

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE DES FRERES MENTOURI CONSTANTINE 1
Faculté des Science de la Nature et de la Vie
Département: Biologie et Ecologie Végétale

N° d'ordre 72/DS/2019

N° de série 05/EV/2019

THÈSE

En Vue de l'Obtention du Diplôme de Doctorat en Sciences

Filière : Biologie Végétale

Spécialité : Biodiversité et Production Végétale

THÈME

Adaptation à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.)

Contribution de quelques solutés à l'ajustement osmotique:

Cas des *Sucres solubles, Proline, Potassium et Nitrates.*

Présentée par : ZOGHMAR Meriem

Soutenue le 17/04/2019

Devant le jury:

Président:	Mr. BENLARIBI Mostafa	Professeur. Université des Frères Mentouri, Constantine 1
Rapporteur:	Mr. KARA Youssef,	Professeur. Université des Frères Mentouri, Constantine 1
Examineurs:	Mr. HAFSI Miloud	Professeur. Université Ferhat Abbas, Sétif 1, Sétif
	Mr. HAZMOUNE Tahar	MCA. Université du 20 Août 1955, Skikda
	Mr. BENAZIZA Abd El Aziz	MCA. Université Mohamed Khider, Biskra

REMERCIEMENTS

Je remercie Monsieur **Benlaribi Mostafa**, Professeur à la Faculté de Science de la Nature et de la Vie, Université des Frères Mentouri, Constantine 1, pour avoir bien voulu juger ce travail en tant que Président de Jury. Qu'il soit ici remercié de l'intérêt qu'il porte à ce travail.

Je voudrais exprimer ma gratitude, ma reconnaissance et mes vifs remerciements à Monsieur **Kara Youssef**, Directeur de mon thèse, Professeur à la Faculté de Science de la Nature et de la Vie de l'Université des Frères Mentouri, Constantine 1, pour avoir suivi et dirigé ce travail, l'appui scientifique, les conseils qu'il m'a prodigués et pour tout le temps qu'il m'a sacrifié durant ces trois dernières années pour la réalisation, la correction de ce travail, ses conseils précieux et pour son importante contribution dans le traitement des analyses statistiques, la rédaction et la synthèse des résultats.

Je tiens aussi à exprimer ma gratitude à Monsieur **Hafsi Miloud**, Professeur à la Faculté de Science de la Nature et de la Vie, Université Farhat Abbasse Sétif, d'avoir accepté d'examiner ce travail comme un membre de jury. Je le remercie aussi pour son aide et ses conseils très précieux dans l'exploitation statistique des résultats au champ.

J'exprime ma reconnaissance à Monsieur **Hazmoune Tahar**, Maître de Conférence A à la Faculté de Science de la Nature et de la Vie, Université du 20 Aout, Skikda, d'avoir bien voulu évaluer cette thèse en qualité d'examineur.

J'adresse mes vifs remerciements à Monsieur **BENAZIZA Abd ELAziz**, Maître de Conférence A de la Faculté de Science de la Nature et de la Vie, Université Mohamed Khider Biskra, d'avoir bien voulu participer à ce jury.

Je remercie Monsieur **Sakhri MELH**, Directeur de l'I.T.G.C, Constantine; Monsieur **Zelteni AE**, Ingénieur d'Amélioration des Plantes à l'I.T.G.C et Monsieur **Benbalkacem A E K**, Directeur de recherche à l'INRA qui m'ont accueilli et mis à ma disposition les semences utilisées dans cette étude et des parcelles expérimentales pour l'installation de l'essai.

Mes remerciements à **Monsieur Djekoune A, Recteur** et professeur à l'Université des Frères Mentouri Constantine 1, **Madame. Yakhlef Nadia**, Professeur et Vice-Recteur à l'Université des Frères Mentouri Constantine 1 et à **Mr. Belbekri N**, de m'avoir reçu au laboratoire de Biotechnologie et Génomique végétale, l'Université des Frères Mentouri Constantine 1.

Je remercie également tous Mes collègues enseignants de la Faculté de Science de la Nature et de la Vie de l'Université des Frères Mentouri Constantine 1, pour leur disponibilité et leur aide.

Dédicaces

Je dédie ce travail en premier lieu à la mémoire de mon très cher père.

A ma très chère maman.

A mes Chères frères et mes sœurs: Zohir, Manar, Yazid, Hani, Mahmoud, Samy, Nawel,
Nadjia et Asma.

Amon Marie Redouane et à mes poussins Alae Eddine, Naoufel Zakaria et yasser
Sans oublié les petits ; Aya, Abd Errahmane, Rafif, Ihab, Abd Errahim, Takoua, Moukim et
Adam

A toutes mes belles sœurs et mes beaux frères

A tous mes amies et mes collègues qui mon toujours se tenue moralement, ainsi qu'a tous
ceux qui, a titres divers, mont apporté leurs aide et leur sympathie.

MERIEM Z

LISTE DES ABREVIATIONS

°C:	Degré Celsius
°K:	Température en kelvin
μ:	Micro
A.P.G:	<i>Angiosperm Phylogeny Group Classification for the orders and families of flowering plants</i>
ACP:	Analyse en composantes principales
ADH:	Traitement avec déficit hydrique
AO:	Ajustement osmotique
ATKCI:	<i>Arabidopsis Thaliana K⁺ Inward Rectifying Channel Protein (AtKCI) Gene.</i>
B:	Dilution apoplastique
CC:	Capacité au champ
CE:	Col de l'épi
CM:	Carré moyen
DDL:	Degré de liberté
DE (jours):	Date d'épiaison
DO:	Densité optique
HP:	Hauteur de la plante en cm
I.T.G.C:	Institut Technique des Grandes Cultures
ICARDA:	International Center for Agricultural Research in Dry Areas
IRR:	Indice de récolte
ISS:	Indice de sensibilité à la sécheresse
K⁺:	Potassium
MFR:	Matière fraîche racinaire ou poids frais racinaire
mM :	milliers Molaire
Mol:	Moles
MPa:	Méga pascal
MS:	Masse sèche
MSF :	Masse de substance fraîche
MSR:	Matière sèche racinaire
MSS :	Masse de substance sèche
MSSTM :	Masse de substance à turgescence maximale
Na⁺:	Sodium
NE. m⁻²:	Nombre d'épi par mètre carré
NE. p⁻¹:	Nombre d'épi par plante
NG. E⁻¹:	Nombre de grains par épi
NIR:	Nitrite réductase
No₂⁻:	Nitrites
No₃⁻:	Nitrates
NP .m⁻²:	Nombre de plantes par mètre carré
NR:	Nitrate réductase
NRP:	Nombre de racines principales
NRS:	Nombre de racines secondaires

Liste des Abréviations

NRT:	Nombre de racines totales
Ns:	Nombre de moles de solutés
NT.m⁻²:	Nombre de talles par mètre carré
NT.p⁻¹:	Nombre de talles par plante
ONM :	Office National de la Météorologie
PEP:	Poids de l'épi
PMG:	Poids de mille grains en gramme
PMR:	Profondeur maximale racinaire
Pr:	Poids de réhydratation
Prol:	Teneur en Proline
R:	Constant du gaz parfait
RDT:	Rendement en grains (qx.ha ⁻¹)
SDH:	Traitement sans déficit hydrique
SF:	Surface foliaire
Sucr:	Teneur en sucres solubles
T:	Température
TRE ou RWC:	Teneur relative en eau
TRS:	Transpiration stomatique
USDA :	Departement de l'Agriculture des Etat-unis
V:	Volume
VR:	Volume racinaire
$\Delta\Psi_{\pi}$:	Capacité d'ajustement osmotique
Ψ_S^{π}:	Potentiel osmotique des échantillons stressés
Ψ_T^{π}:	Potentiel osmotique des témoins
Ψ_{π} ou Po:	Potentiel osmotique
$\Psi_{\pi 100}$ ou Po^T₁₀₀:	Potentiel osmotique à turgescence maximale

LISTE DES FIGURES

Figures	Pages
Figure I. 1. Production et consommation du blé dur dans le Monde (Mt).....	06
Figure I. 2. Importations du blé en Algérie : blé dur et blé tendre.....	08
Figure I. 3. Phylogénie des blés (d'après Feldman, 2001).....	10
Figure I. 4. Cycle de développement du blé.....	14
Figure I. 5. Mécanismes de résistances des plantes à la sécheresse	19
Figure II. 1. Courbe d'étalonnage du nitrate (NO ₃ ⁻).....	45
Figure II. 2. Dispositif expérimental (campagnes agricoles: de 2012 à 2014).....	48
Figure II. 3. Pluviométrie mensuelle durant les campagnes agricoles (site El khroub de 2011 à 2014)	50
Figure II.4. Variation de la température mensuelle et nombre de jours de gelées ; campagne agricole 2011/012.....	51
Figure II. 5. Variation de la température mensuelle et nombre de jours de gelées ; campagne agricole 2012/013.....	51
Figure II. 6. Variation de la température mensuelle ; campagne agricole 2013/014.....	52
Figure III. 1. Variation de la teneur relative en eau chez les dix génotypes testés du blé dur sous différents niveaux de stress hydrique.....	58
Figure III. 2. Variation du potentiel osmotique chez les dix génotypes testés de blé dur sous différents niveaux de stress hydrique.....	58
Figure III. 3. Variation de l'ajustement osmotique chez les dix génotypes testés a 35% cc.....	60
Figure III. 4. Variation de l'ajustement osmotique chez les dix génotypes testés a 15% cc.....	60
Figure III. 5. Variation de la teneur en sucres solubles chez les dix génotypes testés sous trois niveaux de stress (100% cc, 35 % cc et 15% cc).....	66
Figure III. 6. Variation de la teneur en proline chez les dix génotypes testés de blé dur sous trois niveaux de stress (100% cc, 35 % cc et 15% cc).....	66
Figure III. 7. Variation de la teneur en nitrates chez les dix génotypes testés sous deux niveaux de stress hydrique (35% cc, 15% et 15% cc.....	66
Figure III. 8. Variation de la teneur en sodium chez les dix génotypes testés du blé dur sous deux niveaux de traitement hydrique (100% cc, SDH et 15% cc, ADH)	70
Figure III. 9. Variation de la teneur en potassium chez les dix génotypes testés du blé dur sous deux niveaux de traitement hydrique (100% cc et 15%cc).....	70
Figure III. 10. Cercle des corrélations (paramètres d'état hydriques et osmotiques analysés).....	73
Figure III. 11. Diagramme des individus (paramètres d'état hydriques et osmotiques).....	73

Liste des Figures

Figure III. 12.	Cercle des corrélations (paramètre racinaires, surface foliaires, date d'épiaison et paramètres d'état hydrique)	83
Figure III. 13.	Diagramme des individus (paramètres racinaires, surface foliaires, date d'épiaison et paramètres d'état hydriques).....	83
Figure III. 14.	Variation de la surface foliaire chez les dix génotypes testés durant les trois campagnes agricoles (2012-2014).....	87
Figure III. 15.	Variation de la hauteur de la plante chez les dix génotypes testés durant les trois campagnes agricoles (2012-2014).....	87
Figure III. 16.	Variation du col de l'épi chez les dix génotypes durant les trois campagnes agricoles (2012-2014).....	87
Figure III. 17.	Variation de la longueur des barbes durant les années favorables et défavorables de l'essai (2012/2014 et 2013).....	90
Figure III. 18.	Variation de longueur de l'épi durant les années favorables et défavorable (2012-2014 et 2013).....	90
Figure III. 19.	Variation de la durée d'épiaison ou précocité (l'année favorable 2012-2014 et défavorable 2013).....	90
Figure III. 20.	Variation du rendement en grains durant les années favorables et défavorables de l'essai (2012/2014 et 2013).....	93
Figure III. 21.	Variation de la biomasse potentielle chez les dix génotypes testés durant les années favorables et défavorables de l'essai (2012-2014 et 2013).....	93
Figure III. 22.	Variation de poids de milles grains PMG durant les années favorables et défavorable de l'essai (2012-2014 et 2013).....	93
Figure III. 23.	Variation du nombre de grains par plante (années favorables et défavorable 2012-2014 et 2013).....	96
Figure III. 24.	Variations du nombre d'épi par m ² (années favorables et défavorables (2012-2014 et 2013).....	96
Figure III. 25.	Variation du nombre de plante levée par m ² (années favorables et défavorables (2012-2014 et 2013).....	96
Figure III. 26.	Corrélations entre l'indice de sensibilité à la sécheresse et le rendement potentiel (qx. ha ⁻¹) en année favorables (2012-2014) et année défavorable (2013).....	101

Liste des Figures

Figure III. 27.	Corrélation entre indice de récolte (IRR) et rendement (année humide 2012).....	103
Figure III. 28.	Corrélation entre indice de récolte (IRR) et rendement (année sèche 2013).....	103
Figure III. 29.	Cercle des corrélations (paramètres morpho-phénologiques et composantes de rendement; année 2012).....	107
Figure III. 30.	Diagramme des individus (campagne agricole 2012).....	108
Figure III. 31.	Cercle de la corrélation des différentes variables évaluées (années sèche 2013).....	111
Figure III. 32.	Diagramme des individus (campagne agricole 2013).....	111
Figure III. 33.	Cercle des corrélations des différentes variables évaluées (année 2014).....	114
Figure III. 34.	Diagramme des individus (campagne agricole 2014).....	114
Figure III. 35.	Corrélation entre le taux de la proline et la teneur en nitrates chez les géotypes étudiés.....	116
Figure III. 36.	Corrélations entre la capacité d'ajustement osmotique et le rendement potentiel (années 2012-2013-2014).....	129

LISTE DES TABLEAUX

Tableau		Pages
Tableau I. 1.	Marché mondiale du blé (période 2014-2017, <i>Conseil International des Céréales</i> ; 2017.....	05
Tableau I. 2.	Principaux pays importateurs du blé dans le monde.....	07
Tableau I. 3.	Intérêt des mesures de capacité d'ajustement osmotique en tant que critère d'évaluation de la tolérance au stress hydrique.....	27
Tableau II. 1.	Listes des variétés de blé dur étudiées et leurs origines, pédigrée et croisement.	38
Tableau II. 2.	Les dates de semis et de récoltes des trois campagnes 2011/2012, 2012/2013, 2013/2014).....	48
Tableau II. 3.	Les précipitations (mm) caractérisant les trois campagnes agricoles à El Khroub comparées à la moyenne sur 25 ans.....	49
Tableau III.1.	Analyse de la variance (ANOVA) chez les dix génotypes étudiés du blé dur (caractères du statut hydrique, physiologiques et biochimiques).....	55
Tableau III. 2.	Les paramètres du statut hydrique et physiologiques des dix génotypes testés en fonction du régime hydrique 100%, 35% et 15% de cc.....	56
Tableau III. 3.	Les valeurs des paramètres biochimiques, sucres solubles, proline et nitrates des dix génotypes testés en fonction du régime hydrique 100%, 35% et 15% de cc.....	63
Tableau III. 4.	Moyennes et groupes homogènes des teneurs en potassium et en sodium accumulées chez les génotypes testés de blé dur.....	67
Tableau III. 5.	Matrice de coefficients des corrélations des variables analysées (caractères du statut hydrique et osmotiques).....	72
Tableau III. 6.	Analyse de la variance (ANOVA) des caractères d'enracinement chez les dix génotypes étudiés de blé dur en fonction de deux régimes hydriques.....	75
Tableau III. 7.	Caractères racinaires chez les dix génotypes testés de blé dur en fonction de deux régimes hydriques (SDH et ADH) : (PMR, NRP, NRS et NRT).....	77

Tableau III. 8.	Caractères racinaires chez les dix génotypes testés de blé dur en fonction de deux régimes hydriques (SDH et ADH) : (SF, DE, VR, MFR et MSR).....	79
Tableau III. 9.	Matrice de coefficients de corrélation de différents caractères racinaires et d'état hydrique mesurés chez les dix génotypes testés sous conditions stressés.....	80
Tableau III. 10	Analyse de la variance (ANOVA): caractères morpho-phénologiques, rendement et ses composantes, l'indice de récolte et l'indice de sensibilité à la sécheresse.....	85
Tableau III. 11.	Indice de sensibilité à la sécheresse durant les années favorables et défavorables de l'essai (2012/2014 et 2013).....	98
Tableau III. 12.	Matrice de coefficients de corrélation des différentes variables analysées (rendement et ses composantes et données climatologiques; année favorables 2012).....	105
Tableau III. 13.	Matrice de coefficients de corrélation des différentes variables analysées (rendement et ses composantes et données climatiques; année défavorables 2013).....	109
Tableau III. 14.	Matrice de coefficients de corrélation des différentes variables analysées (rendement et ses composantes et données climatiques ; année favorables 2014).....	113

Sommaire

Sommaire

LISTE DES ABREVIATIONS	I
LISTE DES FIGURES	II
LISTE DES TABLEAUX	III
INTRODUCTION	01

PARITE I. Etude Bibliographique

I. Généralités sur le blé	04
I. 1. Le blé à l'échelle mondiale : Production, importation et consommation..	04
I. 2. Le blé en Algérie	06
I. 3. Lieu, origine géographique, historique et classification du blé dur (<i>Triticum durum</i> Desf.).....	09
I. 3. 1. Lieu, origine géographique et historique.....	09
I. 3. 2. Classification du blé dur (<i>Triticum durum</i> Desf.).....	11
I. 4. Anatomie du blé	12
II. Effets de la sécheresse sur les céréales	15
II. 1. Effet du stress hydrique sur le rendement et ses composantes	15
II. 2. Les stratégies d'adaptation à la sécheresse	16
II.2. 1. Esquive à la sécheresse.....	17
II.2. 2. L'évitement de la sécheresse.....	18
II.2. 3. La tolérance à la sécheresse.....	18
III. Les mécanismes d'adaptation à la sécheresse	20
III. 1. Adaptations morphologiques	20
III.1. 1. Réduction de la surface foliaire.....	20
III.1. 2. Développement du système racinaire.....	21
III.1. 3. Réduction du nombre de talles et du nombre d'épis.....	22
III.1. 4. Glaucescence, pilosité, cire et barbes.....	23
III. 2. Adaptations physiologiques	24
III. 2. 1. Régulation stomatique.....	24
III. 2. 2. Potentiel hydrique	26
III. 2. 3. L'ajustement osmotique.....	26
A. Accumulation des solutés organique	28
a. La proline	29

b. Les sucres solubles.....	30
B. Accumulation des ions inorganiques.....	31
c. Le potassium.....	32
d. Les nitrates.....	32
e. Le sodium	34
IV. Validation des caractères morfo-physiologiques de tolérance au déficit hydrique.....	34

PARTIE II. Etude Expérimentale

Chapitre I. Matériels et Méthodes

I. Matériel végétal.....	36
I. 1. Variétés étudiées	36
II. Expérimentation en condition semi-contrôlées (sous serre).....	39
II. 1. Conduite de l'essai	39
II. 2. Paramètres du statut hydrique et ajustement osmotique.....	40
I. 2. 1. Teneur relative en eau.....	40
II. 2. 2. Potentiel osmotique.....	41
II. 2. 3. La capacité de l'ajustement osmotique.....	41
A. Méthode de régression de MORGAN	41
B. Méthode de réhydratation	42
II. 3. Paramètres biochimiques	42
II. 3. 1. Dosage des osmolytes organiques.....	42
II.3.1.1. Dosage de la proline	42
II.3.1.2. Dosage des sucres solubles.....	43
II. 3. 2. Dosage des ions inorganiques	43
II.3. 2. 1. Le potassium et sodium.....	43
- Principe de minéralisation.....	44
II. 3. 2. 2. Dosage des nitrates.....	44
III. Paramètres d'enracinements	45
IV. Essais au champ.....	47
IV. 1. Présentation de la région d'étude.....	47
IV. 2. Localisation de la station expérimentale d'El Khroub.....	47
IV. 3. Mise en place de l'essai.....	47

IV. 3. 1. Dispositif expérimental.....	48
IV. 4. Données climatiques (campagnes agricoles, 2011/2012, 2012/2013 et 2013/2014).....	49
IV. 4. 1. La pluviométrie.....	49
IV.4. 2. Variation de la température mensuelle durant les trois campagnes agricoles....	50
IV. 5. Mesures effectuées sur l'essai au champ.....	52
IV. 5. 1. Paramètres phénologiques	52
IV. 5. 2. Paramètres morphologiques.....	52
IV. 5.3. Rendement et ses composantes	52
IV. 5.4. Indice de sensibilité à la sécheresse « Drought Susceptibility Index»	53
IV. 5.5. Indice de récolte.....	53
V. Traitement statistique des données.....	53

Chapitre II. Résultats et Discussion

I. Résultats.....	54
I. 1. Essai aux conditions semi-contrôlées.....	54
I. 1. 1. Caractères physiologiques et biochimiques liés au à l'ajustement osmotique	54
I.1.1.1. Variation de la teneur relative en eau.....	55
I.1.1.2. Variation du potentiel osmotique et du potentiel osmotique à turgescence et de la capacité d'ajustement osmotique.....	57
I.1.1.3. Variation de la teneur en sucres solubles.....	60
I.1.1.4. Variation de la teneur en proline.....	61
I.1.1.5. Variation de la teneur en nitrates.....	64
I.1.1.6. Variation de la teneur en potassium et du sodium.....	67
A. Potassium.....	67
B. Sodium.....	68
I. 1. 2. Analyse globale (multi-variées).....	70
I. 2. caractères racinaires.....	74
A. Partie souterraine.....	76
a. Nombre de racines principales (NRP).....	76
b. Nombre de racines secondaires (NRS) et Nombre de racines totales (NRT).....	76
c. Profondeur maximale racinaire (PMR).....	76
d. Volume racinaire (VR).....	78
e. Poids frais racinaire et matière sèche racinaire.....	78

B. Partie aérienne	80
a. Surface foliaire.....	80
I. 2. 1. Analyse globale	80
I. 3. Essai aux champs	84
I.3. 1. Paramètres morpho-phénologiques, rendement et ses composantes ; campagnes agricoles 2011/012, 2012/013 et 2013/014	84
A. Variation des caractères morphologiques	86
a. Variation de la surface foliaire.....	86
b. Variation de la hauteur de la plante (HP ; cm) et du col de l'épi.....	88
c. Variation de longueur de l'épi et des barbes.....	89
B. Caractères phénologiques	91
a. Durée phase : semi-épiaison.....	91
C. Variation du rendement et ses composantes	91
a. Variation du rendement en grains.....	91
b. Variation de la biomasse potentielle.....	92
c. Variation du nombre de grain par épis, du poids de l'épi et du PMG	94
d. Variation du nombre d'épis, du nombre des talles fertiles et de l'indice de tallage.....	95
I.3. 2. Interaction génotype×année	98
I. 3. 3. Relation entre Indice de sensibilité à la sécheresse et rendement	98
A. Indice de sensibilité (année 2013/2014)	99
B. Indice de sensibilité (année 2013/2012).....	99
I. 3. 4. Corrélation entre indice de récolte (IRR) et rendement	102
I. 3. 5. Analyse en composantes principales	104
A. Etude de l'année humide (campagne agricole 2012).....	104
B. Année sèche (campagne agricole 2013).....	108
C. Année favorable (campagne agricole 2014).....	112
II. Synthèse des résultats	116
- Essais aux conditions semi-contrôlées.....	116
- Essais aux champs.....	125
<hr/> Conclusions générales et perspectives de recherches	130
Références bibliographiques	135
Résumés	164
Annexe	167
Articles	-

Introduction

Introduction

Les céréales et leurs dérivées constituent l'alimentation de base dans les pays maghrébins, notamment en Algérie. La superficie emblavée annuellement en céréales d'hiver est comprise entre 3 et 3,5 millions d'hectares dont les deux tiers sont localisés dans des zones à faible potentialités agro-climatiques (MADR, 2012). Ces zones se caractérisent par deux contraintes majeures: une variation intra-annuelle des pluies ainsi qu'une insuffisance et une mauvaise répartition saisonnière engendrant un déficit hydrique qui coïncide inéluctablement avec les phases critiques du développement de la plante.

La céréaliculture algérienne à climat méditerranéen est confrontée à une multitude de stress abiotiques. Cependant, l'eau reste le principal facteur limitant et constitue l'une des causes majeures de la faiblesse du rendement.

Le blé constitue la partie majeure de l'alimentation humaine et occupe de grandes superficies à l'échelle nationale (43,3% de la totalité des terres à vocation agricole; Houassine, 2004).

Malgré tous les programmes de développement engagés pour l'amélioration de sa production, les rendements demeurent faibles et irréguliers par rapport aux besoins de la population. Ce manque de productivité est probablement dû à des erreurs stratégiques commises.

Pour faire face à cette situation, le pays a recouru à des importations devenues au fil des années excessivement onéreuses.

L'analyse du comportement des génotypes en fonction des caractéristiques du milieu est, depuis longtemps, un sujet de préoccupation. Les génotypes locaux traditionnels semblent constituer des idiotypes à nos conditions de culture et permettent de palier à ce problème en les utilisant comme géniteurs dans les travaux d'amélioration (Benlaribi et Monneveux, 1988).

De nombreux facteurs morpho-physiologiques et phénotypiques sont variables d'une année à l'autre et d'un environnement à un autre pour un génotype donné. Ces variations annuelles rendent difficiles une sélection basée sur le seul rendement potentiel, car ce dernier est un caractère fortement influencé par l'environnement et peu héritable (Kara *et al.*, 2000).

La recherche d'une meilleure adaptation à ces contraintes est devenue une nécessité pour stabiliser les rendements.

Plusieurs études ont montré que lors d'un déficit hydrique, les plantes adoptent des stratégies d'adaptation qui font intervenir une large combinaison de facteurs morpho-physiologiques et biochimiques.

Parmi ces traits, le mécanisme d'ajustement osmotique permet une protection des membranes et des systèmes enzymatiques, particulièrement au niveau des organes jeunes.

La tolérance, dans le cas d'un abaissement du potentiel hydrique, s'exprime par un maintien de la turgescence liée à la capacité de la plante à accumuler au niveau symplasmique et de manière active certains osmotocums. Parmi ces osmotocums, on dénombre les solutés organiques et inorganiques tels que:

- La proline, on lui attribue le rôle d'osmoticum au niveau du cytosol et au niveau de la vacuole (Venkamp *et al.*, 1989);
- Les sucres solubles, ont un rôle majeur dans l'ajustement osmotique (Wang *et al.*, 2003), ils participent également pour plus de 60 à 70% chez le blé soumis à un stress hydrique (Munns et Weir 1981), ils permettent également une préservation de l'intégrité membranaire dans les organes desséchés ainsi qu'une protection des protéines (Darbyshire, 1974);
- Le potassium contribue à lui seul à 40% environ de l'osmolarité (Gaudillière et Barcelo, 1990);
- Les nitrates pourraient également jouer, chez certaines espèces, un rôle important. Sa teneur augmente considérablement en cas de stress hydrique dans les feuilles immatures du tournesol (Jones *et al.*, 1980).

C'est dans cette vision que s'inscrit globalement le travail mené dans cette thèse. La présente étude vise à étudier la variabilité génétique et la performance de quelques génotypes de blé dur soumis à un stress hydrique modéré et sévère. Des mesures de paramètres d'état hydrique ont été étudiées sur l'ensemble des génotypes afin de connaître la contribution et l'effet de chacun des osmotocums cités sur la capacité d'ajustement osmotique de chaque variété testée.

Deux essais ont été réalisés sous conditions semi-contrôlées:

- Le premier consiste à estimer les caractéristiques physiologiques et biochimiques des génotypes testés.

Les paramètres utilisés dans cette analyse sont: la teneur relative en eau et les paramètres d'état hydrique et d'ajustement osmotique qui constituent des critères d'adaptation à la sécheresse et servent également de test de criblage.

- le second essai vise à caractériser ces variétés testées pour divers caractères morphologiques ayant trait principalement à la partie racinaire. D'après les travaux réalisés sur la rhizosphère, les génotypes les plus tolérants au déficit hydrique se caractérisent par un développement racinaire élevé.
- Un troisième essai en plein champ à été également réalisé sous des conditions environnementales différentes (année sèche et humide) durant les campagnes agricoles 2011-2012; 2012-2013 et 2013-2014 soit au total, trois années d'étude expérimentale. Cet essai vise à étudier exclusivement les paramètres agronomiques.

Parmi les objectifs principaux de ce travail au champ, connaître de prime abord les performances agronomiques de ces variétés lorsqu'elles sont soumises à un stress hydrique.

La thèse est présentée en trois chapitres principaux:

- Le chapitre I est une synthèse bibliographique. Cette étude tente de résumer les principaux mécanismes d'adaptation à la sécheresse chez les céréales en général, et le blé dur en particulier.
- Le deuxième chapitre comporte la description du matériel végétal, le dispositif expérimental, les conditions de culture et enfin les techniques utilisées.
- Le chapitre III présente les résultats et discussion.

