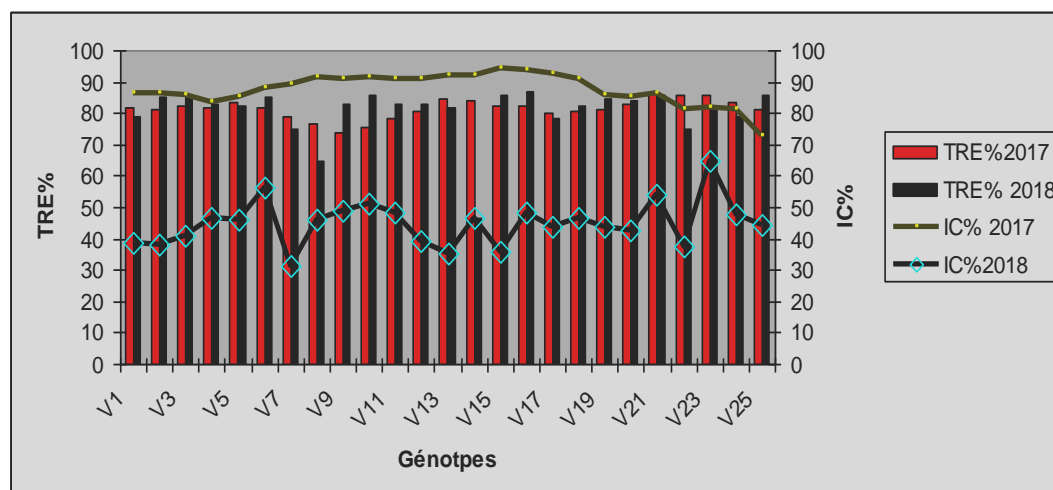
Mekliche *et al.*, (2003) ; Salmi, (2015) rapportent que les différences de chlorophylle observées chez les génotypes de blé dur (*T. durum* Desf.) sont en fonction de la tolérance au stress. La stabilité de la chlorophylle est une autre caractéristique qui est utilisée en sélection pour la tolérance et l’adaptation au stress thermique (Acevedo *et al.*, 1999 ; Bahlouli *et al.*, 2005 ; Salmi, 2015). Selon Tahri *et al.*, (1997), une baisse dans les teneurs en pigments chlorophylliens totaux (Chlorophylles a et b) a été enregistrée chez trois variétés de blé dur sous l’effet du stress. Par ailleurs, ils remarquent une nette diminution de la teneur en pigments chlorophylliens (chlorophylle a, b) et caroténoïdiques des feuilles d’arganier, avec le stress hydrique, cela peut être due à la fermeture partielle des stomates qui limite la photosynthèse ou peut être le résultat de la dégradation de la chlorophylle (Fahmi *et al.*, 2011). Une plus grande persistance de la chlorophylle, donc de l’activité photosynthétique post- anthèse, est souvent notée chez les génotypes précoces (Al Hakim *et al.*, 1995 ; Mekhlouf *et al.*., 2006).

L’élévation de la température, tard dans le cycle et particulièrement après l’anthèse, est considérée comme une contrainte à l’augmentation des rendements en zones arides et semi-arides (Slafer *et al.*, 1990). Reynolds *et al.*, (2007) montrent l’existence d’une différence de 5°C entre la température de l’air et celle de la canopée de certains génotypes de blé tendre conduits sous stress thermique. Ils observent des écarts de température allant jusqu’à 10°C au

dessous de la température de l'air pour certaines lignées. Ils suggèrent que la température du couvert végétal peut être un excellent outil de sélection pour la résistance et à l'adaptation au stress thermique. L'enregistrement de hautes températures du couvert végétal chez les différents géotypes a été expliqué par Steinmetz *et al.*, (1989) et Salmi, (2015) qui montrent qu'au niveau des parcelles non arrosées, la fermeture stomatique provoque l'élévation de la température du couvert végétale par manque d'échanges gazeux ainsi qu'une baisse de l'évapotranspiration. De plus, selon le stade de développement et la durée au cours de laquelle le stress survient, l'influence sur la production finale et les composantes du rendement est plus ou moins importante (Mogensen, 1991; N'diongo, 1993 ; Ben Naceur *et al.*, 1999). En comparaison avec des plantes irriguées, la sécheresse survenant pendant la période de croissance végétative réduit surtout le nombre d'épis par unité de surface. Par contre, lorsqu'elle survient pendant la période de remplissage des grains, la sécheresse réduit le poids des grains (Lawlor *et al.*, 1981; Mogensen *et jensen*, 1989 ; Mogensen, 1991; Bennaceur *et al.*, 1999).

Selon les résultats obtenus au cours de la campagne 2017, il est observé que la variété Guemgoum Rkhem/4/Stj3 //Bcr/Lks4/3/Ter-3 (V9) présente les plus faibles valeurs moyennes pour le TRE% avec des valeurs 73.7 %. Le TRE% enregistre une valeur moyenne maximale de 86.3 % chez la variété Icasyl/3/Bcr/Sb15//*Triticum urartu* /4/13376/Berchl /Ossll /Stj5 (V21). La variété 20048 Traikia (Mor) /Mrb5//Stj3 (V16) enregistre la meilleure valeur moyenne en 2018 avec 86.76 % ; alors que la variété Terbol975/Geruftl2 (V14) enregistre la valeur moyenne la plus faible pour le TRE% avec 46.48 %. La diminution de la TRE est plus rapide chez les variétés sensibles que chez les variétés résistantes (Scofield *et al.*, 1988 ; Salmi, 2015). Donc, les géotypes qui maintiennent leur TRE élevée lors du stress hydrique seront probablement les plus tolérants et seront les plus productifs (Sassi *et al.*, 2012). La capacité de rétention de l'eau par le feuillage est très utilisée pour déterminer la résistance des plantes vis à vis du stress hydrique. La teneur relative en eau correspond à une signification physiologique directe de l'état hydrique du végétal (Collinson *et al.*, 1997).

A différents stades de croissance du blé, Almeselmani *et al.*, (2011) et Semcheddine, (2015) rapportent des différences significatives entre géotypes pour la teneur relative en eau de la feuille. En plus, la réduction de la TRE est plus prononcée chez les variétés sensibles à la sécheresse (Figure 41, Tableau 15 & 16).

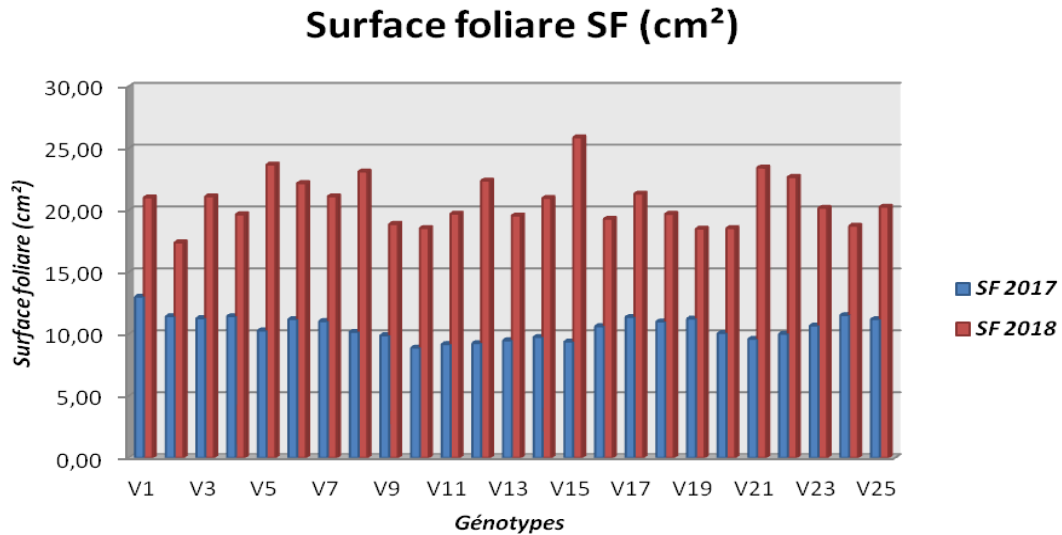


**Figure 41** : Transgression de la teneur relative en eau TRE% et de l'intégrité cellulaire IC% des génotypes étudiés

Les valeurs moyenne du dommage cellulaire la plus élevée en 2017 et 2018 est notée chez les variétés Langdon /Kucuk (V15) et Amedakull/*Triticum dic* Syr Col//Loukos (V23) avec un taux de 94.3 % et 64.95 % respectivement ; alors que les plus faibles sont exprimée par les génotypes Ouasloukos 1/5/Azn1/4/ BEZAIZSHF//SD19539/Waha/3/Gdr2 (V25) et ISL0M\_1/DUMEM\_2// TARRO\_3/ 5/ CREXBOY/YAV (V7) avec 72.8 % et 31.02 %.

Selon Cornaire et *al.*, (1995) et Lefebvre et *al.*, (2009), parmi les mécanismes qui peuvent intervenir dans le maintien de la turgescence cellulaire figure la résistance protoplasmique qui dépende de la capacité des cellules à résister à un dommage mécanique et à la dénaturation des protéines au niveau membranaire ou cytoplasmique. Reynolds et *al.*, (1994) et Salmi, (2015) trouvent une forte corrélation entre le pourcentage de dégâts cellulaires causés par le choc thermique et la réduction de la productivité des génotypes testés. Ceci suggère que la sélection sur la base d'un faible dommage cellulaire améliore significativement le rendement grain.

De point de vue la SF, à la campagne 2017, le cultivar Brak //Ajaia\_8/3/Canelo\_8 //Sora// (V10) est le plus faible avec une moyenne 8.9cm<sup>2</sup> ; alors que le cultivar V1 (Waha) présente la SF la plus élevé avec 18cm<sup>2</sup>. Langdon /Kucuk (V15) présente la valeur extrême en 2018 et JUPARE C 2001\*2/IM/6/ADAMAR\_15//ALBIA\_1/ALTAR (V2) présente la valeur la plus faible ; avec des moyennes 25,87cm<sup>2</sup> et 17,39cm<sup>2</sup> respectivement (Figure 42, Tableau 18, 19).



**Figure 42 :** Transgression de la surface foliaire SF (cm<sup>2</sup>) des 25 génotypes étudiés.

La surface foliaire conditionne la résistance à la sécheresse, vu qu’une surface foliaire élevée perdra plus d’eau qu’une faible surface foliaire (Belkharchouche et *al.*, 2009). La surface foliaire détermine progressivement à la fois les quantités d’eau utilisées par la plante sous forme de transpiration et les quantités de carbone fixées par voie photosynthétique. Nadjem, (2012), Kramer et Boyer, (1995), Lebon, (2006) ont montré également que la diminution de la surface foliaire sous le régime hydrique limitant est un mécanisme adaptatif des plantes visant à limiter leur transpiration foliaire lorsque les conditions hydriques deviennent défavorables. En effet, la réduction de la surface foliaire lorsque le stress hydrique s’installe est une stratégie développée par les plantes pour réduire de leurs besoins et pertes en eau (O’Toole et Cruz, 1980 ; Salmi, 2015). Lauer, (2005) travaillant sur le comportement du maïs en temps sec a observé que l’application du stress hydrique pendant le développement végétatif réduit l’expansion des tiges et la surface foliaire.

**Tableau13 :** Comparaison des caractères agronomiques mesurés chez différentes variétés de blé étudiées en campagne 2017.

Campagne 2017	Paramètres mesurés								
GENOTYPE	Ht cm	BIO	RDT	NE	PNE	PIE	NGE	NGM	PMG
V1	58,25	576,2	161,8	292,5	275,6	0,9	20,5	6005,8	30,6
V2	64,25	539,1	132,5	292,5	202,0	0,7	14,2	4203,3	32,9
V3	52,25	484,1	136,0	285,0	241,5	0,9	15,8	4509,8	30,9
V4	58,5	638,7	145,0	340,0	287,0	0,8	16,4	5558,0	31,0
V5	56,75	636,2	211,0	370,0	311,9	0,9	25,1	9341,0	31,4
V6	64,75	626,2	192,0	350,0	326,9	1,0	23,5	8207,0	29,8
V7	64,5	576,6	174,7	327,5	318,8	1,0	20,9	6803,3	29,2
V8	55,75	564,1	150,1	325,0	251,2	0,8	18,6	6058,0	30,8
V9	60	576,6	142,4	310,0	273,0	0,8	15,2	4642,0	31,8
V10	51,25	539,1	101,4	332,5	212,4	0,7	11,7	3904,3	32,0
V11	60,5	564,1	142,5	302,5	274,2	0,9	16,8	5136,3	31,8
V12	62,5	576,6	117,4	325,0	240,5	0,8	12,3	3945,5	32,4
V13	55,75	514,1	145,3	287,5	316,3	1,0	17,0	4954,5	32,2
V14	55	639,1	160,2	367,5	299,2	0,8	15,5	5735,3	36,0
V15	61,25	651,6	137,6	300,0	314,2	1,0	16,8	5000,3	30,4
V16	56	564,1	119,5	282,5	240,7	0,9	11,7	3303,0	37,6
V17	63	588,7	166,7	332,5	277,2	0,9	21,1	7009,5	31,2
V18	57,75	513,7	127,6	310,0	250,1	0,8	13,9	4325,8	33,1
V19	60	620,8	164,2	372,5	292,9	0,8	16,9	6352,3	31,0
V20	52	526,6	135,9	340,0	246,3	0,7	14,2	4875,9	30,3
V21	60	750,8	172,2	337,5	329,2	1,0	18,2	6226,0	37,5
V22	56,5	476,6	129,2	250,0	217,7	0,9	15,2	3820,6	35,8
V23	59,5	701,2	186,4	360,0	365,5	1,1	16,6	5936,3	39,2
V24	58	681,2	173,1	350,0	311,9	0,9	16,4	5751,0	39,3
V25	62	601,6	148,9	320,0	295,2	0,9	17,4	5569,5	31,0

**Tableau14 :** Comparaison des caractères agronomiques mesurés chez différentes variétés de blé étudiées en campagne 2018.

Campagne 2018	Paramètres mesurés								
Géotypes	HT (cm)	BIO	RDT	NE	PNE	P1E	NG/E	NGM <sup>2</sup>	PMG
V1	88,67	480	144,3	129	301,61	2,28	30	3998,2	50,1
V2	89,83	453,75	135,2	103	272,71	2,57	34	3677,68	44,8
V3	83,5	318,75	146,15	78	199,16	2,55	33	2578,52	46,9
V4	86,92	378,75	135,6	113	226,63	2,07	28	3105,67	44,1
V5	85,58	360	146,55	96	261,94	2,73	36	3396,41	50,5
V6	81,92	443,75	148,15	108	231,31	2,2	39	4203,6	41,9
V7	85,08	323,75	145,85	111	254,37	2,33	30	3256,44	50
V8	86,25	392,5	144,05	109	236,99	2,24	29	3113,49	46,8
V9	91,58	341,25	109,4	91	195,23	2,16	25	2285,09	50,7
V10	91,67	343,75	134,9	94	201,83	2,16	29	2681,16	46,1
V11	85,42	317,5	140,75	91	198,46	2,19	29	2675,97	43,8
V12	86,5	375	122,15	115	208,52	1,81	22	2540,18	48,9
V13	86	387,5	142,8	102	241,62	2,42	31	3143,13	47,1
V14	87,83	411,25	137,05	110	243,15	2,2	23	2525,67	55,9
V15	90,33	411,25	139,05	105	248,29	2,43	33	3373,85	45,1
V16	79,33	412,5	132,55	120	259,2	2,13	25	2997,15	52,5
V17	89,5	460	155,45	108	285,32	2,66	33	3580,37	47,9
V18	85,83	466,25	138,55	134	281,52	2,11	26	3525,42	47,1
V19	85,25	473,75	132,1	128	280,43	2,22	30	3823,64	46,1
V20	83,17	343,75	123,94	89	196,72	2,22	28	2503,55	47,9
V21	79,58	442,5	142,6	109	262,98	2,41	27	2901,35	54,7
V22	86,83	540	149,27	108	310,83	2,9	33	3476,24	52,1
V23	80,83	371,25	131,6	102	230,52	2,26	26	2660,44	50
V24	86,25	385	146,65	111	238,61	2,17	26	2833,58	51,4

En général, le rendement biologique (rendement effectif au niveau de la parcelle) peut être exprimé en première analyse sous la forme d'une fonction d'adaptation du génotype à son milieu (environnement naturel + techniques appliquées) (Monneveux, 1991). Les processus impliqués dans l'élaboration du rendement d'une culture sont influencés par deux types de facteurs, les facteurs génétiques (intrinsèques à la plante) et les facteurs environnementaux. Les interactions génotypes-milieu jouent également un rôle important (Radhouane et *al.*, 2014).

Cette baisse de rendement serait due à la diminution de la surface évapotranspirante par la sénescence des feuilles. Il s'ensuit une chute de l'activité photosynthétique (Dwivedi et *al.*, 2008 ; Radhouane et *al.*, 2014 ) et une diminution de la quantité de photosynthétats.

La connaissance du poids de la semence d'origine, qui détermine la capacité de résistance du végétal à des conditions adverses, constitue un élément essentiel de la caractérisation d'une plantule. En effet, les plantules issues de petites semences montreront une plus grande fragilité vis-à-vis de conditions d'environnement défavorables (Derieux et *al.*, 1989; Radhouane et *al.*, 2014). L'augmentation du rendement a toujours été un des principaux buts de l'amélioration des plantes. Lorsque le rendement peut se décomposer en plusieurs facteurs, comme pour les céréales à paille, il est essentiel de savoir dans un milieu donné lesquels sont les plus importants, quelles sont les relations entre eux et comment on peut les améliorer. Fossati, (1995) et Zhang et Oweis, (1999) signalent que la réponse du blé au stress hydrique est plus sensible de l'elongation de la tige au gonflement, suivi par les stades floraison et remplissage des grains.

Feil, (1992) ainsi que Slafer et Andrade, (1991) ont passé en revue les études comparatives entre cultivars modernes et anciens. Les variétés modernes ont un rendement (RDT) plus élevé grâce principalement à un nombre supérieur de grains à l'unité de surface (NG2). L'augmentation du NG2 est probablement causée par le plus grand nombre de grains par épi (NGE). Le poids de mille grains (PMG) ne semble pas avoir été augmenté. Certains auteurs (Austin et *al.*, 1989; Siddique et *al.*, 1989) ont également trouvé plus d'épis à l'unité de surface (NEM<sup>2</sup>). Loss et *al.*, (1989) en Australie et d'autres dans différents pays ont remarqué que la plupart des variétés de blé modernes sont plus précoces à l'anthèse et ont une période de remplissage du grain plus longue que les anciens cultivars. Par contre, il n'y a pas de relation entre la vitesse de remplissage du grain et l'époque à laquelle les variétés ont été homologuées (Fossati, 1995).

Après floraison, le stress hydrique limite l'accumulation de biomasse par la culture et provoque une maturation précoce des grains (Kobata *et al.*, 1992 Semcheddine, 2015) demi- nuant ainsi le poids de mille grains (Semcheddine, 2015).

**Tableau 15:** Comparaison des caractères morpho-physiologiques mesurés chez différentes variétés étudiées en campagne 2017.

Campagne 2017	Paramètres mesurés				
	GENOTYPE	CH	TCV	TRE%	IC%
V1	42,9	26,83	81,6	86,4	13
V2	34,2	26,68	81,2	86,1	11,4
V3	38,8	26,05	82,5	85,8	11,3
V4	37,8	26,75	82,1	83,4	11,4
V5	41,1	26,98	83,4	85,2	10,3
V6	38,2	26,10	82,0	88,0	11,2
V7	48,0	26,33	79,2	89,5	11,0
V8	39,0	29,25	76,8	91,5	10,2
V9	34,03	25,2	73,68	90,9	9,9
V10	42,6	27,05	75,6	91,7	8,88
V11	39,8	28,91	78,5	90,7	9,2
V12	36,3	28,18	80,6	90,9	9,2
V13	37,1	27,48	84,5	91,8	9,5
V14	36,2	25,80	84,3	92,0	9,7
V15	36,9	26,73	82,2	94,26	9,4
V16	40,2	26,23	82,5	93,9	10,6
V17	48,67	27,28	80,2	92,7	11,4
V18	44,3	25,80	80,8	91,1	11,0
V19	39,2	26,75	81,5	85,8	11,2
V20	46,9	27,30	83,1	85,3	10,1
V21	37,1	28,75	86,27	86,1	9,6
V22	38,9	29,08	85,6	81,3	10,0
V23	42,1	25,75	85,9	81,9	10,7
V24	38,9	25,60	83,8	81,5	11,5
V25	42,5	26,50	81	72,82	11,2

**Tableau 16 :** Comparaison des caractères morpho-physiologiques mesurés chez différentes variétés étudiées en campagne 2018.

Campagne 2018 Génotypes	Paramètres mesurés				
	CHL	TC°V	TRE%	IC%	SF
V1	41,38	24,6	79,23	38,74	21,02
V2	32,22	21,9	85,31	38,23	17,39
V3	34	22,95	85,21	40,84	21,11
V4	40,18	23,9	83,18	46,39	19,65
V5	39,41	26,15	82,48	46,11	23,67
V6	35,46	23,35	85,32	56,24	22,17
V7	36,3	24,15	74,89	31,02	21,11
V8	38,86	26,8	64,92	46,1	23,12
V9	30,58	22,6	82,91	48,84	18,87
V10	39,36	23,75	85,68	51,23	18,54
V11	35,26	26,65	83,09	48,18	19,71
V12	36,22	25,95	83,04	38,93	22,38
V13	33,31	24,05	81,89	35,34	19,56
V14	35,64	20	46,48	46,69	20,97
V15	30,15	24,15	86,01	35,52	25,87
V16	35,29	23,1	86,76	48,14	19,29
V17	43,66	24,2	78,35	43,5	21,33
V18	39,29	23,25	82,42	46,81	19,69
V19	36,52	23,4	84,79	43,68	18,5
V20	30,96	25,5	84,01	42,88	18,54
V21	36,02	27,65	85,66	54,07	23,43
V22	38,21	27,1	75,21	37,38	22,67
V23	36,47	21,85	82,41	64,95	20,17
V24	37,14	21,55	78,92	47,96	18,73
V25	42,32	24,65	85,57	44,44	20,26

La persistance de la chlorophylle de la feuille étendard, celle des glumes et des barbes aident aussi à un meilleur remplissage du grain, sous stress (Wardlaw *et al.*, 1995 ; Richards *et al.*, 1997 ; Mekhlouf *et al.*, 2006). Tout d'abord la photosynthèse est réduite en raison de la fermeture des stomates, puis elle est affectée par suite de l'altération de l'appareil photosynthétique (réduction de l'assimilation chlorophyllienne, inactivation de l'enzyme fixatrice du CO<sub>2</sub>, ...). Cela conduit à une limitation du transfert des assimilats des feuilles vers les épis et réduit, en conséquences, le remplissage des grains (Ricards, 1983; Khaldoun *et al.*, 1990; Benlaribi *et al.*, 1992 ; Ben Naceur *et al.*, 1999).

Toutes ces modifications ont accompagné le changement le plus notable: la réduction de la taille des plantes. Par l'introduction des gènes de nanisme et avec des bases de tiges plus solides la résistance à la verse a été nettement améliorée. Certains traits des variétés modernes (NGE, tallage) sont en partie la conséquence des effets pléiotropiques des gènes de nanisme les plus utilisés (Balyan et Singh, 1994 ; Fossati, 1995).

Ces résultats indiquent les difficultés de trouver un génotype qui présente de bonnes valeurs pour un ensemble de caractères désirables, d'où l'utilité de conduire l'analyse des liaisons entre les variables mesurées chez les génotypes. Les résultats obtenus concordent avec ceux de Fellahi (2013) qui trouve que les meilleures valeurs moyennes sont variables, selon le caractère, d'un génotype à un autre et qu'aucun génotype ne se distingue par des valeurs élevées pour un grand ensemble de variables mesurées.

### **III. 1. 4. Estimation des coefficients de la variabilité phénotypique, génotypique et de l'héritabilité**

Les estimations des composantes de la variance, l'héritabilité et les coefficients de variations génétique et phénotypique des caractères mesurés sont indiquées aux tableaux 20 et 21. Pramoda et Gangaprasad, (2007) mentionnent que les valeurs de l'héritabilité inférieures à 40 % sont considérées comme faibles, elles sont moyennes entre 40 à 60 %, élevées entre 60 et 80 % et très élevées, au-delà de 80 %; CVg et CVp sont classés comme faible (0 à 10 %), moyen (10 à 20 %) et élevée (Supérieur à 20 %) (Sivasubramanian et Menon, 1973 ; Hannachi, 2013).

Le coefficient de la variation phénotypique varie selon les caractères en 2017 et 2018. Il approche et dépasse même les 20 % et varie entre 7.70 % pour la TCV et 36.12 % pour le NG/M<sup>2</sup> en 2017 et entre 4.96 % pour la hauteur et 26.84 % pour le NG/M<sup>2</sup> en 2018. En 2017, le coefficient de la variation phénotypique varie selon les caractères, il est faible avec des valeurs allant de 0 à 10 % pour le TRE% (8.16 %), et la TCV (7.70 %), il est juste moyen avec des valeurs allant de 10 à 20 % pour : BIO (15.38 %) CHL (12.48 %) IC% (13.44 %) HT (11.11 %) NE (11.56 %) et le PMG (11.36 %). Les autres caractères présentent des coefficients de variation phénotypiques élevées avec des valeurs supérieur à 20% pour : RDT (26.18 %) SF (22.43 %) PNE (27.98 %) P1E (25.52 %) NG/E (31.02 %) et NG/M<sup>2</sup> (36.12 %).

Pour la campagne 2018, le coefficient de la variation phénotypique varie selon les caractères, il approche et dépasse même les 20 % pour les caractères tels que la BIO (25.75 %) IC (26.58 %), NE (20.32 %), PNE (24.19 %) NG/E (20.92 %) et le NG/M<sup>2</sup> (26.84 %). Les autres caractères présentent des coefficients de variation phénotypiques moyens tels que CHL (17.52 %) TCV (14.34 %) TRE% (16.68 %) SF (15.39 %) RDT (10.24 %) et le P1E (17.01 %) mis à part la HT et le PMG qui enregistrent une variabilité faible avec 4.96 % et 9.48 %.

Les valeurs prises par le coefficient de variation génotypique sont l'inverse du coefficient de variation phénotypique, et sont relativement plus faibles en valeurs, variant

de (9.62 % à 7.33 %) pour la BIO, (8.7 % à 4.80 %) pour la CHL, (1.94 % à 3.58 %) pour TCV, (5.95 % à 7.59 %) pour la TRE%, (3.93 % à 3.48 %) pour la HT, (8.93 % à 7.87 %) pour le NE, (5.54 % à 7.89 %) pour PNE, (2.7 % à 8.30 %) pour P1E et (8.12 % à 7.17 %) pour PMG en 2017 et 2018 respectivement. Un coefficient de valeur élevée est indicateur d'une plus grande variabilité entre les génotypes pour le caractère considéré et à l'inverse un coefficient de variation de faible valeur est indicateur d'une faible variabilité phénotype pour le caractère considéré entre les différents génotypes (Fellahi, 2013).

Des valeurs élevées pour les CVp et CVg suggèrent la présence de la variabilité assez élevée, ce qui donne la possibilité d'expression des individus transgresseurs qui rendent la sélection sur la base des caractères concernés efficace (Singh et al., 1994 ; Hamli et al., 2015). La différence entre le CVp et CVg n'est pas assez importante, et de l'ordre de 3 %, suggérant que l'effet de l'environnement est relativement moindre sur l'expression du génotype (Hamli et al., 2015).

Les caractères qui présentent une faible héritabilité sont en 2017 et 2018 respectivement PNE (3.92 %) (10.65 %), P1E (0.77 %) (28.81 %), NGM<sup>2</sup> (32.66 %) (23.65 %), RDT (21.61 %) (31.12 %), BIO (39.14 %) (8.10 %), TCV (6.33 %) (6.22 %) et la SF (30.44 %) (20.22 %). L'héritabilité est moyenne pour le PMG (51.10%) (57.20%) en les deux compagnes d'étude respectivement. L'héritabilité varie selon les compagnes d'étude (2017 et 2018) pour les caractères tels que la CHL (48.82 %, 7.52 %), TRE% (53.07 %, 20.68 %), IC% (50.13 %, 16.76 %), HT (12.52 %, 49.08 %), NE (59.70 %, 14.99 %) et NGE (21.84 %, 46.21%). Ces résultats suggèrent que ces caractères sont influencés par l'environnement. Plus les génotypes sont sensibles à la variation du milieu, plus le coefficient d'héritabilité est surestimé, par ce que la variance génétique contient une grande part de la variance d'interaction qui est purement environnementale et ne renseigne en rien sur les possibilités génétiques des lignées sous sélection (Benmahammed et al., 2003). Ces fortes valeurs de l'héritabilité au sens large montrent qu'une grande partie de la variabilité observée chez les caractères concernés est d'origine génétique (Benmahammed et al., 2003). L'héritabilité élevée est due à des effets additifs qui assurent que la sélection de la descendance serait efficace (Mandal et al., 2008); donc, plus les génotypes sont sensibles à la variation du milieu, plus le coefficient de l'héritabilité est surestimé, parce que la variance génétique contient une grande part de la variance d'interaction qui est purement environnementale et ne renseigne en rien sur les possibilités génétiques des lignées sous sélections (Benmahammed et al., 2003).

**Tableau 17 :** Estimation des coefficients de la variabilité phénotypique, génotypique et de l'héritabilité des caractères physiologiques (compagne 2017).

Paramètres 2017	CHL	T°CV	TRE%	IC%	SF cm
Effet génotype	61.50***	5,12	114.94***	347.35***	10.64***
moyenne	40.06	26,93	81.55	87.63	10.5099
min	34.03	25,20	73.68	72.82	8.8775
N° génotype	V9	V9	V9	V25	V10
max	48.67	29,25	86.27	94.26	13
N° génotype	V17	V8	V21	V15	V1
Amplitude	14.64	4,05	12.59	21.44	4.12
Ppds 5%	5.05	2,82	6.43	11.72	2.77
$\sigma^2_p$	25.01	4,30	44.34	138.71	5.56
$\sigma^2_e$	12.85	4,03	20.81	69.17	3.87
$\sigma^2_g$	12.16	0,27	23.53	69.54	1.69
CVp	12.48	7,70	8.16	13.44	22.43
CVg	8.7	1,94	5.95	9.52	12.37
CVe	8.95	7,54	5.59	9.49	18.72
SE	1.79	1,00	2.82	4.15	0.98
h <sup>2</sup> bs	48.62	6,33	53.07	50.13	30.40

TRE %=Teneur relative en eau, CHL= Taux de chlorophylle, IC% = Intégrité cellulaire, SF = Surface foliaire, T°CV= Température du couvert végétal, Ppds : La plus petite différence significative, CVg: Coefficient de variation génotypique CVp : Coefficient de variation phénotypique, h<sup>2</sup> : Héritabilité au sens large,  $\sigma^2_g$  : variance génotypique  $\sigma^2_p$  : variance phénotypique, variance environnementale ( $\sigma^2_e$ ), SE : standard Error

### III. 1. 5. Analyse des liaisons inter-caractères

Concernant la compagne agricole de 2017, l'étude des corrélations entre les différentes variables mesurées indique que le RDT est positivement liée avec la BIO (  $r = 0.6237^*$ ), alors que le NGM<sup>2</sup> présente des liaisons, en plus de celles avec le RDT (  $r = 0,9252^{**}$ ), PNE (  $r = 0,6732^*$ ), BIO (  $r= 0.5260^*$ ), NE (  $r = 0.6468^*$ ) et le NGE (  $r =0,9382^{**}$ ), le P1E est positivement liée avec la HT (  $r= 0.4379^*$ ), le RDT (  $r = 0,5648^*$ ) la BIO (  $r = 0,4683^*$ ), et le PNE (  $r = 0,7821^{**}$ ), alors que le PNE est lié avec le RDT, BIO et NE (  $r = 0.7915^{**}$ ) (  $r=0.7517^{**}$ ) et (  $r= 0,5364^*$ ) respectivement ; le NE présent des liaisons avec la BIO (  $r = 0.6647^*$ ) et le RDT (  $r = 0.5951^*$ ) alors que le NGE présente des liaisons avec le RDT (  $r=0.8649^{**}$ ), PNE (  $r=0.6054^*$ ) et le P1E (  $r=0.5323^*$ ).

**Tableau 18 :** Estimation des coefficients de la variabilité phénotypique, génotypique et de l'héritabilité des caractères physiologiques (compagne 2018)

TRE %=Teneur relative en eau, CHL= Taux de chlorophylle, IC% = Intégrité cellulaire, SF = Surface

Paramètres	CHL	TC°V	TRE%	IC%	SF
Effet génotype	50,30	14,21	292,65	213,95	16,31
Moyenne	36,57	24,13	80,55	44,89	20,71
Min	30,15	20,00	46,48	31,02	17,39
N°Génotype	V15	V14	V14	V7	V2
Max	43,66	27,65	86,76	64,95	25,87
N°Génotype	V17	V21	V16	V23	V15
Amplitude	13,51	7,65	40,29	33,93	8,49
Ppds 5%	8,69	4,73	16,87	15,35	4,013
$\sigma^2 p$	41,05	11,98	180,59	142,37	10,15
$\sigma^2 e$	37,96	11,23	143,24	118,51	8,10
$\sigma^2 g$	3,09	0,75	37,35	23,86	2,05
CVp	17,52	14,34	16,68	26,58	15,39
CVg	4,80	3,58	7,59	10,88	6,92
CVe	16,85	13,89	14,86	24,25	13,74
SE	3,08	1,68	5,98	5,44	1,42
h <sup>2</sup> bs	7,52	6,22	20,68	16,76	20,22

foliaire, T°CV= Température du couvert végétal, Ppds : La plus petite différence significative, CVg: Coefficient de variation génotypique CVp : Coefficient de variation phénotypique, h<sup>2</sup> : Héritabilité au sens large ,  $\sigma^2g$  : variance génotypique  $\sigma^2p$  : variance phénotypique, variance environnementale ( $\sigma^2e$ ), SE : standard Error

**Tableau 19:** Estimation des coefficients de la variabilité phénotypique et génotypique, et de l'héritabilité du rendement et ces composantes (compagne 2017).