Chapitre I : Revue Bibliographique

I. Généralités sur le blé

I. 1. Le blé à l'échelle mondiale : Production, importation et consommation

Les céréales occupent, à l'échelle mondiale, une place primordiale dans le système agricole et constituent l'une des principales sources de la nutrition humaine et animale (Slama et al., 2005). En termes de production, le blé est la deuxième céréale la plus importante au monde devant le riz et derrière le maïs. Il assure à lui seul 15% des besoins énergétiques (Bajji, 1999).

Les deux principales espèces actuellement cultivées sont le blé commun ou blé tendre, riche en amidon, cultivé un peu partout dans les régions tempérées et le blé dur, riche en amidon et en gluten, cultivé dans des zones plus chaudes et plus sèches.

Depuis les années 60, la consommation mondiale de blé à été multipliée par trois. Elle atteindrait respectivement 711,4 ; 730,7 ; 735,6 et 764,1 millions de tonnes (Mt) pour les campagnes 2013/2014, 2014/15, 2015/16 et 2016/17. 80% son destinés à l'alimentation humaine, aux semences et aux usages industriels. Les 20% restantes sont affectées à l'alimentation animale (Tableau I. 1).

Au cours de ces campagnes, les principales régions consommatrices de blé sont l'Asie et l'Union européenne, suivent ensuite les pays de l'ex-URSS, le Moyen-Orient, l'Amérique du Nord et en dernière position l'Afrique. Parmi ces grands ensembles, certains reposent en grande partie sur les importations pour assurer leur consommation, c'est le cas de l'Afrique du Nord et du Moyen-Orient, producteurs et consommateurs historiques de blé (*Agreste synthèses-Grandes Cultures*, 2014).

En Afrique du Nord, le premier importateur de blé est l'Egypte avec (10 Mt) suivi de l'Algérie (6,5 Mt) et pour des quantités plus faibles le Maroc, la Lybie et la Tunisie (Tableau I. 2). Leurs importations sont souvent corrélées avec une production déficitaire et parfois irrégulière et une population en hausse (*Agreste synthèses-Grandes Cultures*, 2014).

Parmi les grand pays producteurs et exportateurs actuels de blé au monde, l'Union européenne devenant exportateur net avec une récolte annuelle moyenne de 143 Mt selon l'USDA (Département de l'agriculture des Etats-Unis). En 2013/14, les exportations européennes de blé à destination des pays tiers atteindraient (25 Mt).

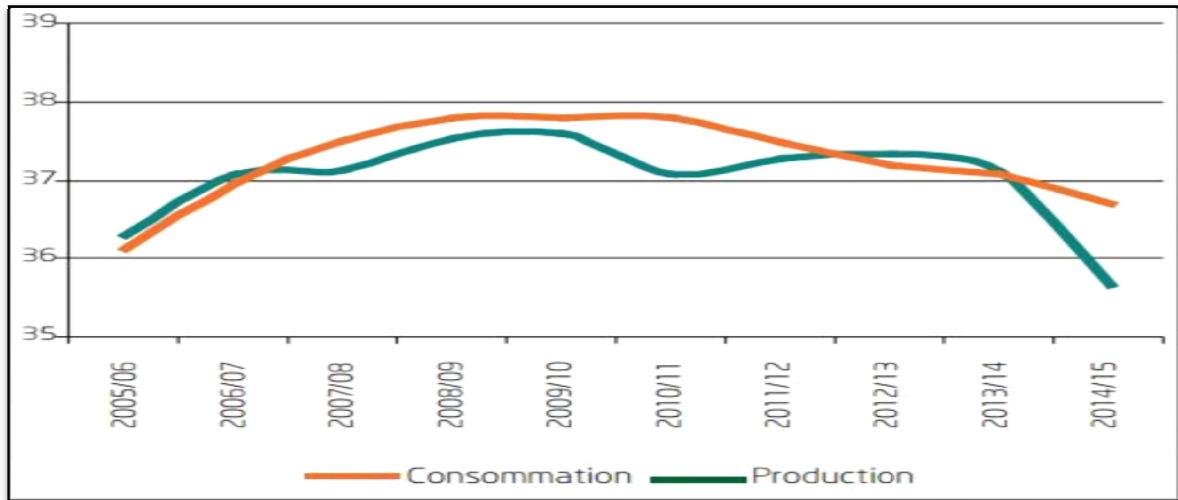
Tableau I. 1. Marché mondiale du blé (période 2014-2017, Conseil International des Céréales ; 2017)

	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17 estimation	2017/18 prévision	
					précédente (08 juin 2017)	dernière (06 juillet 2017)
(..... millions de tonnes))						
Production¹	711.4	730.7	735.6	760.1	743.2	739.9
Disponibilités²	885.6	917.3	940.1	984.2	990.6	987.0
Utilisation	691.9	714.8	712.0	731.9	728.3	727.7
Commerce³	158.0	156.4	166.6	174.2	171.0	171.8
Stocks de clôture⁴	186.6	204.5	224.2	247.1	257.4	255.8
(..... pour cent))						
Rapport stocks mondiaux- utilisation	26.1	28.7	30.6	34.0	34.2	33.9
Rapport stocks des principaux exportateurs- utilisation totale⁵	14.9	16.7	16.7	19.9	18.5	18.0

Au cours de ces dernières campagnes, la production de blé dur a été insuffisante pour répondre à la demande en matière de consommation mondiale.

A l'échelle mondiale, l'accroissement de volumes récoltés de blé dur ne devrait pas permettre d'atteindre le niveau de la consommation attendue (Figure I.1).

La production du blé dur des différents pays n'est pas stable (Tableau I. 2), ceci est dû au fait que cette céréale est produite dans des zones et climats très variables comme le bassin méditerranéen.



Source : *Conseil International des Céréales, 2015.*

Figure I. 1. Production et consommation de blé dur dans le monde (Mt)

I. 2. Le blé en Algérie

Les céréales, socle historique de la diète méditerranéenne, occupent encore aujourd'hui une place prépondérante à la fois dans la production agricole et agro-alimentaire de l'Algérie et dans la consommation alimentaire. Le secteur des céréales occupe une place très importante dans l'économie algérienne car l'Algérie appartient au groupe des plus gros importateurs de blé dans le monde (Tableau I. 2). En effet, les céréales et leurs dérivés constituent l'épine dorsale du système alimentaire algérien (Kellou, 2008).

Les disponibilités en céréales ou consommation théorique apparente s'élevaient en 2009 à 230 kg par habitant en Algérie contre 206 kg en Tunisie et 175 kg au Maroc. Le blé dur reste ainsi la céréale prépondérante en Algérie et demeure la base de l'alimentation de la population.

Néanmoins, les rendements en Algérie sont loin derrière la productivité des pays Européens, ceux notamment de la rive méditerranéenne, ceci s'explique à la fois par des causes naturelles (sol-climat, semences, pratiques culturales) et des causes humaines (organisation et formation des producteurs).

On note par ailleurs, une forte régionalisation des conditions de production et donc des niveaux de récolte contrastés d'Est en Ouest pendant la même année agricole (Rastoin et El Hassan, 2014).

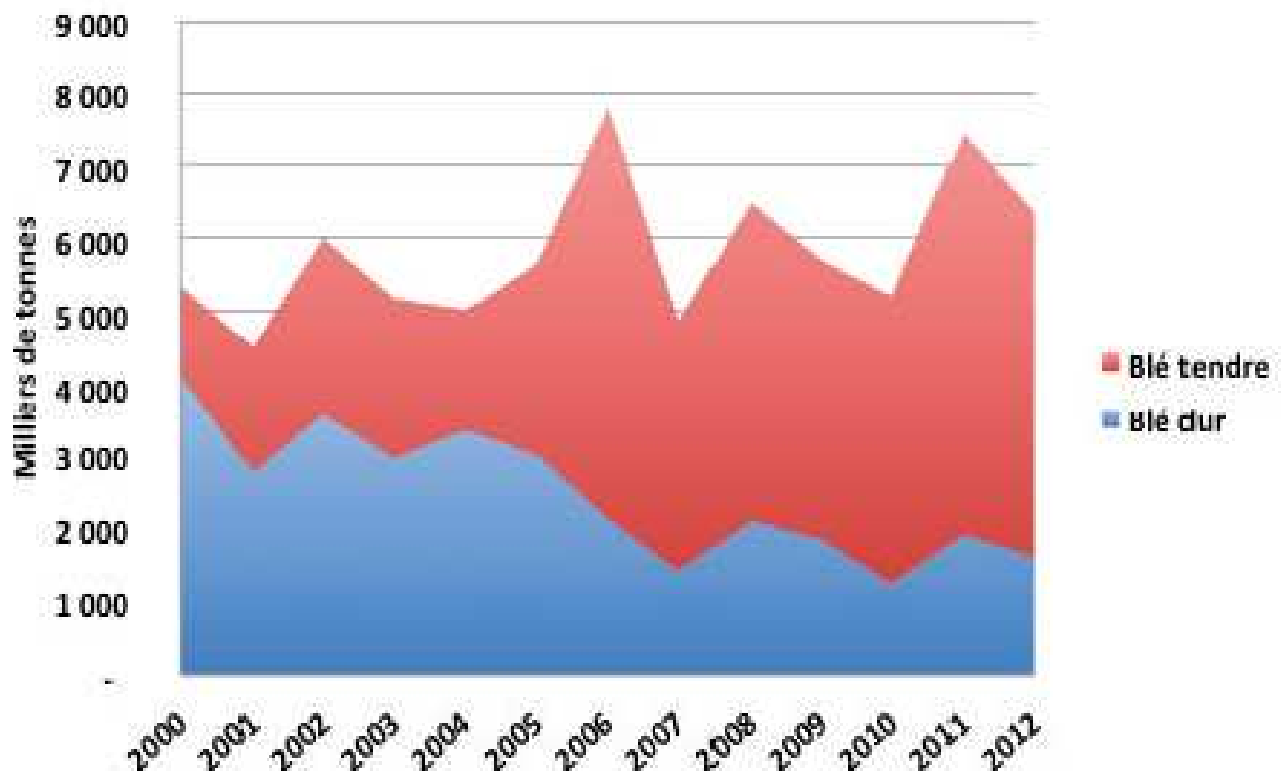
Tableau I. 2. Principaux pays importateurs du blé dans le monde (Source : Conseil International des Céréales, 2014)

Pays	(millions de tonnes)		
	2012/2013	2013/2014	2014/2015
Europe	6,6	5,6	6,3
U.E.	5,3	4,2	4,8
Ex-URSS	7,3	7,0	7,4
Russie	1,4	1,0	1,0
Ukraine	-	0,1	-
Nord et Centre Amérique	10,6	13,7	11,5
Cuba	0,9	0,8	0,9
Etats-Unis	3,0	4,8	4,0
Mexique	3,8	4,5	3,7
Sud Amérique	14,3	14,4	12,9
Brésil	7,7	7,4	6,2
Colombie	1,5	1,6	1,4
Pérou	1,7	1,9	1,7
Vénézuela	1,6	1,6	1,6
Proche Orient	24,2	26,6	25,8
Iran	5,4	6,0	4,3
Irak	3,9	3,2	3,4
Palestine	1,4	1,5	1,7
Turquie	3,3	3,9	4,6
Yémen	3,1	3,1	3,0
Extrême Orient	38,0	41,9	38,5
Bengladesh	2,7	2,9	3,0
Chine	3,3	7,2	3,0
Inde	0,1	-	-
Indonésie	7,2	7,0	7,2
Japon	6,3	6,0	6,0
Corée du Sud	5,2	4,3	4,3
Philippines	3,6	3,4	3,5
Pakistan	-	0,5	0,7
Afrique du Nord	39,6	43,3	42,4
Algérie	6,4	6,6	6,0
Egypte	8,2	10,4	10,4
Maroc	3,9	3,9	3,0
Océanie	0,9	0,9	0,8
TOTAL MONDE	140,5	152,2	144,1

La campagne agricole 2016 pourrait connaître une baisse de rendement de 2 Mt suite à une vague de chaleur qui a sévit au mois d'avril entrainant une forte perturbation de la phase remplissage du grain. La récolte du pays sera une fois de plus médiocre et l'Algérie aura recours à l'importation (*Agreste Synthèses - Grandes cultures*, 2016).

Les cinq premiers fournisseurs de céréales-grains de l'Algérie assuraient près de 79% des importations. Il s'agissait de la France (33%), de l'Argentine (27%), du Canada (12%), des Etats-Unis et du Brésil (7%), (Rastoin et El Hassan, 2014).

La figure (I.2) représente les importations de blé dur et de blé tendre en Algérie.



Source : UN, COMTRADE, 2013 in : Rastoin et El Hassan, 2014.

Figure I. 2. Importations de blé en Algérie : blé dur et blé tendre

I. 3. Lieu, origine géographique, historique et classification du blé dur (*Triticum durum* Desf.)

I. 3. 1. Lieu, origine géographique et historique

L'histoire de l'homme et celle des plantes cultivées est un ensemble d'interactions continues dans le temps et l'espace. Des traces de céréales datant près de 8000 ans avant J.C, ont été trouvées au Moyen-Orient (Feldman, 1979). Les *Aegilops* considérés comme les ancêtres des blés sont des espèces primitives. Ils constituent un groupe d'espèces adaptés aux conditions méditerranéennes ainsi qu'aux conditions plus continentales. On les trouve à des altitudes comprises entre 400 m (mer morte) et 2700 m, mais la plupart des espèces sont présentées à des altitudes comprises entre 500 et 1200 m (Zaharieva, 1996)(Figure I. 3).

Les céréales sont cultivées depuis fort longtemps comme l'attestent les restes trouvés dans certaines régions et dont certaines datent de la période du néolithique. Les centres d'origine des espèces de céréales cultivées seraient d'après Belaid, (1986) les suivants :

- Centre Ouest de la chine : Millet ;
- Asie du Sud-Est : Seigle, Riz;
- Asie Centrale : Blé tendre;
- Moyen Orient : Blé dur, Seigle, Avoine;
- Abyssinie : Orge;
- Amérique Centrale : Maïs.

Les céréales ont donc dû être les premières plantes cultivées. La plupart dérivent des *Graminées* prairiales dont les humains ont dû longtemps récolter les grains avant de penser à les semer.

Le blé dur (*Triticum. turgidum ssp. durum* Desf.) est un allo tétraploïde ($2n=4x=28$, AABB) qui a pour origine l'hybridation suivie d'un doublement chromosomique entre *Triticum urartu* (génomme AA) et une espèce voisine, *Aegilops speltaoides* (génomme BB) (Figure I.3)

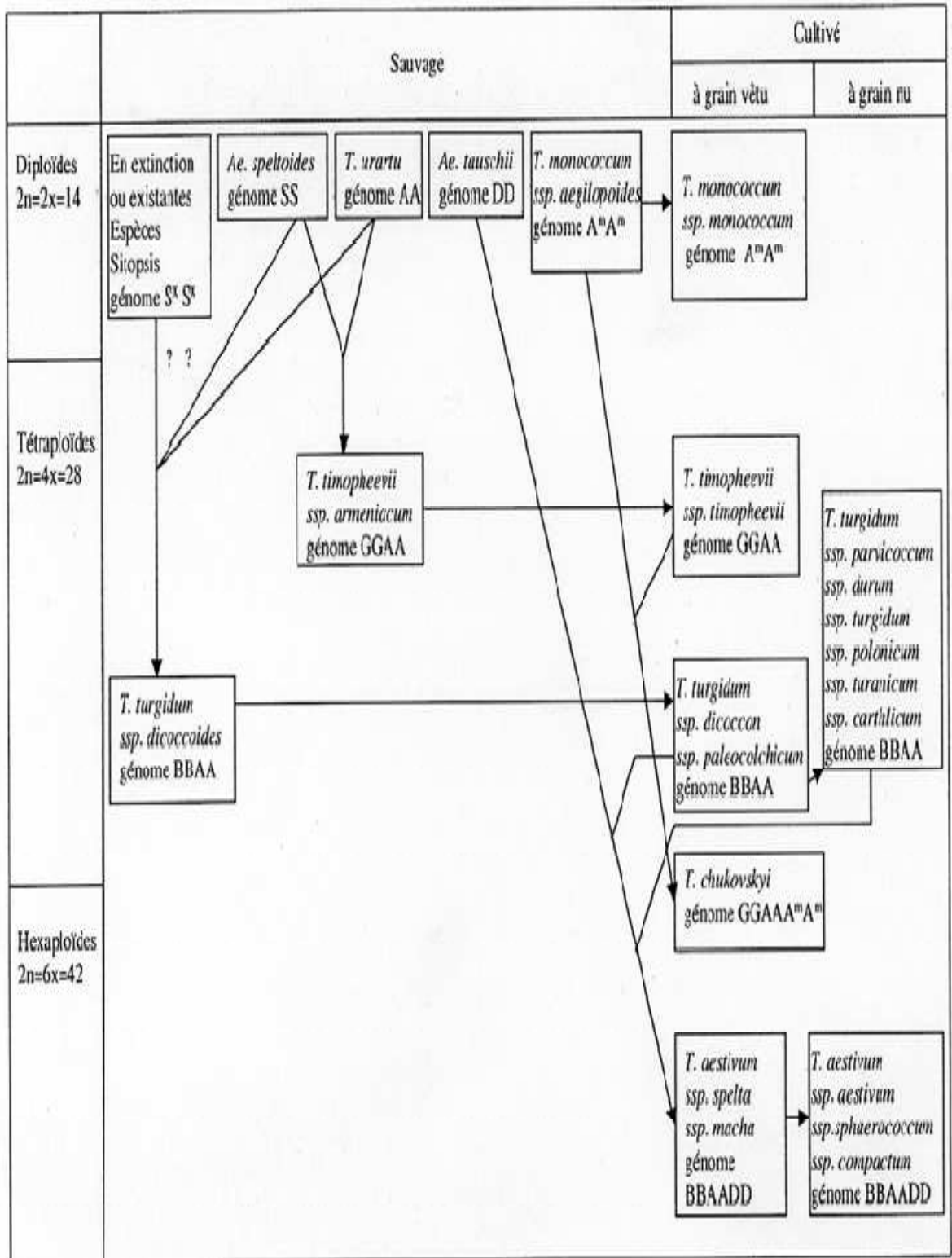


Figure I. 3. Phylogénie des blés (d'après Feldman, 2001)

Selon Kimber et Sears, (1987), une ou plusieurs des cinq espèces diploïdes de la section *Sitopsis* du genre *Triticum* pourraient avoir fourni le génome **B** aux blés.

L'analyse cytogénétique moléculaire laisse croire que les sous-espèces de *Triticum turgidum* seraient issues de l'hybridation naturelle de *Triticum monococcum* L. sub sp. *boeoticum* (Boiss.) (Synonyme: *Triticum urartu*: **AA**) avec une espèce de blé diploïde inconnue contenant le génome BB (Feldman, 1976).

D'après l'analyse moléculaire, le génome de *T.speltoïdes* s'apparente plus au génome du blé dur et du blé tendre (Martin et al., 1995; Khlestkina et Salina, 2001). En outre, l'analyse de l'ADN des chloroplastes montre que *T. speltoïdes* est probablement le donneur maternel de blé dur (Wang et al., 1997).

En ce qui concerne la localisation de la domestication des blés, on considère jusqu'à aujourd'hui qu'elle avait eu lieu dans le Croissant fertile, vaste territoire comprenant selon les auteurs la vallée du Jourdain et des zones adjacentes des territoires occupés de la Palestine, de la Jordanie et de l'Irak, voire de la bordure Ouest de l'Iran (Lev-Yadun et al., 2000).

Les blés sauvages tétraploïdes sont largement répartis au Proche-Orient, alors que la domestication du blé diploïde s'est produite dans le nord du Croissant fertile au Proche-Orient plus qu'au Sud (Levy et Feldman, 2002).

D'autres centres de diversité du blé tétraploïde sont représentés par le plateau éthiopien, le bassin Méditerranéen et le Transcaucasie (Feldman, 2001). L'Ethiopie a été considérée par Vavilov (1951), comme étant le centre d'origine de blé Tétraploïde, alors que Feldman la considère comme un centre de diversité. Le blé dur provient du territoire actuel de la Turquie, la Syrie, l'Iraq et l'Iran (Feldman, 2001).

I. 3.2. Classification du blé dur (*Triticum durum* Desf.)

Le blé dur est une plante herbacée, appartenant au groupe des céréales à paille. D'après la classification de Cronquist et Takhtadzhian, (1981) et APG III, (2009), le blé dur est une monocotylédone classée comme suit :

Classification de Cronquist, (1981)

Règne	Plantae
Sous-règne	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Liliopsida
Sous-classe	Commelinidae
Ordre	Cyperales
Famille	Poaceae
Sous-famille	Pooideae
Tribu	Triticeae
Genre	<i>Triticum</i>
Espèce	<i>Triticum turgidum</i>
Sous-espèce	<i>Triticum turgidum</i> subsp. <i>Durum</i> (Desf.) Husn. 1899
Classification APG III, (2009)	
Ordre	Poales
Famille	Poaceae

I. 4. Anatomie du blé

Les espèces du genre *Triticum* sont des herbacées annuelles à feuilles alternes et à croissance indéfinie. L'appareil végétatif du blé comprend une partie souterraine avec un système racinaire et une partie aérienne avec des tiges creuses ou chaumes portant des feuilles engainantes (Figure I.4).

Le système aérien du blé est formé par un certain nombre d'unités biologiques appelées talles. Elles partent toutes d'une zone située à la base de la plante nommée plateau de tallage.

La première talle formée est également appelée maître-brin. Chaque talle, après développement complet de la plante est constituée d'une tige feuillée ou chaume portant à son extrémité une inflorescence type indéfinie appelée épi.

La tige est constituée de nœuds et d'entre-nœuds. Ce sont les entre-nœuds qui s'allongent aux dépens de nœuds. Les feuilles se différencient et chaque nœud sera le point d'attache d'une feuille. Chaque feuille comprend deux parties : une portion inférieure appelée gaine enveloppant l'entre-nœud correspondante une portion supérieure appelée limbe. Les gaines attachées au niveau des nœuds, sont emboîtées les unes dans les autres et forment un tube cylindrique entourant la tige qui se déboîte au fur et à mesure de la croissance des entre-nœuds (Figure I.4).

A la jonction du limbe et de la gaine, on peut trouver une petite membrane non vasculaire plus ou moins longue et dentelée : la ligule, de chaque côté de celle-ci, à la base du limbe se trouve deux stipules plus ou moins embarrassantes et velues: les oreillettes (Soltner, 1988).

L'inflorescence portée par le rachis est constituée de 15 à 25 épillets portant chacun 3 à 4 fleurs. Un épillet regroupe généralement trois fleurs à l'intérieur de deux glumes. Chaque fleur est entourée de deux glumelles et contient deux pièces stériles : les glumellules, trois étamines et un ovaire surmonté de deux styles plumeux. Au cours du développement du blé, deux systèmes racinaires vont se succéder à savoir le système des racines primaires ou séminales et le système des racines secondaires ou de tallage (Bednarek, 2012).

Le système des racines primaires est mis en place dès la levée de la graine jusqu'au début du tallage. Le système des racines secondaires est fasciculé et apparaît lorsque la plante commence à émettre les talles secondaires (Bednarek, 2012).

L'inflorescence chez le blé est de type « épi », avec une unité morphologique de base qui est l'épillet. Le rachis ou axe de l'épi porte 15 à 25 épillets organisés en 2 rangées situées de part et d'autre de l'axe. L'épillet se compose d'un ensemble de 3 ou 4 fleurs à l'intérieur de deux glumes. Chaque fleur est dépourvue de pétales et donc les monocotylédones, se caractérisent par des tépales (sépalés plus pétales) entourée de deux glumelles (inférieure et supérieure) (Figure I.4).

La fleur du blé est dite cléistogame c'est-à-dire que le plus souvent, la fécondation a lieu à l'intérieur des glumelles avant que les étamines n'apparaissent à l'extérieur. De ce fait, l'autofécondation est le mode de reproduction le plus fréquent chez le blé. Les glumes et les glumelles sont éliminées au moment du battage pour libérer le grain (Bednarek, 2012).

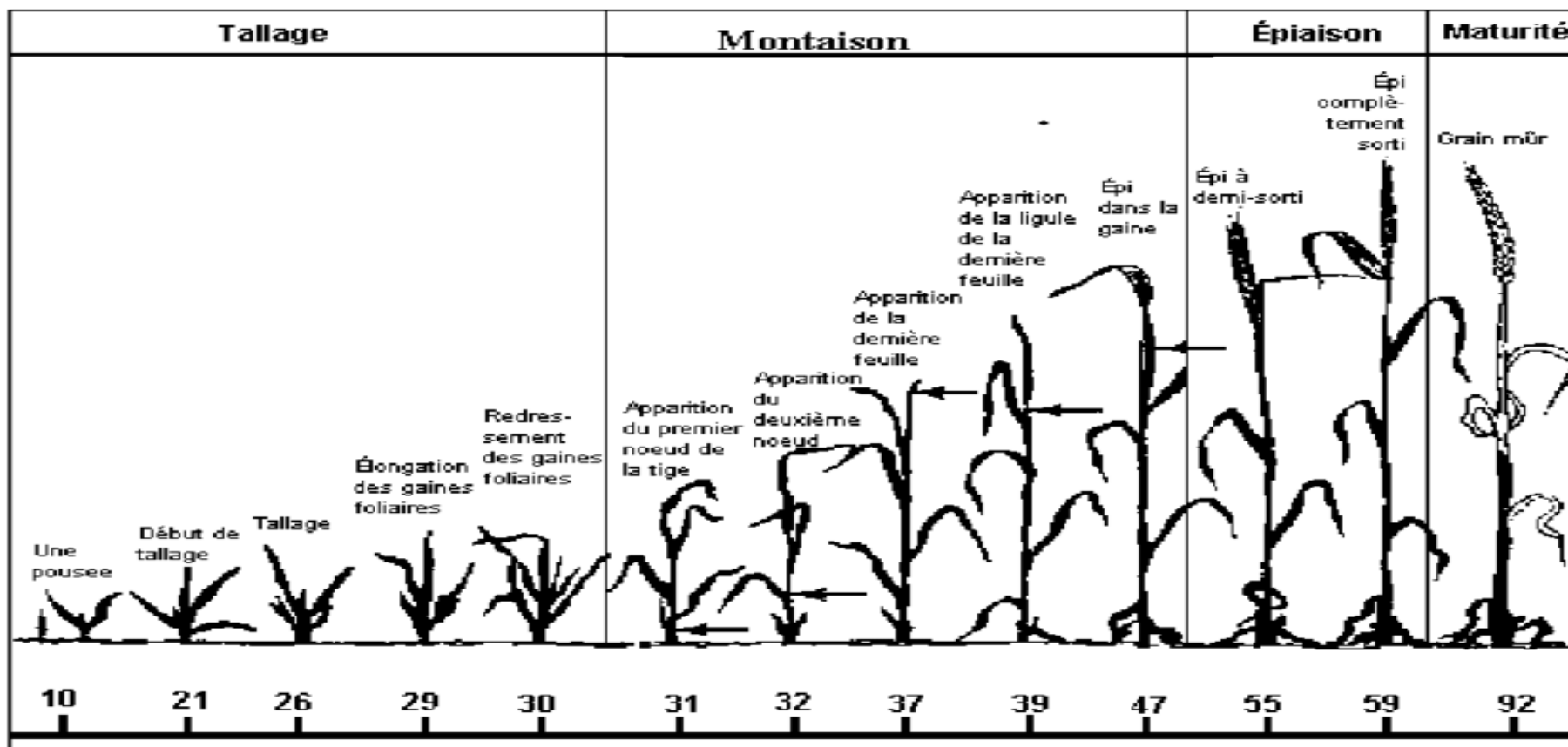


Figure I. 4. Cycle de développement du blé (Zadocks et *al.*, 1974)

II. Effets de la sécheresse sur les céréales

La sécheresse est l'un des facteurs les plus invoqués pour expliquer la faiblesse et la variabilité de rendement des céréales. Le rendement d'une culture sera affecté en fonction de l'intensité du déficit et de sa position dans le cycle de la plante (Ben Naceur et *al.*, 1999). Nous avons tendance à identifier la sécheresse au stress hydrique; la sécheresse possède un rapport à aspect climatique et le stress hydrique plutôt physiologique (Ait kaki, 1993; Baldy, 1993).

Hennin, 1976 définit la sécheresse de deux façons :

- Il y a sécheresse dès qu'il se produit dans la masse des tissus un déficit hydrique amenant une baisse de rendement.
- Il y a sécheresse chaque fois que le déficit en eau provoque des réactions de défense de la plante se traduisant ainsi par des modifications de l'état du feuillage qui caractérise le flétrissement.

Le stress hydrique est un phénomène courant durant le cycle de développement des plantes. Il est souvent lié à la demande évaporatrice et se traduit rapidement par une réduction de la croissance de la plante (Rekika, 1997). Le stress hydrique s'installe dans la plante quand l'absorption ne peut satisfaire la demande de la transpiration. La plante perd une partie de son eau d'imbibition et la majeure partie des processus physiologiques commence à être affectée (Baldy, 1993 ; Gate, 1995).