Paramètres 2017	BIO	RDT	Ht cm	NE	PNE	P1E	NGE	NGM	PMG
Effet génotype	17869.48***	2574.67**	58.48ns	3881.25***	6802.23ns	0.05ns	45.22**	7774621.40***	35.13***
Moyenne	589.11	150.96	58.64	322.5	278.84	0.88	16.85	5486.95	32.77
Min	476.6	101.41	51.25	250	202.025	0.67	11.65	3303	29.19
N° génotype	V22	V10	V10	V22	V2	V10	V10/V16	V16	V7
Max	750.8	211.00	64.75	372.5	365.45	1.08	25.125	9341	39.32
N° génotype	V21	V5	V6	V19	V23	V23	V5	V5	V24
Amplitude	274.20	109.59	13.5	122.5	163.43	0.41	13.48	6038	10.13
Ppds 5%	99.68	49.33	8.60	33.37	107.79	0.30	6.51	2292.22	3.67
$\sigma^2p$	8217.87	1562.14	42.51	1390.58	6086.24	0.05	27.32	3926943	13.87
$\sigma^2e$	5000.67	1224.63	37.18	560.36	5847.57	0.05	21.35	2644383.00	6.78
$\sigma^2g$	3217.20	337.51	5.33	830.22	238.67	0	5.97	1282560	7.09
CVp	15.38	26.18	11.11	11.56	27.98	25.52	31.02	36.12	11.36
CVg	9.62	12.17	3.93	8.93	5.54	2.17	14.49	20.64	8.12
CVe	12	23.18	10.40	7.34	27.42	24.68	27.42	29.64	7.95
SE	35.35	17.49	3.05	11.84	38.23	0.11	2.31	813.08	1.30
h <sup>2</sup> bs	39.15	21.61	12.53	59.70	3.92	0.77	21.85	32.66	51.11

Biomasse aérienne (BIO), Rendement (RDT), Hauteur de la plante (HT), Nombre d'épis/m<sup>2</sup> (NE), Poids des épis /m<sup>2</sup> (PNE), Poids d'un épi (P1E), Nombre de grains par épi (NGE), INombre de grains/m<sup>2</sup> (NGM<sup>2</sup>), poids de mille grains (PMG), Ppds : La plus petite différence significative , CVg: Coefficient de variation génotypique CVp: Coefficient de variation phénotypique , h<sup>2</sup> : Héritabilité au sens large ,  $\sigma^2g$  : variance génotypique  $\sigma^2p$  : variance phénotypique, variance environnementale ( $\sigma^2e$ ), SE : Standard Error

**Tableau 20** : Estimation des coefficients de la variabilité phénotypique et génotypique, et de l’héritabilité du rendement et ces composantes (compagne 2018).

Paramètres	BIO	RDT	HT	NE	PNE	P1E	NG/E	NG/M <sup>2</sup>	PMG
Effet géotype	13366,10	388.61618***	44,96	680,53	4676,63	0,27	93,26	1232546,40	56,47
Moyenne	402,60	138,4704	85,91	106,64	246,08	2,33	29,88	3163,28	48,12
Min	317,50	109,4	79,33	78,00	195,23	1,81	22,00	2285,09	40,50
N° géotype	V11	V9	V16	V3	V9	V12	V12	V9	V25
Max	540,00	155,45	91,67	134,00	310,83	2,90	42,00	4225,23	55,90
N° géotype	V22	V17	V10.V9	V18	V22	V22/V25	V25	V25	V14
Amplitude	222,50	46,05	12,34	56,00	115,60	1,09	20,00	1940,14	15,40
Ppds 5%	140,10	16,58	4,290	28,16	79,33	0,49	6,46	1045,80	4,21
$\sigma^2_p$	4000,27	200,97	18,19	469,47	3544,30	0,16	39,08	720964,93	20,79
$\sigma^2_e$	9878,33	138,4175	9,26	399,11	3166,86	0,12	21,02	550437,77	8,90
$\sigma^2_g$	871,9425	62,54967	8,93	70,36	377,44	0,04	18,06	170527,16	11,89
CVp	25,75	10,24	4,96	20,32	24,19	17,01	20,92	26,84	9,48
CVg	7,33	5,71	3,48	7,87	7,89	8,30	14,22	13,05	7,17
CVe	24,69	8,50	3,54	18,73	22,87	14,85	15,34	23,45	6,20
SE	49,69	5,88	1,52	9,99	28,14	0,17	2,29	370,96	1,49
h <sup>2</sup> bs	8,10	31,12	49,08	14,99	10,65	23,81	46,21	23,65	57,20

Biomasse aérienne (BIO), Rendement (RDT), Hauteur de la plante (HT), Nombre d'épis/m<sup>2</sup> (NE), Poids des épis /m<sup>2</sup> (PNE), Poids d'un épi (P1E), Nombre de grains par épi (NGE), lNombre de grains/m<sup>2</sup> (NGM<sup>2</sup>), poids de mille grains (PMG), Ppds : La plus petite différence significative , CVg: Coefficient de variation génotypique CVp: Coefficient de variation phénotypique , h<sup>2</sup> : Héritabilité au sens large ,  $\sigma^2_g$  : variance génotypique  $\sigma^2_p$  : variance phénotypique, variance environnementale ( $\sigma^2_e$ ), SE : Standard Error

L'étude des corrélations indique aussi que La TRE% est positivement liée avec P1E ( $r = 0,4282^*$ ) et PMG ( $r=0,5132^*$ ). Une forte corrélation est observée entre SF et les paramètres TCV et l'IC% avec ( $r = 0,4331^*$ ) ( $r = 0,4609^*$ ) respectivement (Tableau 21).

En compagnie 2018, le NE est liée positivement avec la BIO ( $r = 0,6418^*$ ), alors que le NG/E présente une corrélation positive avec le RDT ( $r = 0,4993^*$ ) et P1E ( $r = 0,7541^*$ ). Le poids des épis /m<sup>2</sup> (PNE) est liée positivement avec la biomasse (BIO) ( $r = 0,8518^{**}$ ), RDT ( $r = 0,4824^*$ ) et NE ( $r = 0,6390^*$ ). Le nombre de grains par mètre carrée (NG/m<sup>2</sup>) est liée positivement avec la BIO ( $r = 0,7043^*$ ), RDT ( $r = 0,4912^*$ ), Le nombre d'épis (NE) ( $r = 0,5031^*$ ) et le poids des épis /m<sup>2</sup> (PNE) ( $r = 0,7690^{**}$ ), le P1E ( $r = 0,4474^*$ ) et le NG/E ( $r = 0,7118^*$ ); alors que le P1E présente des liaisons positives avec le rendement RDT ( $r = 0,5014^*$ ) et PNE ( $r = 0,5420^*$ ). Le PMG est négativement liée avec le NGE ( $r = -0,5649^*$ ) et le NGM<sup>2</sup> ( $r = -0,4069^*$ ). L'étude des corrélations indique aussi que La CHL est positivement liée avec RDT ( $r = 0,4863^*$ ) et PNE ( $r = 0,4968^*$ ) et le NGM<sup>2</sup> ( $r = 0,4444^*$ ); alors qu'on observe une corrélation positive entre la surface foliaire (SF) et TCV ( $r = 0,5606^*$ ) et une corrélation négative entre l'IC% et la HT avec ( $r = -0,4105^*$ ) (Tableau 22).

Plusieurs travaux ont rapporté une forte corrélation entre le rendement en grains et la biomasse aérienne (Sharma et Smith, 1986; Sharma, 1993; Bouzerzour, 1998, Benmahammed et al., 2003; Benmahammed, 2005). Bouzerzour et al., (1998) montrent qu'une biomasse aérienne élevée est donc issue d'une contribution importante du nombre d'épis/m<sup>2</sup>. Hannachi, (2013) montre aussi que la sélection sur la base du nombre d'épis devrait être efficace dans l'identification des lignées possédant la capacité de produire une biomasse élevée. Donc, la biomasse aérienne produite et le degré de sa répartition sont des caractéristiques qui renforcent l'adaptation et la productivité dans un milieu donné (Benmahammed et al., 2003). Ce résultat corrobore celui de Laala, (2010) qu'en zone semi-aride d'altitude, le rendement en grain est fortement corrélé avec la biomasse aérienne, avec le nombre d'épis et le nombre de grains par épis. Nos résultats sont en concordance avec de nombreuses études qui ont révélés l'impact positif de l'augmentation du nombre d'épis/m<sup>2</sup> sur le rendement (Calderini et al., 1995; Garcia del Moral et al., 2003; Semcheddine, 2015). Grignac, (1981), Salmi, (2015) notent que les valeurs optimales de grains par épi permettant l'obtention des rendements les plus élevés, en zone méditerranéenne. Selon Bouchoutrouch, (1986), El Hafid, (1996), Laala, (2010), en zone semi-aride, le nombre d'épis/m<sup>2</sup> constitue la principale composante du rendement en grains chez le blé. Une étude de l'INRA (2006) a montré qu'un déficit hydrique après la fécondation réduit la taille des organes et il en

résulte une réduction du nombre de grains, qui aura un effet sur le rendement, même si les conditions hydriques redeviennent favorables.

Reynolds *et al.*, (1994) et Salmi (2015) trouvent une forte corrélation entre le pourcentage de dégâts cellulaires causés par le choc thermique et la réduction de la productivité des génotypes testés. Ceci suggère que la sélection sur la base d'un faible dommage cellulaire améliore significativement le rendement grain. La feuille joue un rôle important au cours du remplissage du grain. Une surface de la feuille étendard foliaire plus large, capte plus de lumière et fixe plus d'hydrates de carbone qui sont favorables à un haut rendement (Hamli *et al.*, 2015).

**Tableau 21** : Analyse des liaisons inter- caractères Compagne d'étude 2016/17.

Variables	Ht cm	BIO	RDT	NE	PNE	PIE	NGE	NGM	PMG	CH	TCV	TRE	IC	SF
Ht cm	<b>1</b>													
BIO	0,3545	<b>1</b>												
RDT	0,3249	<b>0,6237*</b>	<b>1</b>											
NE	0,0684	<b>0,6647*</b>	<b>0,5951*</b>	<b>1</b>										
PNE	0,3425	<b>0,7517*</b>	<b>0,7915*</b>	<b>0,5364*</b>	<b>1</b>									
PIE	<b>0,4379*</b>	<b>0,4683*</b>	<b>0,5648*</b>	-0,0212	<b>0,7821**</b>	<b>1</b>								
NGE	0,3349	0,3510	<b>0,8649**</b>	0,3326	<b>0,6054</b>	<b>0,532*3</b>	<b>1</b>							
NGM	0,2839	<b>0,5260*</b>	<b>0,9252**</b>	<b>0,6468*</b>	<b>0,6732*</b>	0,4032	<b>0,9308**</b>	<b>1</b>						
PMG	-0,1353	0,3969	0,0711	0,0579	0,1641	0,1579	-0,3238	0,2215	<b>1</b>					
CH	-0,1918	-0,1696	0,0979	0,1252	0,0631	0,1057	0,1512	0,1582	-0,2053	<b>1</b>				
TCV	-0,0741	-0,1516	-0,1881	-0,2668	-0,2578	-0,0781	0,0187	0,0802	-0,0872	0,0664	<b>1</b>			
TRE	-0,0522	0,3211	0,3648	0,0720	0,3875	<b>0,4282*</b>	0,1552	0,1689	<b>0,5132*</b>	0,0115	0,0404	<b>1</b>		
IC	-0,1258	-0,1849	-0,3168	-0,1376	-0,1677	-0,1800	-0,2109	0,2186	-0,1461	0,1868	0,0542	0,3583	<b>1</b>	
SF	0,2237	0,0327	0,3307	0,0127	0,0817	0,1572	0,3241	0,2521	-0,0846	0,2244	<b>0,4331*</b>	0,1534	<b>0,4609*</b>	<b>1</b>

**III. 1. 6. Analyse en composantes principales (ACP)**

Pour mieux visualiser les relations existantes entre les réponses génotypiques pour les différentes variables mesurées, nous avons eu recours à l'analyse en composantes principales. L'analyse en composantes principales (ACP) présente l'avantage de caractériser un génotype donné par une valeur numérique, liée à un axe donné, représentant un ensemble de caractères qui sont spécifiques à ce génotype. Ces valeurs numériques peuvent être prises comme étant un indice intégrateur de plusieurs caractéristiques des génotypes étudiés (Oosterom *et al.*, 1993).

**Tableau 22 : Analyse des liaisons inter- caractères Compagne d'étude 2017/18**

Variables	HT	BIO	RDT	NE	PNE	P1E	NG/E	NGM <sup>2</sup>	PMG	CHL	TC°V	TRE%	IC%	SF
HT (cm)	1													
BIO	0,0230	1												
RDT	-0,1130	0,3161	1											
NE	-0,0679	<b>0,6418*</b>	0,1138	1										
PNE	-0,0038	<b>0,8518**</b>	<b>0,4828*</b>	<b>0,6390*</b>	1									
P1E	0,0417	0,3467	<b>0,5014*</b>	-0,2862	<b>0,5420*</b>	1								
NG/E	0,0353	0,2583	<b>0,4993*</b>	-0,2345	0,3557	<b>0,7543**</b>	1							
NGM <sup>2</sup>	0,0213	<b>0,7043*</b>	<b>0,4912*</b>	<b>0,5031*</b>	<b>0,7690**</b>	<b>0,4474*</b>	<b>0,7118*</b>	1						
PMG	-0,2064	0,0621	-0,0314	0,1499	0,1535	-0,0540	<b>0,5649*</b>	<b>0,4069*</b>	1					
CHL	0,0327	0,3431	<b>0,4863*</b>	0,3966	<b>0,4968*</b>	0,2236	0,2143	<b>0,4444*</b>	0,0618	1				
TC°V	-0,1347	0,0946	0,1996	-0,0537	0,1045	0,1993	0,0593	-0,0188	0,1569	0,1928	1			
TRE%	-0,1600	-0,0831	-0,3526	-0,1645	-0,1965	-0,0770	0,0893	-0,0294	0,2087	0,3212	-0,3190	1		
IC%	<b>0,4105*</b>	-0,0927	-0,1539	-0,0834	-0,2660	-0,2500	-0,1565	-0,1896	0,0448	0,1258	-0,1634	0,2193	1	
SF	-0,0793	0,1462	0,3938	0,0183	0,1861	0,2630	0,2349	0,1599	0,1398	0,0780	<b>0,5606*</b>	0,2458	0,1243	1

Les deux premiers axes (axe 1, 2) de l'ACP en 2017 et 2018 expliquent ; 37.19 %, 14.07 % et 31.57 %, 15.59 % respectivement (Figure 43).

Pour la compagne de 2017, l'étude des corrélations avec les axes principaux montre que le rendement grain par plante RDT, la Biomasse BIO, NE, PNE, P1E, NGE et NGM<sup>2</sup>, sont liés positivement à l'axe 1 et SF sont négativement corrélés à cet axe. Le long de cet axe s'opposent les génotypes JUPARE C 2001\*2/IM/6/ADAMAR\_15//ALBIA\_1/ALTAR (V2) , Canelo9 .1/Snitan/10/Plata\_10/6/Mque/4/Usda537 (V5) , BELLARIO /4/BCRIS/ BICUM// LLRETA INIA/3/DUKEM\_12\*RASCON\_21 (V6) , ISLOM\_1/DUKEM\_2// TARRO\_3/5/ CREX// BOY/YAV\_1/3/PLATA (V7) , Guemgoum Rkhem/4/Stj3 //Bcr/Lks4/3/Ter-3 (V9) , Brak //Ajaia\_8/3/Canelo\_8//Sora// (V10) , SILK\_3/DIPPER\_6/3. ACO89/DUKM\_4//5\* ACO 89/4/ (V12), 20048 Traikia (Mor)/Mrb5//Stj3 (V16), Icasyl/3/Gcn//Stj/M rb3 (V18), Icasyl/3/Bcr/Sb15//Triticum urartu /4/13376/Bcrchl /Ossll /Stj5 (V21), Korifla/Aeg Speltoides Syr/Amedakul (V22), Amedakull/Triticum dic Syr Col//Loukos (V23) et la variété Terbol 97-5/Geruftel2 (V24) .

L'axe 2 présente une corrélation positive avec la BIO, PMG et TRE%. Alors que le NG/E, NGM<sup>2</sup>, et CHL sont négativement corrélés à cet axe. Les génotypes Waha /- syn Pelicano//Ruff/Rolette (V1), ISLOM\_1/ DUKEM\_2 //TARRO\_3/5/ CREX// BOY/ YAV\_1 /3/PLATA (V7), Icasyl/3/Bcr/Sb15//Triticum urartu /4/13376/Bcrchl /Ossll /Stj5 V21,

Amedakull/*Triticum dic* Syr Col//Loukos (V23), Terbol 97-5/Geruftel2 (V24) et *Triticum Polonicum* / Zenati Bouteille//Inrat69 (V17) sont bien représentés par l'axe 2.

L'information apportée par l'axe 1 pour la campagne 2018, indique que Waha (V1), CANELO9.1/SNITAN/10/PLATA\_10/6/MQUE/4/USDA537(V5) Guengoum Rkhem/4 / Stj3 //Bcr/Lks4/3/Ter-3(V9), Brak //Ajaia\_8/3/Canelo\_8//Sora/(V10), SILK\_3/ DIPPER\_ 6 /3.ACO89/DUKM\_4//5\*ACO89/4/(V12), *Triticum Polonicum* / Zenati Bouteille//Inrat69 (V17), MOHAWK/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO5 (V20), Korifla/Aeg Speltoïdes Syr/Amedakul (V22), Amedakull/*Triticum dic* Syr Col//Loukos (V23) et Ouasloukos 1/5/Azn1/4/BEZAIZSHF//SD19539/Waha/3/Gdr2 (V25) se caractérisent par des valeurs élevées pour la BIO, le rendement en grain par plante ( RDT, PNE, P1E, NG/E, NG/m<sup>2</sup> et la CHL), alors que l'axe 2 indique que les génotypes Waha (V1), SOOTY\_9/RASCON\_37//STORLOM/5/TOSKA\_26/RASCON (V3) , SILK\_3/DIPPER\_6/3. ACO89/DUKM\_4//5\*ACO89/4/(V12), 20048 Traikia (Mor)/Mrb5//Stj3 (V16), Icasyl/3/Gcn//Stj /M rb3 (V18), Icasyl/3/Bcr/Sb15//*Triticum urartu* /4/13376/Bcrchl / Ossll /Stj5(V21), Terbol 97-5/Geruftel2 (V24), Ouasloukos 1/5/Azn1/4/BEZAIZSHF//SD19539/Waha/3/Gdr2 (V25) et Terbol975/Geruftl2 (V14) se caractérisent par une importante NE/m<sup>2</sup> et PMG liés positivement et NG/E ; la CHL négativement corrélés. Cette répartition des variables selon les axes permet de caractériser les génotypes étudiés et groupés en individus qui se ressemblent plus au moins sur la base d'une ou de plusieurs variables mesurées (Tableau 22).

Cette représentation illustre la disposition des variétés par rapport aux paramètres étudiés. A cet effet l'axe 1 serait l'axe relatif « au paramètre du rendement RDT et des composantes du rendement » et l'axe 2 « au paramètre des composantes du rendement PMG, NGE, NE et les caractères d'adaptation TRE, SF et CHL».

L'axe 1 est donc indicateur de la productivité des génotypes. Sur les axes 1 la capacité de production des génotypes CANELO9.1/SNITAN/10/PLATA\_10/6/MQUE/4/USDA537 (V5), Guengoum Rkhem/4/Stj3 //Bcr/Lks4/3/Ter-3 (V9), Brak //Ajaia\_8/3/Canelo\_8//Sora// (V10), Amedakull/*Triticum dic* Syr Col//Loukos (V23) et Icasyl/3/Gcn//Stj /M rb3(V18) est due à une Biomasse aérienne importante, un rendement élevé, un poids des épis élevé, nombre d'épis élevé.

L'axe 2 représente les caractères d'adaptation, les génotypes Waha (V1), Icasyl/3/Bcr/Sb15//*Triticum urartu* /4/13376/Bcrchl /Ossll /Stj5 (V21), Terbol 97-5/ Geruftel 2 (V24) et *Triticum Polonicum* / Zenati Bouteille//Inrat69 (V17) se caractérisent par une



## Chapitre III : Résultats et discussion

### III. 2. Comportement morpho-physiologique et biochimique *in vitro* des variétés de blé (*Triticum sp.*) sous stress hydrique

#### III. 2. 1. Variation de paramètres morpho-physiologiques et biochimiques

Les paramètres mesurés chez les 18 génotypes, dans les mêmes conditions de stress hydrique (100%, 75%, 50% et 25% CC) ont révélés une variabilité importante et des effets significatifs pour l'ensemble des variables testées, à savoir, variété (V), traitement (T) et interaction (V\*T) . L'analyse de la variance révèle un effet très hautement significatif pour LR, TRE% et CHL; et hautement significatif pour le taux de sucres solubles (SUC) et la proline (PROL). L'analyse de la variance pour NR et IC% révèle un effet non significatif ni pour le traitement ni pour l'interaction (variété x traitement), alors que pour la LE, l'analyse de la variance révèle un effet non significatif pour le traitement (T) et pour LF et SF un effet non significatif pour l'interaction (V\*T) (Tableau 23 et 24).

**Tableau 23:** Carrés moyens de l'analyse de la variance des caractères morphologiques, physiologiques mesurés des 18 Variétés de blé (*Triticum sp.*)

Source de variation	ddl	NR	LR	LE	LF	SF
Variétés (V)	17	1,4728*	66,0349***	0,7561***	125,4682*	12,0561***
Traitement (T)	3	1,5435ns	333,8238***	0,0474ns	168,6472*	23,6396***
V*T	51	0,7872ns	35,1754***	0,4108**	26,4908 ns	1,4908ns
Résiduelle	153	0,7149	7,2238	0,2248	65,8235	1,7367

**Tableau 24 :** Carrés moyens de l'analyse de la variance des caractères biochimiques mesurés des 18 Variétés de blé (*Triticum sp.*)

Source de variation	ddl	SUC	PROL	TRE%	IC%	CHL
Variétés (V)	17	0,0001**	0,0000ns	396,0784***	994,6421***	0,1820***
Traitement (T)	3	0,0001**	0,0001**	997,7336***	227,1828ns	1,6645***
V*T	51	0,0001**	0,0001**	812,1695***	202,7445ns	0,0888***
Résiduelle	153	0,0000	0,0000	93,6081	141,9616	0,0363

#### III. 2. 1. 1. Variation des paramètres morpho-physiologiques

Au niveau de cette expérience, le comportement des 18 génotypes de blé dur et tendre étudiés vis-à-vis du stress hydrique est analysé par une étude morphologique (LR, NR, LE, LF et SF), physiologique (TRE%, L'IC%, et CHL) et biochimique (teneur en proline et en sucres solubles µg/100mg de MF).

**\* Variation des paramètres morphologiques : Nombre et longueur de racines (NR, LR), longueur d'épi cotyle (LE), longueur et surface foliaire (LF, SF)**

Selon le test DUNCAN les valeurs enregistrées, sous régime non déficitaire (100% CC), la variété ACSAD981 blé tendre se classe en premier avec la plus importante valeur de LE, NR avec  $(4,00 \pm 0.000^C)$  cm),  $(6 \pm 0.000^C)$  respectivement. Cependant, la LR la plus élevée est obtenue par la variété AKHAMOUKH avec  $(20,00 \pm 0.000^B)$  cm) et on remarque que les variétés Terbol blé dur, A. Abid, Wifak blé tendre enregistrent la valeur maximale avec la LF :  $(25,25 \pm 0.250^C)$  cm),  $(29,17 \pm 2.255^A)$  cm), et  $(27,23 \pm 1.861^B)$  cm) respectivement.

Dans les conditions d'irrigation, la plupart des variétés présentent de NR plus ou moins proches de celles des témoins, sauf les variétés WIFAK, AKH et ACS qui présentent une diminution de NR sous régime hydrique sévère (25 % CC) avec  $(4 \pm 0.000^A)$   $(3 \pm 0.577^B)$  et  $(4 \pm 1.000^A)$  respectivement ; par contre les variétés : ANAPO  $(12.30 \pm 0.818^B)$  et Waha  $(8.66 \pm 3.214^A)$ , Guemgoum Rkhem  $(6.76 \pm 0.1^A)$ , Amedakull  $(5.16 \pm 0.763^B)$  représentent une augmentation de LR sous régime hydrique sévère (25 %).

Sous l'effet du stress hydrique, la plupart des variétés présentent la longueur de l'épi cotyles plus ou proches de celles des témoins ; alors que la longueur de l'épi cotyle diminue de la valeur  $(4,00 \pm 0.000^C)$  cm) moyenne du témoin non stressé à  $(2,75 \pm 0.250^A)$  cm), valeur moyenne mesurée sous stress de 25 % CC chez la variété ACS.

Sur les paramètres de la partie souterraine, le stress hydrique modéré n'affecte pas sérieusement le nombre des racines des géotypes testés. Cependant, lorsque le stress est sévère, la discrimination entre variétés est très nette.

Sur les paramètres de la partie aérienne, le stress hydrique n'affecte pas sérieusement la longueur de l'épi cotyle des géotypes testés. Par ailleurs, le test de la longueur de l'épicotyle, sous stress sévère, montre que les géotypes ARZ, WIFAK, RMADA, AKHAMOUK et BRAK sont significativement les meilleurs de tous les géotypes étudiés avec  $(3,37 \pm 0.153^{AB})$   $(3,4333 \pm 0.153^B)$   $(3,53 \pm 0.404^B)$   $(3,93 \pm 0.115^B)$  et  $(3,93 \pm 0.839^B)$  respectivement ; alors que la variété ACSAD 981 est plus affecté par cette contrainte par rapport aux variétés étudiées qui sont très proches entre eux. On observe une diminution accentuée de la longueur de la coléoptile lorsque le déficit hydrique est d'autant plus élevé.

Les résultats montrent qu'en condition de stress hydrique, toutes les variétés sont affectées et on a observé des comportements différents entre les géotypes vis-à-vis des différents niveaux de stress (75% CC, 50% CC et 25% CC). La variété RMADA apporte une valeur plus importante de LF, sous différents niveaux de stress hydrique ; 100% CC  $(26,83 \pm 0.289^{AB})$  cm) 75% CC  $(22,00 \pm 3.464^A)$  cm), 50% CC  $(29,17 \pm 1.041^B)$  cm) et 25% CC

( $25,00 \pm 3.606^{AB}$  cm) ; L'influence du stress hydrique sur ce paramètre s'est révélée très marquée chez les géotypes BRAK et Terbol avec ( $20,53 \pm 1.305^C$ ,  $25,25 \pm 0.250^C$  cm) moyenne du témoin non stressé à ( $13,40 \pm 1.15^A$ ,  $14,67 \pm 0.850^A$ ) sous stress hydrique de 25 % respectivement. Le test de DUCAN montre une diminution importante de la longueur des racines des différents géotypes étudiés en fonction du degré du stress hydrique appliqué.

La durée de l'application du stress hydrique et salin a provoqué une diminution importante dans la longueur et le nombre des racines. Cette diminution est due probablement à un arrêt de la division et de l'élongation cellulaire au niveau de la racine (Fraser et *al.*, 1990; Benderradji et *al.*, 2016). Le stress hydrique pendant le stade jeune plantule peut inhiber le développement de la coléoptile (Boubaker et Yamada, 1995) Selon Nemmar (1983), le déficit hydrique apparaît en premier lieu dans les feuilles et s'étend vers la tige et les racines. Lorsque les plantes sont soumises à un stress hydrique, les organes aériens (feuilles et tiges) sont inhibées, alors que les racines continuent à croître afin d'explorer de nouveau volume de sol pour l'absorption d'eau. Cette réponse de la croissance des racines et des tiges à des faible potentiel hydrique est considéré comme une adaptation des plantes terrestre aux milieux secs (Sharp et Davis, 1989 ; Spollen et *al.*, 1993 ; Labdelli, 2011). Ceci peut être attribué à une accélération de ces semences au développement de leurs parties végétatives. Ceci permettra d'assurer le déclenchement de la photosynthèse le plus vite possible afin de fournir l'énergie nécessaire pour le développement et la formation des racines pour les stades ultérieurs ce qui favorise plus de protection à la croissance de la jeune plantule sous condition de stress (Bayoumi et *al.*, 2008) (Tableaux 25 & 26).

**Tableau 25** : Moyennes des Caractères morphologiques (NR, LR) et leurs groupes homogènes

Génotypes	Nombre de racines (NR) / Stress hydrique (CC)					Longueur des racines (LR, cm) / Stress hydrique (CC)				
	100%	75%	50%	25%	MOYENNE	100%	75%	50%	25%	MOYENNE
HD	4±0.58 A	4±0.115 A	5±0 A	4±0 A	<b>4,42±0,668</b>	15,67±1.802 B	13±6.506 B	11,97±3.098 AB	5,07±1.594 A	<b>11,43±5,214</b>
ARZ	4±1 A	4±1 A	4±0.577 A	3±1.527 A	<b>3,92±0,996</b>	15,23±2.731 B	13,40±1.905 B	14,83±5.688 B	5,90±0.854 A	<b>12,34±4,860</b>
WIF	5 ±0 B	4±0.577 AB	3 ±0.577 A	4±0 A	<b>4,25±0,622</b>	12,83±2.753 B	5,27±1.446 A	11,83±0.288 B	4,57±1.289 A	<b>8,63±4,157</b>
DJM	4±0.58 A	4 ±0.577 A	4 ±0.577 A	4±0.577 A	<b>4,50±0,522</b>	11,33±4.255AB	7,63±3.354 A	14,48±2.683 B	6,00±0.5 A	<b>9,86±4,299</b>
ANAPO	3±0.58A	3 ±1.154 A	3 ±1 .154 A	4±0.577 A	<b>3,92±0,900</b>	9,67±0,25 B	14,17± 0,75 B	4,40±0,173 A	12,30±0.818B	<b>10,13±4,389</b>
RMADA	5±1 A	4 ±0.577 A	4 ±1.527 A	4±1 A	<b>4,42±0,996</b>	12,67±0,25 B	13,43± 2,676 B	12,17±1,258 B	6,30± 1,253 A	<b>11,14±3,717</b>
A.ABID	5±0 A	5 ±1 A	5 ±1 A	4±0.577 A	<b>4,83±0,718</b>	14,47±1,747 BC	19,00± 2 C	11,30±1,752B	5,93±0.503A	<b>12,68±5,476</b>
AKH	5±0 A	5 ±0 AB	4 ±0.577 B	3±0.577 B	<b>4,50±0,798</b>	20,00±0 B	17,00±1.5 B	7,67±1,041A	9,33± 0,577A	<b>13,50±5,547</b>
ACS	6±0 C	5 ±0 B	5 ±0 AB	4±1 A	<b>5,00±0,853</b>	17, 00±0 D	13,00±0 C	5,00±0 B	4,45± 0,05A	<b>9,86±5,569</b>
WAHA	5±1 A	4 ±0.577 A	4 ±1 A	5±0.577 A	<b>4,75±0,866</b>	9,33±1,528 A	10,27±0,751 A	7,97±1,193 A	8,67± 0,5A	<b>9,06±1,857</b>
CANELO	4±1 A	5 ±1 A	5± 1,73 A	5±1 A	<b>4,75±1,138</b>	15,13± 1.802 A	11,50±6.506 A	13,17±3.098 A	6,50±1,5 B	<b>11,58±3,968</b>
GUEMGOUMRKHEM	4±0,58A	5 ±1 A	5±0,577 A	4±1,155A	<b>4,92±0,793</b>	6,20±0.55 A	7,87± 0,322 A	11,33 ±1,528 B	6,77±0,1A	<b>8,04±2,513</b>
BRAK	5±1.15 A	4 ±0 .577 A	4±0.577 A	4±0.577 A	<b>4,83±0,718</b>	12,53±2,45 AB	15,40± 1,970 B	9,63±0,65AB	7,67±0,764 A	<b>11,31±4,134</b>
T.POLOX	5±1 .73 A	5 ±0.000 A	4±1.154 A	4± 1.000 A	<b>4,58±1,084</b>	14,73±1.804B	15,55±1.95B	16,17±5.204B	7,13±1.501A	<b>13,40±4,690</b>
ICASYRL/3/GCN	5±0 A	5 ±1A	4±0A	4±1.154 A	<b>4,58±0,793</b>	9,43±1.006 B	7,57±0.814A	10,33±1.154B	5,83±0.763A	<b>8,29±1,984</b>
ICASYRL/3/BCR	3±0 A	4 ±0.570 A	4 ±1.520 A	4±1 A	<b>4,08±1,082</b>	16, 00± 0.5 C	12,67±3.617C	4,63±1.026A	8,70±1.473B	<b>10,50± 4,776</b>
AMEDAKULL	4±0.58 A	4 ±1.527 A	4±1A	4±1 A	<b>4,25±0,965</b>	3,57±0.503 A	3,33±0.577A	4,10±0.854AB	5,17±0.493B	<b>4,04±0,910</b>
TERBOL	5±1 A	5 ±1.154 A	4±0.577 A	4 ± 0.577 A	<b>4,83±0,835</b>	7,73±5.718 AB	11,00±1.969B	17,83±2.315C	5,00 ±0.763A	<b>10,39±5,341</b>
<b>MOYENNE</b>	<b>4,4167±0,6686</b>					<b>11,4250±5,2140</b>				

Tableau 26 : Moyennes des Caractères morphologiques LE et LF et leurs groupes homogènes