II. 1. Effet du stress hydrique sur le rendement et ses composantes

Le rendement est considéré comme le critère de réponse au déficit hydrique (Bouniols et *al.*, 1982). Nemmar, (1983) nota qu'au cours de la germination, un certain taux d'humidité est nécessaire pour assurer une bonne levée qui est le premier élément de la densité de peuplement et par conséquent du rendement final.

Cependant, un déficit hydrique survenant au stade montaison affecte deux composantes du rendement, le nombre d'épis par mètre carré et le nombre de graines par épi et par voie de conséquence le poids de milles grains sera également affecté (Ait kaki, 1993 ; Debaeke et *al.*, 1996). A partir du stade montaison, le blé rentre dans une phase de sensibilité à la sécheresse qui s'accroît particulièrement de la mi- montaison à la floraison, période où

la plante élabore une composante principale pour le rendement : le nombre de grains récoltés par m² (Deumier, 1987 ; Baldy, 1993 ; Hooker et *al.*, 1983).

Slama et *al.*, (2005), mentionnent que le risque de déficit hydrique est possible presque durant tout le cycle biologique de la céréale. Un déficit hydrique survenant au cours de la montaison se traduit par la chute du nombre d'épis par m², la régression intense des talles et/ou la baisse du nombre de grains par épi (notamment par augmentation du taux d'avortement des épillets et l'induction de stérilité mâle). À la fin de la montaison 10-15 jours avant l'épiaison, la sécheresse réduit le nombre de fleurs fertiles par épillet (Debaeke et *al.*, 1996).

Néanmoins, Triboï (1990), indique que le manque d'eau après la floraison combinée à des températures élevées entraîne une diminution du poids de mille grains par altération de la vitesse de remplissage des grains et/ou de la durée de remplissage. Au cours de cette dernière phase, la sécheresse diminue aussi la taille des grains (phénomène d'échaudage) réduisant ainsi le rendement (Gate et *al.*, 1992). Plusieurs études montrent aussi que le stress hydrique diminue la taille du grain, en raccourcissant la période de remplissage du grain mais pas la vitesse d'accumulation des réserves (Brooks et *al.*, 1982 ; Nicolas et *al.*, 1984 ; Kobata et *al.*, 1992 ; Altenbach et *al.*, 2003).

Olufayo, (1994) rapporte qu'une réduction de la quantité d'eau disponible influence le métabolisme et les processus physiologiques qui contrôlent la croissance et le développement de la plante. Ces effets peuvent aussi se répercuter sur les composantes de rendement, le rendement lui-même ainsi que la qualité boulangère des grains.

II.2. Les stratégies d'adaptation à la sécheresse

L'adaptation se définit comme la capacité d'une plante à croître et donner des rendements satisfaisants dans des zones sujettes aux stress périodiques connus. La notion d'adaptation est liée à celle de la résistance et de tolérance aux stress.

Pour lutter contre le manque d'eau, les plantes développent plusieurs stratégies adaptatives qui varient en fonction de l'espèce et des conditions du milieu. La résistance d'une plante à une contrainte hydrique peut être définie du 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 (Slama et *al.*, 2005).

Selon Hsissou (1994), la résistance globale d'une plante à la sécheresse apparaît comme le résultat de nombreuses modifications phénologiques, anatomiques, morphologiques, physiologiques et biochimiques qui interagissent pour permettre le maintien de la croissance, du développement et de la production.

Pour Levitt (1980), l'adaptation prend trois formes distinctes : l'esquive ou l'échappement, l'évitement et la tolérance à la sécheresse.

II. 2. 1. Esquive à la sécheresse

La première façon d'éviter la sécheresse est l'esquive, qui est un changement dans la longévité du cycle phénologique. Elle permet à la plante de réduire ou d'annuler les effets du stress hydrique en évitant que celui-ci se produise au cours du cycle et en particulier à une phase sensible ou critique de la céréale (Belhassen et *al.*, 1995; Adda, 2006 ; Mekhlouf et *al.*, 2006). Pour éviter les périodes difficiles pour la croissance et le développement, certaines variétés accomplissent leur cycle de développement avant l'installation de la contrainte hydrique.

Cette stratégie appliquée aux espèces cultivées à amener à décaler la date de semis et/ou à sélectionner des variétés plus précoces permettant d'éviter les déficits hydriques de fin de cycle (Figure I. 5).

En effet, en produisant la biomasse la plus élevée, les génotypes à croissance rapide et à maturité précoce utilisent mieux l'eau disponible et donc deviennent moins exposés aux stress environnementaux que les génotypes tardifs (Bajji, 1999 et Zarafa et *al.*, 2017).

En conditions méditerranéennes, la recherche d'une grande précocité a été jusqu'ici le moyen le plus utilisé pour éviter les effets négatifs du déficit hydrique et des hautes températures de fin de cycle sur le remplissage des grains (Ali Dib et *al.*, 1992).

La précocité constitue donc un important mécanisme d'évitement de la sécheresse de fin de cycle. Elle est considérée comme l'un des traits les plus importants dans l'adaptation des plantes au déficit hydrique terminal (Ben Naceur et *al.*, 1999; Slama et *al.*, 2005).

La précocité de l'épiaison peut donc être utilisée comme critère de sélection pour améliorer les productions dans les zones arides (Ben Salem et *al.*, 1997) et semi-arides (Zoghmar et Kara, 2016).

II. 2. 2. L'évitement à la sécheresse

L'évitement est défini comme la capacité d'une plante à supporter une sécheresse en évitant une déshydratation des tissus. La plante conserve un potentiel hydrique foliaire élevé.

Ceci peut être obtenu par deux voies :

- La première consiste en une absorption de grandes quantités d'eau du sol grâce à un système racinaire puissant (Hsiao, 1973 ; Richards et Passioura, 1981 ; Al Hakimi, 1992 ; Kara, 2000 ; Grieu et *al.*, 2008) et à une conductivité hydraulique élevée des tissus (Levitt, 1980) via des protéines membranaires, (les aquaporines : qui transportent sélectivement les molécules d'eau H₂O, Martre et *al.*, 2002) et la signalétique hormonale (Scharp, 2002).
- La seconde voie consiste en une limitation des pertes d'eau pendant les phases de déficit hydrique. Cette limitation est principalement liée à la fermeture stomatique (Araus et *al.*, 1991), à l'augmentation de la réflectance foliaire (Johanson et *al.*, 1983) et à la diminution de la radiation interceptée. Cette dernière peut être obtenue par une couleur bleu verte des feuilles (phénomène de glaucescence), ou dépôts de cires épicuticulaires (Araus et *al.*, 1989 ; Anderson et *al.*, 1984), et à l'enroulement foliaire (Viratelle, 1992).

Celui-ci est considéré comme un indicateur de perte de turgescence en même temps qu'un caractère d'évitement de la déshydratation (Clarke, 1986 ; Hsiao et Bradford, 1984).

II. 2. 3. La tolérance à la sécheresse

La tolérance permet à la plante de contenir les effets du stress qui s'installe en assurant des fonctions physiologiques à un rythme plus réduit que la normale grâce à l'abaissement du potentiel osmotique. Cette stratégie permet le maintien de la turgescence cellulaire grâce à une diminution du potentiel osmotique qui permet de compenser la baisse du potentiel hydrique foliaire. C'est le phénomène de l'ajustement osmotique (Morgan, 1983 ; Blum, 1989). Les mécanismes de tolérance varient selon les espèces et au sein d'une même espèce, selon les stades de croissance.

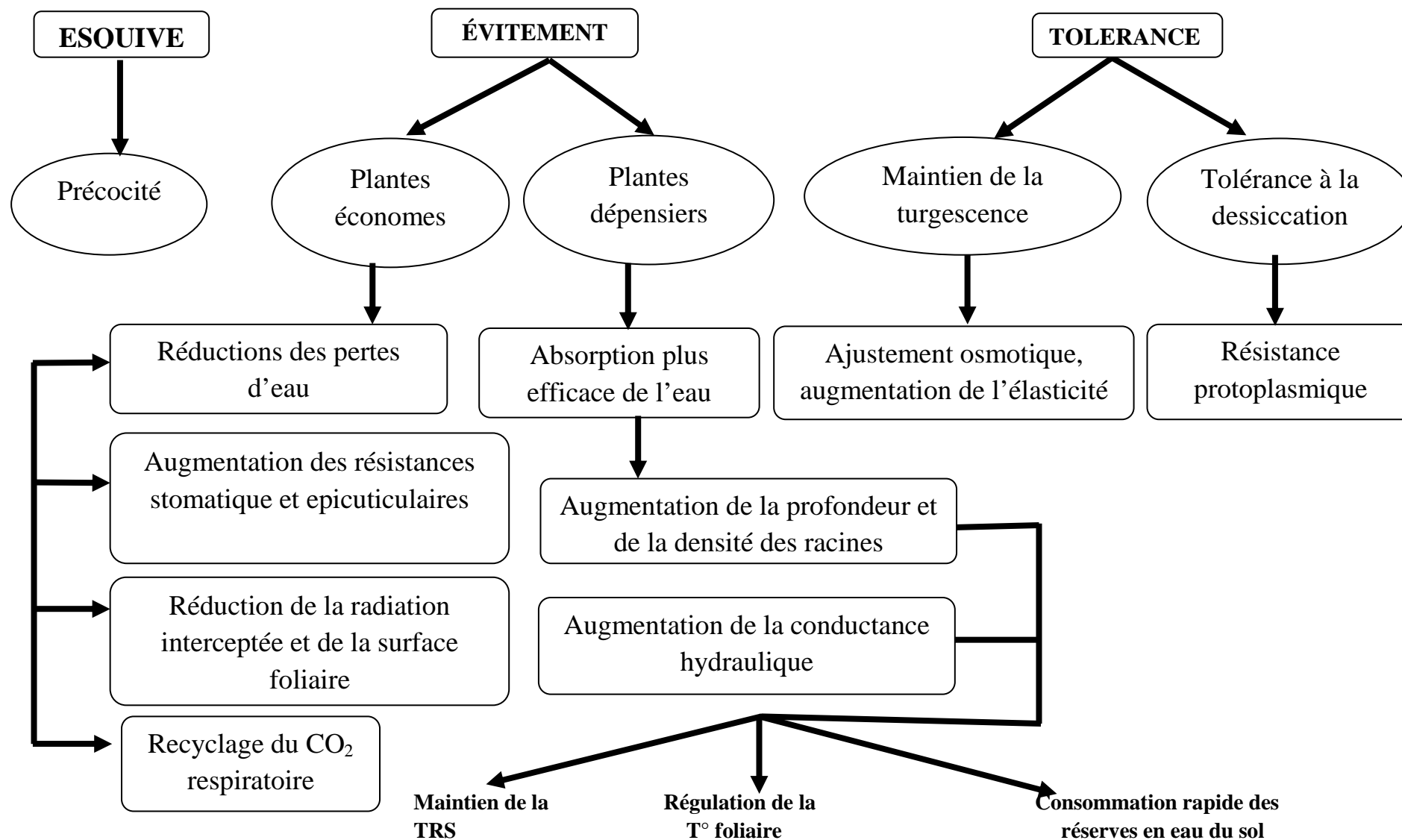


Figure. I. 5. Mécanismes de résistance des plantes à la sécheresse (In : Madjouri, 2006)

III. Les mécanismes d'adaptation à la sécheresse

III.1. Adaptations morphologiques

L'effet de la sécheresse peut se traduire selon la stratégie adaptative de chaque espèce ou variété par des modifications morphologiques pour augmenter l'absorption d'eau et/ou pour diminuer la transpiration et la compétition entre les organes pour les assimilés. Ces modifications affectent la partie aérienne ou souterraine comme suit :

- Enroulement et réduction de la surface foliaire ;
- Développement d'un meilleur système racinaire (Slama et *al.*, 2005 ; El-fakhri et *al.*, 2010) ;
- Réduction du nombre de talles et du nombre d'épis par unité de surface (Ben Naceur et *al.*, 1999) ;
- La hauteur de la plante apparaît comme un critère de sélection important dans les zones semi-arides. D'après les études menées par (Ludlow et Muchow, 1990 ; Annichiarico et *al.*, 2005 ; Zerafa et *al.*, 2017), la longueur de la tige ou chaume est considérée comme un caractère clé de l'adaptation à la sécheresse.

Benmahammed, (2005) trouve une liaison positive significative entre le rendement en grain et la hauteur de la plante et la longueur du col de l'épi.

III.1.1. Réduction de la surface foliaire

La feuille étendard est l'un des derniers organes photosynthétiques qui restent en activité avant la maturité physiologique. Cet organe joue un rôle important au cours du remplissage du grain (Hamli et *al.*, 2015).

En cas de stress hydrique, la réduction de la croissance foliaire est un mécanisme important de la réduction des besoins en eau (Begg et Turner, 1976 ; Turner, 1986 ; Perrier et *al.*, 1961). La transpiration peut être aussi affectée par le phénomène d'enroulement foliaire (une diminution environ de 40% à 60%). Ce dernier considéré comme un indicateur de perte de turgescence en même temps qu'un caractère d'évitement à la déshydratation (Hsiao et *al.*, 1984 ; Clarke, 1986 ; Monneveux et This, 1997). Le phénomène d'enroulement des feuilles peut se manifester en cas de déficit hydrique sévère (Morgan, 1984).

Cependant, Hamli et *al.*, (2015) suggèrent que les feuilles aux larges dimensions perdent, par transpiration, moins d'eau par unité de surface foliaire. La sélection de géotypes aux larges feuilles serait dans ce cas désirable. Une surface foliaire plus large, capte plus de lumière et fixe plus d'hydrates de carbone qui sont favorables à un haut rendement. Ces résultats ne corroborent pas ceux rapportés par Bouzerzour et Benmahammed, (2009) qui mentionnent que sous les conditions semi-arides, la sélection des feuilles de tailles relativement réduites serait plus désirable. Blum, (1984) montre que les feuilles très étroites permettent une réduction des pertes en eau.

D'après Acevedo et Ceccarelli, (1987), le port des feuilles serait lié à la tolérance à la sécheresse. Chez le blé par exemple, les feuilles verticales et étroites seraient plus favorables à une adaptation au stress hydrique que les feuilles larges et flasques (Borojevic et Denicic, 1986).

III.1. 2. Développement du système racinaire

L'efficacité de l'extraction de l'eau du sol par les racines figure parmi les types d'adaptation permettant à la plante d'éviter ou plus exactement de retarder la déshydratation de ses tissus et par conséquent l'évaluation architecturale racinaire des plantes sous différentes conditions de disponibilités de l'eau dans le sol (Turner et *al.*, 2001 ; El-fakhri et *al.*, 2010). L'aptitude des racines à exploiter les réserves en eau du sol sous stress est une réponse particulièrement efficace pour l'élaboration de la production des graines (Passioura, 1977).

Le développement racinaire est considéré comme l'un des facteurs important de la variabilité inter et intra spécifique de la tolérance à la sécheresse chez les céréales (Hurd, 1974; O'Brien, 1979; Richard et Passioura, 1981; Chopart, 1984; Benlaribi et *al.*, 1990, Ali Dib et *al.*, 1992; Khaldoun et *al.*, 1990 ; El-fakhri et *al.*, 2010; Kara et Belkhiri, 2011; Labdelli, 2011)

Un système racinaire capable d'extraire l'eau du sol est un trait essentiel pour la tolérance à la sécheresse. Cette caractéristique revêt une importance particulière sur les cultures qui subissent régulièrement des déficits hydriques de fin de cycle (Subbarao, 1995). Un système racinaire extensif permet au blé de mieux résister à un stress hydrique (Mazouz, 2006 ; Labdelli, 2011).

Toutefois, les caractéristiques du système racinaire ne jouent leur rôle dans la résistance à la sécheresse que si les racines sont bien développées avant l'installation du déficit hydrique et ne sont pas affectées par le manque d'eau (Daloul et *al.*, 2009).

Par ailleurs, des travaux (Batcho et *al.*, 1990; Annerose, 1990 ; El-fakri et *al.*, 2010) rapportaient un certain nombre d'informations sur le rôle du système racinaire en conditions de sécheresse :

- Il apparaît bien que la capacité d'ajustement du développement racinaire en fonction des conditions hydriques du sol peu contribué de manière significative à augmenter la disponibilité en eau et éviter la sécheresse;
- La plasticité intra-variétale du système racinaire devra être prise en considération et exploitée au même titre que la diversité inter-variétale de développement racinaire observée en conditions normales;
- L'étude des interactions entre l'état hydrique du sol et la croissance d'une part et le développement et l'absorption racinaire d'autre part, indique qu'il est nécessaire de fixer une valeur optimale des caractéristiques racinaires afin d'éviter une péjoration du rendement utile.

Plusieurs auteurs accordent une attention particulière à la profondeur de l'enracinement (Lynch et Van Beem, 1993; Hurd, 1968). Cependant, deux types de raisons limitent beaucoup l'utilisation des critères racinaires par les sélectionneurs (Turner et *al.*, 2001) :

- L'impraticabilité du criblage au champ pour cette caractéristique sur une grande échelle et la difficulté de corréler des observations au champ à celles qui sont faites en pots.
- L'absence d'une compréhension précise du rôle exact des racines en conditions de ressources hydriques limitées est un autre facteur limitant à la mise en place d'un système de criblage efficace (Passioura, 1994).

III.1. 3. Réduction du nombre de talles et du nombre d'épis

Chez les *Poacées*, le nombre de talles produites par plante est réduit au fur et à mesure que l'humidité du sol diminue. Ces résultats sont confirmés par les travaux de (Courtois et *al.*, 2000; Achour, 1982) sur le blé, et les travaux de (Hachemi et *al.*, 1995; Langlet, 1973) sur le sorgho.

Cependant, la contrainte hydrique à deux conséquences quasi simultanées sur le tallage du blé (Casals, 1996). La première est l'arrêt du processus de tallage qui se traduit par un arrêt de la croissance des bourgeons axillaires (une carence hydrique précoce durant la phase végétative réduit donc le nombre et la taille des talles ; Davidson et Chevallier, 1990; Blum et *al.*, 1990).

La seconde est la réduction de la vitesse de croissance des talles les plus jeunes (Assem et *al.*, 2006). En effet, le rendement est la résultante de trois composantes principales qui sont le nombre d'épis, le nombre de grains par épi et le poids du grain (Fellah et *al.*, 2002; Benmhammed et *al.*, 2010; Bahlouli et *al.*, 2009) ont montré que le poids individuel du grain et le nombre de grains par épi sont les composantes les plus affectées par le stress hydrique.

Les travaux de Bouzerzour et *al.*, (2002) ont montré également qu'une sécheresse survenant au stade épiaison affecte la différenciation des épillets, le nombre d'épillets fertiles et le nombre de grains par épi.

III.1. 4. Glaucescence, pilosité, cire et barbes

La glaucescence, la pilosité des feuilles ou des tiges, la couleur claire des feuilles et la présence de cire induisent une augmentation de la réflectance qui conduit à une réduction des pertes en eau. Clarke et *al.*, (1989); Ludlow et Muchow, (1990) et Souilah et *al.*, (2014) montrent que la glaucescence réduit le taux de déperdition d'eau (transpiration cuticulaire) en conditions sèches et que les variétés qui ont une glaucescence élevée donnent dans ces conditions des rendements plus élevés que les variétés à faible glaucescence. Ce caractère influence fortement le rendement et retarde la sénescence foliaire.

Des travaux récents datant de 2017 sur la glaucescence de la gaine et du col de l'épi chez le blé dur et tendre montrent que les génotypes les plus performant se caractérisent par une forte glaucescence de la gaine et du col de l'épi en particulier les variétés GTA Dur et Car. En revanche, les génotypes qui se caractérisent par une glaucescence moyenne montrant en même temps un rendement en grains moins élevé, à titre d'exemple la variété Djennéh Khetifa (Ghennai et *al.*, 2017).

La comparaison de deux lignées iso géniques pour ce caractère montre que les quantités de cire épicuticulaires et la glaucescence influent également sur la transpiration

résiduelle. Celle-ci étant supérieure de 30 % chez la lignée non glaucescente et à faible teneur en cire (Semcheddine, 2008 ; Mouellef, 2010).

La présence des barbes chez les céréales augmente la possibilité d'utilisation de l'eau et l'élaboration de la matière sèche lors de la maturation du grain (Nemmar, 1980). La photosynthèse, chez les génotypes barbus comparativement aux génotypes glabres, est moins sensible à l'action inhibitrice des hautes températures lors du remplissage des grains (Focar et *al.*, 1998).

Des études récentes sur des variétés de blé dur, ont montré que la variété ayant des barbes développées sous contrainte hydrique présente le meilleur rendement (Slama, 2002). En effet, les barbes peuvent améliorer le rendement en conditions de sécheresse par augmentation de la surface photosynthétique de l'épi (Kara, 2000 ; Slama et *al.*, 2005).

III. 2. Adaptations physiologiques

III. 2. 1. Régulation stomatique

L'eau peut être perdue par toute la surface de la plante, cependant les stomates demeurent la principale voie d'émission de la vapeur d'eau (85 à 100 %). Les stomates sont des ouvertures microscopiques dans l'épiderme des feuilles permettant la transpiration et assurant les échanges gazeux entre la plante et l'atmosphère.

La transpiration se manifeste par une perte d'eau sous forme de vapeur entraînant un refroidissement des tissus de la plante. 98 % de l'eau absorbée par la plante est perdue par la transpiration. Cette perte est inévitable car les stomates doivent s'ouvrir pour permettre l'entrée du CO₂ et assurer la photosynthèse.

En situation de déficit hydrique, la plante ferme ses stomates pour réduire ses pertes en eau (Tardieu et Dreyer, 1997). La régulation de l'ouverture et la fermeture des stomates dépend du potentiel hydrique foliaire et de l'humidité de l'air au champ (Turner, 1997). Une faible conductance stomatique induit une fermeture des stomates rapide en conditions de déficit hydrique. Les génotypes à faible conductance sont plus sensibles au déficit de vapeur et à la baisse du potentiel hydrique foliaire que les génotypes à forte conductance.

Une forte conductance est généralement proposée comme critère favorable à l'adaptation à la sécheresse (Turner, 1986). La fermeture stomatique réduit l'assimilation du CO₂ et conduit inévitablement à une réduction de l'activité photosynthétique.

En conséquence, l'intérêt d'une réponse stomatique plus ou moins rapide au déficit hydrique résulte d'un compromis entre la réduction de l'assimilation du CO₂ et la nécessité d'éviter la déshydratation (Ludlow et Muchow, 1990).

L'accroissement de la densité stomatique peut augmenter l'assimilation nette du CO₂ et diminuer la perte en eau. En effet, un nombre élevé de stomates peut engendrer des stomates de petite taille et à fermeture rapide. Slama (2002), mentionne que la variété ayant le rendement le plus élevé et les grains les plus volumineux, à titre d'exemple la variété tunisienne Razzak se distingue par une densité stomatique plus élevée au niveau de la barbe et de la feuille drapeau (étendard).

Ce résultat est en accord avec celui d'Erchidi et *al.*, (2000) qui ont constaté que les variétés ayant une conductance et une densité stomatique élevées sont plus résistantes à la sécheresse en donnant le rendement en grains le plus satisfaisant.

La détermination de la fonction de l'ouverture stomatique reste encore en débat (Cochard et *al.*, 1996). Néanmoins, il semblerait, que l'irradiation permet d'ouvrir les stomates tandis que l'augmentation de la concentration en CO₂ ou du déficit de vapeur dans l'air induisent un processus inverse (Hinckley et Braatne, 1994). De nombreuses études ont mis en évidence des facteurs internes à la plante agissant sur les processus de régulation stomatique.

L'effet de l'acide abscissique (ABA) en tant qu'inducteur de la fermeture stomatique a été largement documenté (Wartinger et *al.*, 1990 et Davies et Zhang, 1991). Mais des incertitudes existent encore sur son origine et sur sa contribution exacte à ce phénomène (Dreyer, 1997). Le signal de la fermeture stomatique en conditions de sécheresse a été attribué à une production de l'acide abscissique (ABA) par les racines (Meinzer et Grantz, 1990 ; Trejo et *al.*, 1995 ; Ali et *al.*, 1999 ; Hopkins, 2003).

Mais l'état hydrique de la plante entière reste un facteur important à considérer car il intervient sur la sensibilité des stomates à la concentration d'ABA (Salah et Tardieu, 1997).

III. 2. 2. Potentiel hydrique

L'eau est conduite à travers la plante depuis le sol jusqu'à l'atmosphère. Ce processus est comparable à un courant électrique. Ce courant est freiné par les résistances hydrauliques de la plante, telle que l'ouverture plus ou moins importante des stomates au niveau des feuilles ainsi que la résistance des cellules racinaires au transfert de l'eau depuis le sol jusqu'aux vaisseaux du xylème.

Au fur et à mesure que la transpiration augmente au niveau des feuilles, le potentiel hydrique foliaire diminue (il devient de plus en plus négatif). Si l'eau est disponible au niveau du sol (potentiel hydrique du sol fort) alors un courant d'eau depuis le sol jusqu'aux feuilles compense les pertes d'eau lors de la transpiration.

Lorsque la quantité d'eau au niveau du sol diminue, le potentiel hydrique foliaire nécessaire pour provoquer le mouvement d'eau depuis le sol jusqu'aux feuilles doit être d'autant plus faible (Lacaze, 2006).

La diminution du potentiel hydrique du sol en conditions de sécheresse provoque une perte importante de la turgescence au niveau de la plante (Henchi, 1987). L'augmentation de la production dans ces conditions dépend des mécanismes de tolérance qui assurent l'hydratation cellulaire et diminuent la perte en eau en maintenant un statut hydrique favorable au développement foliaire (Sorrells et *al.*, 2000).

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).

III.2.3. L'ajustement osmotique

L'ajustement osmotique apparaît aujourd'hui comme un mécanisme majeur d'adaptation à la sécheresse. L'intérêt croissant qui lui est porté est lié à différents facteurs (Tableau I.3). Il permet le maintien de nombreuses fonctions physiologiques (photosynthèse, transpiration et croissance).

Il peut intervenir à tous les stades du développement et son caractère inductible suggère qu'il n'a pas (ou peu) d'incidence sur le rendement potentiel (Hsiao et Bradford, 1984; Boyer, 1985; Blum, 1989; Kara, 2000).

Le mécanisme d'ajustement osmotique permet de maintenir la conductance stomatique et la photosynthèse à des potentiels hydriques foliaires bas par ajustement du potentiel osmotique. Il intervient aussi en retardant la sénescence foliaire et en améliorant l'extraction de l'eau par les racines (Turner, 1997).

Dans le cas d'abaissement du potentiel hydrique, la tolérance s'exprime par un maintien de la turgescence rendue possible grâce au phénomène d'ajustement osmotique qui est lié à la capacité du végétal à accumuler, au niveau symplasmique et de manière active, certains solutés (Blum, 1988 et Hopkins, 2003).

L'ajustement osmotique et le rendement en grain chez les céréales sont corrélés sous une large gamme de stress. La capacité d'ajustement osmotique élevée améliore le rendement en grain à des niveaux allant de 11 et 17% par rapport au rendement des génotypes présentant une faible capacité d'ajustement osmotique (Tableau 1. 3).

Tableau I. 3. Intérêt des mesures de capacité d'ajustement osmotique en tant que critère d'évaluation de la tolérance au stress hydrique (Belhassen Eric et *al.*, 1995)

Type d'adaptation	- inductible
Facteur d'induction	- Teneur en eau du sol
Rôle	<ul style="list-style-type: none"> - Maintien de la turgescence - Maintien de la croissance (Boyer, 1985) - Retardement de l'enroulement et de la sénescence foliaire - Régulation stomatique (Ludlow et <i>al.</i>, 1985)
Facilité de mesure	<ul style="list-style-type: none"> - Mesure conjointes de potentiels hydrique, osmotique et de turgescence, et de teneur relative en eau - Dosages d'osmolytes (difficiles à relier aux capacités d'ajustement)

Relation avec le comportement agronomique	- Relations entre capacité d'ajustement et rendement en grains sous stress (Blum et <i>al.</i> , 1983; Morgan et <i>al.</i> , 1986)
Variabilité génétique	- Elevée (Morgan et <i>al.</i> , 1986 ; Blum, 1989)
Déterminisme génétique	- Caractère monogénétique récessif (Morgan et <i>al.</i> , 1986)

Parmi les composés organiques et minéraux qui interviennent dans l'ajustement osmotique, on évoque fréquemment les nitrates, le potassium, les acides organiques, les sucres solubles et la proline (Monneveux, 1991 ; Kadi, 2010).

La photosynthèse est vraisemblablement la source principale de ces solutés (Kameli et Lösel, 1996).

A. Accumulation des solutés organiques

Sous stress, les plantes accumulent des osmolytes compatibles. Parmi ces solutés, on peut citer la proline, le glutamate, le γ -acide aminé butyrique, la glycine bêtaïne et des alcools de sucre (mannitol, pinitol et sorbitol) (Venocur et Altman, 2005; Slama et *al.*, 2015).

Ces osmolytes jouent un rôle dans le maintien du métabolisme en évitant la déshydratation cellulaire et en protégeant les structures membranaires (Close, 1996 ; Hinch et Hageman, 2004; Mahajan et Tuteja, 2005; Abebe et *al.*, 2003; Su et *al.*, 2006; Chen et Murata, 2008 ; Szabados et Savoure, 2010 ; Sanchez et *al.*, 2011).