Génotypes	Longueur de l'épi-cotyle (LE, cm) / Stress hydrique (CC)					Longueur des feuilles (LF, cm) / Stress hydrique (CC)				
	100%	75%	50%	25%	MOYENNE	100%	75%	50%	25%	MOYENNE
HD	3,60±0.173 A	3,43±0.115 A	3,40±0.656 A	3,23±0.681 A	<b>3,42±0,434</b>	18,77±3.530 AB	21,20±1.513 B	17,27±2.483 AB	14,27±1.270 A	<b>17,88±3,313</b>
ARZ	3,10±0.100 A	3,57±0.306 B	3,0±0.200 A	3,37±0.153 AB	<b>3,26±0,291</b>	26,30B±2.805	23,87±2.730 AB	26,33±1.528 B	17,77±5.359 A	<b>23,57±4,66</b>
WIF	2,30±0.436 A	3,00±0.436 B	3,17±0.289 B	3,4333±0.153 B	<b>2,98±0,53</b>	27,23±1.861 B	25,47±3.931 B	24,67±3.215 B	13,73±3.717 A	<b>22,78±6,20</b>
DJM	2,80±0.721 A	2,80±0.265 A	3,10±0.173 A	2,40±0.400 A	<b>2,78±0,4575</b>	23,4667±3.950A	24,3000±1.082A	24,93±0.929A	22,7667±3.099A	<b>23,8667±2,3849</b>
ANAPO	2,93±0.115 A	2,67±0.416 A	2,67±0.321 A	2,67±0.289 A	<b>2,73±0,287</b>	21,73±4.423 AB	23,73±5.001 B	16,83±1.893 AB	15,33±2.517 A	<b>19,4083±4,7771</b>
RMADA	2,70±0.436 A	2,93±0.404 AB	3,30±0.173 AB	3,53±0.404 B	<b>3,12±0,4609</b>	26,83±0.289 AB	22,00±3.464 A	29,17±1.041 B	25,00±3.606 AB	<b>25,75±3,5000</b>
A.ABID	2,96±0.603 A	2,93±0.400 A	3,07±0.306 A	3,43±0.231 A	<b>3,10±0,406</b>	29,17±2.255 A	26,75±0.250 A	27,50±2.500 A	24,43±4.557 A	<b>26,97±3,0013</b>
AKH	3,00±0.000 A	3,00±0.000 A	3,03±0.473 A	3,93±0.115 B	<b>3,24±0,466</b>	19,00±1.587 B	20,57±1.365 B	18,57±2.768 B	13,17±1.258 A	<b>17,83±3,3125</b>
ACS	4,00±0.000 C	4,00±0.000 BC	3,45±0.050 AB	2,75±0.250 A	<b>3,55±0,547</b>	21,00±2.500 B	14,77±2.411 A	18,50±1.000 AB	16,33±2.754 A	<b>17,65±3,1228</b>
WAHA	2,93±0.252 A	3,07±0.404 A	3,27±0.252 A	3,27±0.751 A	<b>3,13±0,4207</b>	21,50±1.000 B	19,23±2.732 AB	14,33±1.155 A	15,07±3.932 A	<b>17,53±3,7582</b>
CANELO	3,90±0.600 A	3,43±0.058 A	3,67±0.289 A	3,40±0.700 A	<b>3,60±0,463</b>	19,03±2.743 A	19,50±3.905 A	20,97±1.858 A	18,25±4.950 A	<b>19,44±3,2080</b>
GUEMGOU MRKHEM	2,93±0.551 A	3,13±0.611 A	3,37±0.850 A	3,60±0.608 A	<b>3,26±0,6244</b>	19,83±2.854 A	18,77±1.595 A	17,67±1.893 A	19,43±3.790 A	<b>18,93±2,4373</b>
BRAK	2,77±0.252 A	2,30±0.500 A	3,07±0.404 AB	3,93±0.839 B	<b>3,02±0,775</b>	20,53±1.305 C	17,50±0.872 B	21,50±1.000 C	13,40±1.153 A	<b>18,23±3,4267</b>
T.POLOX	3,53±0.473 A	2,65±0.950 A	3,07±1.365 A	2,93±0.416 A	<b>3,05±0,828</b>	20,73A±3.272	19,70±3.500 A	20,27±2.053 A	16,17±2.255 A	<b>19,22±3,0647</b>
ICASYRL/3 /GCN	3,43±0.416 A	2,97±0.451 A	3,57±0.404 A	3,07±0.115 A	<b>3,26±0,4100</b>	20,67±3.786 A	20,33±2.54 A	14,17±2.021 A	13,16±0.804 A	<b>24,96±2,2875</b>
ICASYRL/3 /BCR	3,50±0.500 A	3,90±0.529 A	3,80±0.200 A	2,93±0.702 A	<b>3,53±0,5898</b>	18,13±2.579 AB	20,97±2.702 AB	22,17±5.058 B	14,83±1.756 A	<b>19,03±4,0594</b>
AMEDAKU LL	3,57±0.503 A	3,33±0.577 A	2,60±0.693 A	3,40±0.100 A	<b>3,23±0,5879</b>	18,53±4.822 A	17,83±2.021 A	12,80±2.553 A	14,17±1.893 A	<b>15,83±3,6268</b>
TERBOL	3,03±0.643 A	3,13±0.153 A	3,43±0.252 A	3,40±0.173 A	<b>3,25±0,3580</b>	25,25±0.250 C	19,33±2.566 B	17,60±1.825 AB	14,67±0.850 A	<b>19,21±4,2703</b>
MOYENNE	<b>3,195±0,4965</b>					<b>20,4492 ±3,57836</b>				

La surface foliaire est plus élevée chez le témoin (100% CC), dont on note chez les variétés de blé dur : Terbol (6,1307±0.061<sup>C</sup>), BRAK (4,5909±0.930<sup>B</sup>) et chez les variétés de blé tendre : WIFAK (5,475±0.652<sup>B</sup>), ANAPO (4,939±1.654<sup>A</sup>) et RMADA (4,886±0.053<sup>A</sup>). Pour les autres niveaux de stress hydrique (75% CC, 50% CC et 25% CC), la surface foliaire à généralement marqué des valeurs proches entre elles. Il est à noter que chez les génotypes HD, WIFAK, AKHAMOUKH, ACSAD981, Guemgoum-Rkhem, BRAK, Icasyl/3/Bcr , Amedakull , et Terbol, ce paramètre est caractérisé par une diminution importante sous stress sévère (25% CC) comparativement aux témoin (100% CC) avec (1,170±0.568<sup>A</sup>), (1,667±0.451<sup>A</sup>), (1,598±0.153<sup>A</sup>), (0,9914±0.167<sup>A</sup>), (2,7396±0.747<sup>A</sup>), (2,1872±0.600<sup>A</sup>), (0,3116±0.158<sup>A</sup>) (1,9626±0.195<sup>A</sup>) et (1,7805±0.103<sup>A</sup>) respectivement (Figures 44a & 44b, Tableau 27).

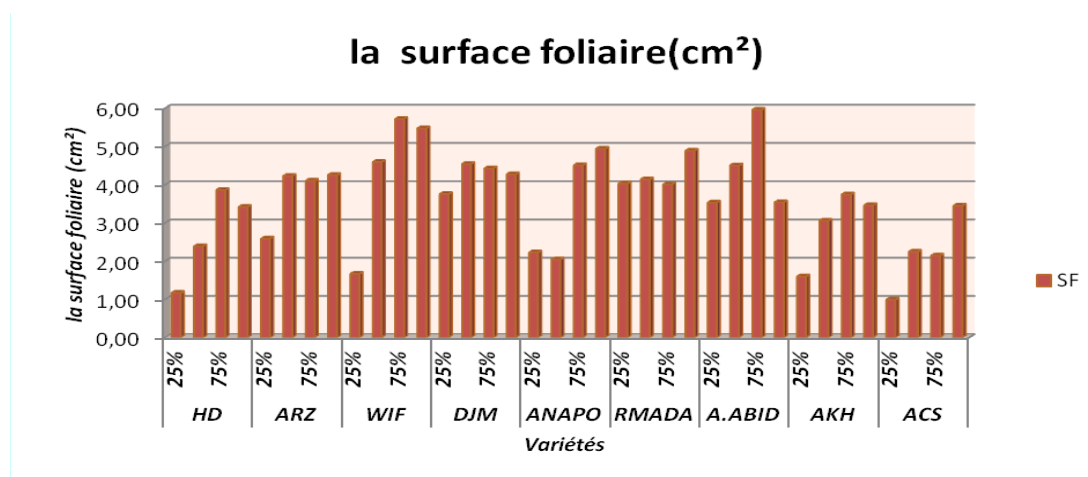


Figure 44a. Surface foliaire de 18 variétés de blé tendre, sous différents traitements de stress hydrique

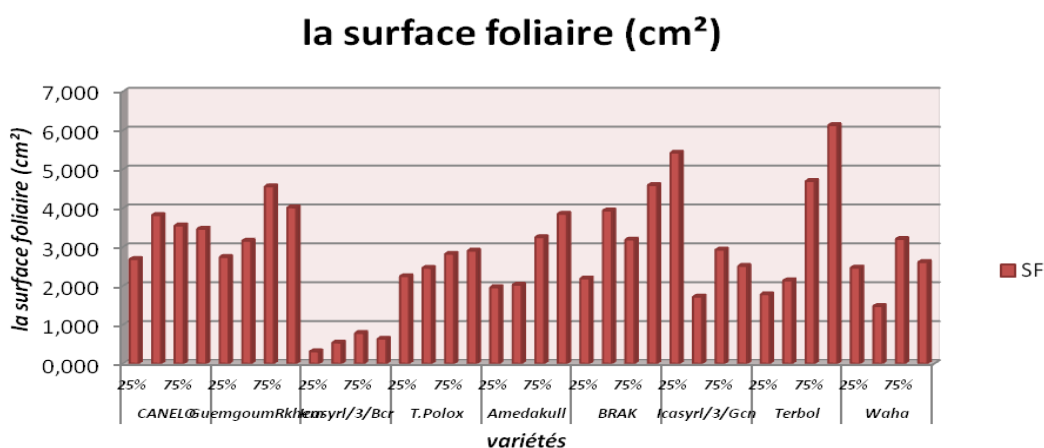


Figure 44b. Surface foliaire de 18 variétés de blé dur, sous différents traitements de stress hydrique

**Tableau 27** : Moyennes des surfaces foliaires et leurs groupes homogènes.

Surface foliaire (SF, cm <sup>2</sup> ) / Stress hydrique (CC)					
Génotypes	100%	75%	50%	25%	Moyenne
HD	3,417±0.643 <sup>C</sup>	3,861±0.276 <sup>C</sup>	2,390±0.231 <sup>B</sup>	1,170 ±0.568 <sup>A</sup>	<b>2,709±1,153</b>
ARZ	4,253±1.032 <sup>A</sup>	4,103±0.820 <sup>A</sup>	4,229±0.724 <sup>A</sup>	2,588±1.239 <sup>A</sup>	<b>3,793±1,105</b>
WIF	5,475±0.652 <sup>B</sup>	5,718±1.548 <sup>B</sup>	4,593±1.902 <sup>B</sup>	1,667±0.451 <sup>A</sup>	<b>4,36±2,01</b>
DJM	4,273±0.719 <sup>A</sup>	4,425±0.197 <sup>A</sup>	4,540±0.169 <sup>A</sup>	3,753±1.226 <sup>A</sup>	<b>4,2480±0,6916</b>
ANAPO	4,939±1.654 <sup>A</sup>	4,508±2.218 <sup>A</sup>	2,044±0.230 <sup>A</sup>	2,226±0.919 <sup>A</sup>	<b>3,429±1,847</b>
RMADA	4,886±0.053 <sup>A</sup>	4,006±0.631 <sup>A</sup>	4,138±1.076 <sup>A</sup>	4,026±0.987 <sup>A</sup>	<b>4,2642±0,7771</b>
A.ABID	3,541±0.274 <sup>A</sup>	5,959±0.982 <sup>B</sup>	4,510±1.291 <sup>AB</sup>	3,533±1.416 <sup>A</sup>	<b>4,3836±1,3885</b>
AKH	3,460±0.289 <sup>B</sup>	3,745±0.249 <sup>B</sup>	3,057±1.011 <sup>B</sup>	1,598±0.153 <sup>A</sup>	<b>2,9652±0,9803</b>
ACS	3,4498±1.067 <sup>B</sup>	2,1427±0.881 <sup>B</sup>	2,2459±0.121 <sup>AB</sup>	0,9914±0.167 <sup>A</sup>	<b>2,2075±1,0871</b>
WAHA	2,6101±0.121 <sup>A</sup>	3,2050±1.760 <sup>A</sup>	1,4770±0.596 <sup>A</sup>	2,4664±0.975 <sup>A</sup>	<b>2,4396±1,1064</b>
CANELO	3,4639±1.164 <sup>A</sup>	3,5510±0.711 <sup>A</sup>	3,8180±0.338 <sup>A</sup>	2,6850±1.367 <sup>A</sup>	<b>3,3795±0,9448</b>
GuemgoumRkhem	4,0163±0.893 <sup>AB</sup>	4,5565±0.387 <sup>B</sup>	3,1564±0.803 <sup>AB</sup>	2,7396±0.747 <sup>A</sup>	<b>3,6172±0,9711</b>
BRAK	4,5909±0.930 <sup>B</sup>	3,1868±0.159 <sup>AB</sup>	3,9354±1.373 <sup>B</sup>	2,1872±0.600 <sup>A</sup>	<b>3,4751±1,2010</b>
T.Polox	2,9035±0.613 <sup>A</sup>	2,8205±0.983 <sup>A</sup>	2,4604±0.249 <sup>A</sup>	2,2459±0.303 <sup>A</sup>	<b>2,6076±0,5916</b>
Icasyrl/3/Gcn	2,5089±0.460 <sup>A</sup>	2,9278±1.057 <sup>A</sup>	1,7198±0.245 <sup>A</sup>	5,4225±7.132 <sup>A</sup>	<b>3,1448±3,4049</b>
Icasyrl/3/Bcr	0,6374±0.091 <sup>B</sup>	0,7851±0.134 <sup>B</sup>	0,5382±0.135 <sup>AB</sup>	0,3116±0.158 <sup>A</sup>	<b>0,5681±0,2121</b>
Amedakull	3,8524±1.666 <sup>B</sup>	3,2475±0.368 <sup>AB</sup>	2,0274±0.357 <sup>A</sup>	1,9626±0.195 <sup>A</sup>	<b>2,7725±1,1267</b>
Terbol	6,1307±0.061 <sup>C</sup>	4,6941±623 <sup>B</sup>	2,1366±0.222 <sup>A</sup>	1,7805±0.103 <sup>A</sup>	<b>3,6855±1,9063</b>

Toutefois, si le stress est observé aussi un arrêt total du développement foliaire. Ceci corrobore avec ce qui a été rapportés par Alves et Setter (2004) qui mentionnent que le stress hydrique provoque une multitude d'effets sur le fonctionnement de la plante dont la réduction de l'élongation et de la division cellulaires qui seront les premiers symptômes, conduisant à la diminution de la surface foliaire photosynthétique. La surface foliaire conditionne la résistance à la sécheresse, vu qu'une surface foliaire élevée perdra plus d'eau qu'une faible surface foliaire (Belkharchouche et *al.*, 2009). Kramer et Boyer, (1995) ; Lebon, (2006) ont montré également que la diminution de la surface foliaire sous le régime hydrique limitant est un mécanisme adaptatif des plantes visant à limiter leur transpiration foliaire lorsque les conditions hydriques deviennent défavorables.

**\* Variation des paramètres physiologiques**

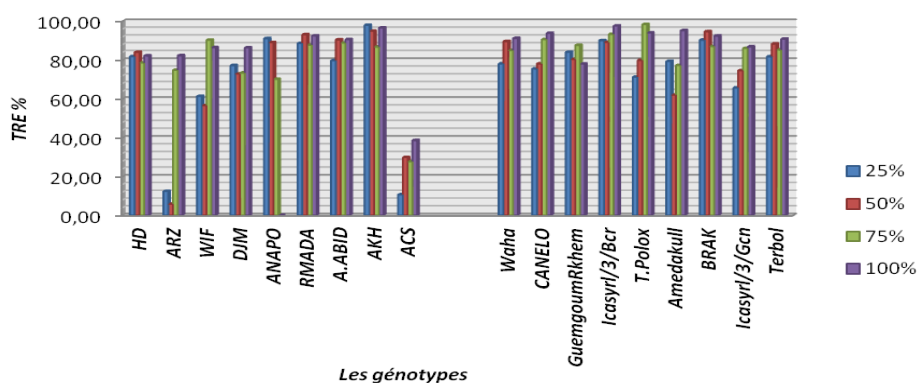
**\*\* Teneur relative en eau**

La comparaison entre l'évolution de la teneur en eau des 18 variétés de blé étudiées a montré que la teneur relative en eau diminue sous niveaux de stress hydrique (50% et 25%) chez la plupart des variétés. La TRE% varie entre (26,9267±17,1093) et (94,0076±9,0469)

avec une moyenne globale de l'ordre de (81,5973±7,7973). Chez les témoins, le TRE% varie entre (97,5431±0.763) et (38,5452±16.790) ; Les teneurs en eau les plus élevées sont notées chez les génotypes RMADA (92,4299±7.726<sup>A</sup>), A.ABID (90,5631±5.077<sup>A</sup>) et AKH (96,5341±2.356<sup>A</sup>) de blé tendre ; et CANELO (93,7480±4.050<sup>A</sup>), T. Polox (93,9847±1.658<sup>B</sup>), Icasylr/3/Bcr (97,5431±0.763<sup>B</sup>), et Amedakull (95,1599±1.007<sup>A</sup>) de blé dur (Tableau 28, Figure 45).

**Tableau 28** : Moyennes de la teneur relative en eau et leurs groupes homogènes

Teneur relative en eau (TRE%) / Stress hydrique (CC)					
Génotypes	100%	75%	50%	25%	Moyenne
HD	82,1697±4.775 <sup>A</sup>	78,5202±3.234 <sup>A</sup>	83,9584±14.177 <sup>A</sup>	81,7407±8.779 <sup>A</sup>	81,597±7,798
ARZ	82,2799±1.924 <sup>B</sup>	74,7842±8.270 <sup>B</sup>	5,8098±0.185 <sup>A</sup>	12,3343±7.758 <sup>A</sup>	43,80±36,79
WIF	86,4565±3.064 <sup>B</sup>	90,2417±3.917 <sup>B</sup>	56,5172±6.031 <sup>A</sup>	61,3005±13.496 <sup>A</sup>	73,6290±16,9021
DJM	86,3390±9.123 <sup>A</sup>	73,3431±10.960 <sup>A</sup>	72,8525±6.053 <sup>A</sup>	77,1537±1.487 <sup>A</sup>	77,4221±8,7163
ANAPO	83,38±11.54 <sup>A</sup>	70,1114±13.093 <sup>B</sup>	89,0040±13.914 <sup>B</sup>	91,0490±9.617 <sup>B</sup>	63,601±38,12
RMADA	92,4299±7.726 <sup>A</sup>	78,1291±14.649 <sup>A</sup>	85,9586±4.518 <sup>A</sup>	88,5302±10.589 <sup>A</sup>	86,2619±10,1886
A.ABID	90,5631±5.077 <sup>A</sup>	88,7813±9.785 <sup>A</sup>	90,3845±2.556 <sup>A</sup>	79,7133±5.894 <sup>A</sup>	87,3606±7,1686
AKH	96,5341±2.356 <sup>A</sup>	86,7145±17.678 <sup>A</sup>	94,8891±4.271 <sup>A</sup>	97,8927±0.826 <sup>A</sup>	94,0076±9,0469
ACS	38,5452±16.790 <sup>A</sup>	27,6405±5.330 <sup>A</sup>	29,7918±25.587 <sup>A</sup>	11,7293±9.111 <sup>A</sup>	26,9267±17,1093
WAHA	91,1557±4.866 <sup>B</sup>	76,6898±7.635 <sup>A</sup>	89,4948±3.935 <sup>B</sup>	78,0318±6.279 <sup>A</sup>	83,8430±8,4468
CANELO	93,7480±4.050 <sup>A</sup>	90,5293±5.176 <sup>AB</sup>	78,0402±11.474 <sup>BC</sup>	75,4501±5.437 <sup>C</sup>	84,4419±10,2038
GuemgoumRkhem	77,9586±7.266 <sup>A</sup>	87,5542±3.928 <sup>A</sup>	80,2849±1.842 <sup>A</sup>	84,0146±10.868 <sup>A</sup>	82,4531±7,0036
BRAK	92,3906±2.640 <sup>A</sup>	86,9929±4.807 <sup>A</sup>	94,5925±1.714 <sup>A</sup>	90,2687±6.579 <sup>A</sup>	91,0612±4,7371
T.Polox	93,9847±1.658 <sup>B</sup>	98,3608±1.056 <sup>B</sup>	79,8281±6.083 <sup>A</sup>	71,2134±12.013 <sup>A</sup>	85,8468±12,7562
Icasylr/3/Gcn	86,8388±5.392 <sup>B</sup>	85,9797±4.787 <sup>B</sup>	74,5504±10.184 <sup>AB</sup>	65,6445±7.153 <sup>A</sup>	78,2533±11,0043
Icasylr/3/Bcr	97,5431±0.763 <sup>B</sup>	93,2135±1.922 <sup>AB</sup>	89,0926±4.593 <sup>A</sup>	90,0196±5.763 <sup>A</sup>	92,4672±4,7501
Amedakull	95,1599±1.007 <sup>A</sup>	77,2149±9.351 <sup>A</sup>	61,9486±34.710 <sup>A</sup>	79,3225±17.948 <sup>A</sup>	78,4114±21,0888
Terbol	90,7870±5.953 <sup>A</sup>	85,1745±7.884 <sup>A</sup>	88,2684±10.115 <sup>A</sup>	81,7000±0.180 <sup>A</sup>	86,4825±6,9986



**Figure 45** : Variation de la teneur relative en eau des 18 génotypes de blé dur et tendre soumis aux différents traitements de stress hydrique.

Pour le quatrième niveau de stress hydrique (25 % de CC), la TRE est située entre ( $11,7293 \pm 9.111^A$ ) et ( $97,8927 \pm 0.826^A$ ) enregistrées successivement chez les génotypes ACS et AKH. Une nette diminution de la teneur en eau est observée chez les génotypes ARZ, WIF, Waha, T.Polox, Icasyl/3/Gcn, et Icasyl/3/Bcr avec des valeurs ( $12,3343 \pm 7.758^A$ ) ( $61,3005 \pm 13.496^A$ ) ( $78,0318 \pm 6.279^A$ ) ( $71,2134 \pm 12.013^A$ ) ( $65,6445 \pm 7.153^A$ ) et ( $90,0196 \pm 5.763^A$ ) ; alors que la variété ANAPO apporte une valeur plus importante de la TRE% sous régime hydrique sévère (25%) ( $91,0490 \pm 9.617^B$ ) par rapport leur témoin ( $83.38 \pm 11.54^A$ ).

Nos résultats sont en accord avec ceux de (Cornic, 2008 ; Ykhlef et Djekoun 2000 ; Bousba et al., 2013) qui ont signalé que le blé dur, sous condition de manque d'eau, semble favoriser la première stratégie qui consiste à activer la fermeture des stomates et à limiter l'intensité de la transpiration par les plantes. Clark et Caig, (1982) et Labdelli, (2011) attirent l'attention sur l'utilisation de la TRE comme indicateur de l'état hydrique de la plante sous stress. Selon Sairam et al., (2001) et Mekliche et al., (2003), le stress hydrique diminue la teneur relative en eau. Scofield et al., (1988) et Labdelli, (2011) notent que la diminution de la TRE est plus rapide chez les variétés sensibles que chez les variétés résistantes. Fahmi et al., (2011) rapportent qu'en présence d'un stress hydrique, la teneur en eau relative des feuilles d'*Argania spinosa* augmente de 55.09% à 77.82%. Cette augmentation est due à une fermeture graduelle des stomates ; ce qui permet de maintenir la turgescence foliaire de la plante pour tolérer la déshydratation. La variation de la teneur en eau relative sous différents niveaux de stress hydrique, apporte une information complémentaire sur l'état hydrique de la plante et sur le comportement des variétés vis-à-vis de la contrainte hydrique. La TRE est un paramètre hautement influencé par le stress hydrique et qui décrit la capacité de la plante à se maintenir hydratée en conditions déficitaires (Bousba et al., 2013). La limitation des pertes d'eau peut également résulter de la réduction de la surface transpirante (feuilles de petite taille ou abscission) (Begg et Turner, 1976 ; El Jaafari et al., 1995) ou encore de la diminution de la radiation interceptée (couche épicuticulaire cireuse ou lipidique (Anderson et al., 1984 ; El Jaafari et al., 1995). Chez le blé, l'enroulement foliaire observé chez certaines variétés résistantes relève de ces mécanismes d'économie en eau (Clarke, 1986 ; El Jaafari et al., 1995). Enfin, la fermeture stomatique constitue également un mécanisme réversible contribuant à réduire les pertes en eau. Selon Kacperska, (2004) et Arraouadi et al., (2011), le maintien de valeur assez élevée de la teneur en eau relative en condition de stress peut résulter de deux mécanismes d'adaptation, à savoir, le maintien d'une élasticité élevée des tissus, ou diminution de la pression osmotique.

**\*\* Intégrité cellulaire (IC%)**

Dans tous les niveaux de stress hydrique, on remarque que la plupart des résultats enregistrent une IC% plus ou moins proche de celle des témoins. Les valeurs enregistrées montrent une augmentation de ce paramètre allant de 97,73 %. La comparaison entre les moyennes du dommage cellulaire des 18 variétés de blé étudiées a montré que l'IC% varie entre  $(67,8645 \pm 10,8822)$  et  $(95,8903 \pm 2,5542)$  avec une moyenne globale de l'ordre de  $(88,1172 \pm 8,1698)$ . Sous les conditions non déficitaires, l'IC % varie entre  $(58,6962 \pm 17,138^A)$  et  $(97,7276 \pm 2,816^A)$ . La valeur moyenne du dommage cellulaire la plus élevée est notée chez les variétés ANAPO, ACS, WAHA, Icasyl/3/Gcn et Icasyl/3/Bcr avec des taux de  $(97,7276 \pm 2,816^A)$ ,  $(97,0268 \pm 1,011^B)$   $(92,8634 \pm 6,119^A)$   $(96,7209 \pm 3,765^A)$  et  $(94,5836 \pm 3,457^A)$ . La plus faible IC% est exprimée chez les génotypes WIF, BRAK et Terbol avec  $(58,6962 \pm 17,138^A)$   $(66,1595 \pm 7,811^A)$   $(67,9157 \pm 4,614^A)$ .

Parmi les 18 génotypes étudiés, les variétés ARZ, A.ABID et ACS enregistrent des valeurs de dommage cellulaire les plus faibles avec  $(64,3608 \pm 1,455^A)$ ,  $(73,7300 \pm 14,055^B)$  et  $(91,9540 \pm 0,000^A)$  par rapport à leurs témoins  $(75,0649 \pm 2,884^B)$ ,  $(85,7637 \pm 11,727^B)$  et  $(97,0268 \pm 1,011^B)$  respectivement ; alors que les valeurs moyennes les plus importantes de cette variable sont présentes chez DJM, RMADA, AKH, CANELO et Terbol avec  $(97,4890 \pm 0,318^B)$ ,  $(96,1761 \pm 1,244^B)$   $(94,3473 \pm 3,084^B)$   $(96,8939 \pm 1,361^A)$   $(85,4276 \pm 9,503^B)$  ; au niveau du stress 25 % de C.C. Ces valeurs représentent le pourcentage des cellules endommagées sous l'effet du stress. Elles sont relativement élevées et variables d'un génotype à un autre (Figure 46, Tableau 32)

Parmi les mécanismes qui peuvent intervenir dans le maintien de la turgescence cellulaire figure la résistance protoplasmique qui dépende de la capacité des cellules à résister à un dommage mécanique et à la dénaturation des protéines au niveau membranaire ou cytoplasmique (Cornaire et *al.*, 1995) (Tableau 29) .

Tableau 29 : Moyennes de l'intégrité cellulaire et leurs groupes homogènes

Intégrité cellulaire (IC%) / Stress hydrique (CC)					
Génotypes	100%	75%	50%	25%	MOYENNE
HD	91,4754±12.145 <sup>A</sup>	93,1679±0.601 <sup>A</sup>	82,8332±5.968 <sup>A</sup>	84,9922±8.480 <sup>A</sup>	88,117±8,1698
ARZ	75,0649±2.884 <sup>B</sup>	74,4206±3.777 <sup>B</sup>	73,3959±8.294 <sup>AB</sup>	64,3608±1.455 <sup>A</sup>	71,81±6,129
WIF	58,6962±17.138 <sup>A</sup>	67,7291±11.180 <sup>A</sup>	69,8071±4.014 <sup>A</sup>	75,2256±1.855 <sup>A</sup>	67,8645±10,8822
DJM	80.883 ±7.340 <sup>A</sup>	93,0047±1.090 <sup>AB</sup>	72,8339±5.148 <sup>AB</sup>	97,4890±0.318 <sup>B</sup>	81,3714±20,8424
ANAPO	97,7276±2.816 <sup>A</sup>	97,7310±2.960 <sup>A</sup>	93,7654±3.386 <sup>A</sup>	92,2722±6.671 <sup>A</sup>	95,37±4,423
RMADA	72,0085±15.631 <sup>A</sup>	77,4853±14.097 <sup>AB</sup>	85,3177±8.687 <sup>AB</sup>	96,1761±1.244 <sup>B</sup>	82,7469±13,5848
A.ABID	85,7637±11.727 <sup>B</sup>	81,0831±4.870 <sup>B</sup>	52,3974±8.250 <sup>A</sup>	73,7300±14.055 <sup>B</sup>	73,2436±15,9906
AKH	83,2182±0.418 <sup>A</sup>	91,0859±2.882 <sup>B</sup>	89,6256±3.460 <sup>B</sup>	94,3473±3.084 <sup>B</sup>	89,5692±4,8273
ACS	97,0268±1.011 <sup>B</sup>	89,5674±0.555 <sup>A</sup>	95,8057±2.748 <sup>B</sup>	91,9540±0.000 <sup>A</sup>	93,5885±3,3642
WAHA	92,8634±6.119 <sup>A</sup>	88,2987±11.592 <sup>A</sup>	69,6035±19.939 <sup>A</sup>	81,9070±17.420 <sup>A</sup>	83,1682±15,5604
CANELO	83.44±10.720 <sup>B</sup>	94,9013±4.529 <sup>A</sup>	96,9350±2.730 <sup>A</sup>	96,8939±1.361 <sup>A</sup>	89,7902±15,9929
GuemgoumRkhem	82.86±11.056 <sup>A</sup>	63,9075±10.907 <sup>A</sup>	71,8885±6.476 <sup>A</sup>	69,4130±8.755 <sup>A</sup>	68,6605±13,1584
BRAK	66,1595±7.811 <sup>A</sup>	79,7041±6.426 <sup>A</sup>	68,4593±9.438 <sup>A</sup>	64,9348±16.383 <sup>A</sup>	69,8144±10,9960
T.Polox	79,4823±4.797 <sup>A</sup>	82,2756±5.317 <sup>A</sup>	82,5634±11.882 <sup>A</sup>	81,8085±17.756 <sup>A</sup>	81,5324±9,6914
Icasyrl/3/Gcn	96,7209±3.765 <sup>A</sup>	97,6787±1.915 <sup>A</sup>	93,3492±1.502 <sup>A</sup>	95,8124±0.505 <sup>A</sup>	95,8903±2,5542
Icasyrl/3/Bcr	94,5836±3.457 <sup>A</sup>	97,1581±1.449 <sup>A</sup>	93,9047±5.283 <sup>A</sup>	97,1104±2.872 <sup>A</sup>	95,6892±3,3868
Amedakull	81,7262±12.621 <sup>A</sup>	78,5500±9.538 <sup>A</sup>	79,5373±4.881 <sup>A</sup>	84,758±3.821 <sup>A</sup>	77,2602±14,4554
Terbol	67,9157±4.614 <sup>A</sup>	62,8516±5.849 <sup>A</sup>	88,2477±11.587 <sup>B</sup>	85,4276±9.503 <sup>B</sup>	76,1107±13,4548

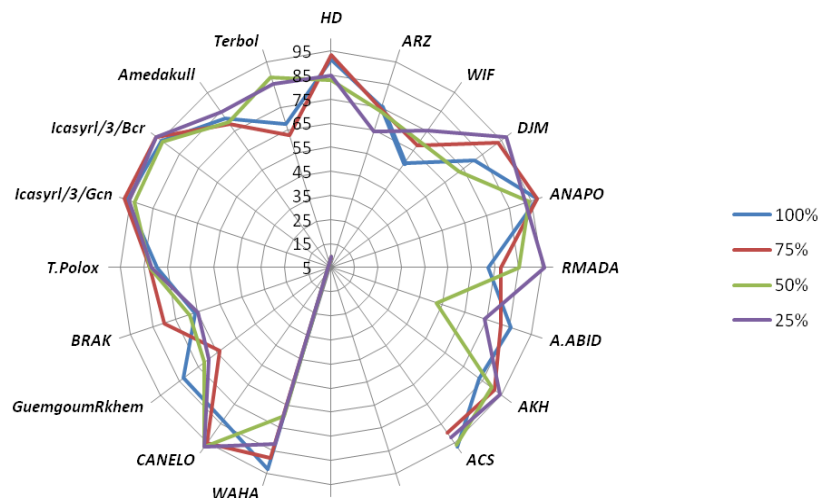


Figure 46 : Transgression de l'intégrité cellulaire de 9 variétés de blé dur et 9 variétés de blé tendre.

**\*\* Taux de chlorophylle**

Le taux de la chlorophylle totale diminue corrélativement au fil de degré de stress hydrique chez les différents génotypes étudiés. Les valeurs moyennes du contenu en chlorophylle varient de (1,1972±0,1553) valeur minimale mesurée chez le génotype Icasyrl/3/gcn, à (1,6444±0,3397) valeur maximale enregistré chez le génotype WIFAK, avec une moyenne globale de l'ordre de (1,4034±0,259).

Sous conditions de bonne alimentation hydrique, on note que les valeurs du taux de la chlorophylle totale diffèrent selon les variétés ; Les variétés ARZ (1,8556±0.380<sup>B</sup>), DJM (1,7667±0.116<sup>B</sup>), Anapo (1,7333±0.186<sup>B</sup>), GuemgoumRkhem (1,8778±0.164<sup>B</sup>), T. Polox (1,7889±0.0474 <sup>B</sup>) et Terbol (1,9000±0.233<sup>C</sup>) représentent les TCT les plus élevés unité de SPAD, par contre les variétés RMADA et Amedakull représentent les TCT les plus faibles avec (1,4000±0.176 <sup>A</sup>) et (1,3000±0.290 <sup>AB</sup>) unité de SPAD ; respectivement (Tableau 30, Figure 47).

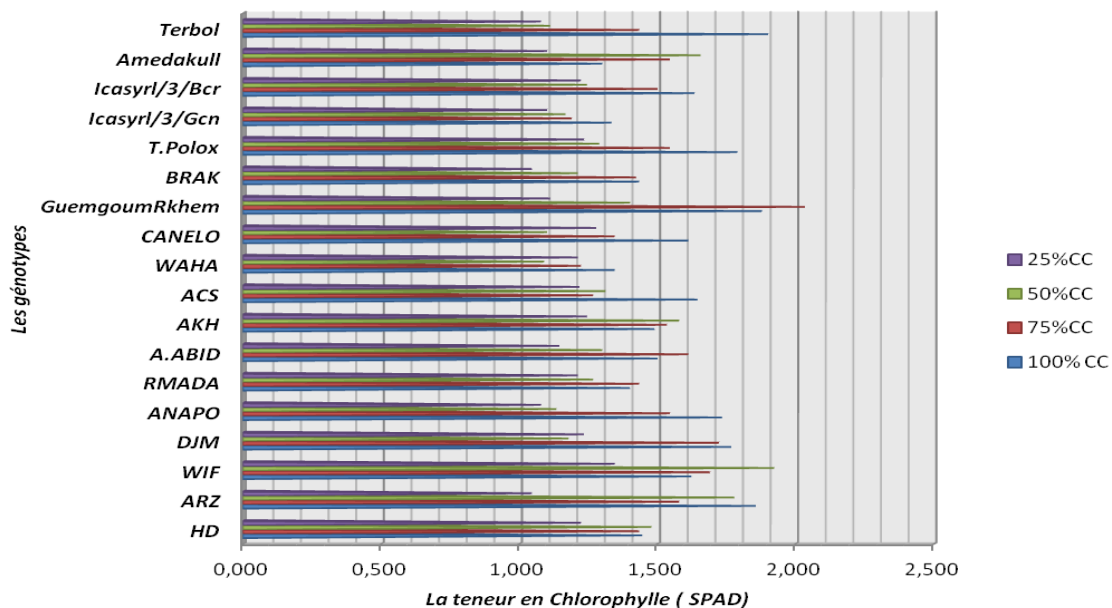
**Tableau 30 : Moyennes du taux de chlorophylle et leurs groupes homogènes.**

Taux de chlorophylle (CHL, Unité de SPAD) / Stress hydrique (CC)					
Génotype	100%	75%	50%	25%	MOYENNE
HD	1,4444±0.051 A	1,4333±0.208 A	1,4778±0.237 A	1,2222±0.077 A	1,394±0,175
ARZ	1,8556±0.380 B	1,5778±0.250 B	1,7778±0.334 B	1,0444±0.051 A	1,564±0,409
WIF	1,6222±0.117 A	1,6889±0.343 A	1,9222±0.422 A	1,3444±0.278 A	1,6444±0,3397
DJM	1,7667±0.116 B	1,7222±0.310 B	1,1778±0.051 A	1,2333±0.145 A	1,4750±0,3226
ANAPO	1,7333±0.186 B	1,5444±0.278 B	1,1333±0.088 A	1,0778±0.077 A	1,372±0,325
RMADA	1,4000±0.176 A	1,4333±0.145 A	1,2667±0.058 A	1,2111±0.051 A	1,3278±0,1406
A.ABID	1,5000±0.120 BC	1,6111±0.102 C	1,3000±0.186 AB	1,1444±0.084 A	1,3889±0,2176
AKH	1,4889±0.171 B	1,5333±0.100 B	1,5778±0.107 B	1,2444±0.077 A	1,4611±0,1687
ACS	1,6444±0.211 B	1,2667±0.058 A	1,3111±0.077 A	1,2167±0.017 A	1,3597±0,2014
WAHA	1,3444±0.227 A	1,2222±0.135 A	1,0889±0.069 A	1,2111±0.083 A	1,2167±0,1541
CANELO	1,6111±0.309 A	1,3444±0.083 AB	1,1000±0.033 B	1,2778±0 .150 AB	1,3333±0,2445
GUEMGOURMKHEM	1,8778±0.164 B	2,0333±0.260 B	1,4000±0.115 A	1,1111±0.069 A	1,6056±0,4109
BRAK	1,4333±0.240 B	1,4222±0.070 B	1,2111±0.102 AB	1,0444±0.050 A	1,2778±0,2052
T.POLOX	1,7889±0.0474 B	1,5444±0.271 AB	1,2889±0.083 AB	1,2333±0.033 A	1,4639±0,3304
ICASYRL/3/GCN	1,3333±0.230 A	1,1889±0.154 A	1,1667±0.088 A	1,1000±0.067 A	1,1972±0,1553
ICASYRL/3/BCR	1,6333±0.100 B	1,5000±0.088 B	1,2444±0.167 A	1,2222±0.083 A	1,4000±0,2060
AMEDAKULL	1,3000±0.290 AB	1,5444±0.096 B	1,6556±0.315 B	1,1000±0.057 A	1,4000±0,2940
TERBOL	1,9000±0.233 C	1,4333±0.115 B	1,1111±0.051 A	1,0778±0.019 A	1,3806±0,3633

Toutes les variétés présentent une diminution de taux de chlorophylle au niveau 25 % CC par rapport aux variétés WIFAK, RMADA, WAHA et Icasyl/3/Gcn qui présentent des valeurs proches de celles des témoins.

On remarque dans ces résultats que la plus grande valeur de ICC est enregistrée chez le génotype WIFAK et CANELO sous stress sévère (25% CC) avec (ICC=1,3444±0.278<sup>A</sup> et ICC= 1,2778±0 .150<sup>AB</sup>) ; alors que la plus faible valeur (1,0444±0.051<sup>A</sup>) est enregistrée chez les génotypes ARZ et BRAK. Il en résulte que toutes les variétés sous régime de stress hydrique sévère (25% CC) ont enregistrées une diminution importante en teneurs de chlorophylles, comparativement au témoin (Waha) (Figure 53). La réduction des teneurs en

chlorophylle la plus importante a été notée chez les variétés ARZ, GuemgoumRkhem et TERBOL avec ( $ICC=1,0444\pm 0.051^A$ ), ( $ICC= 1,1111\pm 0.069^A$ ) et ( $ICC=1,0778\pm 0.019^A$ ) par rapport aux témoins successifs ( $1,8556\pm 0.380^B$ ) ( $1,8778\pm 0.164^B$ ) et ( $1,9000\pm 0.233^C$ ).



**Figure 47 :** Transgressions de la chlorophylle chez les variétés de blé tendre et blé dur étudiées.

Ces résultats, sont en accord ceux de (Guerfel et al., 2009 ; Ghobadi et al., 2011 ; Wang et al., 1997), qui ont notés que pour l’ensemble des variétés étudiées, la diminution de la teneur chlorophylle chez des plantes stressées étant l'une des causes majeures de la réduction de la croissance et de la productivité. Cette réduction peut être attribuée à une dégradation enzymatique de la chlorophylle suite à la fermeture des stomates et la faible disponibilité en eau (Sassi et al., 2012). Les plantes de blé soumise à un stress hydrique réagissent par une baisse de leur teneur en chlorophylle totale qui peut être dû à une dilution suite au maintien d’une teneur relative en eau élevée. Cette baisse est d'autant plus importante que l'intensité du stress est plus accentuée (Bousba, 2012). Ces résultats confirment les observations de Bousba et al., (2009) et Siakhène, (1984) qui montrent que le manque d'eau induit une chute de la teneur en chlorophylle dans les feuilles. L’augmentation des teneurs en chlorophylle totale est la conséquence de la réduction de la taille des cellules foliaires sous l’effet d’un stress hydrique qui engendre une plus grande concentration. La quantité de chlorophylle des feuilles peut être influencée par beaucoup de facteurs tels que l’âge des feuilles, la position des feuilles et les facteurs environnementaux tels que la lumière, la température et la disponibilité en eau (Hikosaka et al., 2006).

**\* Variation des paramètres biochimiques**

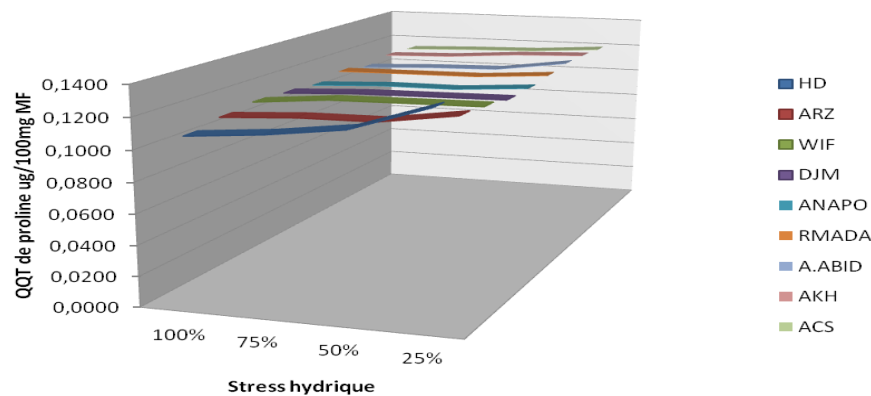
**\*\* Proline**

La comparaison entre l'évolution de la teneur en proline des 18 variétés de blé étudiées a montré que la teneur en proline varie entre (0,1192±0,0086) mesurée chez le génotype T.Polox et (0,1133±0,0019) enregistré chez le génotype Icasyl/3/Gcn avec une moyenne globale de l'ordre de (0,1159±0,0033). En condition de bonne alimentation hydrique, on constate que les teneurs en proline restent faibles et relativement proches d'un génotype à un autre, avec un maximum de (0,1144±0,093<sup>A</sup>), (0,1143±0,018<sup>A</sup>), (0,1144±0,018<sup>A</sup>) et (0,113491±0,004<sup>A</sup>) µg/100mg de MF enregistré chez les génotypes RMADA et AKH ; GuemgoumRkhem et Waha et un minimum (0,1075±0,031<sup>A</sup>) (0,1096±0,016<sup>A</sup>) µg/100mg de MF noté chez les génotypes HD et Terbol. La variation du taux de proline sous différents niveaux de stress hydrique montre l'évolution des teneurs en proline enregistrées pendant et après l'application du stress hydrique. Dans le premier niveau du stress hydrique 75%CC, on remarque que les différents génotypes testés enregistrent des teneurs en proline très proches des témoins. Les résultats suggèrent que les plantes utilisées n'ont pas encore été affectées par ce niveau de stress hydrique (Figures 48 & 49, Tableau 31).

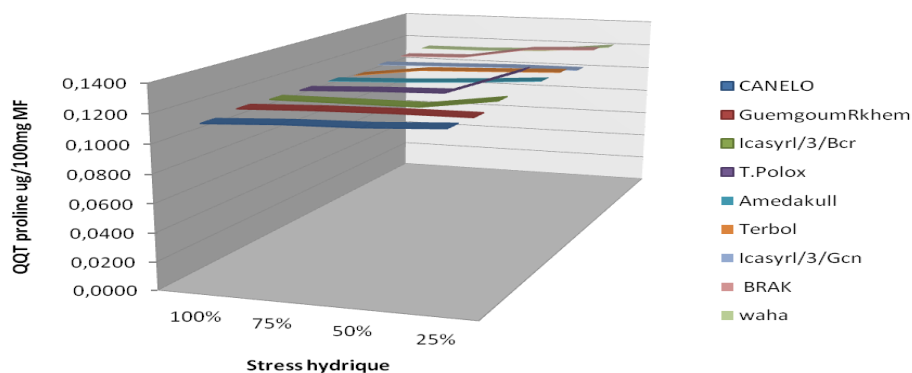
**Tableau 31 : Moyennes de dosage de Proline et leurs groupes homogènes.**

<b>Dosage de proline (µg/100mg de Matière Fraiche) / Stress hydrique (CC)</b>					
<b>Génotypes</b>	<b>100%</b>	<b>75%</b>	<b>50%</b>	<b>25%</b>	<b>MOYENNE</b>
HD	0,1332±0.046 B	0,1173±0.306AB	0,1113±0.031A	0,1075±0.031A	0,1173±0,0098
ARZ	0,1207±0.059B	0,1140±0.016A	0,1137±0.100A	0,1112±0.020A	0,1149±0,0035
WIF	0,1187±0.109A	0,1182±0.105A	0,1176±0.061A	0,1136±0.050A	0,1170±0,0020
DJM	0,1156±0.052A	0,1151±0.049A	0,1146±0.056A	0,1125±0.038A	0,1145±0,0012
ANAPO	0,1161±0.094A	0,1130±0.020A	0,1129±0.055A	0,1109±0.020A	0,1133±0,0019
RMADA	0,1184±0.068A	0,1152±0.037A	0,1149±0.074A	0,1144±0.093A	0,1157±0,0016
A.ABID	0,1207±0.111B	0,1141±0.032A	0,1131±0.027A	0,1111±0.034A	0,1148±0,0036
AKH	0,1204±0.080A	0,1189±0.117A	0,1156±0.020A	0,1143±0.018A	0,1173±0,0025
ACS	0,1192±0.044A	0,1162±0.085A	0,1151±0.125A	0,1135±0.015A	0,1160±0,0021
CANELO	0,1186±0.095A	0,1160±0.069A	0,1150±0.021A	0,1127±0.030A	0,1156±0,0021
GuemgoumRkhem	0,1173±0.019B	0,1171±0.033B	0,1161±0.012AB	0,1144±0.018A	0,1162±0,0012
Icasyl/3/Bcr	0,1205±0.072B	0,1134±0.020A	0,1134±0.060A	0,1132±0.002A	0,1151±0,0031
T.Polox	0,1158±0.063A	0,1145±0.014A	0,1340±0.416A	0,1124±0.028A	0,1192±0,0086
Amedakull	0,1198±0.028B	0,1165±0.065AB	0,1139±0.034A	0,1123±0.010A	0,1156±0,0028
Terbol	0,1195±0.062B	0,1177±0.012B	0,1161±0.131AB	0,1096±0.016A	0,1157±0,0037
Icasyl/3/Gcn	0,1143±0.004A	0,1142±0.074A	0,1130±0.006A	0,1118±0.035A	0,1133±0,0010
BRAK	0,1246±0.033B	0,1225±0.102B	0,1139±0.008A	0,1127±0.015A	0,1184±0,0052
waha	0,1208±0.006B	0,1156±0.074AB	0,1138±0.035A	0,113491±0.004A	0,1159±0,0029

Dans les conditions d'irrigation 50%CC, la plupart des variétés présentent des teneurs en proline plus ou moins proches de celles des témoins 100%CC et 75%CC, sauf les variétés Waha ( $0,1156\pm 0.074AB$ ), Guemgoum Rkhem ( $0,1171\pm 0.033B$ ), BRAK ( $0,1225\pm 0.102B$ ), Amedakull ( $0,1165\pm 0.065AB$ ) et HD ( $0,1173\pm 0.306AB$ ) qui présentent une augmentation de teneur en proline sous régime hydrique (50% CC). Sous conditions de stress sévère (25 % de CC), on note une suite d'augmentation de la teneur en proline qui est estimée à ( $0,1332\pm 0.046B$ ), ( $0,1207\pm 0.059B$ ), ( $0,1207\pm 0.111B$ ), ( $0,1173\pm 0.019B$ ) et ( $0,1205\pm 0.072B$ ), ( $0,1198\pm 0.028B$ ), ( $0,1195\pm 0.062B$ ), ( $0,1246\pm 0.033B$ ) et ( $0,1208\pm 0.006B$ ) chez les géotypes HD, ARZ, A.ABID, Guemgoum Rkhem, Icasyl/3/Bcr/, Amedakull, Terbol, BRAK et Waha. Parallèlement à cette augmentation, une stabilité dans la teneur en proline a été enregistrée chez les autres variétés pour le 4<sup>ème</sup> niveau du stress hydrique par rapport à leurs témoins. Ce résultat est en accord avec ceux de Monneveux et Nemmar, (1987), Bellinger *et al.*, (1991), Gorham, (1993), Zerrad *et al.*, (2008), Cechin *et al.*, (2006) et Mouellef, (2010). Selon Wilfred, (2005), la capacité d'accumuler la proline chez les plantes est un facteur variétal et un signe de tolérance au stress hydrique. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par plusieurs chercheurs. En effet, Monneveux et Nemmar, (1987) montrent une accumulation très importante de proline chez *T. durum* par l'effet de stress hydrique. Plusieurs auteurs montrent que l'augmentation de la quantité de proline est en corrélation positive avec le degré du stress hydrique. En effet, la teneur en proline est plus élevée en cas de déficit hydrique et en particulier, chez les géotypes les plus résistants à la sécheresse (Slama, 2002). Enfin, les quantités de proline accumulées semblent pouvoir être reliées au niveau de tolérance du géotype. Protsenko *et al.*, (1968) et Monneveux, (1991) observent chez le blé que les teneurs en arginine et en proline sont plus élevées, en cas de déficit hydrique, chez les variétés tolérantes. Singh *et al.*, (1973) et Monneveux, (1991) notent également, chez l'orge cette fois, que l'accumulations de proline est plus élevée chez les variétés tolérantes. Ces résultats suggèrent l'existence d'une connexion vraisemblable entre les voies de biosynthèse des pigments chlorophylliens et la proline. Une compétition entre ces deux composés sur leur précurseur commun, le glutamate, peut être à l'origine de cette évolution (Reddy et Veeranjanyulu, 1991 ; Douib, 2013) (Figure 48 ; 49).



**Figure 48 :** Variation de la teneur en proline chez les variétés de blé tendre soumises aux différents traitements de stress hydrique.



**Figure 49 :** Variation de la teneur en proline chez les variétés de blé dur soumises aux différents traitements de stress hydrique.

**\*\* Teneur en sucres solubles en fonction de l'intensité du stress hydrique**

La comparaison entre l'évolution de la teneur en sucre des 18 variétés de blé étudiées a montré que la teneur en sucre varie entre  $(2,1540 \pm 0,4925)$  et  $(0,9573 \pm 0,2197)$  avec une moyenne globale de l'ordre de  $(1,4139 \pm 0,3534)$ .

Les taux de sucre soluble les plus élevées chez les témoins (100 % CC) sont notées chez les variétés ACS  $(1.4762 \pm 0.046^A)$ , AKH  $(1.406 \pm 0.020^A)$  et CANELO  $(1.3806 \pm 0.046^A)$   $\mu\text{g}/100\text{mg}$  de MF ; alors que les valeurs les plus faibles sont exprimées par les génotypes RMADA  $(0,7372 \pm 0.007^A)$  A. ABID  $(0,7888 \pm 0.020^A)$  Terbol  $(0,7058 \pm 0.108^A)$  Icasylr/3/Gcn  $(0,881 \pm 0.309^B)$   $\mu\text{g}/100\text{mg}$  de MF. Dans les niveaux de stress hydrique 75 % CC et 50 % CC, on remarque que la plupart des génotypes enregistrent des teneurs en sucre soluble plus ou moins proches de celles des témoins par contre les autres génotypes : RMADA  $(0,8025 \pm 0.017^{AB})$   $(1.1121 \pm 0.102^{BC})$ , A.ABID  $(0,9194 \pm 0.049^{AB})$   $(1.046 \pm 0.065^B)$ , ACS  $(1.8306 \pm 0.149^{AB})$   $(2.0821 \pm 0.077^B)$ , BRAK  $(1.1758 \pm 0.121^A)$   $(1,3379 \pm 0.069^{AB})$ , T.Polox

(1.5306±0.050<sup>AB</sup>) (1.5681±0.138<sup>B</sup>) et Icasyl/3/Gcn (1.4302 ±0.017<sup>A</sup>) (1,4399±0.017<sup>AB</sup>), on note une augmentation dans la teneur en sucre par rapport à leurs témoins (0,7372±0.007<sup>A</sup>), (0,7888±0.020<sup>A</sup>), (1.4762±0.046<sup>A</sup>), (1.1533±0.002<sup>AB</sup>), (0,9985±0.055<sup>A</sup>) et (0,881±0.309<sup>B</sup>) respectivement.

Au niveau du stress hydrique (25 % de CC), on note une forte augmentation dans la teneur en sucre enregistrés chez les génotypes : HD, RMADA, A.ABID, ACS, Icasyl/3/Gcn et Amedakull avec : (1.7443±0.074<sup>B</sup>), (1.1774±0.101<sup>C</sup>), (1.1379±0.043<sup>B</sup>), (2.965±0.185<sup>C</sup>), (1.729±0.040<sup>AB</sup>) et (1.4411±0.057<sup>BC</sup>) ; par rapport à leurs témoins successifs (1.09494 ±0.028<sup>A</sup>), (0,7372±0.007<sup>A</sup>), (0,7888±0.020<sup>A</sup>), (1.4762±0.046<sup>A</sup>), (0,881±0.309<sup>B</sup>) et (0,9025±0.109<sup>AB</sup>) (Tableau 32, Figures 50 & 51).

L’analyse des sucres solubles révèle que, d’une manière générale, les génotypes traités par le stress ont une quantité plus importante de sucres solubles. En fait, les sucres solubles sont considérés comme étant des osmoprotecteurs, des indicateurs biochimiques de tolérance au stress hydrique. Les variétés ayant accumulé des teneurs élevées en sucres sont supposées être celles qui résistent le mieux au stress (Hacini et Brini, 2012).

**Tableau 32:** Moyennes de la teneur en sucres soluble et leurs groupes homogènes.

Teneur en sucres solubles (µg/100 mg de Matière Fraiche) / Stress hydrique (CC)					
Génotypes	100%	75%	50%	25%	MOYENNE
HD	1.09494±0.028A	1.2073±0.122A	1.2307±0.023A	1.7443±0.074B	1,3192±0,2896
ARZ	1.1904±0.129A	1.2178±0.036A	1.56690±0.144A	2.0257±0.494A	1,5002±0,3900
WIF	1.1541±0.132A	1.4193±0.026A	1.4621±0.038A	1.4734±0.028A	1,3772±0,15056
DJM	0.9775±0.122A	1.0678±0.098A	1.2524±0.078A	1.3548±0.315A	1,1631±0,1715
ANAPO	0,8993±0.040A	1.1009±0.080A	1,608±0.043A	2.3506±0.679A	1,4897±0,6468
RMADA	0,7372±0.007A	0,8025±0.017AB	1.1121±0.102BC	1.1774±0.101C	0,9573±0,2197
A.ABID	0,7888±0.020A	0,9194±0.049AB	1.046±0.065B	1.1379±0.043 B	0,9730±0,1520
AKH	1.406±0.020A	1.5318±0.134A	1.8717±0.319A	2.037±0.213A	1,7116±0,2928
ACS	1.4762±0.046A	1.8306±0.149AB	2.0821±0.077B	2.965±0.185C	2,0885±0,63501
WAHA	1.1097±0.273A	1.3577±0.464A	2.0087±0.302 A	4.1398±0.046A	2,1540±0,4925
CANELO	1.3806±0.046A	1.4072±0.024A	1.4278±0.089A	1.7314±0.106A	1,4868±1,3771
GuemgRkhem	1.2282±0.021A	1.3161±0.013A	1.3863±0.192A	1.4134±0.038A	1,3361±0,1642
BRAK	1.1533±0.002AB	1.1758±0.121A	1,3379±0.069AB	1.4542±0.091B	1,2799±0,2252
T.Polox	0,9985±0.055A	1.5306±0.050AB	1.5681±0.138B	2.0821±0.180B	1,5448±0,1414
Icasyl/3/Gcn	0,881±0.309B	1.4302±0.017A	1,4399±0.017AB	1.729±0.040AB	1,3701±0,1321
Icasyl/3/Bcr	1.0775±0.109A	1.0807±0.085A	1.2137±0.000A	1.3556±0.024A	1,1819±0,0828
Amedakull	0,9025±0.109AB	1.0702±0.086C	1.1186±0.024A	1.4411±0.057BC	1,1331±0,4427
Terbol	0,7058±0.108A	1.3371±0.163A	1.7096±0.074A	1.7834±0.002A	1,3840±0,3542
<b>MOYENNE</b>	1,41391±0,3534				

Selon Kameli et Lösel, (1996) et Benderradji et al., (2016), les sucres sont considérés comme de bons osmorégulateurs qui peuvent jouer un rôle important dans l’ajustement osmotique et l’adaptation des plantes au stress osmotique. Cette augmentation peut être due au rôle osmoprotecteur des sucres solubles contre la déshydratation des cellules par maintien de l’équilibre de la force osmotique en gardant la turgescence et le volume cytosolique aussi élevé que possible et par une préservation de l’intégrité membranaire dans les organes desséchés ainsi qu’une protection des protéines (Darbyshire, 1974).

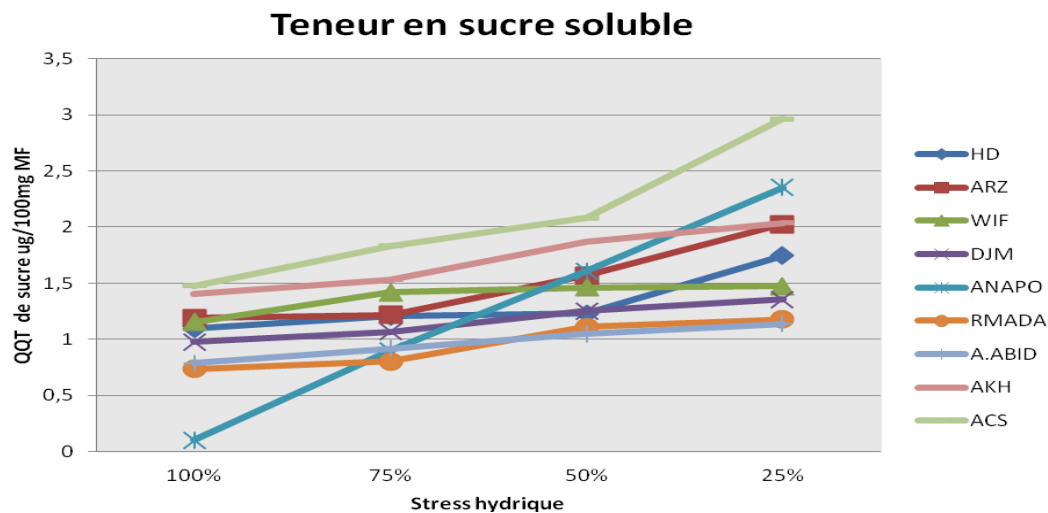


Figure 50 : Variation de la teneur en Sucre chez les variétés de blé tendre soumises aux différents traitements de stress hydrique.

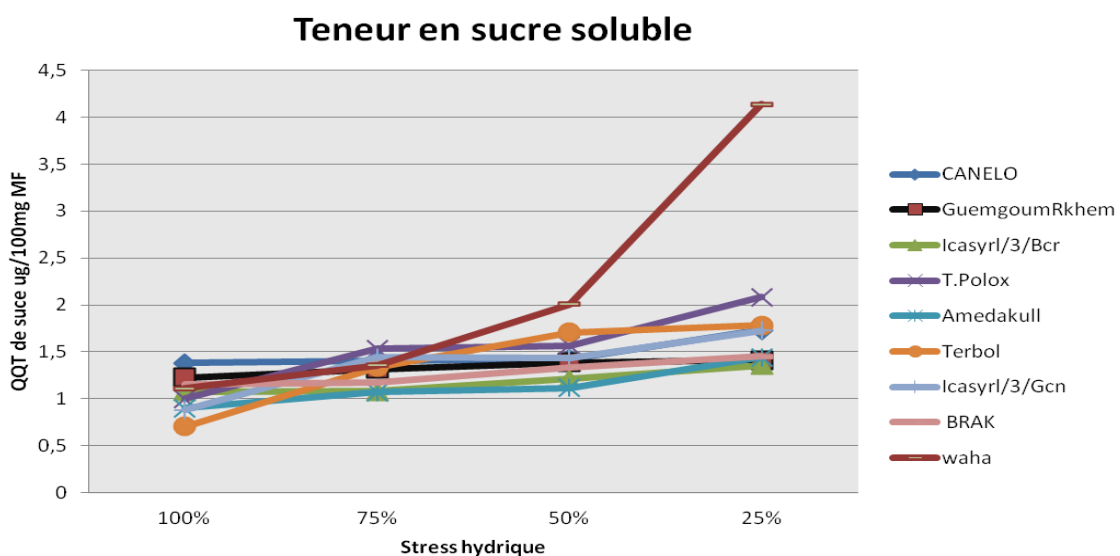


Figure 51 : Variation de la teneur en Sucre chez les variétés de blé tendre soumises aux différents traitements de stress hydrique.

## **Chapitre III : Résultats et discussion**

### **III. 3. Analyse de l'expression des gènes candidats *HKT* et *DHN* chez les variétés de blé (*Triticum sp.*) sous stress salin et hydrique**

#### **III. 3. 1. Effet du stress salin sur l'expression des gènes *DHN* et *HKT* chez le blé**

Une analyse par RT-PCR des deux gènes candidats *HKT* et *DHN* a été réalisée sur les feuilles des 18 génotypes de blé soumises à un stress salin de 150mM NaCl. Le choix de ces deux gènes candidats est basé sur la disponibilité de leurs séquences génomiques au niveau des banques de données NCBI et leurs rôles dans la tolérance aux stress salin. Nous avons utilisé le gène actine comme gène de référence pour évaluer le taux des ARNm des 18 génotypes de blé sous différentes conditions de stress.

##### **III. 3. 1. 1. Accumulation des transcrits *DHN***

En conditions contrôles, nous avons remarqué une forte accumulation des transcrits *DHN* pour les génotypes HD (V1), Arz (V2), Wifak (V3), Djemla (V4), ANAPO (V5) et Akhamoukh (V8) de blé tendre. Pour le blé dur et en conditions contrôles aussi, une accumulation importante des transcrits *DHN* est observée chez les variétés Canelo9.1/Snitan/10/Plata\_10 /6/ Mque /4/ Usda537 (V11), GuemgoumRkhem/4/Stj3 //Bcr/Lks4/3/Ter-3 (V12) et une accumulation moins importante chez la variété (Icasyrl/3/Gcn//Stj /M rb3) (V15). Les autres variétés de blé tendre et dur sont moyennement exprimées et dans certains cas faiblement exprimés (Figure 52). Sous condition de stress salin, le gène *DHN* montre une expression plus importante en comparaison aux conditions contrôles (Figure 52). Cette expression est presque la même pour toutes les variétés testées de blé tendre, alors que pour les variétés de blé dur, l'accumulation est très marquée chez les variétés WAHA (V10); CANELO\_9.1/SNITAN/10/PLATA\_10/6/MQUE/4/USDA537(V11);Icasyrl/3/Bcr/Sb15//Turartu /4/13376/Bcrchl /Ossll /Stj5 (V16) et Amedakull/TdicoSyrCol//Loukos (V17) et moins intense pour les variétés : GuemgoumRkhem/4/Stj3 //Bcr/Lks4/3/Ter-3 (V12) ; Brak // Ajaia\_8/3/ Canelo\_8 //Sora// (V13) et Icasyrl/3/Gcn//Stj /M rb3 (V15). Ces résultats montrent que sous condition de stress salin, la plante répond par expression du gène *DHN* qui va jouer le rôle d'une protéine chaperonne pour protéger les enzymes du système cellulaire contre l'effet du stress salin, éviter l'endommagement des acides nucléiques et aussi jouer un rôle dans la séquestration ioniques des ions Na<sup>+</sup> dans la vacuole.

### **III. 3. 1. 2. Accumulation des transcrits *HKT***

En ce qui concerne le gène *HKT*, les résultats montrent que les transcrits de ce gène chez le blé tendre sont bien exprimés en conditions contrôles pour les génotypes : HD (V1) Djemla (V4), Rmada (V6), et Ain Abid (V7) et moyennement exprimé pour la variété ANAPO (V 5). Les autres génotypes sont faiblement exprimés (transcrits moins intenses). Pour les génotypes de blé dur, l'expression de *HKT* est plus importante pratiquement chez l'ensemble des variétés en comparaison à ceux du blé tendre (Figure 52).

En condition de stress salin, les transcrits *HKT* sont exprimés uniquement pour les variétés HD (V1), Wifak (V3), Rmada (V6), Ain Abid (V7) et moyennement exprimé chez la variété ANAPO (V5). Dans les mêmes conditions de stress salin et chez les variétés de blé dur, on enregistre la forte expression chez Waha (V10) et Icasyl/3/Bcr/Sb15//*Triticum urartu* /4/13376/ Bcrchl /Ossl /Stj5 (V16); et à moindre dégré chez la variété CANELO\_9 .1/SNITAN/10/PLATA\_10/6/MQUE/4/USDA537 (V11) (Figure 52). L'absence d'expression du gène *HKT* dans les autres variétés n'est pas due à l'absence de ces gènes *HKT* dans le génome des variétés de blé mais essentiellement liées au stade de développement, la nature du tissu végétatif et l'intensité du stress.

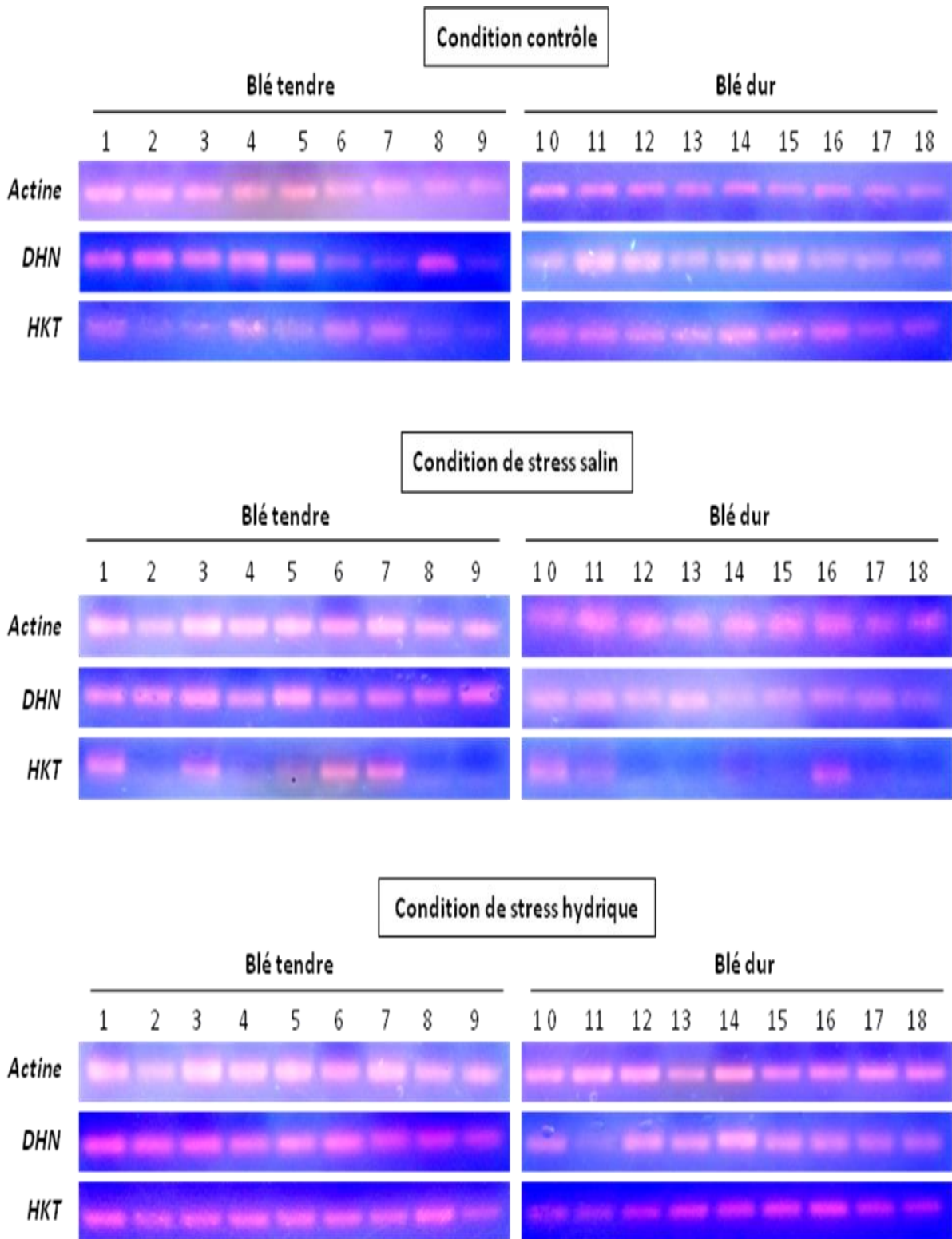
### **III. 3. 2. Effet du stress hydrique sur l'expression des gènes *DHN* et *HKT***

#### **III. 3. 2. 1. Accumulation des transcrits *DHN***

De la même manière que le stress salin, nous avons étudié l'effet du stress hydrique (15% PEG6000) sur l'accumulation des transcrits *DHN* chez les 18 génotypes de blé (*Triticum sp.*). L'analyse des résultats montre qu'il y a une forte accumulation des transcrits *DHN* chez toutes les variétés de blé tendre et de blé dur sauf que pour la variété. CANELO\_9 .1/SNITAN/10/PLATA\_10/6/MQUE/4/USDA537 (V11) (Figure 52).