Des travaux récents ont été réalisés sur l'oyat (*Ammophila arenaria* (L.) Link) ont montré une variation saisonnière des teneurs en substances qualifiées de stress dans ces principaux organes végétatifs (feuilles, tiges et rhizome de l'oyat), Mouri et *al.*, (2012). Ces substances sont la proline et les sucres solubles qui sont généralement libérés et stockés dans les cellules des organes végétatifs des plantes supérieures en réponse aux différentes contraintes environnementales.

Les teneurs respectives en proline et en sucres solubles ont tendance à s'accumuler dans la partie aérienne plutôt que dans la partie souterraine (rhizome) et dans les organes les plus âgés et pendant les saisons les plus sèches et les plus chaudes (Mouri et *al.*, 2012).

a. La proline

La proline, est un acide aminé multifonctionnel impliqué dans l'adaptation des plantes aux contraintes environnementales (Kilani et *al.*, 2012).

En état de stress, la proline joue plusieurs fonctions à savoir :

- Ajustement osmotique (Voetberg et Sharp, 1991);
- Osmoprotecteur (Moradshahi et *al.*, 2004; Kishor et *al.*, 2005);
- Antioxydant (Sharm et Dietz, 2006 ; Eliane et *al.*, 2007);
- Régulateur de l'acidité cytosolique (Sivakumar et *al.*, 2000);
- Réserve de carbone et de nitrogène après disparition du stress (Diaz et *al.*, 1999 ; Kala et Godara, 2011);
- Marqueur de stress, Chaib et Benlaribi, (2006 a) et (2006 b); Chaib et *al.*, (2008) : in Chaib et *al.*, (2015);
- Caractère d'adaptation (Din et *al.*, 2011).

La proline a été proposée comme stabilisateur de protéines et de complexes macromoléculaires, piègeur de radicaux libres et régulateur du potentiel redox cellulaire. La concentration intra-cellulaire de la proline dépend d'une régulation fine entre sa biosynthèse et sa dégradation (Kilani et *al.*, 2012).

Plusieurs sélectionneurs et physiologistes ont utilisé la capacité de son accumulation dans le criblage de génotypes résistants aux différents stress abiotiques :

- Au déficit hydrique (Benlarabi et Monneveux, 1988, sur le blé dur ; Monneveux et Nemmar, 1986 sur le blé dur et tendre ; Bellinger *et al.*, 1989, sur le maïs, Mouri et *al.*, 2012 sur l'oyat) ;
- Au froid (Dorfling et Askman, 1989 sur le blé tendre) ;
- à la salinité (Weimberg et *al.*, 1986 sur le sorgho ; Hubac et Vieira da silva, 1980 chez *Artemisia herba alba*; Ghars et *al.*, 2008 chez *Arabidopsis thaliana* et *Thellungiella halophila* ; Hadjadj et *al.*, 2011, chez une halophyte, *Atriplex* ; Snoussi et Abbad, 2012, chez la tomate, *Lycopersicon esculentum* Mill.).

Certains auteurs (Singh et *al.*, 1973) pensent que les quantités accumulées pourraient être liées au niveau de tolérance aux stress. La proline accumulée pourrait jouer un rôle d'osmoticum (Stewart et Lee, 1974; Kauss, 1977 ; Tahri et *al.*, 1998).

D'autres auteurs ont montré que l'accumulation de l'acide aminé dans les feuilles est très étroitement liée au manque d'eau et aux hautes températures (Monneveux et Nemmar, 1986). Cependant le rôle exact de la proline et les voies de signalisation impliquées dans la régulation de son métabolisme ne sont pas encore complètement élucidés (Kilani et *al.*, 2012).

L'étude du métabolisme de la proline chez les plantes modèles permettrait d'acquérir des informations quant aux mécanismes différentiels mis en œuvre par les plantes pour faire face aux contraintes environnementales et d'établir des outils pertinents pouvant être utilisés dans l'amélioration des plantes cultivées (Kilani et *al.*, 2012).

La proline donne lieu à l'accumulation d'autres acides aminés comme l'Asparagine, la Glutamine, la Serine, la Glycine (Levitt, 1972). La concentration en proline suite à une sécheresse peut atteindre jusqu'à 100 fois celle que l'on trouve dans les tissus en turgescence (Palfi et *al.*, 1974).

b. Les sucres solubles

Les sucres solubles auraient un rôle majeur dans l'ajustement osmotique, leur participation à l'abaissement du potentiel osmotique a été mise en évidence chez le sorgho (Acevedo et *al.*, 1979 ; Jones et *al.*, 1980) et le blé (Muns et Weir, 1981 ; Johnson et *al.*, 1984 ; Zerad et *al.*, 2008).

Lors d'une sécheresse prolongée, on assiste à la disparition de l'amidon et une accumulation de sucres solubles dans les feuilles. Cette accumulation varie en fonction du degré de tolérance du génotype. C'est le saccharose qui s'accumule le plus tandis que le glucose et le fructose ont des teneurs réduites. Selon Binet, (1989) l'enrichissement en sucre, outre l'incidence sur l'ajustement osmotique, a un effet protecteur des membranes et de la dessiccation.

Korichi, (1993) a montré que les variétés de blé qui accumulent plus de sucres solubles ont une meilleure aptitude à conserver leur teneur relative en eau. Leur présence permettrait le maintien des réactions de phosphorylation et de production d'énergie. Outre ce

rôle protecteur des membranes, les hydrates de carbone protègent les processus par les quels les enzymes sont synthétisés ce qui impliquerait une meilleure tolérance de la plante à la dessiccation et une meilleure résistance à la sécheresse (Bammoun, 1997).

Benlaribi, (1990) a montré que sur deux lignées présumées tolérantes à la sécheresse que la teneur en sucres solubles des feuilles augmentent fortement en début de la phase de déficit hydrique et diminue ensuite à mesure que s'accroît la contrainte.

Ali Dib et *al.*, (1992) montrent que les variations de sa teneur chez le blé dur sont beaucoup plus faibles que dans le cas de la proline, et les teneurs les plus élevées sont obtenues après 12 jours de déficit hydrique.

B. Accumulation des ions inorganiques

Au niveau de la plante entière, l'eau est le principal véhicule pour les substances qui transitent d'un organe à l'autre car elle achemine les éléments nutritifs vers les tissus et les organes.

Un déficit en eau peut produire une carence par défaut d'apport de certains de ces éléments et affecte toutes les fonctions de la plante. Les éléments absorbés interviennent tous dans la régulation de la pression osmotique pour maintenir une turgescence suffisante des cellules. Ils maintiennent également le pH des différents compartiments (hyaloplasme, sèves...).

Les ions inorganiques entrent dans la composition des molécules organiques principalement dans les enzymes et les pigments (Grattan et Grieve, 1993 ; Hamza, 1980; Belkhodja, 1993 et Ben-Hayyim et *al.*, 1989). Osonubi et *al.*, (1988) ont montré que lorsque la sécheresse du sol augmente et que le potentiel hydrique des feuilles diminue la concentration en certains ions indispensables (Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+}) diminue. Alors que d'autres ions spécifiques tels que Na^+ et Cl^- s'accumulent dans le cytoplasme ou l'apoplasme provoquant une toxicité ionique qui interfère avec les fonctions métaboliques de la plante (Levitt, 1980).

Les ions inorganiques à fortes concentrations influent négativement sur les processus métaboliques en se liant à d'autres molécules comme co-facteurs et les substrats, changeant les propriétés fonctionnelles des enzymes (Benderradji et *al.*, 2011). Les nutriments essentiels K^+ , Na^+ et NO_3^- sont connus pour réguler le métabolisme de la plante exposée à la sécheresse en agissant comme cofacteurs des activateurs enzymatiques (Enzymatic activators').

c. Le potassium

Parmi tous les éléments nutritifs, le potassium (K^+) a une influence particulière sur le statut hydrique des végétaux.

Au sein de la plante, le K^+ joue un rôle important vis-à-vis du statut hydrique, notamment en régulant l'ouverture et la fermeture des stomates, l'ajustement osmotique de la plante (turgescence) et la croissance racinaire (Goujard et Proffit, 2013).

Le potassium est l'une des substances primaires qui contribue à l'ajustement osmotique dans de nombreuses espèces végétales cultivées sous stress hydrique (Ashraf *et al.*, 2001 ; Premachandra *et al.*, 1991).

Quelques rapports indiquent que le stress hydrique favorise l'augmentation en potassium dans des plantes telles que le maïs et le blé (Tanguilig *et al.*, 1987). Le potassium contribue à lui seul à environ 70% de la réduction du potentiel hydrique (Salsac et Monneveux, 1991). Il joue un rôle clé dans l'osmorégulation des cellules de garde et de même dans le maintien de la turgescence cellulaire (Taiz et Zeiger, 2006). Le taux de ce cation peut rendre compte de l'augmentation de la pression osmotique observé, donc du phénomène de turgescence (Laval et Maziliac, 1979).

Morgan, (1992) trouve que le potassium contribue à peu près à 78 % dans l'ajustement osmotique, d'autres solutés inorganiques sont présents en faible concentration et contribuent dans la réponse au stress hydrique.

d. Les nitrates

L'azote (N_2) représente 78% de l'aire, et ne peut être directement utilisé par les plantes, car elles ne peuvent l'assimiler sous forme minérale principalement d'ions nitrates (NO_3^-) et d'ammonium (NH_4^+).

Le nitrate prélevé du sol est transféré dans la stèle, assimilé dans les racines, accumulé dans la vacuole ou exsudé dans le milieu. La concentration cytosolique en NO_3^- est la résultante de plusieurs flux: l'influx à partir du milieu, l'efflux dans le milieu, le flux cytoplasme-vacuole, le flux vacuole-cytoplasme, le flux d'assimilation et le flux vers les feuilles (Faure *et al.*, 1997).

De nombreux stress abiotiques ou biotiques induisent un efflux net de NO_3^- , du cytoplasme vers l'apoplasme et le milieu extérieur (Aslam et *al.*, 1996 ; Wendehenne et *al.*, 2002 ; Segonzac et *al.*, 2007), malgré le coût énergétique de l'absorption de cet anion par la cellule, son rôle d'osmoticum majeur et son importance dans la nutrition azotée reste peu caractérisé.

La signification physiologique de cet efflux reste obscure, mais il est connu de façon générale que chez les plantes, l'excrétion anionique est un déterminant majeur du contrôle de la polarisation électrique de la membrane cellulaire et des processus de signalisation qui en découlent (Angeli et *al.*, 2006). Par exemple, dans les cellules de garde, l'excrétion d'anions aboutit in fine à la fermeture des stomates (Segonzac et *al.*, 2007). Les transporteurs/canaux responsables de l'efflux des NO_3^- chez les plantes sont encore très peu caractérisés au niveau moléculaire (Segonzac et *al.*, 2007 ; Lin et *al.*, 2000 et Geiger et *al.*, 2009).

Cependant la sécheresse induit un déficit de nutrition azotée qui provient principalement des réductions de flux d'azote à la racine, et secondairement des réductions des capacités d'absorption par les racines et de la réduction du transport entre les parties souterraines et racinaires du fait de la chute de la transpiration (Garwood et Williams, 1967; Van Keulen, 1981; Lemaire et Denoix, 1987).

La voie d'assimilation du nitrate comprend la réduction des nitrates en nitrites dans le cytoplasme par le nitrate réductase **NR** (Kleinhofs et Warner, 1990). Puis ils sont réduits dans les chloroplastes par le nitrite réductase (**NiR**) en ammonium (NH_4^+), qui est rapidement incorporé dans les molécules organiques car il est toxique pour la cellule (Lydie, 2015).

La première étape de cette incorporation est la synthèse d'amides transportés par le phloème et transformés directement (ou en passant par le glutamate) en glutamine, acide aminé possédant deux groupements amines. Les autres acides aminés sont ensuite synthétisés par transamination (Lydie, 2015).

L'assimilation du nitrate au sens strict implique seulement ces deux réactions catalysées par le **NR** et le **NiR** situées dans les racines et les feuilles. Cependant, cette distribution apparaît dépendre de plusieurs facteurs : l'espèce, les conditions climatiques et la nutrition nitrique (Andrews, 1986 ; Andrews et *al.*, 1984 et Sechley et *al.*, 1992).

En revanche, l'assimilation totale du nitrate en composés azotés est tributaire de la respiration et la photosynthèse du fait qu'elle nécessite de l'énergie, du pouvoir réducteur et des squelettes carbonés. D'après Bloom *et al.*, (1992), 80 à 90% du coût total de l'absorption est consommé par l'assimilation de NO_3^- dans les racines.

e. Le sodium

L'accumulation des ions Na^+ dans la plante limite l'absorption des cations indispensables tels que le potassium (K^+) et le calcium (Ca^{2+}). Il y aurait une compétition entre Na^+ et Ca^{2+} pour les mêmes sites de fixation apoplasmique (El-fakhri *et al.*, 2011).

L'interaction entre les ions Na^+ et Ca^{2+} influe sur la croissance des racines des céréales (Greenway et Munns, 1980). Ce déséquilibre nutritionnel est une cause possible des réductions de croissance vis-à-vis le stress hydrique lorsque des ions essentiels comme le potassium (K^+), (Ca^{2+}) deviennent limitant (Soltani, 1988).

La protection contre la toxicité des ions se fait par plusieurs mécanismes qui diffèrent selon la catégorie de la plante. Chez les plantes sensibles, les racines se chargent en Na^+ plus que les feuilles. A l'inverse, lorsque le sodium est accumulé beaucoup plus au niveau des feuilles que les racines, dans ce cas les plantes sont tolérantes et dites « include » (Slama, 1986). Elle permet d'envisager la sélection de génotypes résistants.

La liste des métabolites influencés par le stress hydrique comme il est rapporté dans la littérature est longue (El-fakri *et al.*, 2011).

IV. Validation des caractères morpho-physiologiques de tolérance au déficit hydrique

Les paramètres morpho-physiologiques retenus ne peuvent, en toute rigueur, être utilisés en sélection qu'après que leur rôle effectif dans la tolérance ait été vérifié, et que leur héritabilité soit suffisante pour donner prise à la sélection (Monneveux et This, 1995). La validation du rôle de ces caractères peut être effectuée, en créant des lignées isogéniques pour l'amélioration de la tolérance à la sécheresse chez les céréales (Kara, 2000). La création de lignées isogéniques n'est en fait en l'état actuel des recherches réalisable que pour des caractères morphologiques simples : des lignées iso géniques pour la glaucescence.

Nachit et *al.*, (1992) ont permis de décrire le rôle de ce caractère dans l'utilisation de l'eau par la plante. Dans le cas de caractères physiologiques (à déterminisme génétique plus complexe), il est plus réaliste d'envisager la création de lignées issues de sélections divergentes.

Acevedo et Cecerali, (1989) donnent également un exemple de sélection divergente pour divers caractères morpho-physiologiques (volume racinaire, maintien de la teneur relative en eau, rapport isotopique $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) conduite sur des populations issues de croisements interspécifiques.

PARTIE I : Etude expérimentale
Chapitre I : Matériels et Méthodes

Chapitre I. Matériels et Méthodes

I. Matériel végétal

Cette étude porte sur dix génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) présentant des niveaux de productivité, des performances agronomiques et des comportements différents vis-à-vis du stress hydrique. Cette étude a pour objectif d'évaluer l'intérêt potentiel de ce type de matériel pour la diversité et l'amélioration de la tolérance à la sécheresse.

I. 1. Variétés étudiées

Les principales caractéristiques des génotypes étudiés sont les suivantes:

- Cirta, variété semi précoce, de fort tallage, résistante à la verse, à la rouille jaune (*Puccinia striiformis*), à l'Oïdium (*Erysiphe graminis*) et à la septoriose (*Septoria nodorum*), tolérante au froid et à la sécheresse. Elle est recommandée pour les zones de culture (les sublittorales et les plaines intérieures; Boufenare et Zeghouane, 2006).
- Mohamed Ben Bachir (MBB), sélectionnée à l'Institut Agricole d'Algérie en 1931, tardive, de paille haute (plus de 120 cm) et creuse. L'épi est compact, velu et roux. Le grain de MBB est de taille moyenne et de couleur ambrée, sensible à la verse, à la rouille noire (*Puccinia graminis*), brune (*Puccinia hordei*) et à la septoriose (*Septoria nodorum*). La zone de culture de MBB correspond aux hautes plaines de l'Est et de l'Ouest (Boufenare et Zeghouane, 2006).
- Bidi17, sélectionnée à la Ferme Ecole de Guelma dans les populations locales de BIDI en 1998. L'épi de Bidi 17 est blanc, glabre et compact. Les zones de culture de cette variété sont les Littorales et les Plainnes intérieures (Boufenare et Zeghouane, 2006).
- Waha, variété créée par l'ICARDA (*International Center for Agricultural Research in Dry Areas*, Aleppo; Syria), introduite en Algérie en 1976. Elle est recommandée pour les zones céréalières où la pluviométrie annuelle moyenne est supérieure à 400 mm et aux sols profonds (Boufenare et Zeghouane, 2006).

- **Boussellam**, originaire de l'**ICARDA**, obtenu à l'**I.T.G.C** de Sétif en 1994, Cette variété est semi-tardive, de paille longue environ 90 à 100 cm. L'épi de Boussellam est blanc, compact et de forme pyramidal. Elle est résistante au froid, à la verse, à la sécheresse et aux maladies cryptogamiques. Sa productivité optimale est environ de 38 qx.ha⁻¹. Elle est recommandée pour les zones céréalières (Nord Hauts- Plateaux et les Plaines intérieures; Boufenare et Zeghouane, 2006).
- **GTA Dur** ou **Gaviota×Durum**, originaire du **CIMMYT** (*Centro International de Mejoramiento de Mais y trigo*, Mexico), Elle est précoce, sa paille est moyenne. L'épi est blanc, compact et de forme pyramidal. Sa productivité est bonne (Environ de 50 qx.ha⁻¹). Résistante au froid, à la sécheresse et moyennement résistante à la verse, elle est recommandée pour les zones céréalières (Littoral et Sublittoral, Plaines intérieures et les Hauts-plateaux; Boufenare et Zeghouane, 2006).
- Wahbi, sélectionnée à l'**I.T.G.C** de Sétif en 2011 à partir de la variété locale Bidi 17 et la variété Waha, c'est une variété précoce dont l'épi est moyennement compact et de faible couleur. Le grain de Wahbi est de forme ovoïde. Résistante à l'Oïdium (*Erysiphe graminis*) sur feuille et sur l'épi, à la rouille brune et à la septoriose. Sa teneur en protéines est environ de 14,77% (*Centre National de Contrôle et de Certification de Semences et Plantes*, 2015).
- Sémito, d'origine italienne, L'épi est blanc, moyennement compact et de forme pyramidal. Les barbes sont courts et de couleur noire. Le grain est demi-allongé. Cette variété est résistante à l'Oïdium sur épi. Par ailleurs, elle est moyennement sensible à l'Oïdium sur feuille, à la rouille brune et à la septoriose. La qualité semoulière de Sémito est très bonne. Le rendement et le PMG est élevé. Sa teneur en portéines est environ de 15,80 % (*Centre National de Contrôle et de Certification de Semences et Plantes*, 2015).

Tableau II. 1. Liste des variétés de blé dur étudiées. Origines et pédigrée

Génotypes	Croisement	Pédigrée	Origines
Cirta	Croisement Algérie; <i>I.T.G.C Elkhroub</i> 1986	Hedba 3/GdoV2619.KB214- OKB-2KB-OKB- IKDOKB ELKHROUB 2004	<i>I.T.G.C (Algérie)</i>
Mohamed Ben Bachir	Sélection Population Locale	Sélection dans la population locale 1931	<i>Algérie; I.T.G.C</i> Population Ben Bachir
Waha	Waha`S` PLC `S`/RUFF//GTA`S`/3 Roulette	CM1790-3M-144-1Y-1M-0Y'	ICARDA /Syrie ITGC/ El Khroub 1976
Bidi 17	Sélection Population Locale	Sélection dans la population locale	<i>Algérie; I.T.G.C</i> / Guelma, 1936
Wahbi	Bidi17*/Waha	KB86-022-OKB-1KB-OKB-2KB-2KB-0KB	<i>Algérie; I.T.G.C</i>
Simeto	Capeiti×Valnova	Itallienne <i>Institut d'Agronomie</i> <i>Outre</i>	<i>Italie</i> 1998
Boussellam	HEIDER/MARTE9//HUEVOSDEORO	ICD86-0414-ABL-OTR-4AP-OTR-14AP-OTR	<i>ICARDA</i>
GTA Dur	Gaviota×Durum	Gaviota×Durum 69//EGRET/3/Wingred 27516CD	<i>CIMMYT</i>

Beni Mestina	Lahn/cham1	ICD92-DNA111	<i>ICARDA</i>
Omruuff ou Omrabi	Haurani 27/JOC69	LO400-11-1AP-3AP-6AP-OAP	<i>ICARDA</i>

I.T.G.C El-khroub, 2014

II. Expérimentations en conditions semi-contrôlées (sous serre)

Celles-ci étaient destinées à connaître les principaux mécanismes impliqués dans la tolérance au stress hydrique, et à préciser les caractéristiques physiologiques des génotypes étudiés.

En conditions semi- contrôlées (serre) ont été analysées :

- L'ajustement osmotique et les paramètres de statut hydrique : teneur relative en eau, potentiel osmotique et potentiel osmotique à turgescence maximale à trois niveaux d'humidité de la capacité au champ (100%, 35 % et 15% de la capacité au champ) ;
- les paramètres biochimiques : l'accumulation des osmotocums (proline, sucres solubles, potassium, sodium et nitrates) ;
- Les paramètres d'enracinement et les caractères morphologiques de la partie aérienne.

II. 1. Conduite de l'essai

L'expérimentation a été conduite sous serre (Centre de Bio pole, Chaabet Erssas de l'Université des Frères Mentouri Constantine) et au laboratoire de Développement et Valorisation des Ressources Phyllogénétique ainsi qu'au niveau du laboratoire de Génétique Biochimie et Biotechnologies Végétales (G.B.B.V) à Chaabet El Rerras, Université des Frères Mentouri, Constantine. Elle à pour objectif de préciser l'état hydrique et les caractéristiques physiologiques, biochimiques et minérales des variétés de blé dur.

Les grains des dix variétés de blé dur sont mis à germer dans des boites de pétri durant 48h. Après germination, les plantules de chaque génotype obtenues sont repiquées dans des pots en plastique contenant un mélange de sol, sable et terreau dans les proportions 3: 1: 1 en

deux lots séparés (avec et sans déficit hydrique). Chaque lot comporte trois répétitions par génotype.

Les pots sont arrosés trois fois par semaine et maintenus à hydratation maximum jusqu'au stade quatre feuilles bien développées. A ce stade, les régimes d'irrigation sont modifiés: dans le lot témoin, le sol est maintenu constamment humide, alors que dans le cas des plantes du lot stressé, l'arrosage est interrompu jusqu'à l'obtention des différents niveaux du déficit hydrique (35% et 15%) pendant environ 20 et 27 jours successivement.

Les pots du lot stressé sont pesés quotidiennement afin de quantifier les pertes en eau du sol et par conséquent estimer la capacité au champ en fonction de la durée de privation de l'irrigation. Le taux de réduction retenu dans cette expérience est de 35%, 15% de la capacité au champ. Les pots sont alors pesés à l'aide d'une balance de type (KERN CXB. Max 30 kg Min 2kg, Erreur 5g).

Les mesures effectuées dans cette expérimentation ont concerné :

Les paramètres physiologiques et biochimiques tel que la teneur relative en eau (**TRE**), le potentiel osmotique, le potentiel osmotique à turgescence maximale, la capacité d'ajustement osmotique ; Les teneurs en proline (**PROL**), en sucres solubles (**SUCR**), le taux du potassium (**K⁺**), le taux du sodium (**Na⁺**) et les teneurs en nitrates (**NO₃⁻**).

II. 2. Paramètres du statut hydrique et ajustement osmotique

L'état hydrique de la plante est évalué par des mesures de l'état énergétique de l'eau dans la feuille, de teneur relative en eau (**TRE**), de potentiel osmotique, de potentiel à turgescence maximale et de la capacité d'ajustement osmotique.

II. 2. 1. Teneur relative en eau

La teneur relative en eau est mesurée à partir de la méthode de Barrs et *al.*, (1968) : la feuille coupée, au niveau de la base du limbe est pesée immédiatement (masse de substance fraîche, MSF), est ensuite plongée dans un tube à essai contenant de l'eau distillée pendant 24h à 4°C afin d'obtenir un taux de réhydratation maximum.

La feuille est de nouveau pesée (masse de substance à turgescence maximale, MSSTM) ; l'échantillon est ensuite mis à sécher à l'étuve à 80°C pendant 48heures (masse de substance sèche, MSS).

Les valeurs de la turgescence relative sont déterminées à partir de la formule :

$$\text{TRE (\%)} = [(\text{MSF}-\text{MSS}) / (\text{MSTM}-\text{MSS})] \times 100$$

II. 2. 2. Potentiel osmotique

Le potentiel osmotique dépend de la concentration des solutés dans les cellules. Les échantillons sont dosés à l'aide d'un osmomètre (**WESCOR-ING**). Les feuilles prélevées introduites dans des tubes Eppendorf et placées à être conservées à -20°C .

La décongélation des échantillons permet d'extraire le contenu cellulaire en pressant les échantillons décongelés.

Les valeurs affichées par l'osmomètre concernent la concentration des jus extraits de nos échantillons en (Θ , osmolarité en milliosmol/kg). Avant toute mesure, on procède à l'étalonnage de l'appareil à l'aide d'une solution standard de NaCl à concentration connue à 25°C .

Les valeurs de Ψ_{π} sont calculées à l'aide de la formule:

$$\Psi_{\pi} = -RT\Theta$$

Où $\Theta = N_s/V$, avec $R = 8,3143 \times 10^3 \text{ MPa}\cdot\text{K}\cdot\text{mol}^{-1}$

- **T**: température en $^{\circ}\text{K}$;
- **N_s**: nombre de moles de solutés ;
- **V**: volume d'eau.

II.2.3. La capacité de l'ajustement osmotique:

A. Méthode de régression de MORGAN

A cause de la difficulté de mesure de (Ψ_s) directement, l'équation (1) est généralement exprimée en fonction de la teneur relative en eau, ou :

$$\Psi_s = \Psi_{s0} \cdot \text{TRE}_0 / \text{TRE}$$

A cet effet, les valeurs du Ψ_{s0} ajustées sont celles dues à un ajustement osmotique actif et la concentration du glucose ajusté et représente la nette accumulation de ce dernier et non celle due à la déshydratation des tissus (l'accumulation passive) (Wang *et al.*, 1995).

En effet, l'ajustement osmotique est calculé par la différence entre le (Ψ_s) calculé par les deux équations de régression à une **TRE** choisie de manière arbitraire à 80% (Zhang *et al.*,

1999). La capacité de maintenir une bonne (**TRE**) est donc considérée dans cette approche, comme la meilleure représentation de la capacité d'ajustement osmotique.

B. Méthode de réhydratation

La capacité d'ajustement osmotique notée ($\Delta\Psi_{\pi}$) est calculée selon Ludlow et *al.*, (1983) comme étant la différence de potentiel osmotique à turgescence maximale (Ψ^{π}_{100} ou PO^T_{100}) entre les plantes témoins et stressées. Elle est calculée selon Wilson et *al.*, (1979):

$$\Delta\Psi_{\pi} = (\Psi_T^{\pi} - \Psi_S^{\pi}), \Psi_T^{\pi} = \Psi_{\pi}^* (\text{TRE} - \mathbf{B}) / (\mathbf{100} - \mathbf{B}) \text{ (In Pathan et al., 1999)}$$

Ψ^{π}_{100} : potentiel osmotique des témoins ;

Ψ_S^{π} : potentiel osmotique des stressés ;

TRE: teneur relative en eau ;

B: dilution apoplastique de l'ordre de 15% chez le blé dur (Gaudillère et Barcelo, 1990).

II. 3. Paramètres biochimiques

II. 3. 1. Dosage des smolts organiques

Concernant les paramètres biochimiques, nous avons mesuré les quantités des solutés organiques tels que les sucres solubles, acides aminées, proline et les ions inorganiques : potassium, sodium et les nitrates.

II.3. 1. 1. Dosage de la proline

La méthode suivie est celle de Trolls et Lindsley, (1955), modifiée par (Dreier et Goring, 1974). Elle consiste à prendre 100 mg de matériel végétal, (1/3) médian de la feuille étandard dans des tubes à essai contenant 2 ml 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 il faut ajouter 1 ml d'acide acétique (CH_3COOH); 25 mg de ninhydrine ($\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_4$) et 1 ml de mélange contenant respectivement 120 ml d'eau distillée ; 300 ml d'acide acétique et enfin 80 ml d'acide ortho phosphorique (H_3PO_4 , d=1,7).