#### **III. 3. 2. 2. Accumulation des transcrits *HKT***

Il est à signaler la présence d'une accumulation très importante des transcrits *HKT* chez l'ensemble des variétés de blé dur et tendre (Figure 52).



**Figure 52.** Etude du niveau d’expression des gènes *DHN* et *HKT* de la feuille étendard des 9 variétés de blé dur et 9 variétés de blé tendre en absence et en présence du stress salin et hydrique.

Tous ces résultats montrent que le gène *HKT* présente un comportement similaire à celui sous stress hydrique chez les variétés étudiées de blé tendre comparativement aux conditions contrôlées. Cependant, la variété ANAPO (V9) présente une légère faiblesse d'expression des transcrits du DHN ; alors que sous stress salin, l'expression est beaucoup plus prononcée pour les transcrits du DHN chez le blé tendre précisément comparativement au blé dur par contre les transcrits du gène *HKT* s'accumulent à des niveaux plus élevés dans les variétés HD (V1), Wifak (V3), Rmada (V6) et Ain Abid (V7) du blé tendre ; et WAAHA (V10) et Icasylr1/3/Bcr/Sb15//*Triticum urartu* /4/13376/ Bcrchl /Ossll /Stj5(V16) du blé dur. Tandis que pour le gène *DHN* il est à signaler que l'expression est presque similaires chez la majorité des génotypes de blé (dur et tendre) (Figure 52).

L'expression de ces deux gènes *DHN* et *HKT* reste, toutefois, dépendante du génotype utilisé, de l'intensité et la durée du stress mise en œuvre et de la nature du stress (Ergen et al., 2009). Cependant, l'importance et la rapidité de la réponse cellulaire au stress dépend de la durée et de l'intensité du stress (Yamaguchi-Shinozaki et al., 2002). L'effet génotypique (variétés tolérantes et sensibles) est donc associé à une modification de l'expression des gènes. L'action du sel dans la plante commence par l'accumulation des ions au niveau des différents compartiments à des doses toxiques avant d'affecter le fonctionnement de la plante.

Pour la plupart des plantes, les ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  sont exclus par les racines au fur et à mesure que l'eau est absorbée du sol (Benyahmed, 2013). Dans les conditions de salinité, la plante absorbe et transporte  $\text{Na}^+$  dans ses organes aériens. Les feuilles les plus âgées présentent une surcharge en  $\text{Na}^+$ , contrairement aux feuilles jeunes. Cette rétention de  $\text{Na}^+$  dans les étages inférieurs pourrait représenter un mécanisme de protection des feuilles jeunes contre les effets toxiques de  $\text{Na}^+$  (Wolf et al., 1991 ; Durand et Lacan, 1994 ; Bouaouina et Hajji, 2000). Des résultats comparables ont été obtenus sur les feuilles d'autres céréales cultivées en présence du NaCl, comme le triticales, et l'orge (Bounaqba, 1998 ; Vadel, 1999 ; Bouaouina et Hajji, 2000).

Sous conditions de stress salin, le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) se montre généralement plus tolérant que le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Ceci s'explique par le fait que le blé tendre se montre plus efficace en termes d'exclusion des ions  $\text{Na}^+$  (Colmer et al., 2005). En présence de stress salin, les plantes ont tendance à sélectionner certains ions, cette sélectivité est généralement liée aux mécanismes d'exclusion des ions  $\text{Na}^+$ . Une forte sélectivité  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  a été démontrée au niveau du plasmalemme du cortex racinaire et dans le xylème des plantes les plus tolérantes au NaCl (Taleisnik & Grunberg, 1994 ; Benkhaled et al., 2007). Le maintien de ce rapport  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  élevé constitue un mécanisme aidant au bon

déroulement des processus métaboliques sous stress salin (Ashraf et Khanum, 1997 ; Benkhaled et *al.*, 2007). Les effets de la salinité se manifestent par la toxicité directe due à l'accumulation excessive des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  dans les tissus et un déséquilibre de la nutrition minérale dû surtout à des compétitions entre les éléments, tels que le sodium avec le potassium et avec le calcium et le chlorure avec le nitrate et avec le phosphate et aussi avec le sulfate (Soltani et *al.*, 1990 ; Levigneron et *al.*, 1995 ; Djerah et Oudjehih, 2015).

Afin de maintenir son statut hydrique, la plante maintient le sel en mouvement des racines jusqu'aux parties aériennes dont l'augmentation de la teneur en ions de sodium ( $\text{Na}^+$ ) dans les feuilles stimule la fermeture des stomates pour maintenir une rétention hydrique optimale, le  $\text{Na}^+$  reste stocké dans les grandes vacuoles des cellules foliaires ou sera ré-circularisé dans les tissus conducteurs. Toutefois, il est à noter que l'internalisation du  $\text{Na}^+$  dans les vacuoles a un coût métabolique nécessitant le pompage actif des protons ( $\text{H}^+$ ) à l'extérieur de la vacuole (Berthomieu et *al.*, 2003).

Sous salinité, l'expression des gènes *HKT* dans la présente étude est détectée beaucoup plus chez les génotypes Waha (V10) et *Icasyrl/3/Bcr/Sb15//Triticum urartu /4/13376/Bcrchl /Ossll /Stj5* (V16) de blé dur et HD (V1), Rmada (V3), A. Abid (V6) Akhamouk (V7) de blé tendre. Ces résultats suggèrent que les *HKT* assurent le transport des ions  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ , et jouent un rôle plus actif sous conditions de stress salin par la régulation de l'homéostasie du  $\text{Na}^+$ .

Sous condition de stress hydrique l'expression des gènes *DHN* dans la présente étude est détectée pratiquement chez toutes les variétés de blé dur et tendre, mise à part CANELO\_9.1/SNITAN/10/PLATA\_10/6/MQUE/4/USDA537 (V11). Chez le blé dur, il a été bien démontré que les transporteurs sont impliqués dans la tolérance des plantes au stress salin (Ben Amar et *al.*, 2014). Un QTL de tolérance au stress salin, *Nax2*, a été identifié chez *Triticum monococcum*. Ce transporteur est responsable du transport du sodium et joue un rôle majeur dans le mécanisme de leur exclusion (Munns et *al.*, 2012). Ainsi, la tolérance au sel observée parmi certaines variétés du blé testées dans cette étude est probablement due à la récupération des ions  $\text{Na}^+$  du flux transpiratoire et donc en limitant leur ascension vers les parties aériennes de la plante. Il apparait donc que le contrôle du transport d'ions à travers la membrane cellulaire est un facteur déterminant de la tolérance des plantes à la salinité (Volkov, 2015 ; Benderradji et *al.*, 2011). Les essais menés ont permis de mettre en évidence une assez forte variabilité entre les 18 variétés; on a pu classer les variétés de blé étudiées HD, Ain Abid, Rmada et *Icasyrl/3/Bcr/Sb15//Triticum urartu /4/13376/Bcrchl /Ossll /Stj5* ; comme génotypes qui sont les moins affectées par le stress hydrique et salin.

Les résultats de la présente étude a montré que certains génotypes sont plus tolérants au stress hydrique et que d'autres semble plus tolérants au stress salin. Globalement, le blé dur (*Triticum durum*) semble le plus affecté par le stress hydrique que le blé tendre (*Triticum aestivum*) semble le plus affecté par le stress salin.

**CONCLUSION**

**ET**

**PAERSPECTIVE**

## Conclusion et perspectives

Le blé est une céréale importante en termes de consommation dans de nombreux pays du monde. Il sert principalement à la fabrication de semoule, matière première des pâtes alimentaires (Feillet, 2000).

De part la superficie qu'il occupe et la demande qu'il engendre, le blé dur est une culture stratégique pour l'Algérie (Benbelkacem, 2013). Sur une superficie annuelle de 1.5 million d'hectares, la production est faible et très irrégulière variant de 0.42 (1986/87) à 3.2 million tonnes (2016/17). Pour minimiser la dépendance alimentaire, les options se limitent à l'extension des surfaces emblavées, à l'adoption d'un itinéraire technique plus ambitieux (irrigation, fertilisation, désherbage, dates et densités de semis optimales) et la sélection de variétés plus productives et mieux adaptées à des conditions de productions très variables. En effet, la majeure partie des emblavures se trouve sur les hauts plateaux caractérisés par l'altitude, des hivers relativement froids, un régime pluviométrique insuffisant et irrégulier, des gelées printanières fréquentes, et l'apparition du sirocco en fin de cycle. A ces contraintes climatiques, s'ajoutent les contraintes d'ordre technique qui relèvent de l'utilisation de variétés peu productives et des conduites souvent peu ambitieuses. de ce fait, une issue plus prometteuse repose sur l'amélioration génétique des plantes est mise en route pour une meilleure adaptation aux contraintes environnementales (Fellahi, 2017).

Notre travail avait pour objectifs principaux la caractérisation chez le blé (*Triticum sp.*) de divers paramètres spécifiques, d'expression reconnue diverse en fonction de ses variétés et de leur site géo-climatique de culture, à savoir, les caractères morpho-physiologiques, le comportement agronomique, les facteurs biochimiques et génétiques, en association à la tolérance des plantes au stress abiotique.

Les résultats de diverses études s'accordent à préconiser que l'objectif de la sélection des variétés destinées aux zones arides et semi-arides doit se focaliser sur la recherche de la tolérance aux stress abiotiques afin d'arriver à une meilleure adaptation à la variabilité, de nature imprévisible, du milieu de production. Ceci nécessite la caractérisation du milieu de production pour identifier les stress les plus fréquents auxquels la culture est sujette, pour leur trouver une stratégie d'évitement ou une source génétique de tolérance (Adjabi et al., 2007). Une meilleure compréhension des mécanismes physiologiques et génétiques, qui sont à la base de la tolérance à la sécheresse, chez le blé (*Triticum sp.*), et en particulier le blé dur (*Triticum durum* Desf.) est nécessaire pour développer des variétés plus adaptées et plus performantes (Neffar, 2013). La recherche d'une meilleure adaptation à la variation

environnementale est devenue une nécessité pour stabiliser les rendements de ces régions. La variation des rendements est engendrée par la sensibilité de nouveaux cultivars aux divers stress biotiques et abiotiques qui caractérisent le milieu de production (Benmahammed et *al.*, 2010). Le caractère, le plus utilisé en sélection, est le rendement lui-même. Cette sélection directe s'est révélée, le plus souvent, inefficace dans l'identification de génotypes adaptés et tolérants aux stress (Rodrigues et *al.*, 2008). En effet, la réponse des plantes aux divers stress abiotiques est une caractéristique sous contrôle génétique complexe. Elle est déterminée en partie par les propriétés cellulaires (Bajji et *al.*, 2001).

La présente étude révèle la présence d'une variabilité appréciable pour plusieurs caractéristiques agro-morpho-physiologiques qui peuvent être mises à profit dans un programme d'amélioration génétique. Les résultats montrent que, chez les variétés évaluées, les caractères agro-morphologiques présentent des liaisons significatives entre eux à l'inverse des caractères physiologiques qui ne sont pas significativement liés entre eux ni avec les caractères agro-morphologiques.

**La première** partie de l'étude a permis de donner une vue globale des comportements des 25 variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) vis-à-vis du déficit hydrique et de distinguer les variétés les moins affectées par cette contrainte, dont les résultats obtenus suite aux analyses statistiques effectuées ont démontré une large variabilité génotypique pour la majorité des caractères étudiés. Cela suggère la possibilité de sélection de nouveaux cultivars pour ces caractères durant les prochaines générations. Les résultats de deux campagnes (2016/17 et 2017/18) indiquent des différences de performances entre génotypes qui varient selon les campagnes tout en indiquant que les meilleures lignées présentent un rendement qui varie significativement d'une année à l'autre, mettant ainsi en relief, l'effet l'année et l'interaction (génotype x années) comme principaux facteurs responsables de la variation. Il est à signaler que le but principal en amélioration du blé est l'augmentation du rendement grain. Ce but peut être atteint de plusieurs manières, soit directement en sélectionnant pour le rendement grain sur la base du rendement lui-même ou bien sur la base de ses composantes ; soit indirectement en sélection pour la tolérance voire la résistance aux stress biotiques et abiotiques. L'analyse des liaisons entre les variables mesurées chez les génotypes indique que la surface foliaire est liée positivement avec la température du couvert végétal (TCV) et l'intégrité cellulaire (IC%), cela signifie le choix d'une surface foliaire relativement large comme critère de sélection. Alors que la biomasse aérienne est positivement corrélée avec le nombre d'épis (NE), poids de grains par mètre carré (PG/m<sup>2</sup>) et nombre de grains par mètre carré (NG/m<sup>2</sup>). Le rendement en grain RDT est positivement lié avec le nombre d'épis par

plante (NE/P), nombre de grains par épi (NGE), et nombre de grains par mètre carré (NG/m<sup>2</sup>). En effet, le rendement est la résultante de trois composantes principales qui sont le nombre d'épis, celui des grains/épi et le poids du grain (Fellah et *al.*, 2002 ; Benmahammed et *al.*, 2010). Ces composantes se forment à des différentes phases végétatives réparties tout le long du cycle de la plante. Tout déficit hydrique qui affecte la formation d'un ou plusieurs composantes, affecte le rendement. Dans ce cas, une sélection multi-caractères devient nécessaire, d'où l'utilité de conduire l'étude des liaisons entre les variables mesurées et le rendement.

L'analyse en composantes principales (ACP) montre que la productivité est liée à des valeurs élevées pour le rendement grain par plante, le nombre de grains par épi, le poids des épis et la hauteur de la plante ; alors que les caractères d'adaptation sont une biomasse aérienne importante, une surface foliaire réduite, une température du couvert végétal élevée et une faible teneur relative en eau ; pour lesquelles les résultats de la présente étude classent les génotypes Waha (V1), CANELO9.1/SNITAN/10/PLATA\_10/6/MQUE/4/USDA537 (V5), Guemgoum Rkhem/4/Stj3 //Bcr/Lks4/3/Ter-3(V9), Brak //Ajaia\_8/3/Canelo\_8//Sora//(V10), *Triticum Polonicum* / Zenati Bouteille//Inrat69 (V17), Icasyl/3/Gcn//Stj/M rb3 (V18), Icasyl/3/Bcr/Sb15//*Triticum urartu* /4/13376/Bcrchl /Ossll /Stj5 (V21), Amedakull/*Triticum dic* Syr Col//Loukos (V23), et Terbol 97-5/Geruftel2 (V24) suite à leur tolérance des stress et leurs bonnes performances de rendement quelque soit l'environnement.

Le déficit hydrique constitue l'un des principaux facteurs responsable de faibles rendements chez le blé dur. Cependant, l'impact de ce stress abiotique sur la productivité de cette espèce, dépend de son intensité et le temps de sa déclaration. Les génotypes testés présentent une forte variabilité pour ce critère étudié en fonction du déficit hydrique ; celle-ci est imputable, pour une partie, à des effets génétiques ; ainsi à productivité comparable, de grandes différences existent entre les variétés. Par ailleurs, l'expression de l'adaptation et la réaction de chaque génotype est adoptée à la condition hydrique. Néanmoins, tous les génotypes ne réagissent pas de la même manière dans les différents environnements : certains d'entre eux se révèlent particulièrement avantagés ou au contraire défavorisés par certaines conditions culturales faisant varier la disponibilité en eau.

Les résultats obtenus par la réalisation du présent travail indiquent que les génotypes testés influent sur le rendement en grain du blé et l'élaboration de la tolérance dépendent étroitement des conditions d'alimentation hydrique de la plante. Cultivé dans un environnement sec, les variétés de blé dur doivent posséder la capacité de tolérer les stress hydrique et thermique pour pouvoir faire un rendement régulier et d'un niveau acceptable

(Abbassenne et *al.*, 1997). En effet, le déficit hydrique et les températures élevées de fin de cycle de la culture réduisent le rendement grain. Cette réduction est induite par l'avortement des épillets, la stérilité du pollen qui affecte la fertilité de l'épi et le dessèchement du feuillage qui annule le transfert des assimilés vers le grain, affectant le poids de 1000 grains (Bahlouli et *al.*, 2008 ; Fakhri et *al.* 2011). Le développement et la sélection de variétés adaptées à un tel environnement variable, quoique difficile, est nécessaire. Pour ce faire, il est essentiel d'identifier les caractères agro-morpho-physiologiques associés à la tolérance des stress (Maazouz et Bouzerzour, 2017 ; Fellahi et *al.*, 2020). La tolérance ciblée, définie comme étant la capacité génotypique de faire un rendement acceptable sous stress, doit, selon Dolferus et *al.*, (2011) assurer la réduction des dommages oxydatifs (dommages cellulaires) et la protection de l'activité photosynthétique (durée de vie du feuillage et translocation des assimilés stockés dans le col de l'épi). Les caractères comme la hauteur de la plante, le nombre d'épis, la fertilité de l'épi, le poids de 1000 grains, la durée de vie et la surface de la feuille étendard sont autant de traits dont la variation informe au sujet de l'adaptation de la plante au stress (Bahlouli et *al.*, 2008 ; Belkharchouche et *al.*, 2009 ; Chen et *al.*, 2012 ; Fellahi et *al.*, 2020). Le contenu en chlorophylle, la teneur relative en eau, ainsi que la stabilité membranaire sont parmi tant d'autres caractères physiologiques suggérés comme marqueurs de réponse de la plante aux stress (Anjum et *al.*, 2011 ; Hamli et *al.*, 2015 ; Fellahi et *al.*, 2020). Le maintien d'un contenu relatif en eau élevé réduit l'inhibition de l'activité photosynthétique sous conditions de stress. De même, un contenu en chlorophylle élevé est indicateur de la capacité d'accumulation de la matière sèche sous stress oxydatifs causés par les stress hydrique et thermique (Anjum et *al.*, 2011). Dans ce contexte, les résultats de la présente étude montrent des effets campagne, génotype et interaction significatifs pour la plus part des variables mesurées.

**La seconde** partie a permis d'évaluer la réponse de 9 variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.), et 9 variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) à travers l'étude du comportement morpho-physiologique sous stress hydrique. Au niveau de cette expérience, le comportement des 18 génotypes de blé dur et tendre étudiés vis-à-vis du stress hydrique est analysé par une étude morphologique (LR, NR, LE, LF et la surface foliaire SF), physiologique (teneur relative en eau TRE%, L'IC%, et la chlorophylle (CHL) et biochimique (teneur en proline et en sucres solubles µg/100mg de MF).

Les paramètres morpho-physiologiques étudiés chez les 18 génotypes, soumis aux mêmes conditions de stress hydrique ont permis de révéler une variabilité génotypique

importante et différences significatives existent entre les lignées évaluées et le traitement et pour l'interaction entre (Variété x Traitement) pour les variables mesurées.

Concernant la partie souterraine de la palnte, le stress hydrique modéré n'affecte pas sérieusement le nombre des racines des géotypes testés. Cependant, lorsque le stress est sévère, la discrimination entre variétés est très nette ; alors que pour la la partie aérienne, le stress hydrique n'affecte pas sérieusement la longueur de l'épi-cotyle des géotypes testés. Par ailleurs, le test de la longueur de l'épi-cotyle, sous stress sévère, montre que les géotypes Arz, Wifak, Rmada, Akhamouk et Brak sont significativement les meilleurs de tous les géotypes étudiés. La durée de l'application du stress hydrique a provoqué une diminution importante dans la longueur et le nombre des racines. Cette diminution est due probablement à un arrêt de la division et de l'élongation cellulaire au niveau de la racine.

La variété Rmada apporte une valeur plus importante de LF, sous différents niveaux de stress hydrique. L'influence du stress hydrique sur ce paramètre s'est révélée très marquée chez les géotypes Brak et Terbol. La SF présente des valeurs proches entre elles, Tandis que chez les géotypes testés HD, Wifak, Akhamoukh, Acsad981, GuemgoumRkhem, Brak, Icasyl/3/Bcr, Amedakull, et Terbol accusent des diminutions importantes sous régime (25% CC) comparativement aux plantes témoins (100 % CC). Donc, le stress hydrique provoque une multitude d'effets sur le fonctionnement de la plante dont la réduction de l'élongation et de la division cellulaires sont les premiers symptômes, conduisant à la diminution la surface foliaire photosynthétique.

La comparaison entre l'évolution de la teneur relative en eau (TRE %) des 18 variétés de blé étudiées a montré que ce paramètre diminue sous niveaux de stress hydrique (50% et 25% CC) chez la plupart des variétés. Une nette diminution de la teneur relative en eau est observée chez les géotypes : Arz, Wifak, Waha, T. Polox, Icasyl/3/Gcn, et Icasyl/3/Bcr; alors que la variété ANAPO apporte une valeur plus importante de la (TRE%) sous régime hydrique sévère (25 % CC) par rapport à leur témoin.

Dans tous les niveaux de stress hydrique, on remarque que la plupart des résultats enregistrent de l'IC% plus ou moins proches de celles des témoins. Les valeurs enregistrées montrent une augmentation de ce paramètre atteignant jusqu'à 97,73%. Parmi les 18 géotypes étudiés, les variétés Arz, A. Abid et ACS enregistrent des valeurs de dommage cellulaire plus faibles par rapport à leurs témoins ; alors que les valeurs moyennes les plus importantes de ce paramètre sont présentes chez Djemla, Rmada, Akhamouk, CANELO et Terbol au niveau du stress (25% CC).

Le taux de la chlorophylle totale diminue corrélativement au fil de degré de stress hydrique chez les différents génotypes étudiés. Toutes les variétés présentent une diminution de taux de chlorophylle au niveau (25% CC) par rapport aux variétés Wifak, Rmada, Waha et Icasyl/3/Gcn qui présentent des valeurs proches de celles des témoins. La plus grande valeur du taux de chlorophylle est enregistrée chez le génotype Wifak et CANELO en stress sévère (25 % CC); alors que la plus faible valeur est enregistrée chez les génotypes Arz et Brak. Il en résulte que chez toutes les plantes témoins les teneurs en chlorophylles sont restées plus importantes, comparativement à celles des plantes soumises au stress hydrique. La réduction des teneurs en chlorophylle la plus importante a été notée chez les variétés Arz, GuemgoumRkhem et TERBOL par rapport aux témoins.

La capacité d'accumuler la proline chez les plantes est un facteur variétal et un signe de tolérance au stress hydrique. En condition de bonne alimentation hydrique, on constate que les teneurs en proline restent faibles et relativement proches d'un génotype à un autre. La variation du taux de proline sous différents niveaux de stress hydrique montre l'évolution des teneurs en proline enregistrées pendant et après l'application du stress hydrique. Sous conditions de stress sévère, on note une augmentation de la teneur en proline chez les génotypes HD, Arz, Ain Abid, Guemgoum Rkhem, Icasyl/3/Bcr/, Amedakull, Terbol, Brak et Waha. En effet, la teneur en proline est plus élevée en cas de déficit hydrique et en particulier, chez les génotypes les plus résistants à la sécheresse (Slama, 2002).

Sous stress hydrique sévère, on note une forte augmentation dans la teneur en sucre enregistré chez les génotypes : HD, Rmada, Ain Abid, ACS, Icasyl/3/Gcn et Amedakull par rapport à leurs témoins. Donc se sont les meilleurs génotypes qui ont une adaptation à la sécheresse par contre les autres génotypes ne l'ont pas. Les sucres solubles sont considérés par plusieurs auteurs comme de bons osmorégulateurs (Kameli et Losel, 1996 ; Sanchez et *al.*, 1997) qui peuvent jouer un rôle important dans l'ajustement osmotique et l'adaptation des plantes à la sécheresse (Morgan, 1984; Zhang et *al.*, 1999). L'analyse des sucres solubles révèle que, d'une manière générale, les traitements de stress mènent à une quantité plus importante de sucres solubles. En fait, les sucres solubles sont considérés comme étant des osmoprotecteurs, des indicateurs biochimiques de tolérance au stress hydrique. Les variétés ayant accumulé des teneurs élevées en sucres sont supposées être celles qui résistent le mieux au stress (Hacini et Brini, 2012).

L'accumulation de ces osmolytes (sucres et proline) n'est qu'un phénomène d'adaptation à la sécheresse. Ces osmolytes permettent de protéger la plante à maintenir la

turgescence de la cellule et l'intégrité des membranes cellulaires, afin d'assurer ses fonctions physiologiques.

L'étude des valeurs moyennes des caractères analysés par source de variation indique des effets moyens observés entre les paramètres et montrent que les traitements diffèrent fortement pour l'expression de l'ensemble des caractères. Les essais menés ont permis de mettre en évidence une assez forte variabilité entre les 18 variétés ; On a pu classer les variétés de blé étudiées \*Waha, \*Amedakull /Tdico SyrCol//Loukos, \*Icasyrl/3/ Gcn// Stj /Mrb3, \*Brak^ / /AJAIA\_8/3/ CANELO\_8// SORA//, \*GuemgoumRkhem /4/Stj3 // Bcr/Lks4 /3/Ter-3, \*Icasyrl/3/Bcr/Sb15//Turartu /4/13376/Bcrchl /Ossll /Stj5 ,\**Triticum Polonicum* / Zenati Bouteille//Inrat69 ( Blé dur ) et \*HD, \*Ain Abid, Akhamouk, Wifak et Rmada (Blé tendre), comme les génotypes qui sont les moins affectées par le stress hydrique.

Les résultats obtenus indiquent que du point de vu morpho-physiologique et biochimique les cultivars développent différentes stratégies pour contrer le stress hydrique. Ainsi, sous stress modéré, ces cultivars maintiennent un niveau de croissance similaire à celui du témoin irrigué. En revanche, la plupart des variétés se montrent plus sensible au stress hydrique sévère. Les variétés étudiées dans ce présent travail ont montré des comportements et des modes de résistance différents vis-à-vis des contraintes auxquelles elles ont été exposées. Les variétés résistantes se sont caractérisées par la présence de plusieurs mécanismes de résistance, ainsi cette stratégie est efficace pour surmonter les aspects imprévisibles du climat.

**La troisième** partie a été menée au niveau du Laboratoire de Protection et d'Amélioration des Plantes (LPAP) du Centre de Biotechnologie de Sfax (CBS), Tunisie. Une expérimentation portant sur l'étude des stress salin et hydrique a été conduite, avec le même matériel végétal ; elle s'est attachée à la détermination des bases génétiques de l'adaptation du blé tendre et dur aux stress hydrique et salin, en utilisant des gènes candidats *HKT* et *DHN*.

Le choix de ces deux gènes est basé sur le fait que les *DHN* jouent un rôle de protéines chaperonnes qui protègent les autres enzymes et protéines cellulaires présentent dans le cytoplasme contre le stress salin et hydrique. En ce qui concerne les gènes *HKT*, ils jouent un rôle de transporteurs ioniques des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  assurant une sorte d'homéostasie cellulaire en condition de stress salin.

L'étude du niveau d'expression des deux gènes *DHN* et *HKT* a été réalisé par PCR semi-quantitative sur les feuilles des différentes variétés de blé dur et tendre en conditions contrôle, stress salin et hydrique.

Les résultats de l'analyse moléculaire mettent en évidence les stratégies adoptées par différentes variétés pour contrer le stress hydrique et salin. L'expression de ces gènes reste, toutefois, dépendante du génotype utilisé, de l'intensité et la durée du stress mises en œuvre et de la nature du stress (Ergen *et al.*, 2009). L'importance et la rapidité de la réponse cellulaire au stress dépendent de la durée et de l'intensité du stress (Yamaguchi-Shinozaki *et al.*, 2002). Sous conditions de stress salin, le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) se montre généralement plus tolérant que le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Ceci s'explique par le fait que le blé tendre se montre plus efficace en termes d'exclusion des ions Na<sup>+</sup> (Colmer *et al.*, 2005).

Les essais menés ont permis de mettre en évidence une assez forte variabilité entre les 18 variétés ; On a pu classer les variétés de blé étudiées HD, Ain Abid, Rmada et Icasyl/3/Bcr/Sb15//*Triticum urartu* /4/13376/Bcrchl /Ossll /Stj5 ; comme les génotypes qui sont les moins affectées par le stress hydrique et salin. Dans la présente étude, nous n'avons exploité que certains génotypes qui semblent plus résistants au stress hydrique que d'autres et certaines semblent plus résistantes au stress salin que d'autre aussi. Globalement le blé dur (*Triticum durum*) semble le plus affectée par le stress hydrique que le blé tendre (*Triticum aestivum*).

Les résultats de la présente étude indiquent que la tolérance à la salinité chez le blé tendre semble liée à la capacité d'éviter l'accumulation à des niveaux toxiques de l'ion Na<sup>+</sup>, associée à une capacité élevée d'osmorégulation et/ou au maintien d'un niveau acceptable de K<sup>+</sup>, spécialement dans le limbe foliaire. Ces informations sont importantes dans la sélection du matériel végétal pour les futurs programmes d'amélioration des céréales.

**Comme perspectives à cette étude :**

- Il semble important d'élargir la collection de blé dur et tendre pour mieux comprendre les critères de sélection morpho-physiologique vis à vis du stress salin et hydrique.
- Il serait intéressant d'approfondir l'étude biochimique à travers l'analyse de l'activité des enzymes antioxydants tel que la catalase, superoxyde dismutase, peroxydase...etc.
- L'étude des deux gènes *HKT* et *DHN* par Q-RT-PCR (Real time PCR) qui est plus précise, permettra de mieux cerner les variétés tolérantes de ceux sensibles.
- Expression d'autres gènes, leurs interactions ainsi que les variations génétiques par séquençage doivent faire l'objet de futures recherches pour mieux cerner et comprendre les bases génétiques de l'adaptation de blé à

l'environnement de production et faciliter aux sélectionneurs de développer des cultivars performants et capables d'éviter les contraintes biotiques et abiotiques. Une analyse de l'expression d'un nombre plus grand de gènes, et pour différents scénarios de stress hydrique mérite d'être conduite afin d'effectuer une analyse plus exhaustive des gènes impliqués dans la tolérance du blé à la sécheresse.

- Il serait donc souhaitable d'incorporer les outils de la biotechnologie et du génie génétique dans les stratégies conventionnelles d'amélioration des plantes. Ces techniques réduiraient grandement les effets de l'interaction (génotypes X environnement) et offrent l'avantage d'une sélection efficace, rapide et précoce.

**REFERENCES**

**BIBLIOGRAPHIQUES**

## Références bibliographiques

- Abbassenne, F.**, Bouzerzour, H., Hachemi, L. (1997). Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride. *Ann. Agron. INA, El Harrach*, 18: 24-36
- Abecassis J.** (2015). La Filière Blé dur. INRA-UMR IATE [joel.abecassis @ wanadoo.fr](mailto:joel.abecassis@wanadoo.fr). P 2, 9.
- Abeledo L.G.**, Savin R., Gustavo A & Slafer. (2008). Wheat productivity in the Mediterranean Ebro Valley: Analyzing the gap between attainable and potential yield with a simulation model. *Europ. J. Agronomy*. 28. 541-550
- Acevedo, E.**, Silva, P. C., Silva, H. R., & Solar, B. R. (1999). Wheat production in Mediterranean environments. In: Satorre, E. H., Slafer, G. A (Eds.) *Wheat ecology and physiology in yield determination. Food products press, an imprint of the Hayworth press, Binghamton, N. Y*: 141-159.
- Achour A.**, Bidai Y., and Belkhodja M. (2015).The impact of salinity on water and metabolic behavior of a variety of Okra (*Abelmoschus esculentus* L.). *International Journal of Innovation and Applied Studies* ISSN 2028-9324 Vol. 12 No. 4 Sep. 2015, pp. 943-953
- Acquaah, G.** (2012). Principles of plant genetics and breeding. 2nd. eds. *Wiley Blackwell*. Oxford
- Adjabi, A.**, Bouzerzour, H., Lelarge, C., Benmahammed, A., Makhlof, A., Hannachi, A. (2007). Relationships between grains yield performance, temporal stability and carbone isotope discrimination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under Mediterranean conditions. *Journal of Agronomy*, 6(2): 294-301.
- Adjel, F.**, Kadi,Z., Bouzerzour, H., Benmahammed A. ( 2013). Salt stress effects on seed germination and seedling growth of barley (*Hordeum Vulgare* L.) genotypes. *Journal of agriculture and Sustainability*.volume 3, Numbre 2, 2013, 223-237
- Adoui, N.**, Benderradji, L., Messaoudi, N., Brini, F., Boudour, L. (2017). Analyse Moléculaire De La Diversité Génétique Des Protéines De Réserves Chez Quatre Variétés De Blé Dur (*Triticum turgidum* L.var *durum*). *European Scientific Journal*, 13 (36), 249-265.
- Alem, C.** (2000). Effet de la teneur en proline sur la stabilité membranaire chez des variétés d'orge soumises au stress salin. *Al Awamia* 101- Juin 2000
- Alem CH.**, Labhilili M., Brahmi K., Jlibene M., Nasralhaq N., Filali Maltouf A. (2002). Adaptation hydrique et photosynthétique du blé dur et du blé tendre au stress salin. *C.R. Biologies*, 325:1097-1109.

- Al Hakim, A.**, Monneveux, P., Deleins, E. (1995). Selection response for carbon isotope discrimination on a *Triticum polonicum* x *Triticum durum* cross: potential interest for improvement of water efficiency in durum wheat. *Plant Breed* 1996; 115: 122-126.
- Al Hakim, A.** (1992). Evolution de la variabilité génétique des caractères d'adaptation :Ji la sécheresse chez les espèces primitives (sauvages et cultivées) de blé tétraploïde. Thèse D.E.A., Montpellier, 166 p.
- 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
- AL Karaki G. N.**, R. B. Clark, (2000 a). Growth, mineral acquisition, and water use by mycorrhizal wheat grown under water stress. *J. Plant Nutr.*, **21**, 263-267.
- Almeselmani, M.**, Abdullah, F., Hareri, F., Naaesan, M., Ammar, M. A., Zuher Kanbar, O. (2011). Effect of Drought on Different Physiological Characters and Yield Component in Different Varieties of Syrian Durum Wheat. *Journal of Agricultural Science*, 3(3) : 127-133.
- Alves, A. C.**, T. L. Setter. (2004). Response of cassava leaf area expansion to water deficit: Cell proliferation, cell expansion and delayed development. *Annals of Botany*, 94: 605–613
- 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.Thèse de Doctorat . Rabat
- Amane M. I. V.**, Vieira C., Novais R. F., Araujo G. (1999). Nitrogen and molybdenum fertilization of the common bean crop in the zona da mata region, Minas Gerais state, Brazil. *Revista brasileira de ciência do solo*. Vol. 23, N°3, pp. 643-650. And yield stability in durum wheat. *Options méditerranéennes* .40: 83-93p.
- Amokrane, A.**, Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Djekoun, A. (2002) .Caractérisation des variétés locales, syriennes et européennes de blé dur évaluées en zone semi-aride d'altitude. *Sciences et Technologie*. Univ. Mentouri. Constantine. N° spécial D:33 -38 p.
- Anderson, D. M.**, Bowland, J. P. (1984). Evaluation of buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) in diets of growing pigs. *Can. J. Anim. Sci.*, 64 (4): 985–995
- Anjum, S. A.**, Xie, X-y., Wang, L-c., Saleem, M. F., Man C., Lei, W. (2011). Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, 6, 2026–2032.

- Annerose, D. J. M.** (1990). Recherches sur les mécanismes physiologiques d'adaptation à la sécheresse. Application au cas de l'arachide (*Arachis hypogea* L.) cultivée au Sénégal. Thèse de doctorat es Sciences Naturelles, Université Paris VII, 282p.
- Annicchiarico, P.,** Abdellaoui, Z., Kelkouli, M., Zerargui, H. (2005). Grain yield, straw yield and economic value of tall and semi dwarf durum wheat cultivars in Algeria. *Journal of Agricultural Science*, 143: 57- 67.
- Annicchiarico, P.,** Bellah, F. and Chiari, T. (2006). Repeatable genotype x location interaction and its exploitation by conventional and GIS-based cultivar recommendation for durum wheat in Algeria. *European Journal of Agronomy*, 24(1): 70-81.
- Anonyme,** (2003). Le blé dur, qualité, importance et utilisation dans la région des hauts plateaux (Tiaret et Tissemsilt). *ITGC*. 7p.
- Araus, JL.,** T. Ali Dib, M. Nachit. (1998). Chlorophyll fluorescence as a selection criterion for grain yield in durum wheat under Mediterranean condition. *Field crops Res.*, 55: 209-224.
- Arraouadi, S.,** Badri ,M., Zitoun, A., Huguet, T., and M. E. Aouani. (2011). Analysis of NaCl Stress Response in Tunisian and Reference Lines of *Medicago truncatula*. *Russian Journal of Plant Physiology*. Vol. 58, No. 2, pp. 316–323.
- Ashraf, A.,** Khanum, A. (1997). Relationship between ion accumulation and growth in two-spring wheat lines differing in salt tolerance at different growth stages. *J. Agron. Crop Sci.*, 178, 39-51.
- Ashraf , M.** (1994 ). Breeding for salinity tolerance in plants, *Crit. Rev. Plant Sci.* 13, 17–42.
- Ashraf, M.** (2002). Salt tolerance of cotton: some new advances, *Crit. Rev. Plant Sci.* 21 1–30.
- Ashraf, M.,** Foolad, M. R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress esistance. *Environ. Exp. Bot.*59 (2): 206-216.
- Assem, N.,** El Hafid, L., Haloui, B., El Atmani, K. (2006). Effets du stress hydrique appliqué au stade trois feuilles sur le rendement en grains de dix variétés de blé cultivées au Maroc oriental. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 17 (4) : 499-505.
- Attab S.,** Brinis L. (2012). Etude comparative de la réponse physiologique de deux variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) à l'infection par *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* agent causal de l'oïdium. *Rev. Sci. Technol., Synthèse* 25 : 82 - 87 (2012)
- Attab S.** (2014). Etude de quelques altérations physiologiques et biochimiques chez le blé causées par une maladie cryptogamique (l'oïdium). Thèse de doctorat. Université Badji Mokhtar – Annaba

- Austin, R. B.**, Ford, M. A. et Morgan, C. L.,(1989). Genetic improvement in the yield of winter wheat: a further evaluation. / *Agric. Sci. (Camb.)* 112:295-301
- Azoui H.** (2014). Etude du comportement d'une collection de blés cultivés en Algérie vis-à-vis de quelques stress biotiques. Thèse de Magister. Université EL Hadj Lakhdar –Batna
- Badr, A.**, Muller, K., Schafer-Pregl; R., El Rabey, H., Effgen, S., Ibrahi, H.H., Pozzi, C., Rohde, W. and Salamini, F. (2000). The origin, domestication and history of barley (*Hordeum vulgare*). *Molecular Biology and Evolution*, 17: 499-510.
- Bagga, A. K.**, Ruwal, K. N., & Asana, R. D. (1970). Comparison of some Indian and semi-dwarf Mexican wheat to unirrigated cultivation. *Indian J. agric.Sci.* 40: 421- 427.
- Bahlouli F.**, Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Hassous, K. L. (2005). Selection of high yielding of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under semi arid conditions. *Journal of Agronomy* 4 (4): 360-365.
- Bahlouli F.**, Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Assous, K. L. (2006). Etude des liaisons entre le rendement ,la durée de vie de la feuille étendard ,la vitesse de remplissage et la remobilisation des assimilés de la tige du blé dur (*Triticum Durum* L.) *Annales de l'institut national agronomique- El- Harrach* ; Vol 27, N°1et 2.
- Bahlouli, F.**, H. Bouzerzour, A. Benmahammed. (2008). Effets de la vitesse et de la durée du remplissage du grain ainsi que de l'accumulation des assimilés de la tige dans l'élaboration du rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans les conditions de culture des hautes plaines orientales d'Algérie. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 12 (1), 31-39.
- Bajji, M.**, Almansouri, M., Bouharmont, J., Kinet, J. M., & Lutts, S. (1997). 6èmes J. Scientifiques du Réseau Biotechnologies Végétales *AUFELF.UREF*, Orsay.
- Bajji, M.** (1999). Étude des mécanismes de résistance au stress hydrique chez le blé dur : Caractérisation de cultivars différant par leurs niveaux de résistance à la sécheresse et de variants somaclonaux sélectionnés *In vitro*. Thèse de doctorat. Univ. Louvain.
- Bajji M.**, Lutts S., Kinet J.M. (2000). La résistance au stress hydrique chez le blé dur : Comparaison des comportements au niveau cellulaire et au niveau de la plante entière. Zaragoza : *CIHEAM Options Méditerranéennes* : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 40 pages 227- 231.
- Baldy, C.** (1974) . Utilisation efficace de l'eau par la végétation en climats méditerranéens. *Bull. Soc. Botan. Fr* 131 (2, 3, 4) (*Actual. Botan.*) 491-499.
- Baldy, C.** (1986). Comportement des blés dans les climats méditerranéens. *Ecologia Mediterranea*, (12): 73-88.

- Balyan, H. S.,** Singh, O. (1994). Pleiotropic effects of GA-insensitive *rht* gènes on grain yield and its component characters in wheat. *Cereal Res. Commun.* 22:195-200
- Barrs, H.** (1968). Determination of water deficit in plant tissues. In: *Water Deficit and Plant Growth*. Koslowski T. *Academy Press*. New York. 235 -368 .
- Bayoumi T. Y,** Manal H., Metwali E. M. (2008). Application of physiological and biochemical indices as a screening technique for drought tolerance in wheat genotypes. *African Journal of Biotechnology* 14: 2341-2352.
- Bebba S.** (2011). Essai de comportement de deux variétés de blé dur (*Triticum durum*) conduites sous palmier dattier au niveau de région d’Ourgla., université Merbah, Ourgla. Ingénieur d’état agronomie saharienne.
- Bedrani, S.** (2004). L’alimentation de rue en Algérie : quelques réflexions sur la base d’une enquête visuelle rapide. *Alger. Options Méditerranéennes*, 36: 25-46.
- Begg, J. E.,** Turner N. C. (1976). Crop Water Deficits. *Advances in Agronomy* . V28. 161-217
- Belahcene, N.,** Bensid, A., Benbelkacem, H., Bouzerzour, H., (2006). Contribution des nouvelles obtentions de blé tender (*Triticum aestivum* L.) à l’amélioration du rendement dans le Constantinois. *Céréaliculture*. 50 : 13-19.
- Belfakih , M.,** Ibriz , M., Zouahri, A.( 2013). Effet de la salinité sur les paramètres morpho-physiologiques de deux variétés de bananier (*Musa acuminata* L). *Journal of Applied Biosciences* 70:5652 –5662.
- Belagrouz, A.** (2013). Analyse du Comportement du Blé Tendre, Variété El WIFAK (*Triticum aestivum* L.) Conduite en Labour Conventionnel, Travail Minimum et Semis Direct sur Les Hautes Plaines Sétifiennes. Thèse de Magister. Université de Sétif.
- Belhassen, E.,** This, D., Monneveux, P. (1995). L'adaptation génétique face aux contraintes de sécheresse. *Cahier d'Agriculture*. 251 - 261.
- Belkharchouche, H.,** S. Fellah, H. Bouzerzour, A. Benmahammed, N, Chellal. (2009). Vigueur de croissance, translocation et rendement grain du blé dur (*Triticum durum* Desf.) Sous conditions semi arides. *Courrier du Savoir*, 09:17-24.
- Bellinger, Y.,** Bensaoud, A. & Larher, F. (1991). Physiological significance of proline accumulation, a trait of use to breeding for tress tolerance. Colloque Physiology- Breeding of winter Cereals for Stressed Mediterranean Environments, Montpellier (France). *Les colloques* .55. (Éd). Inra. Paris.

**Benbelkacem, A.,** Sadli F., Brinis, L. (1995). La recherche pour la qualité des blés durs en Algérie. Zaragoza: ciheam, Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens, 22 : 61- 65.

**Benbelkacem, A.,** & Kellou, K. (2001). Évaluation du progrès génétique chez quelques variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var. durum) cultivées en Algérie. Options méditerranéennes, 6: 105-10.

**Benbelkacem, A.** (2013). Rapport des résultats du projet “Enhancing Food Security in Arab Countries”Icarda-INRAA. 35 pages.

**Bendada, H.,** Guendouz , A., Benniou, R., Louahdi N.2021. The Effect of Spike Row Type on the Grain Yield and Grain Filling Parameters in Barley (*Hordeum vulgare* L.) Genotypes under Semi-arid Conditions. *Agricultural Science Digest*, 10.18805/ag.D-311

**Benderradji L.,** Faical Brini , Siwar Ben Amar, Kamel Kellou, Jalel Azaza, Khaled Masmoudi, Hamenna Bouzerzour, Moez Hanin, (2011). Sodium Transport in the Seedlings of Two Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes Showing Contrasting Salt Stress Tolerance. *Australian Journal of Crop Science*, 5 (3), 233-241.

**Benderradji L.** (2013). Sélection *In Vitro* pour La Tolérance Aux Stress Salin Et Thermique Chez Le Blé Tendre (*Triticum aestivum* L.). Thèse de Doctorat. Université des Frères Mentouri Constantine. 143P.

**Benderradji, L.,** Hadji, N., Kellou K., Benniou R., Brini F . (2016). Effet du NaCl et PEG 6000 sur le comportement morpho-physiologique et biochimique des variétés de blé dur et tendre cultivées *in vitro* en milieu hydroponique. *Revue Agriculture. Numéro spécial 1 (2016)* 278 – 286

**Bendif, H.,** Lazali, M ., Messaoudi, N ., Ghadbane, M., Khenifi, M.A., Kadri, F., Boudjeniba, M. (2017).Exploitation of somaclonal variability for the search of salin-tolerant potato (*solanum tuberosum* l.). *International Multidisciplinary Research Journal* 2017, 7: 08-12

**Benkaddour, M.** (2014). Modification physiologique chez des plantes de blé (*Triticum durum* Desf.) exposées à un stress salin. Université Badji Mokhtar, Annaba. Thèse de doctorat : 23-80-81p.

**BenKhaled, L.,** Morte, A., Gomez, M., Honrubia & Oihabi, A. (2003). Effet du stress salin en milieu hydroponique sur le trèfle inoculé avec *Rhizobium*. *Agronomie*, 23, 571-580.

**BenKhaled L.,** Ourraqi E., Zid E. (2007). Impact du NaCl sur la croissance et la nutrition de la variété de blé dur Massa cultivée en milieu hydroponique, *Acta Bot, Gallica*, 154(1) : 101-116.

- Benlarbi, M.,** Monneveux, P., Grignac, P, (1991). Etude des caracteres d'enracinement et de leur role dans l'adaptation au deficit hydrique chez le ble dur (*Triticum durum* Desf.). *Agronomie*, 10; 305 - 313.
- Benmahammed, A.** (1995). Associations et héritabilité de quelques caractères à variation contenue chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.) INA-ELHARACH. Alger. P.84
- Benmahammed, A.,** Bouzerzour, H., Benbelkacem, A. (1999). Synthèse des activités de sélection des céréales des stations de Sétif, Khroub, Tiaret et Sidi Bel Abbes. Document interne, Institut Technique des Grandes Cultures, Sétif.
- Benmahammed, A.,** Kermiche, A., Hassous, L.K., Djekoun, A., Bouzerzour, H. (2003). Sélection Multi-Caractères Pour Améliorer Le Niveau Et La Stabilité Du Rendement De L'orge (*Hordeum vulgare* L.) En Zone Semi-Aride. *Sciences & Technologie* – N°19, Juin (2003), PP. 98-103.
- Benmahammed, A.** (2005). Hétérosis, transgressions et efficacité de la sélection précoce et retardée de la biomasse, du nombre d'épis et utilisation des indices chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.). Thèse de Doctorat d'Etat en Biologie végétale, option, Génétique et Amélioration des plantes. Université de Constantine. 125p
- Benmahammed, A.,** Bouzerzour, H., Mekhlouf, A., Benbelkacem, A. (2008). Variation de la teneur relative en eau, l'intégrité cellulaire, la biomasse et l'efficacité d'utilisation de l'eau des variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var durum) conduites sous contraintes hydrique. *Recherche Agronomique, INRA*, 21: 37-47.
- Benmahammed, A.,** Nouar, H., Haddad, L., Laala, Z., Oulmi, A., & Bouzerzour, H. (2010). Analyse de la stabilité des performances de rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 14: 177-186.
- Benmahammed, A.,** Kribaa, M. , Bouzerzour ,H., Djekoun, A. ( 2010) .Assessment of stress tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.) advanced breeding lines under semi-arid conditions of the eastern high plateaus of Algeria. *Euphytica*, **172**: 383-394.
- Benmahioul, B.,** Daguin, F., 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
- Ben Naceur, M.,** Gharbi, M.S. & Paul, R. (1999). L'amélioration variétale et les autres actions contribuant à la sécurité alimentaire en Tunisie en matière de céréales. *Sécheresse*.10 :27- 33 p.
- Bennaceur, M.,** Rahmoun, C., Sdiri, H., Medahi, M., Selmi, M. ( 2001). Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production de grains de blé. *Sécheresse*, 12 (3), pp. 167-174

- Benniou, R.** Aubry, Ch., Abbes, Kh. (2014). Analyse des itinéraires techniques dans les exploitations agricoles céréalières en milieu semi-aride de l'est algérien. *Revue Agriculture*. 08 (2014), 26 – 37.
- Benniou, R.,** Bahlouli, F. (2015). Climate Change and Agriculture Conservation in Semi-Arid Environment. *Energy Procedia* 74:25-31
- Bensalem, M.,** Boussen H., Slama A. (1997). Évaluation de la résistance à la contrainte hydrique et calorique d'une collection de blé dur : recherche de paramètres précoces de sélection. Sixièmes Journées scientifiques du réseau Biotech.-Génie Génétique des plantes, Agence francophone pour l'enseignement supérieur et la recherche (AUPELF/UREF), Orsay. *Sécheresse*, 2 : 75- 83.
- Benyahmed, J.** (2013). Etude des propriétés de tolérance au déficit hydrique et au stress salin de génotypes appartenant au genre *Poncirus* et au groupe des mandariniers. Thèse de doctorat. Centre international d'études supérieures en sciences agronomiques Montpellier
- Berger, M.** (1985). Étude des caractères morphophysiques, des composantes du rendement et de leurs corrélations génétiques et environnementales chez le blé tendre. Thèse Docteur Ingénieur, école nationale supérieure d'agriculture (ENSA), Toulouse, 1985.
- Berka, S.,** Aïd, F. (2009). Réponses physiologiques des plants d'*Argania spinosa* (L.) Skeels soumis à un déficit hydrique édaphique. *Sécheresse*, 20 (3) : 296-302.
- Berthomieu, P.,** Conéjéro, G. et *al.*, (2003). Functional analysis of AtHKT in arabidopsis shows that Na<sup>+</sup> recirculation by the phloem is crucial for salt tolerance EMBO J. 22:2004-2014
- Bertrand E.** (1996). Les sites antiques. La lettre du Pays de Tronçais, 2: 1- 48.
- Bhateria, S.,** Sood, S. P., Panthania, A. (2006). Genetic analysis of quantitative traits across environments in lin seed (*Linum usitatissimum* L.). *Euphytica*, 150: 185-194.
- Blum, A.** (1989). Osmotic adjustment and growth of barley genotypes under drought stress. *Crop Science*. 29, 230 - 233.
- Bogard M.** (2011). Analyse génétique et Eco physiologique de l'écart à la relation teneur en protéines – rendement en grains chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.). École doctorale science de la vie, santé, agronomie et environnement. Thèse doctorat : 17-18-19p
- Bogess, S-F;** Aspinall, D., Paleg, L-G. (1976). - Stress metabolism. IX. The significance of endproductinhibition of proline synthesis and of compartmentation in relation to stress-induced proline accumulation. *Aust. J. Plant Physiol.*, 3, pp. 513-525.
- Bonjean, A.,** Picard, E. (1990). Les céréales à paille origine, historique, économie et sélection. Eds Nathan, 235 p.

- Bootsma A.,** Biosvert J.B., Dejong R., Baier W. (1996). La sécheresse et l'agriculture canadienne : une revue des moyens d'action, *Sècheresse*, vol 7, N°4: 277-285.
- Bouaouina, S,** Zid, E, Hajji, M. (2000). Tolérance à la salinité, transports ioniques et fluorescence chlorophyllienne chez le blé dur (*Triticum turgidum* L.). In: Royo C. (ed.), Nachit M. (ed.), D I Fonzo N. (ed.), Araus J.L. (Ed.). Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges. Zaragoza : CIHEAM, 2000 : 239 -243 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 40.
- Bouatrous, Y.** (2013). Water stress correlated with senescence in durum wheat (*Triticum durum* Desf),”*Advances in Environmental Biology*, vol. 7, No.7, pp.1306-1314.
- Boubaker M.,** Yamada T. (1995). Differential genotypic responses of durum wheat early seedling growth to limited conditions. *Tropicultura*. 13: 50-53.
- Bouchelaghem , S.** ( 2012) .contribution à l'étude de l'impact d'un engrais couramment utilisé en Algérie (NPK) sur la croissance le métabolisme et le développement racinaire d'un modèle végétale blé dur. Thèse de doctorat. Univ. Constantine
- Bouchoutrouch, M.** (1986). Yield response of three durum wheat varieties in a semi- arid environment. M. S. Thesis, University of Nebraska, Lincoln.
- Bouderbala N.,** *CIHEAM - Options Méditerranéennes*, 36, (1999), 171-184.
- Boulai H.,** Zaghouane O., El Mourid M., Rezgui S. (2007). 9T Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orges) dans le Maghreb (Algérie, Maroc et Tunisie). Co-edition ITGC/INRA/ICARDA. 176 p.
- Boulelouah, N.** (2002). Contribution à l'étude des effets du semis direct sur l'efficacité d'utilisation de l'eau et le comportement variétal de la culture de blé en région semi-aride. Thèse magister Faculté des Sciences de la Nature et de la vie, Université Ferhat Abbas, Sétif.6-7-8p.
- 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.
- Bousba, R.,** Djekoun, A. and Ykhlef, N. (2006a). Efficacité hydrique et sénescence foliaire chez le blé dur (*Triticum durum* Desf) sous contrainte hydrique : analyse de la variabilité génotypique. Xème journées scientifiques du réseau " Biotechnologies végétales: Amélioration des plantes et sécurité alimentaire" de l'AUF. 149- 150.

- Bousba R.**, Ykhlef N., Djekoun A. (2009). Water use efficiency and flag leaf photosynthetic response to water deficit of durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *World Journal of Agricultural Sciences* 5. 5: 609 -616 p.
- Bousba R.** (2012). Caractérisation de la tolérance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) analyse de la physiologie et de la capacité en production. Thèse de doctorat. Université Mentouri Constantine. PP : 10, 16, 17
- Bousba R.**, Djekoun A., Duraa S., Ykhlef N. (2013). Caractérisation moléculaire et association marqueur ssr phénotype pour la tolérance au stress hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). *European Scientific Journal*, 9 (12) : 204-219.
- Bouzerzour, H.**, & Monneveux, P. (1992). Analyses des facteurs de stabilité du rendement de l'orge dans les conditions des hauts plateaux algériens. A l'occasion des colloques N°64 : Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne : Diversité génétique et amélioration des variétés, (Montpellier, France, 15-17 décembre 1992). Eds. Ben Salem M et Monneveux P. Ed. INRA, Paris 1993. pp 205-15.
- Bouzerzour H.**, Djekoun A., Benmahammed A., Hassous L. (1998). Contribution de la biomasse aérienne, de l'indice de récolte et de la précocité au rendement en grain de l'orge (*H. vulgare* L.) en zone semi-aride d'altitude. *Cahiers Agriculture* 1998 ; 7 : 307-17
- Bouzerzour, H.**, Benmahammed, A., Benkharbache, N., & Hassous, K. L. (2002). Contribution de la sélection à l'amélioration et à la stabilité des rendements de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) dans l'étage bioclimatique semi-aride, *Revue Recherche Agronomique de l'INRA*, 10 : 45-58.
- Bray , E A.** ( 2002). Abscisic acid regulation of gene expression during water deficit stress in the era of the Arabidopsis genome. *Plant, Cell and Environment* 25:153–161.
- Brini, F.**, Hanin, M., Lumbreras, V., Irar, S., Pages, M., Masmoudi, K. (2007) Overexpression of wheat dehydrin DHN-5 enhances tolerance to salt and osmotic stress in *Arabidopsis thaliana* Nov; 26 (11): 2017-26.
- Brinis, L.** (1995). Effets du stress hydrique sur quelques mécanismes morphophysiologiques des traits d'adaptation et déterminisme génétique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) Recherche d'héritabilité transgressive en F1. Thèse de Doctorat d'Etat en Sciences, Univ. Badji Mokhtar, Annaba. 156p
- Boyeldieu, J.** (1999). Encyclopédie des techniques agricoles : production végétale-Blé TendreEd : Paris.20-20.

- Bozzini A.** (1988). Origin, distribution and production of durum wheat in the world. In: Fabriani G., Lintas C. (éd). Durum: Chemistry and Technology. AACC (Minnesota). Etats-Unis : 1-16 p
- Calderini, D. F., Dreccer, M. F., Slafer, G. A.** (1995). Genetic improvement in wheat yield and associated traits. A re-examination of previous results and the latest trends. *Plant Breeding*, 114 : 108-112.
- Campbell, S.A. & Close, T.J.** (1997). Dhydrins :genes,proteins and association with phenotypic traits. *New phytol* .137: 61 - 74 p.
- Canadas, D.** (2006). Evaluation du procédé Oxygène pour son potentiel de décontamination en ochratoxine A du blé. Les effets toxiques liés à une exposition sub-chronique à l'ochratoxine A sont-ils atténués? Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, 132 p.
- Ceccarelli, S., Grando, S., Hamblin, J.** (1992). Relationships between barley grain yield measured in low and high yielding environments. *Euphytica*, 64: 49-58.
- Cechin I., Rossi S. C., Oliveira V.C., Fumis T. F.** (2006). Photosynthetic responses and proline content of mature and young leaves of sunflower plants under water deficit. *Photosynthetica* .44 (1): 143-146p.
- Chabane M.** (2010). L'agriculture de conservation : voie de sécurité alimentaire dans les pays du Maghreb. IV Rencontres Méditerranéennes du Semis Direct, Option Méditerranéennes, A N° 96 : 189-208.
- Chahbar, S.** (2008). Études des paramètres morphologiques et physiologiques de résistance à la sécheresse chez la fève *Vicia faba* L. laboratoire de physiologie végétale, Oran. Mémoire de magister : 15-16p.
- Chahredine, S., Benderradji, L.** (2019). Évaluation du progrès génétique de quinze variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) cultivées en Algérie. - Agriculture and Forestry Journal, Vol. 3, Issue 1, pp. 15-22.
- Chaise L., Ferla A. J., Honore A., Moukhli R.** (2005). L'impact du changement climatique sur l'agriculture en Afrique. Atelier Changement Climatique. ENPC.
- Chalbi N., Demarly Y.** (1989). L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. 2eme journées scientifiques du réseau « biotechnologies végétales » 4-5 Décembre 1989 Tunisie. British Library Catalog using in Publication Data.

- Charcosset, A.,** Gallais, A. (1996). Estimation of the contribution of quantitative trait loci (QTL) to the variance of a quantitative trait by means of genetic markers. *Theor. Appl. Genet.* 93: 1193-1201.
- Chaumeil, P.** (2006). Plasticité moléculaire de deux écotypes de pin maritime soumis à un stress osmotique. Thèse doctorat Biologie végétale et forestière Nancy 1 .
- Chaves, M. M.,** Pereira, J. S. (2003) Understanding plant responses to drought-from genes to the whole. *Funct. Plant. Biol.* 30: 239 - 264.
- Chehat F.** (2005). Les politiques céréalières en Algérie. Rapport Annuel. Agri-Med. Agriculture, pêche, alimentation et développement rural durable dans la région Méditerranéenne, *CIHEAM* 2006.
- Chen, H.,** Jiang, JG. (2010). Osmotic adjustment and plant adaptation to environmental changes related to drought and salinity. *Environ. Rev.* 18 (NA) : 309-319.doi : 10.1139/A10-014
- Chen, X.,** Min, D., Yasir T. A., Hu, Y-G. (2012). Evaluation of 14 morphological, yield-related and physiological traits as indicators of drought tolerance in Chinese winter bread wheat revealed by analysis of the membership function value of drought tolerance (MFVD). *Field Crops Research* 137, 195–201.
- Chennafi, H.,** Aïdaoui, A., Bouzerzour, H., Saci, A. (2006). Yield response of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivar Waha to deficit irrigation under semiarid growth conditions. *Asian J. Plant Sci.*, (5): 854-860.
- Chennafi, H.,** Bouzerzour, H., Saci, A. (2008b) . Amélioration de l'agriculture pluviale en environnement semi-aride. In: *Proceedings du séminaire national sur les contraintes à la production du blé dur en Algérie. Université Chlef, le 29 et 30 novembre 2008, p:62-68.*
- Cheong M.S.,** D. J. Yun. (2007). Salt-Stress Signaling. *Journal of Plant Biology*, 50: 148-155.
- Chomczynski, P.,** Mackey, K. (1995). Short Technical Reports. Modification of the TRI Reagent Procedure for Isolation of RNA From Polysaccharide- And Proteoglycan-Rich Sources. *Biotechniques* 19: 942-945
- Clarke John M.,** McCaig Thomas N. (1982). Evaluation of Techniques for Screening for Drought Resistance in Wheat. *Crop science*, 22(3).503-506
- Clarck & Mac-Caig.** (1982) . Excised leaf water relation capability as an indicator of drought resistance of *Triticum* genotypes. *Can.J. Plant Sci.* 62: 571-576 p

- Clarke, J. M.** (1986). Effect of leaf rolling in leaf water loss in *Triticum* sp. *Can J Plant Sci* 66: 885- 891.
- Clarke, J. M.,** Norvell, W.A., Clarke, F.R., Buckley, 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* N°82, pp : 27 – 33.
- Clavel, D.,** Drame N. K., Diop N. D., Zuily-Fodil Y. (2005). Adaptation à la sécheresse et création variétale : le cas de l'arachide en zone sahélienne. *OCL* Vol. 12 N°3 Mai-Juin2005
- Close, T.J.** (1997). Dehydrins: a commonality in the response of plants to dehydration and low temperature. *Plant Physiol*, 100: 291-296.
- Close, T.J.,** Choi, D.W., Venegas, M., Salvi, S., Tuberosa, R., Ryabushkina, N., Turusoev, Y., Nevo, E. (2000). Allelic variation in wild and cultivated barley at the *Dhn4* locus, which encodes a major drought-induced and seed protein, *DHN4*. 8th *International BarleyGenetics Symposium Adelaide Australia*.
- Collinson, S.,** Clawson, E., Azam-Ali, S., & Black, C. (1997). Effects of moisture deficits on the water relations of bambara groundnut (*Vigna subterranean* L. Verdc.). *J Exp Bo* ; 48 : 877-84.
- Colmer, T. D.,** Munns, R., Flowers, T. J. (2005). Improving salt tolerance of wheat and barley: Future prospects. *Aust. J. Exp. Agr*, 45: 1425 - 1443.
- Condon, A.G.,** Richards, R.A., Rebetzke, G.J., Farquhar, G.D. (2002). Improving intrinsic water-use efficiency and crop yield. *Crop Sci.*, 42: 122–131.
- Condon, A. G.,** Richards, R.A. and Rebetzke, G.J. (2004). Breeding for high water use efficiency. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 55, 2447 - 2460.
- Cornaire, B.,** Phamthi, A. T., Zuily-Fodil, Y., Daniel, C., Vieira Da Silva, J. B. (1995). Contribution to study on oil palm drought tolerance: Protoplasmic resistance. *INRA, Inter drought*, VI-7.
- Cornic, G.** (2008). Effet de la contrainte hydrique sur la photosynthèse foliaire: De l'utilisation expérimental des relations A/Ci et ACc, article, 36 p.
- Cooper, P. J. M.,** Keating, J. D. H., & Hughes, G. (1983). Crop evapo-transpiration techniques for calculation of its components by field measurements. *Field Crops Res*, 7: 299-312
- Couvreur F.** (1981). La culture du blé se raisonne : Perspectives agricoles 91,28-32.
- Cox, T.** (1988) AIDS and stress. *Work and Stress*, 2, 109–12.

- Cramer, G.R.**, Albrico, G.J. et Schmidt, C. (1994). Leaf expansion limits dry matter accumulation of leaf salt stressed maize. *Australian journal of plant physiology*. **21**: 663-674.
- Cress, WA.** (1997). Metabolic implications of stress-induced proline accumulation in plants. *Plant Growth Regulation* volume 21, pages79–102(1997)
- Darbyshire, B.** (1974). The function of the carbohydrate units of tree fungal enzymes in their resistance to dehydration. *Plant Physiol.*, 54: 717-721.
- Darroch, B.A.** et Baker, R.J. (1995). Two measures of grain Filing in Spring Wheat. *Crop Science*. Volume 35; issue 1. P. 164-168
- Debaeke P.**, Cabelguenne M., Casals ML. & Puech J. (1996). Élaboration du rendement du blé d'hiver en conditions de déficit hydrique. II. Mise au point et test d'un modèle de simulation de la culture de blé d'hiver en conditions d'alimentation hydrique et azotée variées. *Epicphase-blé. Agronomie*.**16**: 25 - 46 p.
- Debiton , C.** (2011). Identification des critères du grain de blé (*Triticum aestivum L.*) favorables `à la production de bioéthanol par l'étude d'un ensemble de cultivars et par l'analyse protéomique de lignées isogéniqueswaxy. Thèse de doctorat. Université Blaise Pascal. Auvergne. 132P.
- De Leonardis A. M.**, Marone D., Mazzucotelli E., Neffar F., Rizza F., Di Fonzo N., Cattivelli L., Mastrangelo A.M. (2007). Durum wheat genes up-regulated in the early phases of cold stress are modulated by drought in a developmental and genotype dependent manner. *Plant Science*, 172: 1005-1016.
- De Leonardis, A.M.**, M. Petrarulo, P. De Vita, A.M. Mastrangelo. (2010). Genetic and molecular aspects of plant response to drought in annual crop species. [www.intechopen.com/download/pdf/35823](http://www.intechopen.com/download/pdf/35823)
- Derieux, M**, Bourdu, R, Duburcq, J. B, Boizard, H. (1989) La crise de croissance de la plantule de maïs à basse température. *Agronomie* 9, 207-212
- Djahra A. B.**, Benmakhlouf Z., Benkherara S., Benkaddour M., Bordjiba O. (2015). Effet du stress salin sur la teneur en eau et certains osmolytes chez le ble dur (*Triticum durum* var kebir) pulvérise par une phytohormone synthetisee: Benzyl-amino-purine (BAP). *Algerian journal of arid environment* .Vol. 5, N° 2, December 2015: 71-81.
- Djerah, A.**, Oudjehih, B. (2015). Effect of salt stress on the germination of sixteen varieties of barley (*Hordeum vulgare L.*). *Courrier du Savoir*, N°20, Décembre, pp.47-56
- Dib A. 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.