La solution obtenue est portée à ébullition pendant 30 mn à 100°C, elle vire au rouge, après refroidissement. 5 ml de toluène sont rajoutés à la solution qui est agitée. Deux phases se séparent (une phase supérieure à la couleur rouge contient la proline et une phase inférieure transparente sans proline).

Après avoir éliminé la phase inférieure, la phase supérieure est récupérée est déshydratée par l'ajout d'une spatule de sulfate de sodium anhydre Na_2SO_4 (pour éliminer l'eau).

La densité optique est déterminée à l'aide d'un spectrophotomètre sur une longueur d'onde de 528 nm.

II.3.1.2. Dosage des sucres solubles

Les sucres solubles totaux (saccharose, glucose, fructose, leurs dérivés méthyles et les polysaccharides) sont dosés par la méthode au phénol de Dubois et *al.*, (1956). Elle consiste à prendre 100 mg de matière fraîche placée dans des tubes à essais. On ajoute ensuite 3 ml d'éthanol à 80% pour faire l'extraction des sucres 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 20ml d'eau distillée à l'extrait.

Dans des tubes à essais propres on met 2ml de la solution à analyser, on ajoute 1ml de phénol à 5% (phénol dilué). On ajoute rapidement 5ml d'acide sulfurique concentré. On obtient une solution jaune orange à la surface. Cette même solution passée au vortex afin d'homogénéiser la couleur de la solution.

On laisse les tubes pendant une durée de 10 mn ensuite, on les place au bain-marie pour 10 à 20mn à une température de 30°C (La couleur de la réaction est stable pendant plusieurs heures).

Les mesures d'absorbances sont effectuées à une longueur d'ondes de 485 nm.

II.3.2. Dosage des ions inorganiques

II.3.2.1. Taux du Potassium et sodium

Le taux du potassium (K^+) et du sodium (Na^+) sont dosés selon la procédure décrite par Cllaf, (1969). Les échantillons sont mis à sécher dans une étuve à une température 60°C pour une durée de 24 heures.

Principe de minéralisation

150 mg de matériel végétal sont introduits dans des creusets en porcelaine et placées dans un four à moufle dont la température est augmentée progressivement jusqu'à atteindre 500°C (température maintenue jusqu'à la fin du dégagement de fumées pendant 5 heures).

Après refroidissement, les cendres sont humectées avec quelques gouttes d'eau distillée puis :

- Ajout de 5 ml de HCL dilué au 6N.
- Filtration dans des fioles jaugées de 50 ml.

Les solutions sont transvasées dans des godets préalablement rincés avec de l'eau distillée après homogénéisation et agitation. Les solutions sont passées au dosage par photomètre à flamme. Les valeurs obtenues sont déterminées avec les concentrations en potassium et sodium (mg.g^{-1} . MS).

3. 2. 2. Dosage des nitrates

Le dosage des nitrates a été effectué selon la méthode colorimétrique décrite par Cataldo et *al.*, (1975). C'est une méthode plus simple pour extraire les nitrates à partir d'un tissu végétal, le nitrate est facile à extraire. Il suffit alors d'ajouter de l'eau bouillante sur 50 mg de matière sèche de chacune des dix variétés. Dans des tubes à essai on ajoute à la solution 5 ml d'eau de-ionisée à 95°C. On agite vigoureusement, puis on rajoute les 5 autres ml d'eau de-ionisée. Le tout sera placé au bain marie pendant 30 mn.

Après refroidissement on centrifuge (centrifugeuse de table) nos extraits à (4500 rpm) pendant 20 minutes. Une fois cette opération terminée, on procède à la récupération du surnageant.

Pour éliminer la chlorophylle on ajoute 5g de carbonate de magnésium, ensuite on procède à la préparation de nos solutions : solution A, solution B et solution étalon.

La solution A est préparée avec 5g d'acide salicylique dissout dans 100 ml d'acide sulfurique a 96%. La solution B est préparée avec 40 g de NAOH dissout dans 500 ml d'eau de-ionisée. La solution étalon est préparée avec 0,068 g de nitrate de sodium dissout dans 100 ml d'eau de-ionisée (concentration du nitrate de sodium : 8 mM). Une deuxième dilution dans de l'eau de-ionisée sera préconiser pour dégager les concentrations des nitrates suivantes : 0 ; 0,1 ; 0,2 ; 0,5 ; 1,0 ; 2,0 ; 4,0 et 6,0 mM.

On prend 0,2 ml de notre extrait et de notre solution étalon, chacun séparément, auxquels on rajoute 0,8 ml de notre solution A. On mélange bien et on laisse reposer 20 mn à température ambiante. On rajoute ensuite 19 ml de notre solution B. Après refroidissement, une couleur jaune apparaît et restera stable pendant 48h.

Après agitation et refroidissement du milieu réactionnel, on procède à la lecture de nos résultats. Notons par ailleurs, que la densité optique est déterminée à une longueur d'onde de 410 nm. Une gamme étalon est établie avec une solution du Nitrate de potassium KNO_3 à une concentration de 140 $\mu g N/ml$ (Figure II.1).

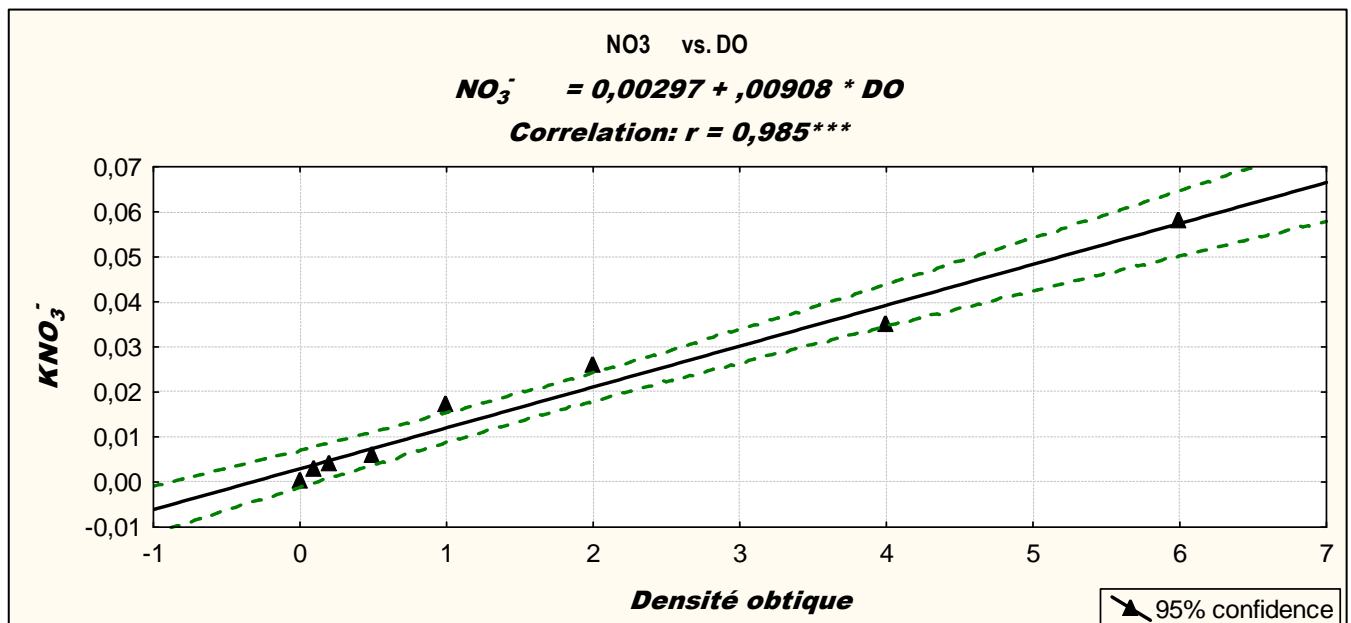


Figure II.1. Courbe d'étalonnage du Nitrate (NO_3^-)

III. Paramètres d'enracinements

L'étude a porté sur l'évaluation du système racinaire chez les variétés: Cirta, Mohamed Ben Bachir, Waha, Bidi 17, Wahbi, Sémito, Boussellam, GTA dur, Beni Mestina et Omruff. Cette étude permet d'apprécier le rôle et la contribution du système racinaire vis à vis de la capacité d'ajustement osmotique sous la contrainte hydrique.

Les plantules des dix génotypes ont été obtenus après germination sur boîte de pétri (papier Wattman imbibé d'eau). Les plantules levées sont repiquées à raison de trois plantules

par sac en plastique noirs (profondeur 1m, diamètre 12 cm) afin d'éviter la prolifération des moisissures et algues. Ces sacs sont percés à la partie inférieure et remplie d'un mélange de terreau, de sable et du sol (dans les proportions **2: 2: 6**) de faible capacité de rétention pour faciliter la pénétration des racines. Les sacs ont été disposés en deux lots. Chaque lot comporte deux répétitions par génotype.

L'expérimentation à été conduite en irrigué, deux fois par semaine jusqu'au stade épiaison ou anthèse. A ce niveau, les régimes d'irrigation sont modifiés: dans le lot témoin, le sol est maintenu constamment humide, alors que dans le cas des plantes du lot stressé l'arrosage est interrompu jusqu'au récolte.

Les sacs sont alors soigneusement vidés de leur contenu, les racines sont dégagées des particules de terre et de matière organique à l'aide d'un jet d'eau sous pression. Puis séchées entre deux feuilles de papier filtre.

Les mesures effectuées dans cette expérimentation sont:

La profondeur maximale des racines (**PMR**), le nombre des racines principales (**NRP**), déterminé par comptage des racines de longueurs supérieures à 1 cm de long ; le nombre des racines secondaires (**NRS**), déterminé par comptage des racines de longueurs inférieures à 1 cm ; le nombre total des racines (**NTR**) ; le volume racinaire (**VR**) mesuré par immersion exprimée en cm³; la matière sèche racinaire (**MSR**) exprimée en grammes, elle a été évaluée après séchage à l'étuve à 80°C pendant 48h ; la matière fraîche ou poids frais racinaire (**MFR**) exprimé en grammes.

Sur la partie aérienne ont été mesurées:

- La surface de la feuille étendard, mesurée par un planimètre électrique (Area Maters) à raison de deux répétitions par pot ;
- La teneur relative en eau (**TRE**), le potentiel osmotique et l'ajustement osmotique (Les mesures sont effectuées sur la feuille étendard durant le stade épiaison après 25 jours de stress hydrique) ;
- La date d'épiaison (**DE**).

IV. Essai au champ

Cette partie d'étude est destinée à relier le rendement à l'adaptation à la sécheresse des génotypes testés aux divers caractères morphologiques et agronomiques. Elle vise à étudier

les potentialités de production et déterminer les géotypes les plus tolérants. L'étude au champ s'est déroulée sur trois campagnes agricoles (2011/012, 2012/013 et 2013/014) à la station expérimentale de l'Institut Technique des Grandes Cultures Khroub (**I.T.G.C**)

IV. 1. Présentation de la région d'étude

La région de Constantine est limitée géographiquement au Nord par la région de Skikda, à l'Est par Guelma, à l'Ouest par Mila et au Sud par Oum El Bouaghi. Elle se situe à une altitude de 590 m dans l'atlas Tellien.

IV. 2. Localisation de la station expérimentale d'El Khroub

Le site expérimental est localisé à 14 Km au Sud-est de Constantine. Nous avons retenu pour notre expérimentation deux parcelles distinctes à savoir Parcelle kodiante Elgamh pour la campagne agricole 2011/2012 et la Parcelle Saad Belkhir pour 2012/2013 et 2013/2014). Cette zone d'étude est localisée dans les collines et basses montagnes du Sud de Constantine (Plaine intérieure de l'Est Algérien, zone sublittoral-sud). Le sol des deux parcelles a une texture argilo-limoneuse (Annexe 1).

IV. 3. Mise en place de l'essai

Un ensemble de travaux culturaux ont été effectués pour la mise en place des expérimentations :

- Un labour profond (25cm) et des façons superficielles pour la préparation des lits de semence ;
- Le précédent cultural : jachère travaillée;
- Lutte contre les mauvaises herbes : Trax os à raison de 1, 3 L.ha⁻¹ et Gran-Star à raison de 15 g. ha⁻¹.

IV. 3. 1. Dispositif expérimental

Les trois essais ont été menés suivant le dispositif de Fischer en randomisation totale à quatre répétitions, soit au total 40 parcelles élémentaires de six m² (5 m×1,20 m). L'espace interligné est de 20 cm et inter-blocs est de 50 cm.

Les essais sont semés de début à la fin décembre avec une densité de 250 grains par mètre carré. Les essais sont entourés par la culture du seigle afin de mettre notre expérimentation dans les mêmes conditions et éliminer éventuellement l'effet de bordure (Tableau II.2 ; Figure II.2)

Tableau II. 2. Les dates de semis et de récoltes des trois campagnes agricoles.

Années	Date de semis	Date de récolte
2011/2012	10/12/2011	25/06/2012
2012/2013	20/12/2012	28/06/2013
2013/2014	16/12/2013	19/06/2014

40	39	38	37	36	35	34	33	32	31
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
20	19	18	17	16	15	14	13	12	11
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Figure II.2. Dispositif expérimental (campagnes agricoles de 2012 à 2014)

(Les chiffres précédant les variétés représentent les micros parcelles)

- | | | | |
|---------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| - Cirta: | 1; 12; 26; 33 | - Sémito: | 6; 11; 21; 35 |
| - Waha: | 3; 19; 22; 34 | - Mohamed Ben Bachir: | 2; 14; 28; 38 |
| - Bidi 17: | 4; 20; 24; 39 | - GTA dur: | 8; 18; 30; 40 |
| - Boussellem: | 7; 16; 25; 31 | - Beni Mestina: | 9; 15; 27; 36 |
| - Wahbi: | 5; 13; 29; 37 | - Omruff: | 10; 17; 23; 32 |

IV. 4. Données climatiques (campagnes agricoles 2011/012, 2012/013 et 2013/014)

Une comparaison inter-mensuelle des trois années (2011/012; 2012/013 et 2013/014 nous révèle des fluctuations en matière de précipitations selon les mois. En général, la campagne (2011/2012) comparativement aux autres accuse un cumul de précipitations nettement supérieur de l'ordre de 574,5 mm (Figure II. 3; Tableau II. 3).

IV. 4. 1. La pluviométrie

Les conditions climatiques qui caractérisent les trois années de l'essai ont été relativement défavorables. La quantité moyenne enregistrée par campagne agricole est variable. La répartition de la pluviométrie est aléatoire. Le cumule des précipitations est respectivement selon les années de 574,5 mm; 392,3 mm et 518, 4 mm. Le mois le plus pluvieux au cours des trois campagnes (2012-2013) c'est février avec 213 mm et 111,9 mm ; campagnes 2012 et 2013 respectivement (Figure II. 3; Tableau II.3).

Durant l'année 2013/2014, les deux mois les plus pluvieux sont mars et novembre avec une pluviométrie de 167,4 mm et 98,1 mm respectivement.

Cependant, le minimum des précipitations est enregistré au mois d'avril (6,4 mm ; année 2014) et au mois de mai (10 mm ; année 2013) (Figure II. 3; Tableau II.3). Le déficit hydrique le plus influant se situe au niveau de ces deux mois. Les plantes se trouvent dans la période du pallier hydrique ; période la plus cruciale pour la construction du rendement en grains.

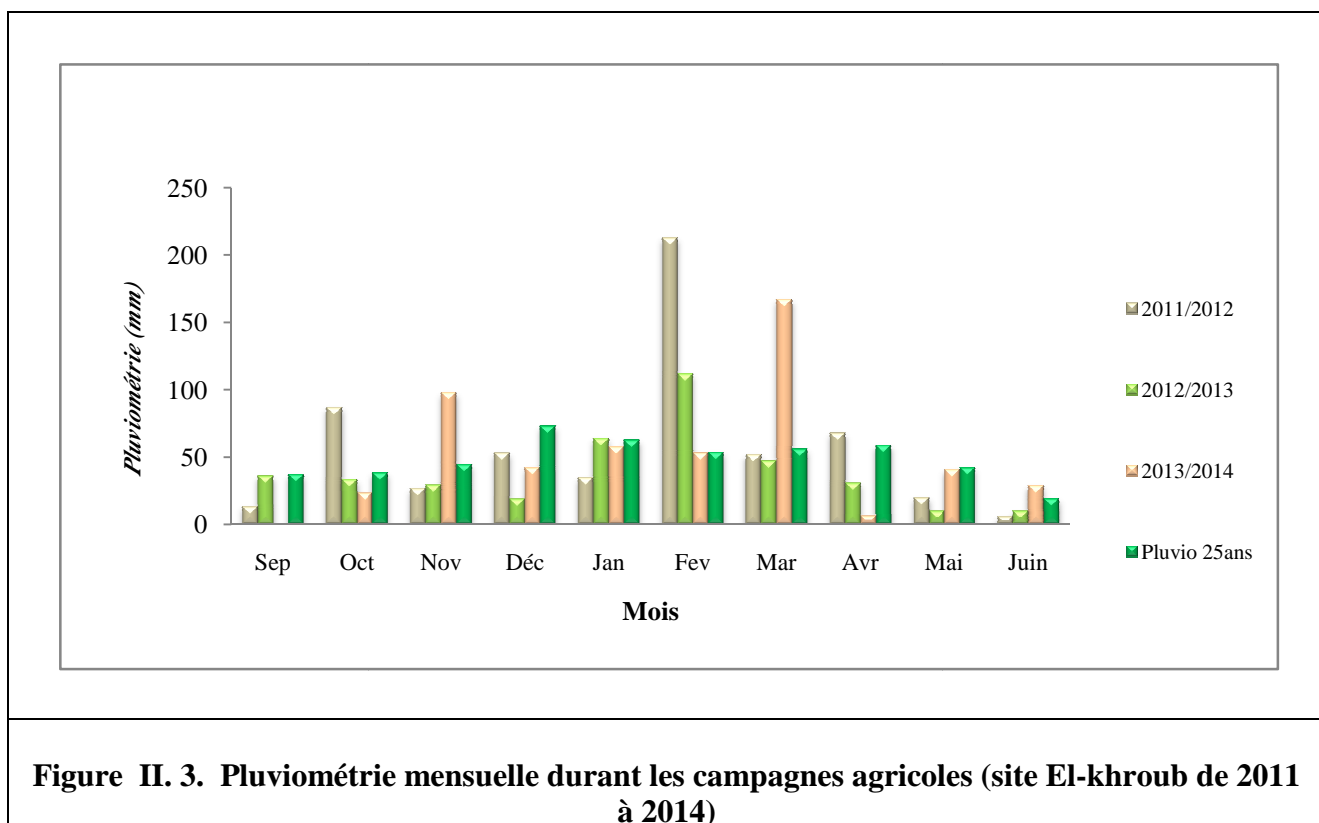
Tableau II. 3. Les précipitations (mm) caractérisant les trois campagnes agricoles à El-Khroub comparées à la moyenne sur 25 ans (Office National de la Météorologie ONM).

Mois Campagne	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Total
2011/2012	13,4	87	26,8	53,3	35	213	52	68	20	6	574,5
2012/2013	36,2	33,4	29,4	19	64	111,9	47,4	31	10	10	392,3
2013/2014	-	23,6	98,1	42,2	57,7	53,2	167,4	6,4	40,9	28,9	518,4
Pluvio (sur 25ans)	37,3	38,6	44,6	73,2	62,8	53,8	56,2	59	42,3	19,3	486,5

Par ailleurs, la pluviométrie enregistrée au cours du mois de mars et avril (campagne 2011/12), à été supérieure à la moyenne sur 25 ans comme calculée par l’Office National de la Météorologie.

Par contre, durant les deux années de l’essai 2012/13 et 2013/14, la moyenne de la pluviométrie enregistrée durant ces deux mois à été inférieure à la moyenne sur 25 ans. Cette constatation dénote un déficit hydrique de fin de cycle (stade montaison-début de gonflement) (Figure II. 3; Tableau II.3).

Dans l’ensemble, les deux campagnes 2011/12 et 2012/13 ont été relativement douces avec de fortes précipitations en hiver. Quant à la campagne 2013/2014, l’hiver et l’automne étaient relativement moins pluvieux (Figure II. 3 et Tableau II. 3).



IV.4. 1. Variation de la température mensuelle durant les trois campagnes agricoles

D’après les données recueillies, nous enregistrons un long période de gelée selon les années qui s’est étalée entre 53 et 55 jours respectivement.

En revanche, la clémence des températures de mars et surtout d’avril ont beaucoup aidé au bon développement des plantes notamment pour l’année 2011/2012 (Figure II. 4).

Les températures moyennes mensuelles les plus basses, ont été enregistrées au cours du mois de février avec des valeurs de 3,7 °C et 5,9 °C durant l'année 2011/2012 et l'année 2012/013 respectivement. La température la plus élevée a été enregistrée au mois de juin avec 25,6 °C durant l'année 2011/2012 et 20, 2 °C durant l'année 2012/2013 (Figure II. 4 et II. 5).

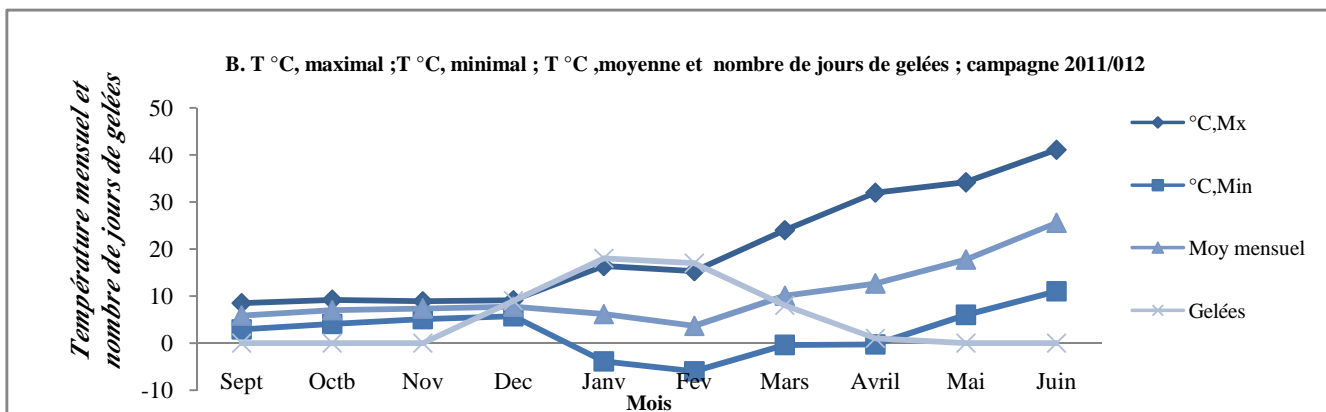


Figure II. 4. Variation de la température mensuelle et nombre de jours de gelées ; campagne agricole 2011/012

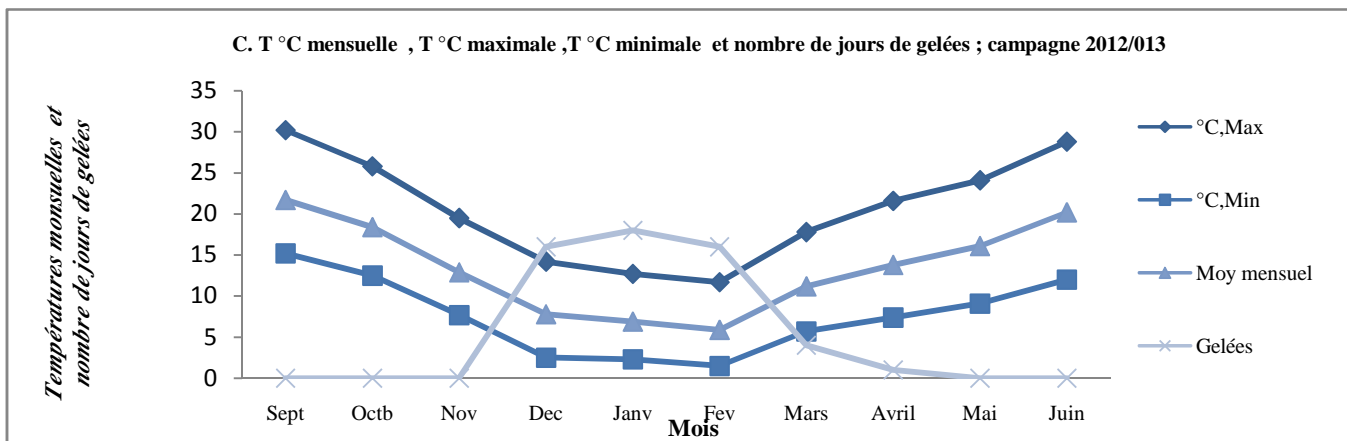
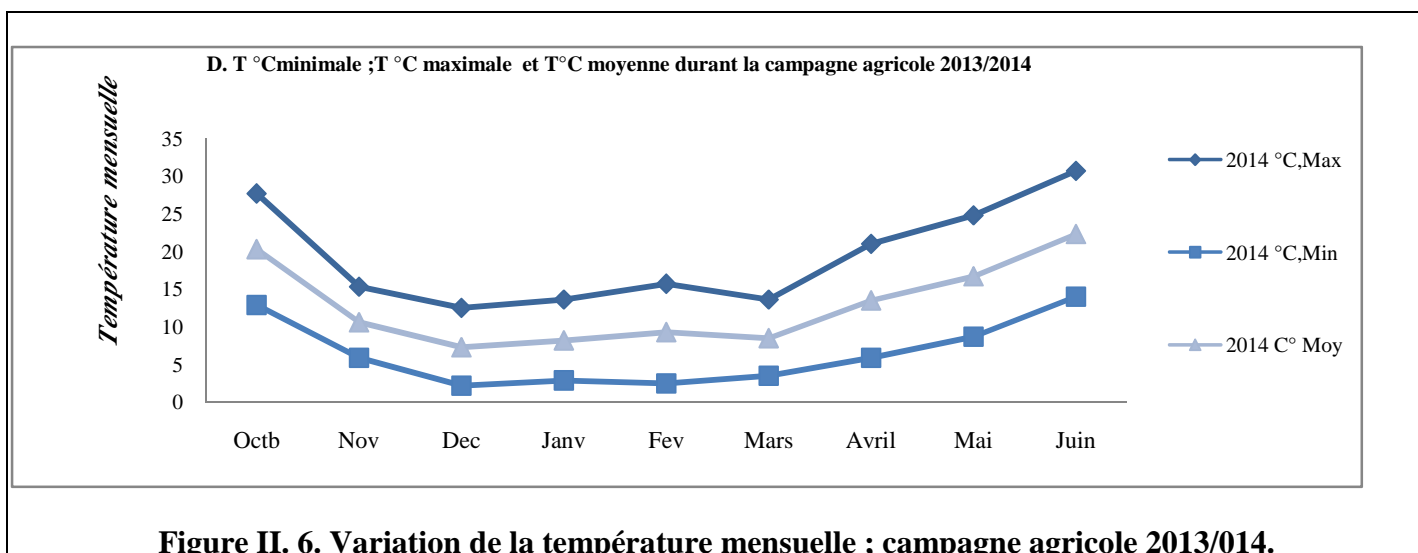


Figure II. 5. Variation de la température mensuelle et nombre de jours de gelées ; campagne agricole 2012/013



IV. 5. Mesures effectuées au champ

IV. 5. 1. Paramètres phénologiques

Les stades de développement phénologiques (date d'épiaison) ont été déterminés selon l'échelle de (Zadoks *et al.*, 1974), (50% des plantes arrivent à émettre un épi).

IV. 5. 2. Paramètres morphologiques

- La surface foliaire (**SF**) en cm^2 est mesurée par un planimètre électrique (Area Maters) à raison de quatre feuilles par micro-parcelles et par répétition ;
- La hauteur de la plante (**HP**) exprimée en cm ;
- La longueur de l'épi (**LE**) est mesurée à la maturité en cm ;
- Le col de l'épi (**CE**) ;
- La longueur des barbes (**LB**).

IV. 5. 3. Rendement et ses composantes

- Nombre de plantes par mètre carré (**NP.m²**): à la levée, le nombre de plantes est compté sur 5 lignes de 1 mètre de long sur chaque parcelle ;
- Nombre de talles par plante (**NT.p⁻¹**): les talles sont comptées sur les 5 lignes à raison de 4 plantes par ligne tout en évitant l'effet de bordures ;
- Le poids de mille grains (**PMG**): est compté automatiquement par un compteur électrique après le battage de tous les épis dans une moissonneuse batteuse de type (Numigral), le **PMG** est ensuite évalué en utilisant une balance électrique de précision ;
- Le rendement en grain RDT ;

- La biomasse (**BIO**): est mesurée à la maturité (la pesée de la plante entière avec les racines à raison de dix plantes pris aléatoirement par plot).

IV. 5. 4. Indice de sensibilité à la sécheresse «*Drought Susceptibility Index*»

L'indice de sensibilité à la sécheresse à été calculé sur la base du rendement en grains et donné par la formule simplifiée de Acevedo, (1991) :

$$IS = (1 - Y_d / Y_p) / D$$

Y_d : rendement en conditions de sécheresse ;

Y_p : rendement en conditions favorables ;

D : «intensité de la sécheresse » = $i - Y_{dm} / Y_{pm}$;

Y_{dm} : moyenne de rendement de l'essai, en conditions de sécheresse ;

Y_{pm} : moyenne de rendement de l'essai, en conditions favorables.

IV. 5. 5. Indice de récolte (IRR)

Ce paramètre est déterminé par le rapport du rendement en grains sur le rendement en biomasse.

$$\text{Indice de récolte (IRR)} = \text{Poids de la matière sèche des grains} / \text{Poids de la matière sèche à la récolte}$$

V. Traitement statistique des données

La signification statistique Ides résultats obtenus au cours des ces expérimentations a été testée par une analyse de variance ANOVA réalisée à l'aide du logiciel *STATISTICA version 7.0*, pour Windows.

La séparation des groupes homogènes est faite selon le test de Newmen-Keuls ainsi que le test de Duncan a permis de donner les moyennes et de les classer avec un seuil de signification de ($\alpha = 5\%$). L'analyse en composantes principales à été réalisée à l'aide du même logiciel *STATISTICA version 7.0*, pour Windows. De même la détermination des coefficients de corrélations et de régression linéaire est effectuée pour identifier les variables les plus corrélées (Thomassone et *al.*, 1992).

Chapitre II : Résultats et Discussion

I. Résultats

I. 1. Essais aux conditions semi-contrôlées

I. 1. 1. Caractères physiologiques et biochimiques liés à l'ajustement osmotique

Les variations annuelles des conditions climatiques dans les zones méditerranéennes rendent difficiles une sélection basée uniquement sur le rendement. Plusieurs chercheurs proposent d'introduire dans les programmes d'amélioration variétal des critères morpho-physiologiques d'adaptation (Morgan, 1983 ; Blum, 1983).

Parmi ces caractères retenus l'ajustement osmotique, qui semble jouer un rôle déterminant dans un grand nombre de situation de sécheresse (en particulier lorsque celles-ci restent modérées ; kara, 2000).

Les données traitées dans le cadre de cette partie d'étude concernent les paramètres d'état hydrique et d'ajustement osmotique. Le but recherché à travers cette étude est d'identifier des caractères intéressants pour le criblage des géotypes les plus performants. Pour cela, nous nous sommes intéressés à l'étude et à l'analyse d'un certain nombre d'osmolytes cités dans la partie matériels et méthodes afin dégager celui qui contribue le plus à l'ajustement osmotique.

Dans cette partie de notre étude, une analyse globale (ACP) a été effectuée sur l'ensemble des géotypes de blé dur.

L'analyse de la variance effectuée sur les paramètres du statut hydrique à savoir (**TRE**), potentiel osmotique (**Po**), potentiel osmotique à pleine turgescence, capacité d'ajustement osmotique et les caractères biochimiques (osmoticums), teneur en proline , en sucres solubles, taux du potassium, taux du sodium et teneur en nitrates entre les plantes bien arrosées et les plantes ayant subies un stress hydrique montre que l'effet géotype, l'effet traitement hydrique et l'interaction géotypes×traitement hydrique sont significatifs voire très hautement significatives. En revanche, l'ajustement osmotique (**AO_{S1}**), la teneur en nitrates à 35% cc, et l'effet géotypes est par contre non significatif.

Par ailleurs, la teneur relative en eau et l'effet interaction géotypes×traitement hydrique est non significatif (Tableau III.1).

Tableau III. 1. Analyse de la variance (ANOVA) chez les dix génotypes étudiés du blé dur (caractères du statut hydrique, physiologiques et biochimiques).

TRE (%): teneur relative en eau ; Ψ_{π} : potentiel osmotique ; $\Psi_{\pi 100}$: potentiel osmotique à turgescence maximale ; **Prol** : teneur en Proline exprimée en $\mu\text{g} \cdot 10^{-2} \cdot \text{mg}^{-1} \text{MS}$; **Sucr** : teneur en sucres solubles exprimée en $\mu\text{g} \cdot 10^{-2} \cdot \text{mg}^{-1} \text{MS}$; **K⁺** : teneur en potassium en $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{MS}$; **Na⁺** : teneur en sodium en $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{MS}$; **NO₃⁻** : teneur en nitrates en $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{MF}$; **AO_{S1}**: ajustement osmotique à 35% de la capacité au champ et **AO_{S2}**: ajustement osmotique à 15% de la capacité au champ

Variables	Effet génotypes (F1)			Effet traitement (F2)			Effet génotypes× traitement (F1× F2)		
	CM	F _{obs}	Pr > F	CM	F _{obs}	Pr > F	CM	F _{obs}	Pr > F
TRE (%)	191,4	2,948	0,005***	6295,1	96,987	0,000***	59,0	0,909	0,57Ns
Ψ_{π} (MPa)	1,004	34,03	0,000***	19,46	659,46	0,000***	0,66	22,40	0,001***
$\Psi_{\pi 100}$ (MPa)	0,4884	8,346	0,000***	2,2510	38,471	0,000***	0,308	5,265	0,000***
Prol	450,98	1,858	0,0761*	14262,5	58,754	0,000***	622,8	2,566	0,0033***
Sucr	9988,7	5,621	0,00013***	1462,8	38,381	0,000***	936,7	3,599	0,00096***
K ⁺ (mg.g ⁻¹ MS)	9,0096	20,35	0,000***	118,60	267,96	0,000***	18,67	8,27	0,000***
Na ⁺ (mg.g ⁻¹ MS)	13,36	80,48	0,000***	0,3123	1,881	0,185Ns	17,59	105,9	0,000***
NO ₃ ⁻ ($\mu\text{g} \cdot \text{mg}^{-1} \text{MF}$)	1,72	1,65	0,15Ns	13,615	13,066	0,0008***	3,83	3,676	0,00081***
AO _{S1} (MPa)	0,128	1,107	0,40Ns						
AO _{S2} (MPa)	0,796	7,901	0,0007***						

* $p \leq 0,1$, ** $p \leq 0,05$, *** $p \leq 0,001$: respectivement significatif, hautement significative et très hautement significative ; Ns : non significatif.

I. 1.1.1. Variation de la teneur relative en eau

La comparaison de l'évolution de la **TRE** des dix génotypes de blé dur a montré que le stress hydrique a entraîné une diminution de l'eau pour les lots stressés (35% cc et 15% cc) par rapport au lot témoin avec une valeur avoisinant les $93,79 \pm 4,46\%$ enregistrée chez le génotype GTA Dur et une valeur minimale de l'ordre de $80,38 \pm 1,11\%$ chez le génotype Mohamed Ben Bachir.

A 35% de la capacité au champ, la valeur minimale est observée chez le génotype Sémito 55, $91 \pm 4,87\%$. Alors que la valeur maximale est de l'ordre de $77,48 \pm 2,86\%$ chez le génotype Beni Mestina. Les variétés Mohamed Ben Bachir, GTA Dur, Cirta, Omruff, Boussellam, Waha et Wahbi enregistrent quant à elles des teneurs intermédiaires en eau qui fluctuent respectivement entre $62,40 \pm 6,95\%$ pour Waha et $76,15 \pm 13,2\%$ pour GTA Dur (Figure III. 1).

Tableau III. 2. Les paramètres du statut hydrique et physiologiques des dix géotypes testés en fonction du régime hydrique (100%, 35% et 15% de la cc)

TRE : teneur relative en eau ; Ψ_{π} (MPa)=PO : potentiel osmotique ; $\Psi_{\pi 100}$ (MPa)= PO_{100}^T : potentiel osmotique à turgescence maximale ; SDH : traitement sans déficit hydrique; ADH 35% cc : traitement avec déficit hydrique à 35% de la capacité au champ (stress modérée) ; ADH 15% cc : traitement avec déficit hydrique à 15% de la capacité au champ (stress sévère)

Variables	TRE(%)			PO(MPa)			PO_{100}^T (MPa)		
	Moyennes et groupes homogènes			Moyennes et groupes homogènes			Moyennes et groupes homogènes		
Variétés	SDH (100% cc)	ADH (35% cc)	ADH (15% cc)	SDH (100% cc)	ADH (35% cc)	ADH (15% cc)	SDH (100% cc)	ADH (35% cc)	ADH (15% cc)
Cirta	85,85±10,69ab	64,33±5,35 b-e	63,04±6,61b-e	-1,64±0,053 b-d	-2,15±0,19 d-f	-4,512±0,123 k	-1,42±0,15 a-d	-1,39±0,09 a-d	-2,86±0,35 g
MBB	80,38±1,11a-c	64,18±11,77 b-e	66,39±6,32b-e	-1,76±0,033 b-d	-2,09±0,12 c-f	-3,55±0,13 j	-1,43±0,04 a-d	-1,35±0,27 a-c	-2,25±0,057 ef
Waha	82,90±2,14ab	62,404 ±6,95 b-e	53,95±7,11 de	-1,42±0,29 b	-1,93±0,19 c-e	-2,3±0,20 e-g	-1,19±0,25 a-c	-1,23±0,24 a-c	-1,26±0,26 a-c
Bidi17	83,26±1,50ab	59,11±12,67 c-e	55,58±13,27b-d	-1,66±0,009 b-d	-1,87 ±0,115 b-e	-3,69±0,326 j	-1,39±0,032 a-d	-1,12±0,26 ab	-2,07±0,66 d-f
Wahbi	85,48±1,52ab	64,39±7,09b-e	59,62±12,67c-e	-1,017±0,230 a	-2,05±0,15 c-f	-2,46±0,037 fg	-0,88±0,199 a	-1,33±0,164 a-c	-1,48±0,33 a-c
Boussellam	90,53±8,48a	72,09 ±7,10a-e	56,35±1,84de	-1,73±0,12 b-d	-2,1±0,07 c-f	-4,31±0,138 k	-1,57±0,044 a-d	-1,52±0,099 a-d	-2,44±0,121 f
Sémito	84,38±3,97ab	55,91±4,87 de	52,24±9,71e	-1,67±0,18 b-d	-2,09±0,15 c-f	-3,178 ±0,13 i	-1,42±0,144 a-d	-1,19±0,19 a-c	-1,66±0,25 b-d
GTA Dur	93,79±4,46a	76,15 ±13,2a-e	65,44±11,68 b-e	-1,63±0,22bc	-2,25±0,071 e-g	-2,88±0,40 h	-1,54±0,24 a-d	-1,73±0,35 b-e	-1,88±0,336 c-e
B-Mestina	91,48±5,19a	77,48±2,86a-c	53,75±0,82de	-1,60±0,128bc	-1,85±0,035 b-e	-2,59±0,21 g	-1,47±0,04 a-d	-1,45±0,068 a-d	-1,40±0,095 a-d
Omruuff	92,14±10,01a	74,0 ±11,27a-e	62,37±6,336b-e	-1,71±0,19b-d	-2,06±0,086 c-f	-2,06±0,087 c-f	-1,60±0,33 a-d	-1,531±0,18 a-d	-1,30±0,19 a-c
Moyennes	87,02±6,67a	67,0±10,36b	58,54±8,48c	-1,58 ±0,256a	-2,04±0,160 b	-3,15 ±0,83 c	-1,40±0,26 a	-1,38±0,25 a	-1,86±0,58 b

*p ≤ 0,1, **p ≤ 0,05, ***p ≤ 0,001: respectivement significatif, hautement significative et très hautement significative, Ns : Non significatif

Les moyennes à l'intérieur de chaque colonne non suivie de la même lettre sont significativement différentes au seuil de 5%.

A 15% de la capacité au champ, au niveau du stress sévère, les valeurs de la teneur relative en eau diminuent par rapport au témoin chez la plupart des génotypes étudiés mais à des degrés différents.

La teneur relative en eau varie de $66,39 \pm 6,32\%$ chez Mohamed Ben Bachir à $52,24 \pm 9,71\%$ chez Sémito avec un taux de réduction variant respectivement de 17,40% à 38,08% par rapport au témoin. Néanmoins, les génotypes Mohamed Ben Bachir, GTA dur, Cirta et Omruff sont les moins affectés par le stress hydrique et affichent des valeurs élevées de la teneur relative en eau (respectivement $66,39 \pm 6,32\%$; $65,44 \pm 11,68\%$; $63,04 \pm 6,61\%$ et $62,37 \pm 6,336\%$). A l'opposé, les génotypes Waha, Beni Mestina et Sémito, affichent des valeurs de TRE basses ($53,95 \pm 7,11\%$; $53,75 \pm 0,82\%$ et $52,24 \pm 9,71\%$) en fin de stress.

Nos résultats concordent avec ceux obtenus par Zegad et *al.*, (2008) et Mouellef, (2010) qui montrent que le stress hydrique induit une baisse remarquable du pourcentage de l'eau qui s'accroît au fur et à mesure que le niveau de stress devient sévère (Tableau III. 2).

Tous les génotypes stressés affichent une diminution importante de la teneur relative en eau qui varie de 23,006% en début du traitement hydrique à 32,72% à la fin du traitement hydrique par rapport au témoin. A titre d'indication, la variété Sémito considérée comme variété introduite semble être la plus affectée par cette diminution. De ce constat, cette variété semble être très sensible au stress hydrique par rapport aux autres variétés.

I. 1. 1. 2. Variation du potentiel osmotique, du potentiel osmotique à pleine turgescence et de la capacité d'ajustement osmotique

Le potentiel osmotique et le potentiel osmotique à turgescence maximal sont des indicateurs très sensibles à l'état hydrique des feuilles lorsqu'elles sont soumises à différents niveaux de la sécheresse (35% et 15% de la capacité au champ). Les valeurs de ces deux indicateurs varient en présence d'une carence en eau. Chez les témoins (100% de la capacité au champ), les valeurs obtenues sont presque identiques.

Les plantes soumises à la sécheresse ont un potentiel osmotique qui a tendance à diminuer de $-1,58 \pm 0,26$ MPa à $-2,04 \pm 0,16$ Mpa et de $-1,58 \pm 0,26$ MPa à $-3,15 \pm 0,83$ MPa à 35% et 15% de la capacité au champ par rapport au témoin (Figure III. 2).

Le test de Newman keuls au seuil de 5% classe le facteur traitement pour ce caractère en trois groupes homogènes dénommés comme suit : lot témoin (**a**) ($-1,58 \pm 0,26$ MPa), lot

stressé (b) à 35% cc (-2,04± 0,160 MPa) et lot stressé (c) à 15% cc (-3,15c ± 0,83 MPa) (Tableau III. 2).

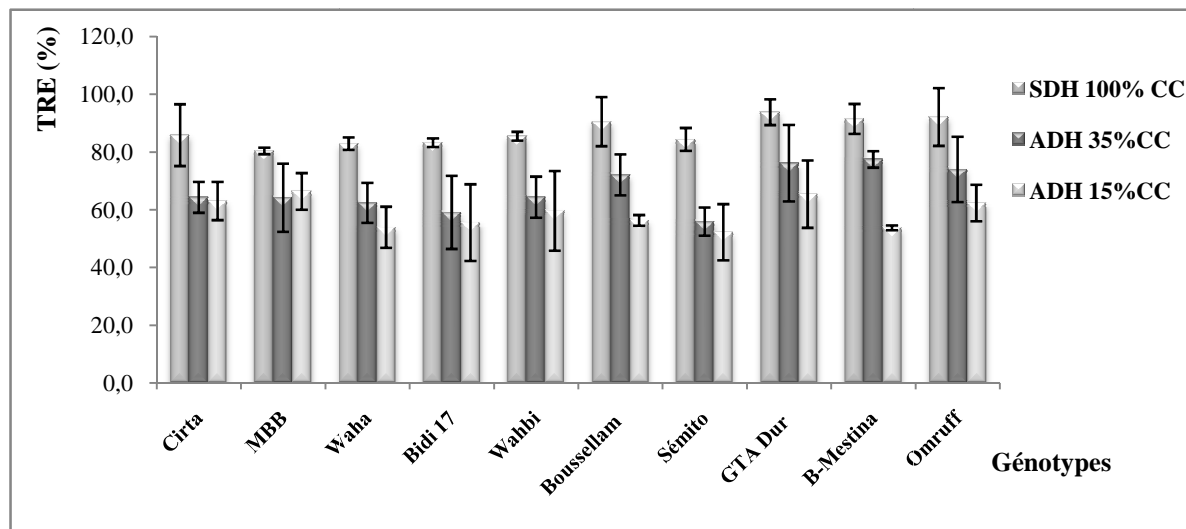


Figure III. 1. Variation de la teneur relative en eau chez les dix géotypes testés de blé dur sous différents niveaux de stress hydrique

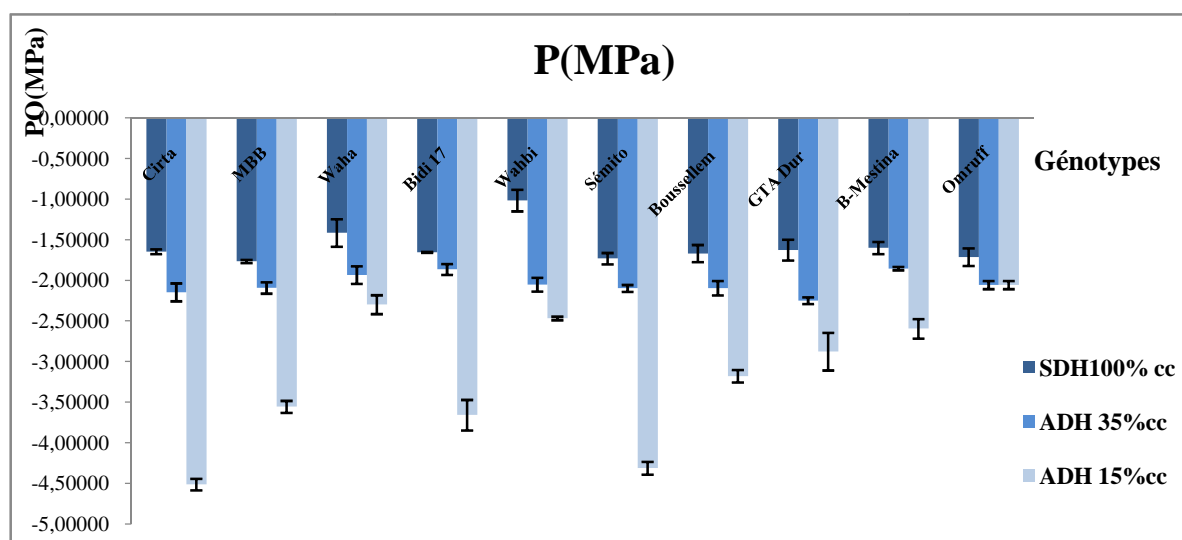


Figure III.2. Variation du potentiel osmotique chez les dix géotypes testés de blé dur sous différents niveaux de stress hydrique

Quant à l'évaluation du potentiel osmotique à turgescence maximale, ce dernier nous renseigne sur le comportement osmotique des dix géotypes en fonction de la teneur relative en eau de la feuille (Wilson et al., 1979).

L'étude a montré que le potentiel osmotique à turgescence maximale diminue lors du déficit hydrique. Dans notre expérimentation, ce dernier varie de $-0,88 \pm 0,199$ MPa à $1,60 \pm 0,33$ MPa chez les plantes irriguées.

Chez les lots stressés (35% cc), la variation est de $-1,12 \pm 0,26$ MPa à $-1,73 \pm 0,35$ MPa et de $-1,26 \pm 0,26$ à $-2,86 \pm 0,35$ MPa à 15% cc respectivement (Tableau III. 2). En effet, on note une corrélation négative significative entre la diminution de l'humidité du sol et la chute du potentiel au niveau des feuilles diminue en valeurs négatives. Ce résultat est en parfaite adéquation avec les travaux de Ben Naceur *et al.*, (1999) et de Nouri, (2011) sur le tournesol.

En ce qui concerne la capacité d'ajustement osmotique à 35 % cc, l'analyse de la variance montre que l'effet génotype est non significatif. En effet, tous les génotypes se comportent presque de la même façon face au stress hydrique (Figure III.3).

A 15 % de la capacité au champ, l'ajustement osmotique présente une grande variabilité génotypique. Ce sont les génotypes Cirta, Boussellam, Mohamed Ben Bachir, Bidi17 et Wahbi qui montrent la capacité d'ajustement osmotique la plus élevée ainsi qu'une teneur relative en eau élevée et un faible potentiel osmotique, suivie de GTA Dur et Sémito considérées comme variétés introduites et enfin en dernière position la variété Waha, Beni Mestina et Omruff qui montrent quant à elles la capacité d'ajustement osmotique la plus faible (Figure III.4).

Ce résultat est en parfait accord avec ceux trouvés dans la littérature, où l'ajustement osmotique défini comme étant l'aptitude des plantes à garder des teneurs en eau élevées au niveau cellulaire par accumulation de solutés, induit un abaissement du potentiel qui se traduit par une augmentation de la turgescence au niveau cellulaire (Jamaux *et al.*, 1997; Maury, 1997 ; Zhang *et al.*, 1999 ; Mauri *et al.*, 2011 ; Nouri, 2011).

Le test de Newman Keuls au seuil à 5% classe les variétés pour le caractère ajustement osmotique (15% de la capacité au champ) dans l'ordre suivant : Cirta ($1,45\mathbf{a} \pm 0,50$ MPa), Boussellam ($0,88\mathbf{a} \pm 0,12$ MPa), Mohamed Ben Bachir ($0,83\mathbf{a} \pm 0,013$ MPa), Bidi17 ($0,70\mathbf{b} \pm 0,69$ MPa), Wahbi ($0,61\mathbf{bc} \pm 0,13$ MPa), GTADur ($0,36\mathbf{bc} \pm 0,40$ MPa), Sémito ($0,26\mathbf{bc} \pm 0,17$ MPa), Waha ($0,09\mathbf{c} \pm 0,04$ MPa), Beni Mestina ($-0,05\mathbf{c} \pm 0,12$ MPa) et enfin Omruff ($-0,29\mathbf{d} \pm 0,17$ MPa).

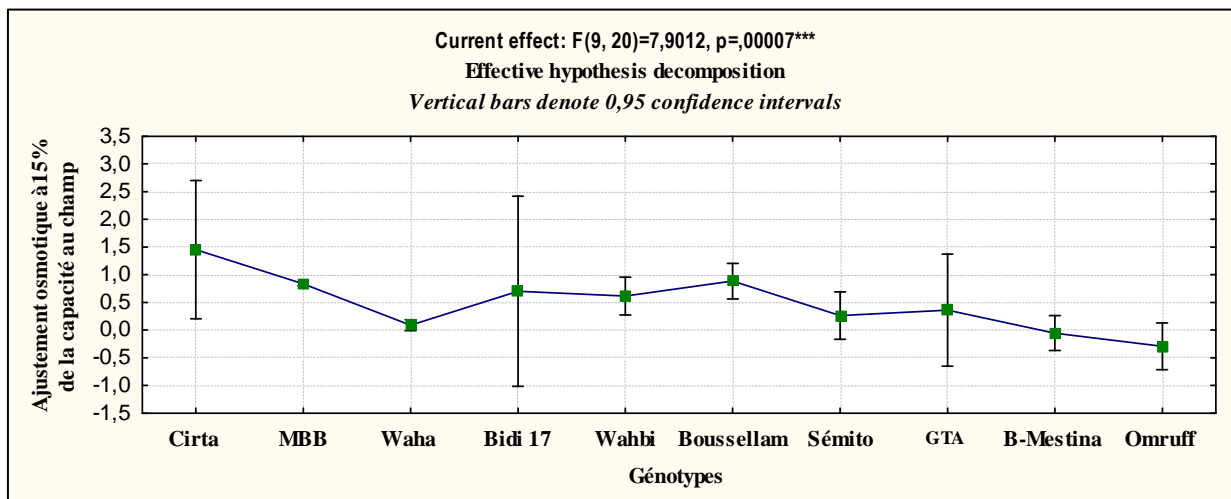


Figure III. 4. Variation de l’ajustement osmotique chez les dix génotypes testés à 15% de la cc (stress sévère)

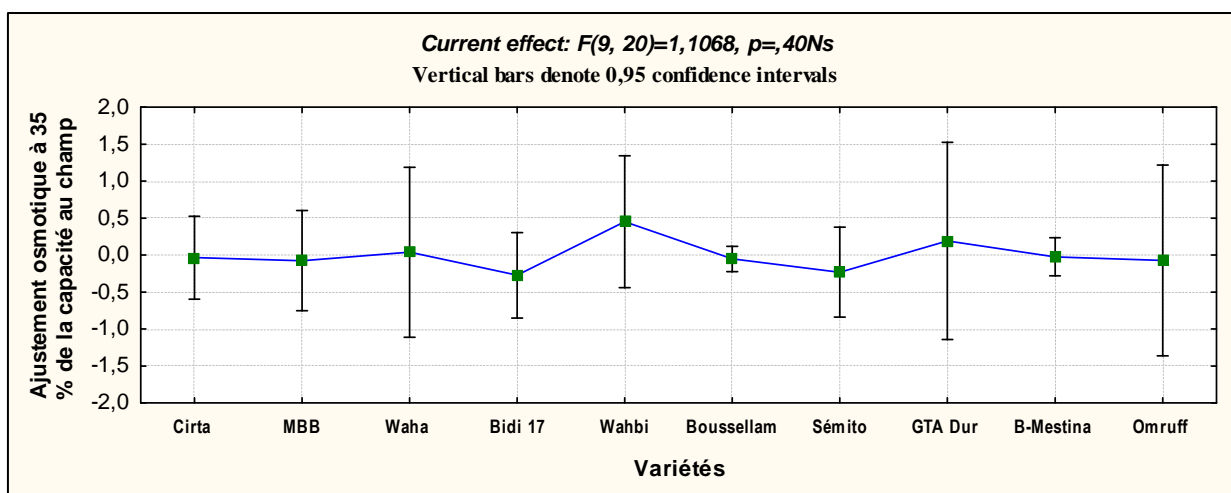


Figure III. 3. Variation de l’ajustement osmotique chez les dix génotypes testés à 35% de la cc (stress modéré)

I. 1. 1. 3. Variation de la teneur en sucres solubles

En règle générale, les teneurs en sucres solubles augmentent dans les feuilles en fonction de l’intensité du stress, en d’autres termes, plus le stress est sévère plus l’accumulation en sucres totaux est importante.

En effet, l'analyse des sucres solubles révèle que d'une manière générale, les traitements stressés affichent des quantités plus importantes par rapport au lot témoin (100% de la cc).

Ces variations sont non seulement liées aux degrés de stress mais également et surtout à la nature et comportement du génotype vis-à-vis de ce paramètre (Tableau III. 3).

Force est de constater que même à 100% de la capacité au champ, les plantes peuvent éventuellement réagir différemment face à cet osmoticum et montrent des valeurs d'accumulation importante comme celles de la variété Omruff et GTA Dur. Ce résultat qui paraît erroné voire même contradictoire peut être attribué probablement à une surchauffe excessive de la serre ou s'est déroulée notre expérimentation. Néanmoins, mise à part la valeur de ces deux génotypes, l'ensemble des valeurs des autres variétés semblent cohérents.

la quasi-totalité des génotypes des lots stressés (35% et 15% de la capacité au champ), affichent une augmentation remarquable de cet osmoticum avec des valeurs allant de $44,0367 \pm 26,55$ à $50,28 \pm 28,44 \mu\text{g} \cdot 10^{-2} \cdot \text{mg}^{-1} \text{MS}$, soit un pourcentage d'augmentation de 64 à 70% respectivement par rapport au lot sans déficit hydrique (Tableau III. 3 ; Figure III. 5).

Les plantes réagissent face au stress hydrique en affichant des quantités de plus en plus importantes en sucres au niveau cellulaire en fonction du degré de stress.

Cette augmentation est en réalité d'un point de vue physiologique un paramètre d'adaptation à la sécheresse connu et garantissant un maintien d'une intégrité cellulaire élevée et aussi une protection des protéines dans les organes déséchés (Darbyshire, 1974 ; Ben Abdellah et Ben Salem, 1993; Kameli et lösel, 1995; Mouallem, 2010 ; Bouchelaghem, 2012).

I. 1.1. 4. Variation de la teneur en proline

Les résultats de l'analyse montrent que les génotypes testés sont affectés par le stress de façon significative et proportionnelle à l'intensité du régime hydrique appliqué. Pour le lot témoin, la teneur en proline varie entre $4,81 \pm 3,78 \mu\text{g} \cdot 10^{-2} \cdot \text{mg}^{-1} \text{MS}$ pour Beni Mestina et $0,99 \pm 0,62 \mu\text{g} \cdot 10^{-2} \cdot \text{mg}^{-1} \text{MS}$ pour Waha (Figure III. 6).

Au niveau du lot stressé (stress modéré, 35% cc), les valeurs de la teneur en proline fluctuent entre $41,92 \pm 21,41$ à $6,88 \pm 3,99 \mu\text{g} \cdot 10^{-2} \cdot \text{mg}^{-1} \text{MS}$.