- Diop, N. N.**, Kidric, M., Repellin, A., Gareil, M., D'arcy lameta, A., PHAM THI, A. T., et al. A multicycstatin easy induced by drought stress in Cowpea (*Vigna unguiculana* L. Walp) leaves. *FEBS Lett* (sous presse).
- Dolferus, R.**, Ji X, Richards, R. A. (2011). Abiotic stress and control of grain number in cereals. *Plant Science* 181, 331–341.
- Doré, C.**, Varoquaux, F. (2006). Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées. Ed. *INRA*, 812 p.
- Douib A.** (2013). Contribution à l'étude de quelques marqueurs physiologiques de tolérance au déficit hydrique chez le blé dur: taille de semences en tant que critère de sélection. Thèse de Magister. Ecole Doctorale. Université Badji Mokhtar -Annaba-
- Dubcovsky J.**, Dvorak J. (2007). Genome plasticity a key factor in the success of polyploidy wheat under domestication. *Science*, 316 (5833) :1862.
- Dubois, M.**, Gilles, K., Hamilton, J., Rebers, P., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28 (3), 350–356.
- Dubos, C.** (2001). Réponse moléculaire de jeunes plants de pin maritime soumis à un stress hydrique en milieu hydroponique. Thèse de doctorat en biologie Forestière, Université Henri Poincaré, Nancy I: 225p.
- Duggan, B .**, Fowler, D. B.( 2006). Yield Structure and Kernel Potential of Winter Wheat on the Canadian Prairies .*Corpus* ID: 85188117
- Dupin H.** (1992). Alimentation et nutrition humaines. Esf Editeur, 1992 ISBN2710108925, 9782710108924. Paris
- Durand, M.**, Lacan, D. (1994). Sodium partitioning within the shoot of soybean. *Physiol. Plant.*, 91 : 65- 71.
- Dure, L.** (1993). Structure motifs in LEA proteins of higher plants, in: Close T.J., Bray E.A. Response of Plants to Cellular Dehydration during Environmental Stress, *American Society of Plant Physiologists*, Rockville: 91 - 103 p.
- Dwivedi, S. L.**, Stalker, H. T., Blair, M. W., Bertioli D., Upadhyaya H. D., Nielen S., et al. (2008). Enhancing crop gene pool with beneficial traits using wild relatives. *Plant Breed. Rev.* 30 179–230.
- Ehdaie, B.**, Alloush, G. A., Madore, M. A., Waines, J. G. (2006). Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat: Post anthesis changes in internodes dry matter. *Crop Science*, 46: 735 - 746.

- El Fakhri, M.**, Mahboub, S., Benchekroun, M., Nsarellah, N. (2010). Effet du stress hydrique sur la répartition ionique dans les feuilles et les racines du blé dur (*Triticum durum*). *Nature & Technologie*, 05: 66-71.
- El Jaafari S.**, Lepoivre P., Semal J. (1995). Implication de l'acide abscissique dans la résistance du blé à la sécheresse. Quel avenir pour l'amélioration des plantes ? Ed. *AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext*. Paris 1995, pp. 141-148.
- El-Haddad E. H. M.**, O'leary J.W. (1994). Effect of salinity and K+I Na+ ratio of irrigation water on growth and solute content of *Atriplex amnicola* and *Sorghum bicolor*. *Irrigation Science*, 14: 127-133.
- El Hafid, R.** (1996). Morphological and physiological traits associated with early-season drought resistance in durum wheat. Ph.D. dissertation, Colorado State University, USA.
- El Midaoui, M.**, Talouizte, A., Benbella, M., and Bervillé, A. (1999a). Response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to nitrogen and potassium deficiency. *Helia*. 22 (30), 139-148.
- El Midaoui, M.**, Talouizte, A., Benbella, M., Serieys, H., and Bervillé, A. (1999b). Response of five sunflower genotypes (*Helianthus annuus* L.) to different concentrations of sodium chloride. *Helia*. 22 (30), 125-138.
- El Midaoui, M.**, Benbella, M., Aït Houssa A., Ibriz M. & Talouizte A. (2007). Contribution à l'étude de quelques mécanismes d'adaptation à la salinité chez le tournesol cultivé (*Helianthus annuus* L.). *Revue HTE N°136 • Mars 2007*
- Epstein E.**, Norlyn J.D., Ruch D.W., Kinsbury R.W., Cunningham A. F., Wrona A. F. (1980). Saline culture of crops: a genetic approach, *Science* (2310) p 399– 404.
- Ergen, N.Z.**, Thimmapuram J., Bohnert H.J., Budak H. (2009). Transcriptome pathways unique to dehydration tolerant relatives of modern wheat. *Functional and Integrative Genomics*, 9: 377–396.
- Essiane Ondo O.** (2014). Caractérisation d'une collection de variétés anciennes de blé pour leur réponse à la mycorhization et impact sur la qualité du grain. Thèse de doctorat. Université de Bourgogne.
- Fahmi, F.**, Tahrouch, S., Bouzoubâa, Z., Hatimi, A. (2011). Effet de l'aridité sur la biochimie et la physiologie d'argania spinosa. Actes du Premier Congrès International de l'Arganier, Agadir, pp. 299-308.

- Fakhri, M. E.,** Mahboub, S., Benchekroun, M., Nsarellah, N. (2011). Grain filling and stem accumulation effects on durum wheat (*Triticum durum* Desf.) yield under drought. *Nature & Technology* 7, 67–73.
- Fallahi Z.** (2013). Aptitude à la Combinaison Et Héritabilité de Quelques Caractères Agronomiques du blé Tendre (*Triticum Aestivum* L.) .Thèse de magister. Université Ferhat Abbas Setif-1
- Fallahi Z.** (2017). Analyse génétique d'un croisement line x tester, réponse à la sélection et tolérance des stress du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) sous conditions semi-arides .Thèse de doctorat. Université Ferhat Abbas Setif-1
- FAO,** 2007. Analyse des risques relatifs a la sécurité sanitaire des aliments. Guide a l'usage des autorités nationales responsables de la sécurité sanitaire des aliments.
- Feil, B.** (1992) . Breeding progress in small grain cereals - a comparison of old and modern cultivars. *Plant Breeding.* 108:1-11
- Feillet, P.** (2000). Le grain de blé : composition et utilisation. INRA. Paris.
- Feillet, P.** (2004). Valeur d'utilisation des blés durs .C.R. Sem. D'études Céréalicultures. Gembloux N° 85, p. 2598.
- Fellahi, Z. E. A.,** Hannachi, A., Bouzerzour, H. (2018). Analysis of direct and indirect selection and indices in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) segregating progeny. *International Journal of Agronomy.* pp: 1-11,
- Fellah, A.,** Bouzerzour, H., Benmahammed A., Djekoun A. (2002). Sélection pour améliorer la tolérance aux stress abiotiques chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Actes Inst. Agron. Vet.* (Maroc) 2002, Vol. 22 (3) : 161-168
- Fellahi, Z. E. A.,** Hannachi, A., Bouzerzour, H. (2020). Expected genetic gains from mono trait and index based selection in advanced bread wheat (*Triticum aestivum* L.) populations. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín* 73: 9131-9141.
- Fellah A,** Bouzerzour H, Benmahammed A, Djekoun A. (2002). Sélection pour améliorer la tolérance aux stress abiotiques chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Acte Inst Agron Vet* (Maroc) 2002 Vol. 22 (3) : 161-168
- Feuillet C.,** Langridge P., Waugh R. (2008). Cereal breeding takes a walk on the wild side. *Trends Genet.* 24: 24-32
- Feuillet C.** (2012). Améliorer les céréales pour une agriculture durable dans un contexte changeant. INRA
- Fischer, R. A.,** Aguilar, I., Laing, D.R. (1977). Post-anthesis sink size in a high yielding dwarf wheat: yield response to grain number. *Aust. J. Agric. Res.* 28:165-175

- Fischer, R. A.,** Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Aust. J. Agric. Res.*, 29: 897-912.
- Fisher, R. A.** (1979). Growth and water limitations to dry wheat yield in Australia a physiological frame work. *J. Aust. Inst. Sei.* 45, 83 - 94.
- Fordyce J. A.** (2006). The evolutionary consequences of ecological interactions mediated thought phenotypic plasticity. *J. Exp. Biol.*, 209: 2377-2383.
- Fossati D.** (1995). Structures du rendement et croissance des grains de Triticale comparaison de génotypes de tailles déférentes. Thèse de doctorat. L'école polytechnique fédérale de Zurich.
- Francis, TR.,** LW. Kannenberg. (1978). Yield stability studies in short season maize: A descriptive method for grouping genotypes. *Canadian J. Pl. Sci.*, 58: 1029–1034.
- Fraser, T. E.,** Silk, W. K., Rost TL. (1990). Effect of low water potential on cortical cell lenth in growing region of maize roots. *Plant Physiology*, 93: 648-651.
- Gaff, D. F.** (1980). Protoplasmic tolerance of extreme water stress. In: Turner NC, Kramer PJ (Eds) *Adaptation of plants to water and high temperature stress.* Wiley, New York, pp 207–229
- Gallais , A.** ( 2015). Comprendre l'amélioration des plantes. Enjeux ; méthodes, objectifs et critères de sélection. Editions Quae, Versailles, France. 240p.
- Garcia del Moral, L.,** Rharrabti, Y., Villegas, D., Royo, C. (2003). Evaluation of Grain Yield and Its Components in Durum Wheat under Mediterranean Conditions: An Ontogenic Approach. *Agronomy Journal.* 95 : 266-274.
- Garg, S. K. ;** Kalla A. ; Bhatnagar A. ( 2002) . Evaluation of raw and hydrothermically processed leguminous seeds as supplementary feed for the growth of two Indian major carp species. *Aquacult. Res.*, 33 (3): 151-163
- Gate P.,** Bouthier A., Casabianca H., 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. Colloque Diversité génétique et amélioration variétale Montpellier (France). *Les colloques.* 64. Inra. Paris.
- Gate, P.** (1995). Ecophysiologie du blé blé- de la plante à la culture. In: *Techniques & Documentation*, p. 429, Paris.
- Geigenberger, P.,** Reimholz, R., Geiger, M., Merlo, L., Canale, V., Stitt, M. (1997). Resolution of sucrose and starch metabolism in potato tubers in responseto short-term water deficit. *Planta.* 201: 502 -518 p.

- Ghobadi, M.**, Khosravi, S., Kahrizi, D., Shirvani F. (2011). Study of Water Relations, Chlorophyll and their Correlations with Grain Yield in Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes. World Academy of Science, *Engineering and Technology.*, 78: 582-585.
- Ghosh, SK .**, Sau, S., Lahiri, S., Lohia, A., Sinha P. (2004). The Iml3 protein of the budding yeast is required for the prevention of precocious sister chromatid separation in meiosis I and for sister chromatid disjunction in meiosis II. *Curr Genet* 46(2):82-91
- Gorham, J.** (1993). Genetics and physiology of enhanced K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> discrimination. In: Randall PJ, Delhaize E, Richards RA, Munns R, eds, *Genetic aspects of plant mineral nutrition*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 151–158.
- Gouache D.**, Bancal M.O., Bancal P., de Solan B., Gate P.( 2013) . Tolérance du blé tendre aux stress biotiques et abiotiques. *Innovations Agronomiques* 35 (2014), 75-87
- Granier, C.**, Inzé, D., & Tardieu, F. (2000). Spatial distribution cell division rate can be deduced from that of P34cdc2 kinase activity in maize leaves grown in contrasting conditions of temperature and water status. *Plant Physiol.* 124:1393-1402 p.
- Greenway, H.**, Munns, R. (1980). Plant response to saline substrates; II. Chloride, sodium and potassium uptake and translocations in young plants of hordeum vulgare during and after short sodium chloride treatment. *Aust. J. Biol. Sci.* 15, 39-57
- Grieu, P.**, Maury, P., Debaeke, P., Sarrafi, A. (2008). Améliorer la tolérance à la sécheresse du tournesol : apports de l'écophysiologie et de la génétique. *Innovations Agronomiques.* 2: 37-51.
- Grignac, P.** (1981). Rendement et composantes du rendement du blé d'hiver dans l'environnement méditerranéen français. Séminaire scientifique. Bari (Italie). Pp. 185-194.
- Guerfel, M.**, Baccouri, O., Boujnah , D. Chaïbi ,W. (2009). Impacts of water stress on gas exchange, water relations, chlorophyll content and leaf structure in the two main Tunisian olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *Scientia Horticulturae* 119(3):257-263
- Hacini, N.**, Brini, L. (2012). Utilisation de quelque marqueures moléculaire et biochimiques dans l'expression de tolérancequ stress hydrique chez 10 génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf). *Rev. Sci. Technol., synthèse* 25 : 6-16
- Haddad, L.**, (2009). Contribution à l'étude de la stabilité des rendements du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous climat méditerranéen. Mémoire de Magister, Département Agronomie, Faculté des Sciences, UFAS, 70.pp.

- Haddad L.** (2017). Analyses AMMI et GGE de l'interaction génotype x milieux du blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) et identification des facteurs explicatifs de l'interaction. Thèse de doctorat. Université Ferhat Abbas Setif-1
- Hallauer A R.,** JB. Miranda. 1988. Quantitative genetics in Maize breeding. Iowa State University, Ames Iowa. 375 pages.
- Hamada, A.M.** ( 2000). Amelioration of drought stress by ascorbic acid, thiamin or aspirin in wheat plants. *Indian J. Plant Physiol.* 5 (4): 358-364.
- Hamdy , A.** (1999). Saline irrigation and management for a sustainable use. In: Advanced Short Course on Saline Irrigation Proceeding, Agadir: 152-227.
- Hamli S. (2015).** Étude de la tolérance du blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) au choc thermique: criblage des plantules et déterminisme génétique de la tolérance. Thèse de doctorat. Université Ferhat Abbas Setif-1
- Hamli S.,** Bouzerzour H., Benmahammed A., Oulmi A., Kadi., et Addad D., (2015). Déterminisme Génétique Des Caractères Morpho-Physiologiques Liés au rendement Chez le Blé Duren Zone semi-Aride des Hauts plateaux Sétifiens, Algérie. *European Scientific Journal* April 2015 edition vol.11, No.12 ISSN: 1857 – 7881(Print) e - ISSN 1857- 7431
- Hannachi, A.** (2013). Analyse diallèle de quelques caractères associés à l'adaptation du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. Mémoire de Magister, Université Saad Dahlab, Blida, 2013, 106 pages.
- Hannachi, A.** (2017). Aptitude à la combinaison, sélection mono et multi caractères et adaptabilité du blé dur (*Triticum durum* Desf.) aux conditions semiarides. Thèse de doctorat. Université Ferhat Abbas Sétif 1
- Haouala, F.,** H. Ferjani, S. Ben El Hadj. (2007). Effet de la salinité sur la répartition des cations ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  et  $\text{Ca}^{2+}$ ) et du chlore ( $\text{Cl}^-$ ) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 11(3): 235-244.
- Hayek T.,** Abdelly C., (2004). Effets de la salinité sur l'état hydrique foliaire, la conductance stomatique, la transpiration et le rendement en grains chez 3 populations de mil (*Pennisetum glaucum* L. R. Br.). *Revue des Régions Arides*, 1: 273-284.
- Hébrard, J. P.** (1996). Blé dur : objectif qualité, Nutrition : des pâtes épatantes. Document édité à l'occasion du colloque : perspectives blé dur, Toulouse, Labège, 26 Novembre 1996 organisé par : *ITCF-ONIC-INRA-ITCF*, p.6 - 7.
- Hervieu, B.,** Capone, R. et Abis, S. (2006). Mutations et défis pour l'agriculture au Maghreb. Dans : Note d'analyse du CIHEAM, N°16, 2006.

- Higazy, M.**, Shehata, M., Allam, A. (1995). Free proline relation to salinity of three sugar beet varieties. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 73: 175-89.
- Hikosaka, K.**, Ishikawa, K., Borjigidai, A., Muller, O. & Onoda, Y. (2006). Temperature acclimation of photosynthesis: mechanisms involved in the changes in temperature dependence of photosynthetic rate. *J. Exp. Bot.* 57 : 291-302 p.
- Hopkins, W. G.** (2003). *Physiologie végétale*. 2<sup>ème</sup> édition. De Boeck, Bruscelles: 61-476.
- Hospital, F.** (2001) Size of donor chromosome segments around introgressed loci and reduction of linkage drag in marker-assisted backcross programs. *Genetics*, 158: 1363 - 1379.
- Hsiao, T.** et Acevedo, E. (1974). Plant responses to water déficits-use efficiency, and drought resistance . *Agricultural meteorology* 14 (1974) 59-84
- Hsissou D.** (1994). Sélection *in vitro* et caractérisation de mutants de blé dur tolérants à la sécheresse. Thèse de doctorat. Univ. Catholique de Louvain.
- Hubac, C.** et Guerrier, D. (1972). Etude de la composition d'acides aminés de deux *Carex setifolia* Godion, peu résistants. Effet d'un apport exogène. *Oecol. Plant.* 7 (2), 147–155.
- Huseynova, I M.**, Suleymanov, S Y., Aliyev, J A.(2007). Structural–functional state of thylakoid membranes of wheat genotypes under water stress. *Biochimica & Biophysica Acta* 1767:869–875.
- Jabnoute M.** (2008). Adaptation des plantes au stress salin : Caractérisation de transporteurs de sodium et de potassium de la famille HKT chez le riz. Thèse de doctorat. Centre international d'études supérieures en sciences agronomiques 2 place Viala – 34060 Montpellier Cedex 1 – France. P. 55
- Jeantet R.**, Croguennec T., Schuck P., Brulé G. (2006). Science des aliments : Biochimie-Microbiologie- Procédés Produits. V2. Technologie des produits alimentaires. (Éd).TEC & DOC. Paris
- Johson, R. C.**, Kanemasu, E.T. (1983). Yield and development on winter wheat at elevated temperature. *Agronomy Journal*. Volume 75; Issue 3. P. 561-565
- Ingram, J**, Bartels D. (1996). The molecular basis of dehydration in plants. *Annu Rev Plant Physiol* 1996; 47: 377-403.
- I. N. R. A.** (2006). Sécheresse et agriculture: Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Synthèse du rapport d'expertise scientifique collective, 76 P
- INRAA**, (2016). Bilan de la campagne céréalière 2014/2015. *Observatoire National des filières Agricoles et Agroalimentaires (ONFAA)*, 12 p.

- Kacperska, A.** (2004). Sensor types in signal transduction pathways in plant cells responding to abiotic stressors: do they depend on stress intensity?. *Physiologia Plantarum*, 122: 159-168.
- Kadi Z.** (2012). Selection de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) pour la tolérance aux stress abiotiques. Thèse de Doctorat en Science. Département d'Ecologie et Biologie végétale. Université Sétif.
- Kameli, A.,** Losel, D. M. (1995). Contribution of carbohydrates and other solutes to osmotic adjustment in wheat leaves under water stress. *J. Plant Physiol*, 145: 363-366.
- Kameli A.,** Losel D. M., (1996). Growth and sugar accumulation in durum wheat plants under water stress. *New Phytol.*, 132: pp.57-62.
- Kamoshita, A.,** Chandra Babu, R., Manikanda Boopathi, N., Fukai, S. (2008). Phenotypic and genotypic analysis of drought-resistance traits for development of rice cultivars adapted to rainfed environments, *Field Crops Research*, 109: 1- 23.
- Kara, K.** (2015). Interactions génotype-milieu de variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) sous stress hydrique. Thèse de doctorat, Univ Constantine, 222P.
- Karou, M.,** Haffid, R., Smith, D. N., Samir, K. (1998). Roots and growth water use and water use efficiency of spring durum wheat under early-season drought. *Agronomy*, 18: 181-186.
- Kerby K.,** Kuspira J. (1987). The phylogeny of the polyploidy wheat *Triticum aestivum* L. (bread wheat) and *Triticum turgidum* (macaroni wheat). *Genome*, 29:722-737.
- Khaldoun, A.,** Chery, J. et Monneveux, P. (1990). Etudes des caractères d'enracinement et de leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez l'orge. *Agronomie*, 10; 369 - 379.
- Knight, H.** (2000). Calcium signaling during abiotic stresses in plants. *Crit Rev Cytol* 2000; 195: 269-325.
- Kobata, T.,** Palta, J.A., Turner, N.C. (1992). Rate of development of postanthesis water deficits and grain filling of spring wheat. *Crop Science*. 32: 1238-1242.
- Kramer, P. J.** (1980). Drought stress and the origin of adaptation. MC. Graw - HILL New York, p.7 - 29.
- Kramer, P. J.,** Boyer, J. S. (1995). Water Relations of Plants and Soils. *Academic Press*, San Diego. New York , 1- 495.
- Laala Z.** (2010). 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. Thèse de Magister. Université Ferhat Abbas Setif-1
- Laala Z.** (2018). Sélection du blé dur (*Triticum turgidum var durum* L.) pour l'adaptation aux conditions semi-arides. Thèse de doctorat. Université Ferhat Abbas Setif-1

- Labdelli A.** (2011). Etude des effets des variations morpho-structurales du systèmes racinaires pour la tolérance à la sécheresse du blé dur (*Triticum durum* Desf.). Thèse de Magister. Université d'Oran ES-SENIA
- Laberche, J-C.** (2004). La nutrition de la plante In *Biologie Végétale. Dunod.* 2e (éd). Paris: 154 -163 p.
- Labhilili, M.,** Jourdier, P., Gautier, M. F. (1995) Characterization of cDNAs encoding *Triticum durum* dehydrins and their expression patterns in cultivars that differ in drought tolerance. *Plant Science* 112, 219–230.
- Lallouche B.,** Hadj kouider B., Beloudah A., Ben madani R., Boutekrabi A. (2021) .Phenotypic characterization of some lettuce cultivars (*Lactuca sativa* L.) cultivated in Algeria. *Revue Agrobiologia* (2020) 10(1): 1787-96
- Langridge, P.,** Paltridge, N., Fincher, G. (2001) Functional genomics of abiotic stress tolerance in cereals, *genomic and proteomic journal*, 4: 343 - 354.
- Lauer, J.,** (2005). Que se passe-t-il dans le plant de maïs par temps sec? University of Wisconsin in Madison, 4 p.
- Lawlor, D.W.,** Day, W. Johnston, A. E., Legg, B. J. and Parkinson, K. J. (1981). Growth of spring barley under drought: Crop development, photosynthesis, dry matter accumulation and nutrient content. *Agric. Sci. Camb.*96; 167 - 186.
- Lebon, E.** (2006). Effet du déficit hydrique de la vigne sur le fonctionnement du couvert, l'élaboration du rendement et la qualité. INERA Sup Agro, UMR, Laboratoire d'Ecophysiologie des Plantes sous Stress Environnementaux, 4 p.
- Lecomte, C.** (2005) L'évaluation expérimentale des innovations variétales. Proposition d'outils d'analyse de l'interaction génotype-milieu adaptés à la diversité des besoins et des contraintes des acteurs de la filière semences. UR LEG INRA. Paris, *AgroParisTech*. Thèse de doctorat: 262p.
- Lee, G. J.,** Vierling, E. (2000) A small heat shock protein cooperates with heat shock protein 70 systems to reactivate a heat denatured protein. *Plant Physiol*, 122: 189- 198.
- Lefebvre, V.,** Poormohammad Kiani, S., & Durant-Tardif, M. (2009). A focus on natural variation for abiotic constraints response in a model species *Arabidopsis thaliana*. *International Journal of molecular sciences*, 10: 3547-3582.
- Legros, J. P.** (2009). La salinisation des terres dans le monde. Académie des Sciences et Lettres de Montpellier conférence N° 4069, Bull. N° 40, pp. 257-269.
- Lepoivre, P.** (2003). Phytopathologie: Bases moléculaires et biologiques des pathosystèmes et fondements des stratégies de lutte. De Boeck Supérieur, 27-28.

- Lessani H.** (1969). Recherche sur le comportement physiologique de la luzerne en présence de NaCl. Etude de quelques aspects de la nutrition minérale et du métabolisme respiratoire. Thèse Doctorat Science, Paris, 152 p.
- Levigneron A.,** F. Lopez, G. Vansuyt, P. Berthmieu & P. Fourcroy, (1995). Les plantes faces au stress salin. *Cah. Agric.*, 4, 263-273.
- Levitt J.** (1982). Responses of plants to environmental stresses. *Academic Press*, New York.
- Levy A. A.,** Feldman M. (2002). The impact of polyploidy on grass genome evolution. *Plant Physiol.* 130: 1587-1593
- Lignowski, E.M.,** Splittstoesser, W.E. (1971). Arginine synthesis, proline synthesis and related process. In JOHN & THOMPSON (Eds): *The Biochemistry of plants*, 25, pp. 225-229.
- Lizana, C.,** M. Wentworth, J.P. Martinez, D. Villegas, R. Meneses, E.H. Murchie, C. Pastenes, B. Lercari, P. Vernieri, P. Horton, M. Pinto. (2006). Differential adaptation of two varieties of common bean to abiotic stress. I. Effects of drought on yield and photosynthesis. *J. Exp. Bot.*, 57: 685–697.
- Loss, S.P.,** Kirby, E. J. M., Siddique, K. H. M. et Perry, M. W. (1989). Grain growth and the development of old and modern Australian wheats. *Field Crops Res.* 21:131-146
- Maazouz, L.,** H. Bouzerzour (2017). Etude de la contribution des paramètres phéno-morphologiques à la sélection du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous climat semi-aride. *Rev. Sci. Technol., Synthèse* 35: 45-58.
- Maccaferri, M.,** Sanguineti, M. C., Natoli, E., Araus-Ortega, J. L., & Bensalem, M. (2006). A panel of elite accessions of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) suitable for association mapping studies. *Plant Genet. Resour.* 4: 79–85.
- Mac Key, J.,** (2005). Wheat: Its concept, evolution, and taxonomy. In: Conxita.
- Madhava Rao, K. V.,** Raghavendra, A., Janardhan Reddy, K. (2006). Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants . DOI:10.1007/1-4020-4225-6\_1
- Majumder, A. L.,** Sengupta, S., Goswami, L. (2010). Osmolyte regulation in abiotic stress. Chap. 16. Dans Abiotic stress adaptation in plants : Physiological, molecular and genomic foundation. Sous la direction de A. Pareek, S. K. Sopory, H. J. Bohmert et Govindjee.p.349-370
- Mallek-Maalej, E.,** Boulasnem, F. et Ben Salem, M., (2004). *Cahiers Agriculture*, 12, (2004), 153-156.
- Mandal, S. M.,** Chakraborty, D. and Gupta, K. (2008). Seed Size variation: Influence on germination and subsequent seedling performance in *Hyptis suaveolens* (Lamiaceae). *Res. J. Seed Sci.*, 1: 26-33.2008

- Mansour, M. M. F.**, Lee-Stadelmann, O. Y. & Stadelmann, E. J. (1993a). Solute potential and cytoplasmic viscosity in *Triticum sativum* and *Hordeum vulgare* under salt stress. A comparison of salt-resistant and salt-sensitive lines and cultivars. *J. Plant Physiol.*,142, 623-628.
- Markwell, J.**, Osterman J. C., Mitchell, J. L. (1995). Calibration of the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. *Photosynthesis Research*, 46, 467-472.  
<http://dx.doi.org/10.1007/BF00032301>
- Martinez, J.P.**, H. Silva, J.F. Ledent, M. Pinto. 2007. Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Europ. J. Agronomy*, 26: 30–38.
- Maury, P.**, Langlade, N., Grieu, P., Rengel, D., Sarrafi, A., Debaeke, P., Vincourt, P. (2011). Ecophysiologie et génétique de la tolérance à la sécheresse chez le tournesol. *Innovations Agronomiques 14 (2011)*, 123-138
- Mazouz L.** (2006). Etude de la contribution des paramètres phéno- morphologiques dans l'adaptation du blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans l'étage bioclimatique semi-aride .Mémoire de Magistère. Université Hadj Lakhdar Batna.
- McNeal, F.H.**, Qualset, C.O., Baldrige, D.E., Stewart, V.R., (1978). Selection for yield and yield components in wheat. *Crop Sci*, 18 : 795–799
- Mekhlouf, A.**, Bouzerzour H. (2000). Déterminisme génétique et associations entre le rendement et quelques caractères a variation continue chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Rcherche Agronomique (INRAA)* ,7 : 37-49.
- Mekhlouf, A.**, Bouzerzour, H., Benmahammed, A., & Hadj Sahraoui, A. (2006). Adaptation de variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride; *Sécheresse*, 17, 507-513.
- Mekliche A.**, Boukecha D. et Hanifi-Mekliche L. (2003). Étude de la tolérance a la sécheresse de quelques variétés de blé dur (*triticum durum* Desf.). L'effet de l'irrigation de complément sur les caractères phrénologiques, morphologiques et physiologiques. *Annales de l'institut national agronomique - EL-Harrach - Vo1.24. N°1 et 2.2003*
- Mezni , M.**, Albouchi, A., Bizid, E., Hamza, M. (2002). Effet de la salinité des eaux d'irrigation sur la nutrition minérale chez trois variétés de luzerne pérenne (*Medicago sativa*). *Agronomie*, 22, (2002), pp. 283-291
- Miller, W. A.**, Waterhouse, P. M., Brown, J. W. S., Browning, K. S. (2001). The RNA world in plants: post-transcriptional control III. *Plant Cell*, 13: 1710-1717.
- Mnif, L.**, Chaieb, M. (2004). Efficacité comparée de l'utilisation de l'eau de pluie en milieu aride par quatre populations d'une Poaeae pérenne. *Revue des Régions Arides*, 1: 252-257.

- Mogensen, V. O.** (1991). Growth rate of grains of barley in relation to drought. *Acta. Agric. Scand.* 41: 345 - 353.
- Mogensen V. O., Jensen, H. E.** (1989). The concept of stress days in modeling crop yield response to water stress. In: Plancquaert. p. (ed.) *Management of water resources in cash crops and in alternative production systems*. Commission of the European communities report, EUR 11935 EN. Commission of the European communities. Luxembourg. pp.13-22
- Moinuddin, Singh, K., Bansal, S.K.** ( 2005). Growth yield and economics of potato in relation to progressive application of potassium fertilizer. 28: 183-200
- Monneveux, P., Nemmar, M.** (1987). Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.); Etude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agronomie*. N° 6, p. 583 - 590.
- 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. Ed. AUPELF-UREF. *John Libbey Eurotext*. Paris 0 1991, pp. 165, 186.
- Monneveux P., Depigny-This D.** (1995). Intégration des approches physiologiques, génétiques et moléculaires pour l'amélioration de la tolérance à la sécheresse chez les céréales. *Quel avenir pour l'amélioration des plantes ?* Ed. AUPELF-UREF. *John Libbey Eurotext*. Paris 1995, pp. 149-163.
- Monneveux, P., This, D.** (1997). La génétique aux problèmes de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse: espoirs et difficultés. *Sécheresse* 1, 1,8, 29 - 37.
- Moragues , M., Zarco-Hernández , J., Moralejo, M.A. et Royo, C.** (2006). Genetic diversity of glutenin protein subunits composition in durum wheat landraces [*Triticum turgidum* ssp. *Turgidum* convar. *durum* (Desf.) MacKey] from the Mediterranean basin. *Genet. Resour. Crop Ev.* 53: 993-1002
- Moran, M. S.** (2000). Thermal infrared measurement as an indicator of plant ecosystem health. USDA-ARS Southwest Watershed Research Center. Tucson, Arizona.
- Morant-Manceau, P., Pradier E., Tremblin G.** ( 2004). Osmotic adjustment gas exchanges and chlorophyll fluorescence of a hexploid triticale and its parental species under salt stress. *Journal of plant physiologie*. N°161, PP. 25-33
- Morgan, J. M.** (1984). Osmoregulation and water stress in higher plants. *Annu. Rev. Plant Physiol*, 35: 299 - 319.

- Morgan, J. M., Hare, R. A., Fletcher, R. J.** (1986). Genetic variation in osmoregulation in bread in durum wheats and its relationship to grain yields in a range of field environments. *Aust. J. Agric. Res.* 37, 449-457.
- Morris, L. C., Thompson, J. F., Johnson, C. M.** (1969). - Metabolism of glutamic and N-acetyl glutamic acid in leaf discs and cell-free extracts of higher plants. *Plant Physiol.*, 44, pp. 1023-1026.
- Morizet, J.** (1984). Essai d'amélioration de la résistance à la sécheresse du tournesol (*Helianthus annuus*) par croisements interspécifiques avec une espèce sauvage (*Helianthus argophyllus*). *Agronomie*, Vol. 4, N° 6 p. 125 - 129.
- Mrani Alaoui M., El Jourmi L., Ouarzane A., Lazar S., El Antri S., Zahouily M., Hmyene A.** (2013). Effet du stress salin sur la germination et la croissance de six variétés marocaines de blé (Effect of salt stress on germination and growth of six Moroccan wheat varieties). *J. Mater. Environ. Sci.* 4 (6) (2013) 997-1004
- Mouellef A.** (2010). Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au stress hydrique. Mémoire de Magistère. Université Mentouri. Constantine.
- Mouhouche, B. et Boulassel, A.** (1997). Gestion rationnelle des irrigations de complément des cultures de légumineuses alimentaires et des céréales. *Recherche Agronomique*, 1 : 21-31.
- Moule C.** (1971). Les céréales Tome 2. La maison rustique, Paris
- Munns, R., Termaat, A.** (1986) Whole-plant responses to salinity, *Aust. J. Plant Physiol.* **13**, 143-160.
- Munns, R.** (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell and Environment*, 25: 239-250.
- Munns, R., Richard, A.J., Lauchli, A.** (2006). Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 57, No. 5, pp. 1025-1043,
- Munns, R., James, J. A., Xu, B., Athman, A., Conn, S. J., Jordans, C., Byrt, C. S., Hare, R. A., Tyerman, S. D., Tester, M., Plett, D., Gilliam, M.** (2012) Wheat grain yield on saline soils is improved by an ancestral Na<sup>+</sup> transporter gene. *Nature Biotechnology*, 30: 360 - 364.
- Nachit, M.M.** (1986). Durum wheat improvement. In VARMA Ed., Cereal improvement program 1986, ICARDA publ.112 en, Aleppo, pp. 78-101.
- Nachit, M. M., Picard, E., Monneveux, P., Labhilili, M., Baum, M., Rivoal, R.** (1998). Présentation d'un programme international d'amélioration du blé dur pour le bassin méditerranéen. *Cahiers Agric.*, 7 : 510-515.