C'est la variété Cirta qui se classe en première position suivie des variétés Omruff, Wahbi et Boussellam. Sémito, Mohamed Ben Bachir et Waha enregistrent les teneurs en proline les plus faibles de tout le lot stressé (respectivement $14,35 \pm 8,10$; $12,47 \pm 7,18$ et $6,88 \pm 3,99 \mu\text{g} \cdot 10^{-2} \cdot \text{mg}^{-1} \text{MS}$).

A 15% cc (stress sévère), nous assistons à une fluctuation exponentielle, les teneurs en proline varient entre $86,77 \pm 51,08 \mu\text{g} \cdot 10^{-2} \cdot \text{mg}^{-1} \text{MS}$, variété Bidi17 à $24,59 \pm 1,47 \mu\text{g} \cdot 10^{-2} \cdot \text{mg}^{-1} \text{MS}$, variété Boussellam, soit une augmentation de 53% par rapport au lot modéré (35% cc). On note que la plus grande valeur de la teneur en proline dans ce cas de figure est attribuée aux génotypes Bidi 17, GTA Dur et Wahbi avec ($86,77 \pm 51,08$ à $62,62 \pm 15,05 \mu\text{g} \cdot 10^{-2} \cdot \text{mg}^{-1} \text{MS}$), soit une augmentation de 96% par rapport aux lots témoins (SDH).

Viennent ensuite les génotypes Sémito et Mohamed Ben Bachir avec des valeurs presque similaires respectivement $48,96 \pm 22,32$ et $46,14 \pm 23,65 \mu\text{g} \cdot 10^{-2} \cdot \text{mg}^{-1} \text{MS}$. Waha peut être considérée comme une variété intermédiaire ($38,14 \pm 26,47 \mu\text{g} \cdot 10^{-2} \cdot \text{mg}^{-1} \text{MS}$). Enfin Omruff et Boussellam accusent les plus faibles valeurs de la teneur en proline ($6,88 \pm 3,99$ et $26,73 \pm 18,6 \mu\text{g} \cdot 10^{-2} \cdot \text{mg}^{-1} \text{MS}$ respectivement).

Ce résultat corrobore ceux de Savouré et *al.*, (1995) ; Wilfred, (2005) ; Cechin et *al.*, (2006) ; Zerrad et *al.*, (2008); Laala, (2010) et Chaib et *al.*, (2015), qui montrent que les teneurs en proline deviennent plus marquées chez les plantes avec l'augmentation des niveaux de stress.

D'après les résultats trouvés (lot du stress modéré, 35% cc), il apparaît que les génotypes optent pour un osmoticum au détriment d'un autre.

En d'autres termes, les variétés ont tendance à survivre en se basant plus sur l'augmentation des sucres ($44,04 \pm 26,55 \mu\text{g} \cdot 10^{-2} \cdot \text{mg}^{-1} \text{MS}$) que sur celle de la proline ($23,29 \pm 15,88 \mu\text{g} \cdot 10^{-2} \cdot \text{mg}^{-1} \text{MS}$, soit du simple au double). De ce fait, les plantes qui accumulent beaucoup de sucres accumulent faiblement d'autres osmolytes.

Tableau III.3. Les paramètres biochimiques des dix géotypes testés en fonction du régime hydrique (100%, 35% et 15% de la cc)

Prol: teneur en Proline exprimée en $\mu\text{g. } 10^{-2} \cdot \text{mg}^{-1} \text{MS}$; **Sucr:** teneur en sucres solubles exprimée en $\mu\text{g. } 10^{-2} \cdot \text{mg}^{-1} \text{MS}$; **K⁺** : teneur en potassium en $\text{mg. g}^{-1} \text{MS}$; **Na⁺** : teneur en sodium en $\text{mg. g}^{-1} \text{MS}$; **NO₃⁻**: teneur en nitrates en $\mu\text{g. g}^{-1} \text{MF}$.

Variabile Géotypes	Sucres solubles ($\mu\text{g. } 10^{-2} \cdot \text{mg}^{-1} \text{MS}$)			Proline ($\mu\text{g. } 10^{-2} \cdot \text{mg}^{-1} \text{MS}$)			Nitrates ($\mu\text{g. g}^{-1} \text{MF}$)		
	Moyennes et groupes homogènes			Moyennes et groupes homogènes			Moyennes et groupes homogènes		
	SDH (100% cc)	ADH (35% cc)	ADH (15% cc)	SDH (100%cc)	ADH (35% cc)	ADH (15% cc)	SDH (100% cc)	ADH (35% cc)	ADH (15% cc)
Cirta	16,22±4,15 d	46,03±9,70 a-d	82,31±9,46 a	2,96± 1,78 d	41,92±21,41 b-d	30,77±6,67 cd	2,495 ±1,60 c-g	3,46 ±0,69 b-f	0,87 ±0,53 f
MBB	9,88±6,76 d	42,48±26,19 a-d	13,03±4,73 d	1,94±1,24 d	12,47±7,18 d	46,14±23,65 b-d	3,89 ±0,228 b-e	2,44 ±0,457 c-g	4,11 ±0,53 a-d
Waha	10,39±4,25 d	20,42±9,5 d	20,63±10,58 d	0,99±0,62 d	6,88±3,99 d	38,14±26,47 b-d	2,28 ±0,99 c-g	4,06 ±0,15 a-d	1,90 ±0,92 d-g
Bidi17	16,46±2,76 d	32,16±18,38 b-d	29,98±15,78 b-d	3,21±1,62 d	22,57±2,58 cd	86,77±51,082 a	4,54±0,228 abc	2,28 ±0,076 c-g	4,06 ±1,83 a-d
Wahbi	16,46±10,35 d	19,67±3,56 d	47,56±28,98 a-d	2,71±1,39 d	24,83±19,58 cd	62,62±15,05 a-c	1,63 ±0,23 d-g	2,66 ±0,147 c-g	2,49 ±0,53 c-g
Boussellam	14,34±6,94 d	34,62±7,74 b-d	75,8±29,98 a-c	3,75±2,13 d	27,31±4,688 cd	24,59±1,47 cd	1,74 ± 0,38 d-g	5,62±0,076 ab	1,74 ±1,14 d-g
Sémito	8,16±6,099 d	79,63±24,05 a	57,37±23,68 a-d	3,02±1,75 d	14,35±8,10 d	48,96±22,32 b-d	2,98 ±0,152 c-g	2,54 ±0,30 c-g	3,41 ±0,457 b-f
GTA Dur	20,77±4,703 d	32,88±11,12 b-d	71,85±8,46 a-c	2,50±0,1 d	23,60±7,85 cd	71,86±8,45 ab	1,31±0,38ef	3,30 ±0,15 b-g	1,74 ±0,23 d-g
Beni Mestina	17,66±2,316 d	75,49±42,66 ab	72,61±15,48 a-c	4,81±3,78 d	20,48±15,85 cd	29,53±11,46 cd	2,44 ±0,30 c-g	6,32±4,11 a	1,37±0,15 ef
Omruuff	29,86±4,931 b-d	56,97±22,82 a-d	31,70±8,135 b-d	4,46±2,60 d	38,51±27,14 b-d	26,73±18,6 cd	2,064±1,29 c-g	5,73±0,99 ab	1,48 ±0,15 g-f
Moyennes	16,02±7,70 b	44,04±26,55 a	50,28±28,44 a	3,04 ±1,97 d	23,29 ±15,88 b	46,61±27,79 a	2,54±1,14 b	3,84±1,78 a	2,32±1,27 b

Les moyennes à l'intérieur de chaque colonne non suivie de la même lettre sont significativement différentes au seuil de 5%.

Il est aussi rapporté qu'à travers les travaux réalisés dans le monde que les résultats ayant trait à la proline ne sont pas en général probants et donc il semblerait que la proline ne constitue pas un osmoticum de prédilection pour les plantes.

Les sucres solubles sont admis comme étant un excellent marqueur de tolérance au stress hydrique, témoignent des mécanismes génétiques endogènes à chacun des génotypes de blé dur étudiés (Radhouane, 2011; Hacini et Brinis, 2012).

Ce résultat suggère la possibilité de sélectionner des génotypes tolérants soumis à un stress sur la base de l'accumulation des sucres solubles.

Des différences inter-variétales ont été mises en évidence pour la teneur en proline. Le test de Newman Keuls classe les dix variétés étudiées dans l'ordre qui suit : Bidi17 ($37,52 \pm 15,23 \mu\text{g} \cdot 10^{-2} \cdot \text{mg}^{-1} \text{MS}$), GTA Dur ($32,65 \pm 10,44 \mu\text{g} \cdot 10^{-2} \cdot \text{mg}^{-1} \text{MS}$), Wahbi ($30,05 \pm 9,66 \mu\text{g} \cdot 10^{-2} \cdot \text{mg}^{-1} \text{MS}$), Cirta ($25,89 \pm 6,89 \mu\text{g} \cdot 10^{-2} \cdot \text{mg}^{-1} \text{MS}$), Omruff ($23,23 \pm 7,42 \mu\text{g} \cdot 10^{-2} \cdot \text{mg}^{-1} \text{MS}$), Sémito ($22,12 \pm 7,96 \mu\text{g} \cdot 10^{-2} \cdot \text{mg}^{-1} \text{MS}$), Mohamed Ben Bachir ($20,18 \pm 7,83 \mu\text{g} \cdot 10^{-2} \cdot \text{mg}^{-1} \text{MS}$), Boussellam ($18,55 \pm 3,82 \mu\text{g} \cdot 10^{-2} \cdot \text{mg}^{-1} \text{MS}$), Beni Mestina ($18,27 \pm 4,9 \mu\text{g} \cdot 10^{-2} \cdot \text{mg}^{-1} \text{MS}$) et enfin Waha ($15,34 \pm 7,28 \mu\text{g} \cdot 10^{-2} \cdot \text{mg}^{-1} \text{MS}$).

Le facteur traitement classe les groupes comme suit: (lot stressé à 15 % cc : $46,61 \mathbf{a} \pm 27,79 \mu\text{g} \cdot 10^{-2} \cdot \text{mg}^{-1} \text{MS}$), (lot stressé à 35% cc : $23,29 \mathbf{b} \pm 15,88 \mu\text{g} \cdot 10^{-2} \cdot \text{mg}^{-1} \text{MS}$) et (lot témoin à 100% cc: $3,039 \mathbf{c} \pm 1,97 \mu\text{g} \cdot 10^{-2} \cdot \text{mg}^{-1} \text{MS}$) (Tableau III. 3).

I. 1.1.5. Variation de la teneur en nitrates (NO_3^-)

Les résultats relatifs à l'évolution de la teneur en nitrates des dix variétés étudiées ont montré que l'accumulation du nitrate (NO_3^-) dans les feuilles de blé dur varie avec la diminution du contenu hydrique dans le sol. La moyenne de la teneur de cet osmolyte oscille entre $2,54 \pm 1,14$; $2,32 \pm 1,27$ et $3,84 \pm 1,78 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{MF}$ respectivement à 100%, 15% et 35% de la capacité au champ.

En conditions favorables (essai irrigué, 100 % cc), les variétés étudiées affichent des teneurs en nitrates variant entre $4,55 \pm 0,22$ et $1,31 \pm 0,38 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{MF}$.

Quelque soit le niveau de stress considéré, les variétés retenues dans notre étude affichent des valeurs faibles, inférieures même au lot témoin (SDH), à l'exception des variétés Boussellam, Omruff et Beni Mestina ($6,32 \pm 4,11$, $5,73 \pm 0,99$ et $5,62 \pm 0,076 \mu\text{g. g}^{-1}\text{MF}$ respectivement) et à un degré moindre la variété Waha ($4,06 \pm 0,15 \mu\text{g. g}^{-1}\text{MF}$ à 35% cc).

La moyenne des résultats enregistrés suivant les lots stressés et témoins sont sensiblement identiques et non significatifs (lot témoin : $2,54 \pm 1,14 \mu\text{g. g}^{-1}\text{MF}$; le lot stressé 35% cc : $3,84 \pm 1,78 \mu\text{g. g}^{-1}\text{MF}$ et le lot stressé 15% cc : $2,32 \pm 1,27 \mu\text{g. g}^{-1}\text{MF}$).

Ces résultats peuvent être probablement attribués au fait que les nitrates sont réduits dans les chloroplastes par le nitrite réductase (NIR) en ammonium (NH_4^+), lui-même, rapidement incorporé dans les molécules organiques.

Les nitrates deviennent toxiques pour la cellule (Lydie, 2015). Cette hypothèse semble la plus plausible quant à l'explication de la baisse de l'accumulation de cet osmoticum.

Le test de Newman-Keuls au seuil 5% pour le facteur traitement indique deux groupes homogènes :

- Le groupe **(a)** correspond au lot stressé 35% de la cc, avec une moyenne de $3,84 \pm 1,78 \mu\text{g.g}^{-1}\text{MF}$.
- Le deuxième groupe **(b)** correspond au témoin (100% cc) et au lot stressé (15% cc) avec des moyennes presque similaires de $2,54 \pm 1,14$ et $2,32 \pm 1,27 \mu\text{g.g}^{-1}\text{MF}$ respectivement (Tableau III. 3).

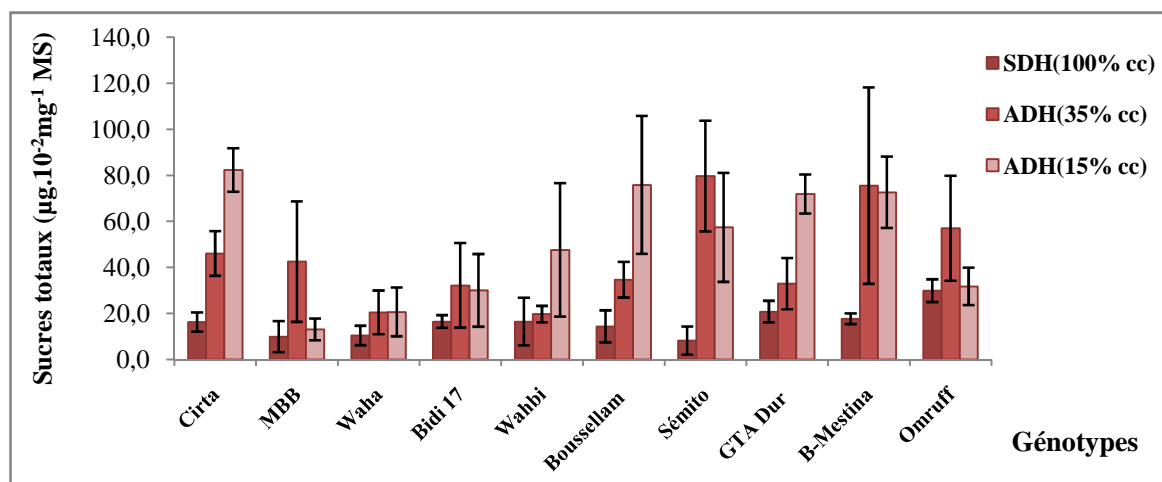


Figure III. 5. Variation de la teneur en sucres solubles chez les dix géotypes testés du blé dur sous deux niveaux de stress hydrique (35 % cc et 15% cc)

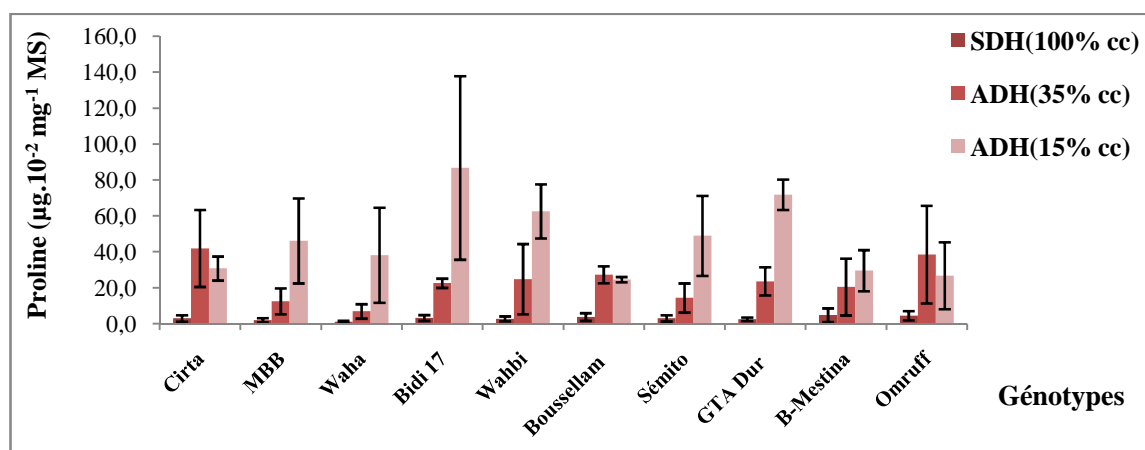


Figure III. 6. Variation de la teneur en proline chez les dix géotypes testés du blé dur sous deux niveaux de stress hydrique (35 % cc et 15% cc)

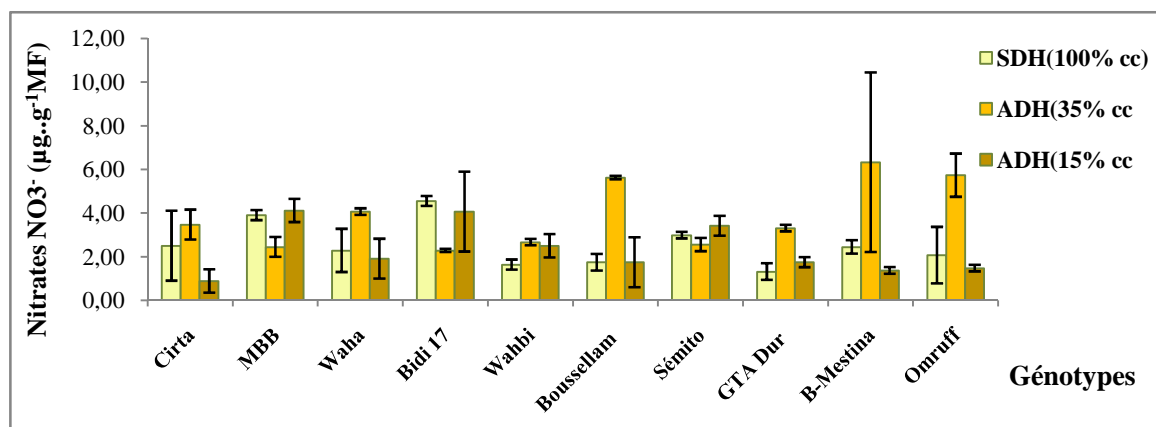


Figure III. 7. Variation de la teneur en nitrates chez les dix géotypes testés du blé dur sous deux niveaux de stress hydrique (35% et 15% cc)

I. 1. 1. 6. Variation de la teneur en potassium et du sodium

L'analyse de la variance effectuée sur le taux de potassium et le taux de sodium à une humidité du sol (100% et 15% de la capacité au champ) révèle des différences hautement significatives entre les génotypes étudiés d'une part, le milieu témoin, stressé ainsi que l'interaction génotypes x traitement d'autre part. À noter que le taux de sodium, et l'effet traitement accuse un effet non significatif.

Tableau III. 4. Moyennes et groupes homogènes des teneurs en potassium et en sodium accumulées chez les génotypes testés de blé dur

Variables	Sodium ($\text{mg.g}^{-1}\text{MS}$)			Potassium ($\text{mg.g}^{-1}\text{MS}$)		
	Moyennes et groupes homogènes			Moyennes et groupes homogènes		
	SDH (100% cc)	ADH (15% cc)	Moyenne	SDH (100% cc)	ADH (15% cc)	Moyenne
Cirta	4,032±0,7 e	8,6±0,71 a	6,31±1,34 a	0,41±0,0075 d	1,016±0,018 d	0,71±0,17 c
MBB	6,67±0,11 cd	2,56 ±0,044 fg	4,61±1,18 bc	0,59± 0,0031 d	6,918±0,93 a	3,75±1,86 ab
Waha	7,51±0,03 bc	0,626 ±0,031 ij	4,06±1,98 c	0,68±0,027 d	5,48±0,27 b	3,08±1,39 b
Bidi17	1,55±0,019 h	1,32 ±0,05 hi	1,43±0,068 e	0,54±0,029 d	0,78±0,004 d	0,66±0,072 c
Wahbi	1,64±0,08 gh	1,63±0,03 gh	1,64±0,034 e	0,14±0,003 d	2,77±0,089 c	1,45±0,75 c
Boussellam	3,04±0,47 f	6,47±0,80 d	4,75±1,06 b	0,34±0,026 d	7,38±0,17 a	3,85±2,034 ab
Sémito	1,60±0,12 h	1,03±0,05 h-j	1,32±0,173 e	0,196±0,011 d	1,065±0,28 d	0,63±0,27 c
GTA Dur	1,72±0,05 gh	0,57±0,06 ij	1,15±0,33 e	0,88±0,059 d	7,62 ±0,629 a	4,25±1,96 a
B-Mestina	2,73±0,47 f	1,76±0,07 gh	2,25±0,34 d	0,23±0,035 d	5,39±1,72 b	2,8±1,65 b
Omruuff	0,35±0,04 j	8,05±0,11 ab	4,20±2,22 bc	0,43±0,053 d	0,73±0,053 d	0,73±0,026 c
Moyennes	3,08±0,51 a	3,26±0,69 a		0,44±0,051 d	3,92±0,65 a	

K^+ : teneur en potassium en $\text{mg.g}^{-1}\text{MS}$; Na^+ : teneur en sodium en $\text{mg.g}^{-1}\text{MS}$

Les moyennes à l'intérieur de chaque colonne non suivies de la même lettre sont significativement différentes au seuil de 5%.

A. Potassium

En réponse au déficit hydrique, les valeurs moyennes des taux de potassium passent de $0,44 \pm 0,051 \text{ mg.g}^{-1} \text{ MS}$ en conditions irriguées (100% cc) à $3,92 \pm 0,65 \text{ mg.g}^{-1} \text{ MS}$ en conditions non irriguées (15% cc).

À 15 % de la capacité au champ, les feuilles des génotypes Mohamed Ben Bachir, Waha, Boussellam, GTA Dur et Ben Mestina sont les plus chargées en potassium que celles des feuilles des variétés témoins et le reste des autres génotypes.

Les géotypes accumulant des quantités appréciables en cet élément s'avèrent être les moins sensibles à la contrainte hydrique.

Le taux d'augmentation par rapport au lot témoin varie entre 87,51% et 95,83% (Figure III. 8 ; Tableau III. 4).

Le test de Newman Keuls au seuil de 5% classe le facteur variété en quatre groupes homogènes. Le premier groupe (**a**) est composé de la variété GTA Dur, le deuxième groupe (**ab**) comprend les géotypes Boussellam, Mohamed Ben Bachir et Waha. Le troisième groupe (**b**) Beni Mestina et enfin le groupe (**c**) comprend les géotypes Wahbi, Cirta, Bidi17, Sémito et Omruff (Tableau III. 4).

B. Sodium

En ce qui concerne le taux de sodium, les résultats montrent qu'au niveau du lot témoin la variété Waha présente la valeur la plus élevée ($7,51 \pm 0,03$ mg.g⁻¹ MS). A l'opposé, la variété Omruff donne la valeur la plus faible ($0,35 \pm 0,04$ mg.g⁻¹ MS).

Suite à la contrainte hydrique sévère (15% cc), les teneurs en sodium passent de $8,6 \pm 0,71$ mg.g⁻¹ MS pour la variété Cirta à $0,57 \pm 0,06$ mg.g⁻¹ MS pour la variété GTA Dur.

Néanmoins, chez le géotype Omruff, la teneur en sodium est 22 fois supérieure que celle du témoin, l'équivalent d'une augmentation de l'ordre de 65%. Viennent ensuite Cirta et Boussellam qui enregistrent des quantités plus au moins importantes de ce cation respectivement ($8,6 \pm 0,71$ et $6,47 \pm 0,80$ mg.g⁻¹ MS). Cependant, les feuilles de ces deux géotypes sont 2 fois plus chargées en sodium que les témoins l'équivalent d'une augmentation de 53, 60%.

Par contre, chez Waha, Mohamed Ben Bachir, Beni-Mestina, GTA Dur, Bidi17 et Sémito leurs charges foliaires en sodium fluctuent entre $2,56 \pm 0,044$ et $0,57 \pm 0,06$ mg.g⁻¹ MS ce qui représente une baisse en pourcentage variant entre de 91,74 à 35,53.

En effet, Wahbi affiche des valeurs similaires et statistiquement non significatifs pour les lots sans déficit hydrique et stressés soit $1,64 \pm 0,08$ et $1,63 \pm 0,03$ mg.g⁻¹ MS respectivement.

En revanche, en comparant les moyennes des deux ions (K⁺ et Na⁺) chez les dix variétés étudiées, les résultats montrent que les feuilles de Cirta sont les plus chargées en sodium ($6,31 \pm 1,34$ mg.g⁻¹ MS).

L'accumulation du sodium dans la cellule limite l'absorption des cations indispensables tels que le potassium K^+ et le calcium Ca^{+2} (Clarkson et Hanson, 1980).

Le sodium entre en compétition avec K^+ et bloque le transfert de ces cations indispensables tel que le K^+ , Mg^{++} et Ca^{++} vers les organes photosynthétiques (effet d'antagonisme).

Il est connu d'après la littérature qu'une concentration élevée en Na^+ dans le cytoplasme inhiberait l'activité de nombreuses enzymes et protéines, entraînant ainsi des dysfonctionnements de la cellule et par voie de conséquence, la plante entière est perturbée (Bhandal et Malik, 1988).

GTA Dur accumule plus de potassium que de sodium ($4,25 \pm 1,96 \text{ mg. g}^{-1} \text{MS}$). La supériorité de l'accumulation de K^+ au niveau des feuilles de cette variété par rapport aux autres génotypes concorde avec les résultats de Chorfi, (2009) et de Chorfi et Taïbi, (2011 a) selon lesquels l'accumulation du potassium dans les feuilles permet de réaliser l'ajustement osmotique nécessaire à une alimentation hydrique adéquate pour la tolérance à la sécheresse.

Soltner, (1986) trouve que les ions K^+ sont impliqués dans plusieurs processus physiologiques importants et contribuent à l'augmentation de la résistance à la sécheresse.

Alors que Boussellam, Mohamed Ben Bachir et Waha se distinguent par des valeurs presque similaires pour ces deux ions respectivement (de $4,75 \pm 1,06$ à $4,06 \pm 1,98 \text{ mg. g}^{-1} \text{MS}$: teneur en sodium) et ($3,85 \pm 2,03$ à $3,08 \pm 1,39 \text{ mg. g}^{-1} \text{MS}$: teneur en potassium).

Cependant, les génotypes Bidi 17, Wahbi et Beni Mestina enregistrent les valeurs les plus faibles.

Ces résultats montrent que le changement du classement des variétés est dû au degré de stress appliqué, à l'origine génétique ainsi que la nature de l'ion inorganique étudié.