- Nadjem, K.** (2012). Contribution a l'étude des effets du semis direct sur l'efficience d'utilisation de l'eau et le comportement varietal de la culture de ble en region semi-aride. Thèse de Magister. Université Ferhat Abbas Sétif
- Navarro, A. R.,** Rubio, F. (2006). High-affinity potassium and sodium transport systems in plants *Journal of Experimental Botany*; 57(5):1149-1160
- N'DIONGO, O.** (1993). Irrigation de complement du ble: Effet de l'irrigation post-epiaison. Memoire de fin d'etudes d'ingenieur de l'E.S.I.E.R. 47p.
- Neffar F.** (2013). Analyse de l'expression des gènes impliqués dans la réponse au stress abiotique dans différents génotypes de blé dur (*Triticum durum*) et d'orge (*Hordeum vulgare*) soumis à la sécheresse. Thèse de Doctorat. Université Ferhat Abbas Setif-1
- Nemmar M.** (1983). Contribution a l'étude de la résistance a la sécheresse chez les variétés de blé dur (*Triticum durum* L): Evolution des teneurs en proline de cycle de developement. Thèse Docteur – ingénieur, Montpellier, 108 p.
- Nesbitt, M.,** Samuel, D. (1995). from staple crop to extinction? The archeology and history of the hulled wheats. In Hulled Wheats. Proceedings of the First International Workshop on Hulled Wheats, 1st ed., S. Padulosi, K. Hammer, and J. Heller, eds (Rome: International Plant Genetic Resources Institute), pp. 40–99.
- Ney B.,** Bancal M.O., Bancal P., Bingham I., Foulkes J., Gouache D., Paveley N. P., Smith J. D., (2013). Crop architecture and crop tolerance to fungal diseases and insect herbivory. Mechanisms to limit crop losses. *European Journal of Plant Pathology* 135, 561-580.
- Nouar H.** (2015). Contribution à l'étude de l'interaction génotype-environnement de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous climat méditerranéen : application des modèles de la régression conjointe et de l'AMMI. Thèse de doctorat. Université Ferhat Abbas Setif-1
- Niu X.,** R.A. Bressan, P. M. Hasegawa, J. M. Pardo, (1995). Ion homeostasis in NaCl stress environments. *Plant Physiol.*, 109, 735-742.
- Nylander, M.,** Heino, P., Helenius, E., Palva, ET ., Ronne ,H ., Welin,BV. (2001) The low-temperature- and salt-induced RCI2A gene of Arabidopsis complements the sodium sensitivity caused by a deletion of the homologous yeast gene SNA1. *Plant Mol Biol* 45(3):341-52
- 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.

- Ouanzar S.** (2012). Etude comparative de l'effet du semis direct et du labour conventionnel sur le comportement du blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mémoire de Magistère. Université .Farhat Abbes Sétif
- Oudjani W.** (2009). Diversité de 25 géotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) : étude des caractères de production et d'adaptation. Thèse de Magister. Université Mentouri. Constantine
- Ouhaddach, M., ElYacoubi, H., Douaik, A., Hmouni, D., Rochdi A.** (2016). Réponse à la salinité de quelques paramètres physiologiques et biochimiques du Blé (*Triticum aestivum* L.) au stade montaison. Physiological and Biochemical Responses to Salt Stress in Wheat (*Triticum aestivum* L.) at the elongation stage. *J. Mater. Environ. Sci.* 7 (9) (2016) 3084-3099.
- O'toole, J. C., Cruz, R. C.** (1980). Response of leaf water potential, stomatal resistance, and leaf rolling to water stress. *Plant physiology*, 51: 993- 997.
- Ottow, E.A., Brinker, M., Teichmann, T., Fritz, .T et al.,** (2005). *Populus euphratica* Displays Apoplastic Sodium Accumulation, Osmotic Adjustment by Decreases in Calcium and Soluble Carbohydrates, and Develops Leaf Succulence under Salt Stress . Published December 2005. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.105.069971>
- Oweis, T., Pala, M., Ryan, J.** (1999). Management alternatives for improved durum wheat, production under supplemental irrigation in Syria. *Eur.J. Agron.*, (11): 255-266.
- Passioura, J.** (2004). Increasing crop productivity when water is scarce: From breeding to field management In: Proceedings of the 4th International Crop Science Congress "New directions for a diverse planet" Brisbane, Australia. 12p. [www.regional.org-au/au/cs](http://www.regional.org-au/au/cs).
- Paterson, A. H., Tanksley, S. D., Sorrells, M. E.** (1991) DNA markers in plant improvement. *Adv Agron*, 46: 39 - 90.
- Pesci, P., A. Beffagna.** (1984). inhibiting effect of fusicoccin on abscisic acid induced proline accumulation in barley leaves. *Plant Sci. Letters*, 37: 7-12.
- Pfeiffer W. H., Sayre K. D., Reynolds M. P.** (2000). Enhancing genetic grain yield potential and yield stability in durum wheat. *Options méditerranéennes* .40: 83-93p.
- Pramoda, H. P., Gangaprasad, S.** (2007). Biometrical basis of handling segregation population for improving productivity in onion (*Allium cepa* L.). *J. Asian Hort.*, 3: 278-280.
- Protsenko, D. C., Shmatkoi, G., Rubanyuk, E. A.** (1968). Drought hardiness of winter wheat varieties as related to their amino acid composition. *Fiziol. Rast.*, 15: 680-687
- Rabti Aboubakr, Fellahi Zine El Abidine, Hannachi Abderrahmane, Bouzerzour Hamenna, Benmahammed Amar.** (2016). Variabilité phénotypique et sélection pour la performance et

l'adaptation du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) aux conditions des zones semi-arides. *Revue Agriculture*. 11 (2016) 4 – 14

**Radhouane L.**, Aissa N., Romdhane L. (2014). Effets d'un stress hydrique appliqué à différents stades de développement sur l'aspect quantitatif et qualitatif des semences chez un écotype autochtone de sorgho grain (*Sorghum bicolor*). *Journal of Applied Biosciences* 74:6149– 6156. ISSN 1997–5902

**Rampino, P.**, Pataleo, S., Gerardi, C., Mita, G., Perrotta, C. (2006) Drought stress response in wheat: physiological and molecular analysis of resistant and sensitive genotypes. *Plant Cell Environ* 29:2143–2152

**Rayapati, P.J.** & Stewart, C.R. (1991). Solubilization of proline dehydrogenase from maize (*Zea mays* L.) mitochondria. *Plant Physiol.*, 95, pp. 787-791

**Rebetzke, G. J.**, Condon, A. G., Richards, R. A., Farquhar, G. D. (2002). Selection for reduced carbon-isotope discrimination increases aerial biomass and grain yield of rainfed bread wheat. *Crop Science*, 42: 739 - 745

**Rebetzke, G. J.**, Condon, A.G., Farquhar, G.D., Appels, R., Richards, R.A. (2008). Quantitative trait loci for carbon isotope discrimination are repeatable across environments and wheat mapping populations. *Theoretical and Applied Genetics*, 118:123–137.

**Reddy, P. S.**, Veeranjanyulu, K. (1991) Proline metabolism in senescing leaves of horsgram (*Macrotyloma uniflorum* Lam.). *J. Plant. Physiol.* N° 137, p. 381 - 383.

**Reignault P.** (2002). Mécanismes liés aux interactions entre plantes et agents pathogènes : pouvoir pathogène et dégradation de la pectine. Résistance innée et résistance acquise chez les plantes. Thèse d'habilitation, *Univ. Littoral Côte d'Opale, France, volume I*, 163 pages.

**Rekika D. J.** (1997). Identification et analyse génétique des caractères physiologiques liés au rendement en condition de sécheresse chez le blé dur. Intérêt potentiel des espèces sauvages apparentées pour l'amélioration de ces caractères. Thèse de Doctorat. ENSA de Montpellier. 158 p.

**Ren, Z.**, Gao, J. P., Li, L.G., Cai, X.L., Huang, W. et al., (2005). A rice quantitative trait locus for salt tolerance encodes a sodium transporter. *Nature Genet.* 37 : 1141-60

**Reynolds, M.**, Balota, M. M., Delgado, M. I. B., Amani, I. (1994). Physiological and Morphological Traits Associated With Spring Wheat Yield Under Hot, Irrigated Conditions. *Functional Plant Biology* 21(6): 717-730

**Reynolds, M.**, Foulkes, M. J., Slafer, G. A., Berry, P., Parry, M. A., Snape, J. W. and Angus, W. J. (2007). Raising yield potential in wheat. *Journal of Experimental Botany*, erp016.

- Reynolds, M.**, Manes, Y., Izanloo, A., Langridge, P. (2010). Phenotyping approaches for physiological breeding and gene discovery in wheat. *Annals of Applied Biology*, 155: 309–320.
- Rezgui, M.**, Bizid, E., Ben Mechlia, N. (2004). Etude de la sensibilité au déficit hydrique chez quatre variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) cultivées en conditions pluviales et irriguées en Tunisie. *Revue des Régions Arides*, 1: 258-265.
- Ricards, R. A.** (1983). Manipulation of area and its effects on grain yield in drought wheat. *Aust. Agric. Res.* 34: 23 - 31.
- Richards, RA**, Rebtzke, GJ, Van Herwardlen, AF, Dugganb, BL, Condon, A. (1997). Improving yield in rainfed environments through physiological plant breeding. *Dryland Agriculture* 1997; 36: 254-66.
- Richards, R. A.**, Rebtzke, G. J., Watt, M. ., Condon, A. G, Spielmeyer, W., Dolferus, R. (2010). Breeding for improved water productivity in temperate cereals: Phenotyping, quantitative trait loci, markers and the selection environment. *Functional Plant Biology*, 37: 85–97.
- Robredo, A.**, Perez-Lopez, U., Sainz de la Maza, H., Gonzalez-Moro, B., Lacuesta M., Mena-Petite, A., Munoz-Rueda, A. (2007). Elevated CO<sub>2</sub> alleviates the impact of drought on barley improving water status by lowering stomatal conductance and delaying its effects on photosynthesis. *Environmental and Experimental Botany* 59:252–263.
- Rodriguez, M. L.**, Nakayasu, E. S., Oliveira, D. L., Nimrichter, L., Nosanchuk, J. D., Almeida, I. C., Casadevall, A. (2008). Extracellular vesicles produced by *Cryptococcus* informants contain protein components associated with virulence. *Eukaryot. Cell*, 7: 58-67.
- Roudart, L.** (2006) Terres cultivées et terres cultivables dans le monde. *Paleohistoria* N°48, p.150 - 156.
- Saadalla, M. M.**, Quick, J. S., Shanahan, J. F. (1990b). Heat tolerance in winter Wheat: II. Membrane thermostability and field performance. *Crop Sci.* 30:1248-1251.
- Sairam, R. K.**, Roa, K. V, Srivastava, G. C. 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Sci.*, 163: 1037-1046.
- Salama S.**, Trivedi, S., Bushera, M., Arafa, A.A., Garab, G. & Erdei, L. (1994). Effects of NaCl salinity on growth, cation accumulation, chloroplasts structure and function in wheat cultivars differing in salt tolerance. *J. Plant Physiol.*, 144, 241-247.

**Salmi M.** (2015). Caractérisation morpho-physiologique et biochimique de quelques générations F2 de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides. Mémoire de Magister. Université Farhat Abbas. Sétif

**Salmi, M.,** Benmahammed, A., Benderradji, L., Fellahi, Z., Bouzerzour, H., Oulmi, A., Benbelkacem, A. (2019). Generation means analysis of physiological and agronomical targeted traits in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cross. *Rev. Fac. Nac. Agron*, 72 (3), 8971-8981

**Salsac, L.** et Monneveux, P. (1991). Relation entre la nutrition minérale et la tolérance au délithyrique. In *Physiology- Breeding of Winter Cereals Ibr Stressed Mcditerranean Environments*. Montpellier. July 3-6. (colloques N°55) (eds) Acevedo E., Conesa A. P., Monneveux P. and Srivastava J.P. 49-66

**Salse, J.,** Bolot, S., Throude, M., Jouffe, V., Piegu, B., Quraishi, U., Calcagno, T., Cooke, R., Delseny, M., Feuillet, C. (2008). Identification and characterization of shared duplications between rice and wheat provide new insight into grass genome evolution. *The Plant Cell Online*. 20(1):11.

**Sambrouk J.,** Frischi EF., Maniatis T. (1989). *Molecular Cloning: a laboratory manual*. Cold Spring Harbor Laboratory Press 2012. New York.

**Sanchez, F. J.,** Manzanares, M. D. E., Andres, E. F., Tenorio, J. L., Schellenbaum, L., Sprenger, N., Schuepp, H., Wiemken, A., Boller, T. (1999). Effects of drought, transgenic expression of a fructan synthesizing enzyme and of mycorrhizal symbiosis on growth and soluble carbohydrate pools in tobacco plants. *New phytol*. 142: 67-77.

**Sánchez-Rodríguez, E.,** Rubio-Wilhelmi, M., Cervilla, L.M. Begoña Blasco Leon, M. (2010). Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. *Plant Science* 178(1):30-40

**Sandhu, A. S.,** Laude, H. H. (1985). Tests of drought and heat hardiness of winter wheat. *Agro. J.* N° 50, p. 78 - 81.

**Sassi, K.,** Abid, G., Jemni, L., Dridi-Al Mohandes, B., & Boubaker, M. (2012). Étude comparative de six variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) vis-à-vis du stress hydrique. *Journal of Animal & Plant Sciences*. Vol.15, Issue 2:2157-2170.

**Savitskaya, N. N.** (1967). Problem of accumulation of free proline in barley plant under conditions of soil water deficiency. *Fiziol Rast* ; 14 : 737-739.

- Sayre, K. D.**, Acevedo, E, Austin, RB. (1995). Carbon isotope discrimination and grain yield for three bread wheat germplasm groups grown at different levels of water stress. *Field Crop Res* 1995; 41 : 45-54.
- Schachtman, D P.**, Goodger, J Q D. (2008). Chemical root to shoot signaling under drought. *Trends in Plant Science*. 13 (6) : 281– 287.
- Schachtman, DP.** (1995). the significance of a 2-phase growth-response to salinity in wheat and barley. *Australian Journal Plant Physiolog* (22) 561-569
- Shields, R.** et Burnett, W. (1960). Determination of protein bound carbohydrate in serum by a just modified anthrone method. *Anal. Chem.*, 32 : 885-886.
- Schuhwerk, D.**, Nakhforoosh, A., Kutshka, S., Bodner, G., Rausgruber, H. (2011) . Field-screening of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) for drought tolerance. In Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs. 2010, p. 147-154. LFZ Raumberg-Gumpenstein, Irdning, Austria
- Schulze E-D.**, Beck E., Müller-Hohenstein K. (2005). Plant ecology. *Springer*. Berlin: 117-143p.
- Scofield T.**, Evans J., Cook M. G., Wardlow I. F.( 1988). Factors influencing the rate and duration of grain filling in wheat. *Aust.J. Plant physio*.4:785-797p
- Semcheddine N.** (2015). Evaluation de la tolérance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) par l'étude du bilan hydrique et des paramètres phéno-morpho-physiologiques. Mémoire de doctorat. Université Farhat Abbes Sétif
- Shao, H. B.**, Chu, LY. (2005). Plant molecular biology in China: Opportunities and challenges. *Plant Molec Biol Rep* 23:345 358
- Sharma, R. C.**, Smith, E. L., McNeal, R. W. (1991). Combining ability analysis for harvest index in winter wheat. *Euphytica*, 55: 229- 234.
- Sharma, R. C.** (1993). Selection for biomass yield in Wheat. *Euphytica* 70: 35-42
- Sharp, RE.**, Davies ,WJ. (1989). Regulation of growth and development of plants growing with a restricted supply of water. In: Jones HG, Flowers TL, Jones MB, eds. *Plants under stress*. Cambridge: Cambridge University Press, 71–93.
- Shewry P.** (2009). Wheat. *Journal of experimental botany*, 60 (6): 1537.
- Siakhène , N.** (1984) . Effet du stress hydrique Sur quelques espèces de luzerne Annuelle. Mémoire ing Agr. INA. El Harrach : 90 p.
- Siddique K. H. M.**, Kerby E. J. M., Perry M. W. (1989). Ear: stem ratio in old and modern wheat varieties. *Field Crop Research* 21:59-78.

- Simmonds N. W.** (1991). Selection for local adaptation in a plant breeding program, *Theor. Appl. Genet.*, 82, (1991), 363 – 367
- Singh K. B.** et al. (1994). Current status and further strategy in breeding chickpea for resistance to biotic and abiotic stresses. *Euphytica*, 73, 137-149. 1994.
- Singh, T. N.**, Paleg, L.G. et Aspinal, D. (1973). Stress metabolism. Variations in response to water deficit in the barley plant. *Aust. J. Biol. Sci.* 26, 65-75.
- Sivasubramanian, S.**, Menon, M. (1973). Heterosis and inbreeding depression in rice. *Madras Agricultural J.* 60: 1139.
- Slafer, G A.**, Andrade, F H. (1990). Genetic improvement effect on preanthesis phenological attributes related to wheat grain yield, *FCR.* 23: 255 – 263.
- Slafer, G. A.** et Rawson H.M. (1994). Sensitivity of wheat phasic development to major environmental factors: a re-examination of some assumptions made by physiologists and modellers. *Aust. J. Plant Physiol.* 21:393-426
- Slama, A.** (2002). Étude comparative de la contribution des différentes parties du plant du blé dur dans la contribution du rendement en grains en irrigué et en conditions de déficit hydrique. Thèse de doctorat en biologie, faculté des sciences de Tunis.
- Slama, A.**, Ben Salem, M., Ben Naceur, M., Zid, E. (2005). Les céréales en Tunisie: Production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. *Sécheresse* 2005; 16(3) :225-9
- Sofield, I.**, Wardlaw, I.F., Evans, L.T. et Zee, S.Y. (1977). Nitrogen, Phosphorus and water contents during grain development and maturation in wheat. *Aust. J. Plant Physiol.* 4:799-810
- Soltani, A.**, Hajji, M. & Grignon, C. (1990). Recherche de facteurs limitant la nutrition minérale de l'orge en milieu sale. *Agronomie*, EDP Sciences, 10 (10), 857-866
- Soltner, D.** (1987). Les grandes cultures, Ed .Française .
- Soltner, D.** (1990). Les grandes productions végétales. Collection Sciences et Techniques agricoles, édition N° 17, 464 p.
- Soltner, D.** (1998). Les grandes productions végétales : céréales, plantes sarclées, prairies. Sainte-Gemme-sur-Loire, Sciences et Techniques Agricoles.
- Son, D.** (2010). Effet du stress hydrique sur la croissance et la production du sésame (*Sesamum indicum*). Diplôme d'étude approfondies (DEA). Burkina Faso.
- Spollen, W. G.**, Sharp, R.E., Saab, I.N., Wu, Y. (1993). Regulation of cell expansion in roots and shoots at low water potentials. In: Smith JAC, Griffiths H, editors. Water Deficits: Plant Responses from Cell to Community. Oxford: BIOS Scientific Publishers; 1993. pp. 37–52.

- Steinmetz, L. J. P.,** Delecolle, R., Guerif, M., Seguin, B. (1989). Evapo-transpiration and water stress using thermal infrared measurement. A general review and a case study on winter durum wheat in southern France physiologie, selection des céréales d'hiver en condition méditerranéennes, colloque n°55, Ed. *INRA*. Montpellier. 89-114.
- Stewart, G. R.,** Lee, J. A. (1974). The role of proline accumulation in halophytes. *Planta journal*, 120: 279-289.
- Stewart, C. R.,** Boggess, S. F. (1978). Role of carbohydrates in proline accumulation in wilted barley leaves. *Plant Physiol.*, 61, 775- 778.
- Stewart, C. R.,** Boggess, F., Aspinall, D., Paleg, I.G. (1977). Inhibition of proline oxidation by water stress. *Plant Physiol.*, 59, pp. 930-932.
- Tafforeau, M.** (2002). Etude des phases précoces de la transduction des signaux environnementaux chez le lin : une approche protéomique. Thèse de doctorat. Université de Rouen.
- Tahri E.,** Belabed A. Sadki K. (1997). Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum Desf.*). *Bulletin de l'Institut Scientifique*. Rebat.21: 81 - 89 p.
- Tal, M.,** Katz, A., Heikinh and Dahan, K. (1979). Salt tolerance in wild relatives of cultivated tomato: proline accumulation in *Lycopersicon esculentum* Mill., *L. peruvianum* Mill. And *Solanum pennellii* treated with NaCl and polyethyleneglycol. *New Phytol.* 82; 349-355
- Tal, M.,** I. Rosenthal. (1979). Salt tolerance in *Simmondsia chenensis* water balance and accumulation of chloride sodium and proline under low and high salinity. *Ann Bot.*, **34**: 701-708.
- Taleisnik, E. L.,** Grunberg, K. (1994). Ion balance in tomato cultivars differing in salt tolerance. Sodium and potassium accumulation and fluxes under moderate salinity. *Physiol. Plant.*, **92**, 528-534.
- Tambussia, E A.,** Bartolia, C G., Beltranoa, J., Guiameta, J J., Araus, J L. (2000) .Oxidative damage to thylakoid proteins in water-stressed leaves of wheat (*Triticum aestivum*). *Physiologia Plantarum* 108:398–404.
- Tardieu, F.,** Simonneau, T. (1998). Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: Modeling isohydric and anisohydric behaviors, *J. Exp. Bot.*, 49: 419-432.
- Tardieu, F.,** Reymond, M., Hamard, P., Granier, C., Muller, B., (2000). Spatial distributions of expansion rate, cell division rate and cell size in maize leaves: a synthesis of the effects of soil water status, evaporative demand and temperature. *J. Exp. Bot.*, 51: 1505–1514.

- Tardieu F.** (2003). Virtual plants: modeling as a tool for the genomics of tolerance to water deficit, *Trends Plant Sci.*, V. 08, (2003), 9 - 14.
- Tardieu, F.**, Cruiziat, P., Durand, J.L., Triboï, E., Zivy, M. (2006). Perception de la sécheresse par la plante, conséquences sur la productivité et sur la qualité des produits récoltés. In : J.-P. Amigues, P. Debaeke, B. Itier, G. Lemaire, B. Seguin, F. Tardieu, A. Thomas (Eds.), Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Expertise collective scientifique, rapport, INRA, France, p. 49-67.
- Teakle, N.**, Real, D., Colmer T. (2007). Lotus tenuis tolerates interactive effects of salinity and waterlogging by 'excluding' Na and Cl<sup>-</sup> from the xylem. *Journal of Experimental Botany* 58(8):2169-80
- Teulat-Merah B.**, Ben Salem M., Zoumarou<sup>2</sup> H. Bahri W., Douimi R., This' D. (2001). Etude de la tolérance à la sécheresse chez les céréales. See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/32968268>. **Teulat B.B.**, Monneveux P., Wery J., Borries c., Souyriss 1., Charrieri A. & This D., (1997). Relationships between relative water content and growth parameters under water stress in barley: a QTL study. *New Phytol* 137: 99-107.
- Thomashow, M.** (1999). Plant cold acclimation: Freezing tolerance genes and regulatory mechanisms. *Plant Mol Biol* 1999; 5: 605-17.
- Tounsi, S.**, Ben Amer, S., Masmoudi Kh. Et al. (2016). Caractérisation of two HKT 1; 4 transporter from triticum monococcum to elucidate the determination of the Wheat Salt tolerance Nax 1QTL. *Plant and Cell Physiology*. 57 (10)
- Triboï E.** (1990). Modèle d'élaboration du poids du grain chez le blé tendre. *Agronomie*. 10: 191- 200p.
- Troccoli, A.**, Borrelli, G.G., De-Vita, P., Fares, C. et Di-Fonzoet, N. (2000). Mini review : durum wheat quality : a multidisciplinary concept. *Journal of Cereal Science* N° 32, p. 99 - 113.
- Troll, W.**, Lindsley, J. (1955). A photometric method for the determination of proline, *J. Biochem.*, 215: 655 - 660.
- Turner, N. C.** (1986). Adaptation to water deficits: A changing perspective. *Aust J Plant Physiol*, 13: 175-190
- Tyankova, LA.** (1967). Effects of I. A. A. and 2,4-D on free and bound amino acids in wheat plant recovering after brief drought treatments. *Field Crop Alstr.* ; 153 1 (20): 3.
- Tyree, M.T.**, et Jarvis, P.G. (1982) .Water in tissue and cells. *Dans Encyclopedia of plants physiology*. New Series. Vol. 12b. Physiologica plant ecology II. *Sous la direction de :*

O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond, et H. Ziegler. Springer-Verlag, Berlin, Allemagne. p. 36–77.

**Ullah S. M.**, Soja G., Gerzabek M. H. (1993). Ion uptake, osmoregulation and plant-water relations in faba beans (*Vicia faba* L.) under salt stress. *Die Bodenkultur*, 44: 291-301.

**Vadel, A.M.** (1999). Evaluation écophysiological de la tolérance aux contraintes abiotiques chez le triticale (X-Triticosecale Wittmack) et le sorgho (*Sorgho bicolor* L.). Doctorat de Biologie, Faculté des Sciences de Tunis, Univ. Tunis II.

**Vincent J.** (2014). Inférence des réseaux de régulation de la synthèse des protéines de réserves du grain de blé tendre en réponse à l’approvisionnement en azote et en soufre. Thèse de doctorat. Unis Balaise Pascal, Auvergne.

**Vlasyuk, PA**, Shmat’koi G, Rubanyuk EA. (1968). Role of the trace elements zinc and boron in amino acid metabolism and drought resistance of winter wheat. *Fiziol Rast* ; 15 : 281-287.

**Volkov V.** (2015). Salinity tolerance in plants. Quantitative approach to ion transport starting from halophytes and stepping to genetic and protein engineering for manipulating ion fluxes. *Frontiers in Plant Science* 6(873):873

**Wakabayashi, K.**, T. Hoson, S. Kamisaka. (1997). Changes in amounts and molecular mass distribution of cell-wall polysaccharides of wheat (*Triticum aestivum* L) coleoptiles under water stress. *J. Plant Physiol.*, 151: 33–40.

**Wang, Y** ; McAllister, T. A. ; Zobell, D. R. ; Pickard, M. D. ; Rode, L. M. ; Mir, Z. ; Cheng, K. J.(1997) . The effect of micronization of full-fat canola seed on digestion in the rumen and total tract of dairy cows. *Can. J. Anim. Sci.*, 77 (3): 431-440

**Wang, W.**, Vinocur, B., Altma, A. (2003). Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta* (2003) 218: 1–14

**Wardlaw, I. F**, Moncur, L. (1995). The response of wheat to high temperature following anthesis. The rate and duration of kernel filling. *Aust J Plant Physiol* 1995; 22: 391-7.

**Wilfried C.** (2005). Proline as a measure of stress in tomato plants. *Plant Sci* 168 :241-248

**Wolf, O.**, Munns, R., Tonnet, M.L. et Jeschke, W.D. (1991). The role of the stem in the partitioning of Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> in salt-treated barley. *J. Exp. Bot.*, 42: 697-704.

**Wood, C.W.**, Reeves, D.W., Himelrick, D.G. 1993. Relationships between chlorophyll meter readings and leaf chlorophyll concentration, N status, and crop yield: Proceedings of the Agronomy Society of New Zealand. 23 : 1-9.

- Xiong L, ZHU J.** (2002). Molecular and genetic aspects of plant responses to osmotic stress. *Plant Cell Environ* 2002 ; 25 : 131-9.
- Yamaguchi-Shinozaki, k., et al.**(2002). Development of drought-resistant and water stress-tolerant crops through biotechnology. In : JIRCAS, ed. *Proceedings of the 8th JIRCAS International Symposium, Water for Sustainable Agriculture in Developing Regions : More Crop for Every Scarce Drop. Tsukuba, 27-28 November 2001.* 2002 : 23-34.
- Ykhlef N., Djekoun A.** (2000). Adaptation photosynthétique et résistance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*): Analyse de la variabilité génotypique. *Option Méditerranéennes (Série A)*, Vol 4: 327-330.
- Zerrad, W., Maataoui, B. S., Hilali, S., El Antri, S., Hmyene, A.** (2008). Etude comparative des mécanismes biochimiques de résistance au stress hydrique de deux variétés de blé dur. *Lebanese Science Journal*, 9(2), 27-36.
- Zgallai H., Steppe K., Lemeur R.** (2007). Étude des caractères morphologiques des plantes de tomate soumises à un déficit hydrique en milieu hydroponique, *Sècheresse*, vol 18, N°1 :57-64.
- Zhang, J., Nguyen, H. T., Blum, A.** (1999). Genetic analysis of osmotic adjustment in crop plants. *J. Exp. Bot*, 50: 291-302.
- Zhang, H. and Oweis, T.** (1999) Water-Yield Relations and Optimal Irrigation Scheduling of Wheat in the Mediterranean Region. *Agricultural Water Management*, 38, 195-211. **Zhu, J.K.** (2003) Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Curr. Opin. Plant Biol*, 6: 41- 45.
- Zhu, X., Gong, H., Chen, G., Wang, S., Zhang, C.** (2005). Different solute levels in two spring wheat cultivars induced by progressive field water stress at different developmental stages. *Journal Arid Environnement* **62**:1–14.

## Résumé

La présente étude a pour objectif d'une part, l'étude de mécanisme de tolérance aux stress abiotiques chez quelques variétés de blé (*Triticum sp.*). Pour ce faire, une stratégie globale a été suivie, associant des études phénotypiques et génotypiques en intégrant différents caractères agro-morphologiques, physiologiques biochimiques, et moléculaires. L'étude a permis de donner une vue globale des comportements des 25 variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) vis-à-vis du déficit hydrique et de distinguer les variétés les moins affectées par cette contrainte. Les résultats obtenus suite aux analyses statistiques effectuées ont démontré une large variabilité génotypique pour la majorité des caractères étudiés. L'analyse des liaisons entre les variables mesurées chez les génotypes indique que le rendement est la résultante de trois composantes principales qui sont le nombre d'épis, celui des grains/épi et le poids du grain. L'analyse en composantes principales (ACP) montre que la productivité est liée à des valeurs élevées pour le rendement grain par plante, le nombre de grains par épi, le poids des épis et la hauteur de la plante, Alors que les caractères d'adaptation sont une biomasse aérienne importante, une surface foliaire réduite, une température du couvert végétal élevée et une faible teneur relative en eau. Les paramètres morpho-physiologiques étudiés chez les génotypes, soumis aux mêmes conditions de stress hydrique ont permis de révéler une variabilité génotypique importante et différences significatives existent entre les lignées évaluées et le traitement et pour l'interaction entre « variété\*traitement » pour les variables mesurées. Les résultats obtenus indiquent que du point de vue morpho-physiologique et biochimique les cultivars développent différentes stratégies pour contrer le stress hydrique. Ainsi sous stress modéré, maintient un niveau de croissance similaire à celui du témoin irrigué. En revanche, la plupart des variétés se montrent plus sensible au stress hydrique sévère. Les résultats de l'analyse moléculaire mettent en évidence les stratégies adoptées par les différentes variétés pour contrer le stress hydrique et salin. L'expression de ces gènes reste, toutefois, dépendante du génotype utilisé, de l'intensité et la durée du stress mises en œuvre et de la nature du stress.

**Mots clés :** Tolérance, *Triticum sp*, stress abiotiques, caractères, gènes.

## الملخص

الهدف من هذه الدراسة ، من جهة ، هو دراسة آلية تحمل الضغط ( الاجهاد ) اللاحيوي في بعض أصناف القمح (*Triticum sp*). تم اتباع استراتيجية عامة للقيام بذلك ، تجمع بين دراسات النمط الظاهري والوراثي من خلال دمج مختلف الاليات المورفولوجية والفسولوجية والكيميائية الحيوية والجزئية. قدمت الدراسة لمحة عامة عن سلوك 25 نوعا من القمح الصلب (*Triticum durum Desf.*) فيما يتعلق بنقص الماء وتمييز الأصناف الأقل تأثرا بهذا المعوق. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها بعد التحليلات الإحصائية التي تم إجراؤها تباينًا وراثيًا كبيرًا لمعظم الخصائص المدروسة. يشير تحليل الروابط بين المتغيرات المقاسة إلى أن المحصول هو نتيجة ثلاثة مكونات رئيسية هي عدد السنابل وعدد الحبات / السنبله ووزن الحبات. يوضح تحليل المكون الرئيسي (ACP) أن الإنتاجية مرتبطة بقيمة عالية لمحصول الحبوب لكل نبات ، وعدد البذور في كل سنبله ، ووزن السنبله وارتفاع النبتة ، في حين أن سمات التكيف هو الكتلة الحيوية ، وانخفاض مساحة الأوراق ، وارتفاع درجة حرارة الغطاء النباتي وانخفاض محتوى الماء النسبي. إن المعلومات المورفولوجية و الفسولوجية التي تمت دراستها والتي خضعت لنفس ظروف الإجهاد المائي ، جعلت من الممكن الكشف عن تنوع وراثي كبير و فروق ذات دلالة إحصائية بين السلالات التي تم تقييمها، والمعالجة ، والتفاعل بين "الاجهاد \* السلالة " من اجل المتغيرات المقاسة. تشير النتائج التي تم الحصول عليها إلى أنه من وجهة نظر مورفو فيزيولوجية وكيميائية حيوية ، فإن الأصناف تطور استراتيجيات مختلفة لمواجهة الإجهاد المائي. وبالتالي ، تحت ضغط معتدل ، تحافظ على مستوى نمو مماثل للشاهد . في المقابل ، فإن معظم الأصناف أكثر حساسية للإجهاد المائي الشديد. تسلط نتائج التحليل الجزيئي الضوء على الاستراتيجيات التي اعتمدها الأنواع المختلفة لمواجهة الإجهاد المائي والملحي. ومع ذلك ، يظل التعبير عن هذه الجينات معتمدًا على النمط الجيني المستخدم ، وشدة ومدة الإجهاد المتضمن وطبيعة الإجهاد.

**الكلمات المفتاحية:** المقاومة، *Triticum sp* ، الإجهادات اللاحيوية ،الخصائص المورفو-فسولوجية، والكيميائية، الجينات

## **Abstract**

The objective of this study is, on the one hand, to study the mechanism of tolerance to abiotic stress in some varieties of wheat (*Triticum sp.*). To do this, a global strategy was followed, combining phenotypic and genotypic studies by integrating different agro-morphological, physiological, biochemical, and molecular characters. The study provided an overview of the behavior of 25 varieties of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) with respect to water deficit and to distinguish the varieties least affected by this constraint. The results obtained following the statistical analyzes carried out demonstrated a large genotypic variability for the majority of the characteristics studied. Analysis of the links between the variables measured in the genotypes indicates that the yield is the result of three main components which are the number of ears, that of kernels / ear and the weight of the kernel. Principal Component Analysis (PCA) shows that productivity is related to high values for grain per plant yield, number of seeds per ear, weight of ears and plant height, while the traits of adaptation are high aboveground biomass, reduced leaf area, high plant cover temperature and low relative water content. The morpho-physiological parameters studied in the genotypes, subjected to the same conditions of water stress, made it possible to reveal a significant genotypic variability and significant differences exist between the lines evaluated and the treatment and for the interaction between "variety \* treatment" for the variables measured. The results obtained indicate that from a morpho-physiological and biochemical point of view, cultivars develop different strategies to counter water stress. Thus under moderate stress, maintains a level of growth similar to that of the irrigated control. In contrast, most varieties are more sensitive to severe water stress. The results of the molecular analysis highlight the strategies adopted by the different varieties to counter water and salt stress. The expression of these genes remains; however, dependent on the genotype used the intensity and duration of the stress involved and the nature of the stress.

**Keywords:** Tolerance, *Triticum sp.*, abiotic stress, characters, genes