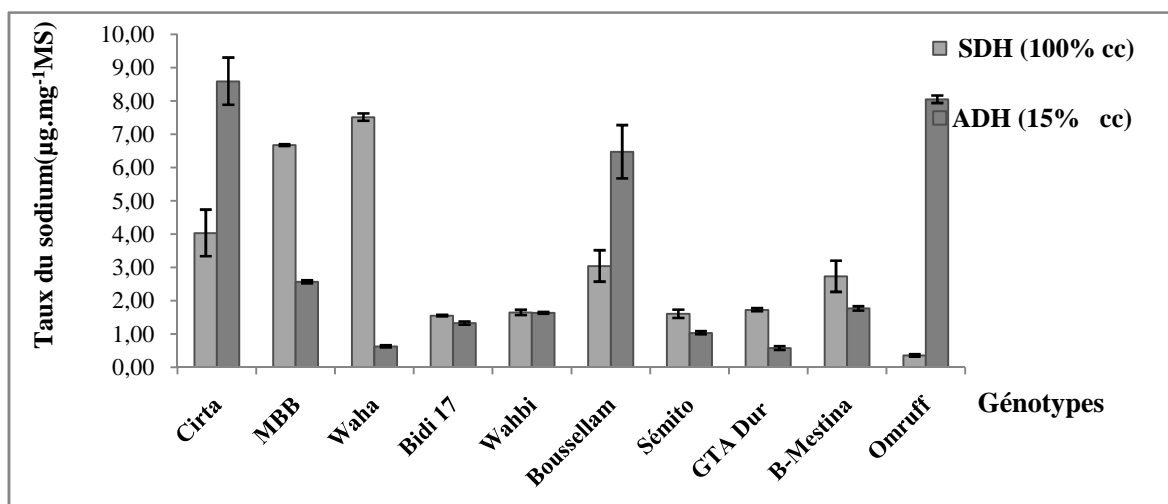


Figure III. 8. Variation de la teneur en sodium chez les dix génotypes testés de blé dur sous deux niveaux de traitement hydrique (100% cc, SDH et 15% cc, ADH)

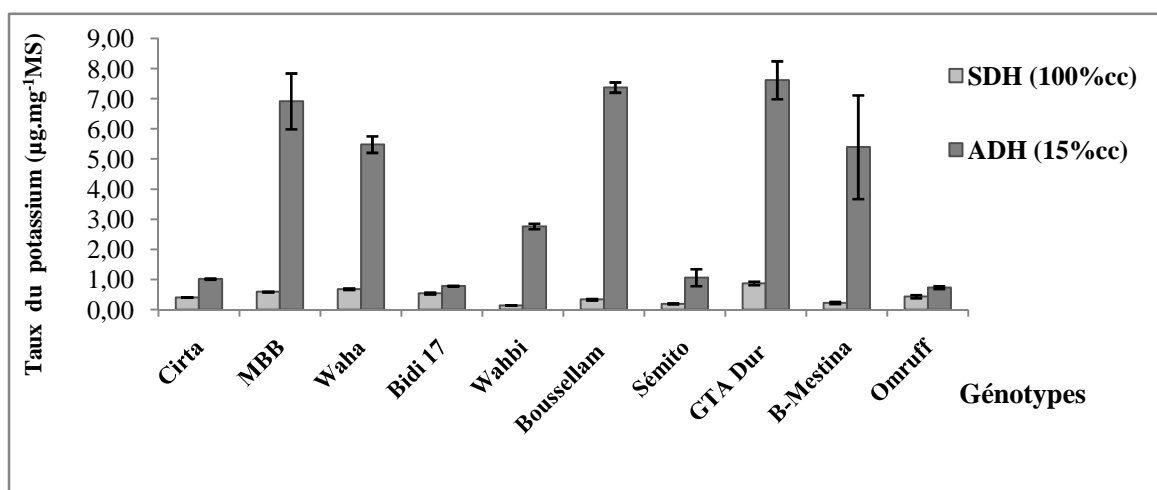


Figure III. 9. Variation de la teneur en potassium chez les dix génotypes testés de blé dur sous deux niveaux de traitement hydrique (100% cc et 15% cc)

I. 1. 2. Analyse globale (multi-variées)

Cette étude, englobe les caractères liés au statut hydrique et à l’ajustement osmotique des dix variétés de blé dur (effet variétal et environnemental). Les caractères physiologiques impliqués dans la tolérance à la sécheresse dans ce cas de figure sont la teneur relative en eau **TRE**, potentiel osmotique (Ψ_{π} ou P_o) et potentiel osmotique à turgescence maximale (PO_{100}^T ou $\Psi_{\pi 100}$).

Par ailleurs nous nous sommes limités dans cette étude aux osmolytes qui ont manifestés des variations importantes vis-à-vis du déficit hydrique et qui sont : la proline, sucres solubles, ainsi que les ions tels que (K^+ , Na^+ et NO_3^-).

Une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée à une humidité du sol de 15% de la capacité au champ. Le pourcentage d'information donnée par les axes 1 et 2 totalise environ 68,33%. L'interprétation est peut-être limitée à ces deux premiers axes à grand pouvoir discriminant. Sur le premier axe, ce sont les variables : teneur relative en eau, le potentiel osmotique et le potentiel osmotique à turgescence maximale qui montrent la plus forte contribution (coefficients de corrélation avec l'axe 1 égaux respectivement à 0,81** ; 0,96*** et 0,65** respectivement).

Les variables, sucres solubles, proline, potassium et ajustement osmotique sont négativement corrélées avec l'axe 1 (coefficients de corrélation égaux respectivement à -0,81** ; -0,76** ; -0,66** et -0,83**). Le deuxième axe est fortement corrélé avec le sodium ($r = 0,85***$) (Figure III. 10).

L'information donnée par le cercle de corrélations montre que l'effet traitement hydrique isole les variables selon le niveau hydrique considéré. En effet, ce sont les variables : **TRE**, **Po** et (**Po^T₁₀₀**) qui a le plus contribué à la discrimination des individus témoins par rapport aux individus stressés (15% CC, stress sévère). Par opposition, l'ajustement osmotique, les différents osmolytes étudiés (sucres solubles, proline) et les ions K^+ , Na^+ et NO_3^- caractérisent les individus stressés (Figure III. 10 et III. 11).

Des corrélations positives hautement significatives peuvent être notées d'une part entre les variables, potentiel osmotique et le potentiel osmotique à turgescence maximale (**Po^T₁₀₀**) avec un coefficient de corrélation égal à $r=0,74**$, et d'autre part entre la TRE et le potentiel osmotique, $r=0,74**$. Ces résultats montrent que plus la teneur relative en eau augmente plus le potentiel osmotique et le potentiel osmotique à turgescence maximale deviennent plus élevé. De la même manière, l'ajustement osmotique est positivement corrélé avec les deux métabolites, sucres solubles et proline ($r= 0,57*$ et $r= 0,53*$ respectivement).

L'ajustement osmotique est associé à l'échelle cellulaire par une accumulation de solutés compatibles qui remplaceraient l'eau dans le maintien de plusieurs réactions biochimiques et contribueraient par association avec des lipides et des protéines à prévenir la

désintégration des membranes cellulaires ou par la dissociation des complexes protéiques ou l'inactivation des enzymes (Bohnert et *al.*, 1996 ; Zang et *al.*,1999).

Tableau III.5. Matrice des corrélations des variables analysées (caractères du statut hydriques et osmotiques)

TRE : Teneur relative en eau, relative water content ; **Po** : potentiel osmotique ; **Po^T₁₀₀** : potentiel osmotique à turgescence maximale ; **Sucr** : Sucres soluble exprimé en $\mu\text{g}\cdot 10^{-2}\text{mg}^{-1}\text{MS}^{-1}$; **Prol** : Proline exprimé en $\mu\text{g}\cdot 10^{-2}\text{mg}^{-1}\text{MS}$; **K⁺** : teneur en potassium en $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{MS}$; **Na⁺** : teneur en sodium en $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{MS}$; **NO₃⁻** : teneur en nitrates en $\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}\text{MF}$; **AO** : Ajustement osmotique.

	TRE	Po	Po ^T ₁₀₀	Sucr	Proline	Na ⁺	k ⁺	NO ₃ ⁻
TRE	1,00							
Po	0,74**	1,00						
Po ^T ₁₀₀	0,20Ns	0,74**	1,00					
Sucr	-0,65**	-0,72**	-0,43Ns	1,00				
Proline	-0,78**	-0,66**	-0,29 Ns	0,51*	1,00			
Na ⁺	0,09Ns	-0,19 Ns	-0,36Ns	0,19 Ns	-0,23 Ns	1,00		
K ⁺	-0,59*	-0,55*	-0,25Ns	0,51*	0,53*	-0,158 Ns	1,00	
NO ₃ ⁻	-0,006 Ns	0,005Ns	0,018 Ns	-0,436Ns	-0,16Ns	-0,36Ns	-0,118 Ns	1,00
AO	-0,48*	-0,88***	-0,73**	0,57*	0,53*	0,18Ns	0,381 Ns	0,0007 Ns

*p ≤ 0, 1; **p ≤ 0, 05; ***p ≤ 0,001: respectivement significatif, hautement significative et très hautement significative; Ns: non significatif

Des corrélations significatives peuvent être également notées entre l'ajustement osmotique et les variables du statu hydrique (potentiel osmotique et potentiel osmotique à turgescence maximale ($r=-0,88***$ et $r=-0,73***$). Des corrélations négatives hautement significatives entre la **TRE** et les variables sucres solubles, proline et potassium (coefficients de corrélation égaux respectivement à $r=-0,65**$; $r= -0,78***$; $r= -0,59*$). D'autres corrélations ont été également trouvées entre le potentiel osmotique et les variables teneur en sucres solubles, teneur en proline et teneur en potassium (coefficients de corrélation égaux respectivement à $r=-0,72**$; $r=-0,66**$ et $r=-0,55*$).

Les plans séparés par l'axe 1 correspondent à des comportements opposés vis-à-vis du déficit hydrique. La plupart de ces individus ont contribué à la formation de l'axe (1), les individus témoins étant affectés du côté positif du diagramme. Ce sont les génotypes témoins (Cirra T ; MBB T ; Waha T ; Bidi T ; Wahbi T ; Boussellam T ; SémitoT ; GTA Dur T ; B-Mestina T et Omruff T).

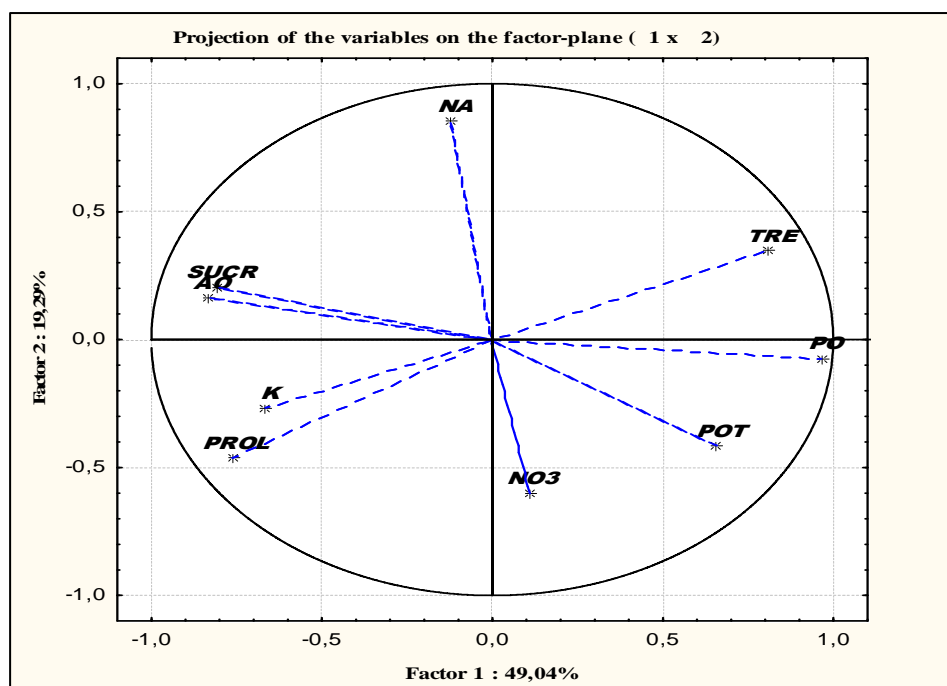


Figure III.10. Cercle des corrélations (paramètres d'état hydrique et osmotiques accumulés).

TRE :Teneur relative en eau, relative water content; PO: potentiel osmotique; PO_{100}^T : potentiel osmotique à turgescence maximale ; Sucr: Sucres soluble exprimé en $\mu\text{g}\cdot 10^{-2}\text{mg}^{-1}\text{MS}^{-1}$; Prol: Proline exprimé en $\mu\text{g}\cdot 10^{-2}\text{mg}^{-1}\text{MS}$; K^+ : teneur en potassium en $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{MS}$; Na^+ : teneur en sodium en $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{MS}$; NO_3^- : teneur en nitrates en $\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}\text{MF}$; AO : Ajustement osmotique

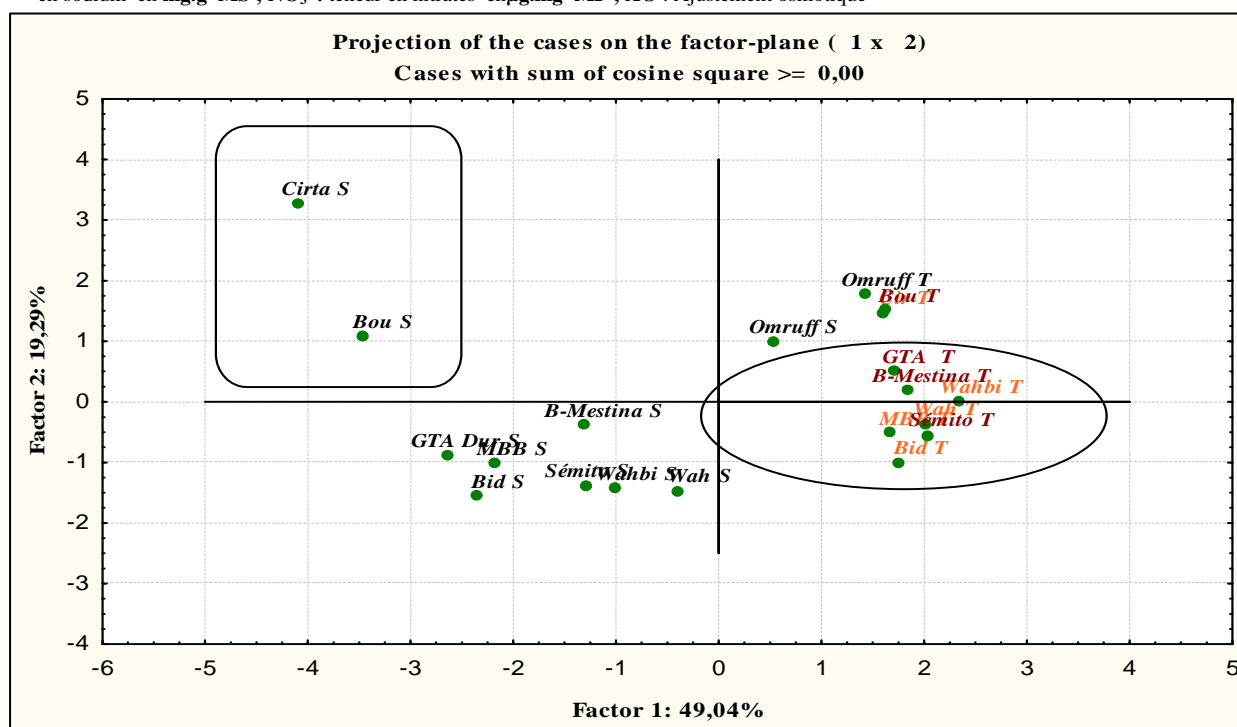


Figure III. 11. Diagramme des individus (paramètres d'état hydriques et osmotiques).

T : génotypes du lot témoin (100% cc)

S : génotypes du lot stressé (15% cc)

*les génotypes précédés de la lettre T sont les témoins;

*les génotypes précédés de la lettre S sont les stressés.

Les individus (MBB S ; Waha S ; Bidi S ; Wahbi S ; Boussellam S ; Sémito S ; GTA Dur S ; B-Mestina S et Omruff S) sont des individus du lot stressé (15% de cc) ont le plus contribués dans la formation de la partie négative de l'axe (1).

A droite de l'axe, on trouve les génotypes du lot témoin qui se caractérisent par un fort maintien de la teneur relative en eau, un potentiel osmotique et un potentiel osmotique à turgescence maximale les plus élevés. Dans le côté gauche de l'axe, les génotypes du lot stressé. Les génotypes Mohamed Ben Bachir, Bidi 17 et GTA Dur se distinguent par l'accumulation de la proline, du potassium et des sucres solubles la plus importante. En revanche, ils se caractérisent par la TRE et le potentiel osmotique le plus faible et des valeurs moyennes ou intermédiaires en nitrates.

Il est à noter que Cirta et Boussellam montrent une grande capacité d'ajustement osmotique, une accumulation importante en sucres solubles et un taux de sodium élevé. Par contre leur accumulation en matière de nitrate est moindre. Ces résultats vont dans le même sens que ceux de (Hasegawa *et al.*, 2000 et Ottow *et al.*, 2005) qui montrent que les osmorégulateurs qui s'accumulent le plus souvent sous stress hydrique sont les sucres solubles et la proline.

I. 2. Caractères racinaires

L'objectif de cette étude tente de décrire les caractéristiques morphologiques racinaires entre les différentes variétés testées de blé dur et d'analyser les relations existantes entre la partie souterraine et aérienne. Nous visons dans cette expérimentation à chercher les variétés les plus performantes. Variétés ayant un système racinaire quantitatif et qualitatif d'une part et de surcroît montrer les corrélations existantes entre ces caractères racinaires et le mécanisme du statut hydrique et d'ajustement osmotique d'autre part.

Selon (Turner *et al.*, 2001; Fisher, 1981 et Jones et Turner, 1980), il semblerait que ce mécanisme permettrait de maintenir la conductance stomatique à des potentiels hydriques bas et aussi de retarder la sénescence foliaire en améliorant l'extraction de l'eau par les racines.

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.

Tableau III. 6. Analyse de la variance (ANOVA) des caractères d'enracinement chez les dix génotypes étudiés de blé dur en fonction de deux régimes hydriques (irrigué SDH et stressé ADH)

PMR : profondeur maximale racinaire ; NRP : nombre de racines principales; NRS : nombre de racines secondaires ; NRT : nombre de racines totales ; MFR(g) : matière fraîche racinaire; MSR (g): matière sèche racinaire; DE (jours) : date d'épiaison ; VR (cm³) :volume racinaire ; SF(cm²) : surface foliaire ; TRE :Teneur relative en eau ;Ψ_π :potentiel osmotique ;Ψ_{Tπ} : potentiel osmotique à turgescence maximale ; AO(MPa) :ajustement osmotique.

DDL : degré de liberté ;

CM : carré moyen

Variables	Effet génotypes (F1)				Effet traitement (F2)				Effet génotypes× traitement (F1× F2)			
	DDL	CM	F	Pr > F	DDL	CM	F	Pr > F	DDL	CM	F	Pr > F
PMR	9	42,46	15,670	0,000***	1	376,50	138,94	0,000***	9	5,12	1,89	0,082*
NRP	9	21,49	2,761	0,013**	1	534,02	68,61	0,000***	9	8,94	1,149	0,352Ns
NRS	9	296,7	19,91	0,000***	1	6489,6	435,544	0,000***	9	149,1	10,01	0,000***
NRT	9	357,9	12,447	0,000***	1	9958,8	346,394	0,000***	9	167,4	5,823	0,0004***
MFR(g)	9	0,1216	4,868	0,0002***	1	0,8736	34,973	0,0001***	9	0,1255	5,026	0,00015***
MSR (g)	9	0,029145	16,6703	0,000***	1	0,01014	5,7998	0,020728**	9	0,0249	14,216	0,000***
DE (jours)	9	148,8	35,4	0,000***	1	176,8	42,1	0,000***	9	69,4	16,5	0,000***
VR (cm ³)	9	1,24331	21,667	0,000***	1	3,65067	63,621	0,000***	9	0,40881	7,124	0,0004***
SF (cm ²)	9	23,93	3,220	0,005***	1	1852,81	249,323	0,000***	9	23,65	3,182	0,005425***

*p ≤ 0,1, **p ≤ 0,05, ***p ≤ 0,001: respectivement significatif, hautement significatif et très hautement significatif

A. Partie souterraine

Les résultats ayant trait à la partie racinaire montrent une variabilité génétique importante chez la plupart des variables en présence ou non de stress à savoir le nombre de racines principales (NRP), le nombre de racines secondaires (NRS), le nombre de racines totales (NRT), la matière fraîche racinaire (MFR), la matière sèche racinaire (MSR), la date d'épiaison (DE), le volume racinaire (VR) et la surface foliaire de la feuille étendard ou drapeau (SF) (Tableau III. 6). L'analyse de la variance affiche pour le paramètre nombre de racines principales (NRP) un effet génotype×traitement non significatif.

a. Nombre de racines principales (NRP)

Les résultats obtenus montrent qu'à l'échelle du traitement témoin (SDH), le nombre de racines principales (NRP) le plus élevé est noté chez les génotypes Boussellam, Wahbi et Waha respectivement ($15,67 \pm 4,16$, $14 \pm 2,0$ et $13,3 \pm 2,51$). En effet, les valeurs notées concernant le lot stressé sont sensiblement très rapprochées, excepté la variété Sémito avec une moyenne de racines principales (NRP) égale à $12,3 \pm 2,51$. Ce résultat quoique isolé montre une fois de plus la sensibilité de ce génotype vis-à-vis du déficit hydrique. Les variétés Bidi 17, Mohamed Ben Bachir et Wahbi semblent être performantes pour ce trait racinaire.

b. Nombre de racines secondaires (NRS) et nombre de racines totales (NRT)

En ce qui concerne les paramètres (NRS) et (NRT), les variétés Bidi 17 et GTA Dur occupent la première position. En conditions de stress hydrique, le nombre de racines secondaires et totales le plus élevé est attribué aux variétés GTA Dur et Bidi 17. Les autres génotypes expérimentés totalisent des valeurs intermédiaires. Quant à la variété Omruff, cette dernière affiche les valeurs les plus faibles de ces deux caractères.

c. Profondeur maximale racinaire PMR

En conditions de stress hydrique, la variété Omruff affiche sa supériorité en terme de profondeur maximale racinaire PMR (40% d'augmentation) par rapport au témoin suivie par les variétés Wahbi, Bidi 17, Beni Mestina, GTA Dur et Sémito qui montrent une augmentation moindre (26%) par rapport au lot témoin.

Tableau III. 7. Caractères racinaires chez les dix géotypes testés de blé dur en fonction de deux régimes hydriques (SDH et ADH) : (PMR, NRP, NRS et NRT)

PMR: profondeur maximale racinaire; **NRP:** nombre de racines principales ; **NRS:** nombre de racines secondaires ; **NRT:** nombre de racines totales ; **MSR (g):** matière sèche racinaire

Variables	NRP		PMR (cm)		NRS		NRT	
	Moyennes et groupes homogènes		Moyennes et groupes homogènes		Moyennes et groupes homogènes		Moyennes et groupes homogènes	
Géotypes	SDH	ADH	SDH	ADH	SDH	ADH	SDH	ADH
Cirta	10,67±3,05cd	18,66±1,52a-c	16,16±0,76e-g	19,6±1,18c-f	35,0±3,60f	43,33±1,52d-f	44,66±4,5g-i	60±1,0b-f
MBB	11,3±2,5b-d	19,66±6,65 a	17,3±0,57d-f	20,53±0,75be	25,33±3,51 gh	46,0±4,58c-e	35,66±4,93ij	63,66±11,01b-d
Waha	13,3±2,51a-d	19±2,0 ab	17,0±2,0 d-g	20,43±1,83be	37,33±4,72ef	50,67±4,16b-d	49,66±2,30e-h	67,66±6,11bc
Bidi17	11,0±3b-d	20,3±1,52a	13,0±1,0ji	18,1±1,35d-f	43,67±4,72 d-f	62,0±3,60a	53,66±2,08d-g	80,33±4,62 a
Wahbi	14±2,0a-d	19,66±1,52 a	11,3±2,5i	18,80±1,90c-f	26,67±4,16g	53,67±2,5bc	39,66±6,1hi	71,33±2,08ab
Boussellam	15,67±4,16a-d	17,33±3,05a-d	18,67±2,5 c-f	22,76±1,25a-c	40,3±7,5 ef	47,3±4,5c-e	55±9,53 c-g	62,66±6,35b-e
Sémito	10,0±2,0d	12,3±2,51a-d	18,6±2,08c-f	24,00±1,0ab	38,0±3,0ef	58,33±2,5 ab	47±4,35e-h	68,66±5,03bc
GTA Dur	12,67±1,53a-d	18,33±2,08a-c	11,6±1,53i	15,33±1,25 fg	23,3±3,05 gh	63,67±2,08a	35±4,58ij	80±0,00a
B-Mestina	9,3±2,08 d	16,0±3a-d	15,3±1,52fg	21,0±2,64b-d	18,67±2,5gh	46,67±5,03 c-e	27,0±3,46j	60,67±8,02b-e
Omruuff	9,67±2,08d	16,0±2,0a-d	16,67±1,52d-g	25,33±1,52a	17,33±3,05h	42,0±2,0 d-f	26,0±5,0j	56,0±0,00c-g
Moyennes	11,76±2,94b	17,73±3,39a	15,58±2,97 b	20,59±3,1a	30,56±9,74b	51,36±7,99 a	41,33±10,86 b	67,1±9,20 a

Les moyennes entre les colonnes non suivies de la même lettre sont significativement différentes selon le test de Newman Keuls (p=0, 05)

Ce caractère joue un rôle prépondérant dans l'évitement de la sécheresse (Sayar et *al.*, 2008 ; Narayan, 1991 et Kara et Belkhiri, 2011). Il semblerait qu'en cas de déficit hydrique, une plante stressée a la faculté d'explorer un volume de terre important et de ce fait, elle a tendance à allonger les racines à la recherche de l'eau disponible dans les couches du sous sol. D'autre part, l'effet du stress hydrique pour ce caractère a été peu marqué chez les variétés Boussellam, Cirta, Waha et Mohamed Ben Bachir avec des taux d'augmentation de l'ordre de 17% seulement par rapport au lot témoin.

d. Volume racinaire(VR)

La variété Cirta se distingue par une augmentation importante du volume racinaire soit 74% par rapport au témoin ($0,83 \pm 0,106$ contre $0,22 \pm 0,05$ cm³). Les géotypes Omruff, GTA Dur, Sémito, Waha et Bidi17 ont montré des taux d'augmentation variant entre 45% et 50%. Mohamed Ben Bachir et Wahbi ont des taux d'augmentation du (VR) de 33 % par rapport au témoin (SDH).

Les variétés Beni Mestina et Boussellam se classent en dernier avec des taux de réduction du VR allant de -32 % à -41%.

e. Poids frais racinaire et matière sèche racinaire

Le poids frais racinaire le plus important a été observé chez la variété Wahbi avec un taux d'accroissement de (50%) par rapport au lot témoin. Quant aux géotypes Mohamed Ben Bachir, Waha, Bidi17, Beni Mestina, Cirta, Sémito, GTA Dur et Omruff, la différence du taux d'augmentation ne dépasse pas les 20% par rapport au témoin. Par contre, la variété Boussellam est celle qui paraît le moins répondre à ce paramètre montrant ainsi un taux de réduction du PFR de -25 % par rapport au témoin.

D'après nos résultats mentionnés dans le tableau (III.6), la matière sèche est le paramètre le plus affecté par le stress hydrique. En effet, les valeurs ne suivent pas la même tendance que celles de la matière fraîche racinaire en particulier chez les variétés Cirta, Waha, Wahbi et GTA Dur.

Tableau III. 8. Caractères racinaires chez les dix géotypes testés de blé dur en fonction de deux régimes hydriques (SDH et ADH) : (SF, DE, VR, MFR et MSR).

SF(cm²): surface foliaire;DE (jours): date d'épiaison; VR(cm³): volume racinaire; MFR(g): matière fraîche racinaire; MSR (g): matière sèche racinaire.

variables géotypes	SF (cm ²)		DE (jours)		VR (cm ³)		MFR(g)		MSR(g)	
	Moyennes et groupes homogènes		Moyennes et groupes homogènes		Moyennes et groupes homogènes		Moyennes et groupes homogènes		Moyennes et groupes homogènes	
	SDH	ADH	SDH	ADH	SDH	ADH	SDH	ADH	SDH	ADH
Cirta	19,32±2,74 a-d	10,94±2,28 ef	109,0±3 bc	104,6±2,51 cd	0,22±0,05 h	0,83±0,106 e-g	1,59±0,03 a-e	1,78±0,09 a	0,47±0,08 a	0,1±0,06 d
MBB	22,95±3,39 ab	14,62±3,34 c-f	118,3±2,5 a	113,33±1,15 ab	1,30±0,2 de	1,93±0,51 bc	1,37±0,06 a-e	1,69±0,025 a-d	0,19±0,015 cd	0,18±0,01 cd
Waha	14,40±2,74 c-f	13,08±1,30 d-f	102,33±1,15 de	102,33±1,15 de	0,55±0,08 f-h	1,03±0,23 e-g	1,28±0,04 c-e	1,56±0,05 a-e	0,17±0,03 cd	0,2±0,03 c
Bidi17	25,15±1,80 a	12,41±2,75 d-f	94,67±2,08 f	112,66±1,15 ab	1,3±0,10 de	2,47±0,25 a	1,18±0,03 ef	1,44±0,04 a-e	0,09±0,02 d	0,1±0,02 d
Wahbi	18,77±2,56 a-e	12,63±0,68 d-f	100,66±2,30 de	104,66±2,5 cd	0,72±0,07 e-h	1,07±0,37 d-g	0,87±0,62 f	1,75±0,036 ab	0,19±0,02 cd	0,13±0,11 d
Boussellam	21,5±2,51 a-c	13,55±0,09 d-f	110,66±2,52 ab	110,33±2,08 ab	1,23±0,30 de	0,87±0,11 e-g	1,74±0,055 a-c	1,42±0,05 a-e	0,29±0,03 b	0,27±0,04 bc
Sémito	22,46± 8,22 ab	10,20±0,53 f	100,66±0,57 de	110,0±1,73 ab	0,42±0,07 gh	0,85±0,13 e-g	1,17±0,036 ef	1,38±0,289 a-e	0,08±0,032 d	0,13±0,031 d
GTA Dur	21,08± 0,57 a-c	12,12±0,37 d-f	98,66±3,78 e	105,33±2,08 cd	1,1±0,17 d-f	2,20±0,45 ab	1,24±0,045 de	1,44±0,05 a-e	0,1±0,02 d	0,09±0,02 d
B-Mestina	13,90± 0,16 d-f	11,23±1,38 ef	108,67±1,15 bc	112,33±2,08 ab	1,30±0,17 de	0,97±0,30 e-g	1,29±0,02 b-e	1,57±0,04 a-e	0,11±0,02 d	0,19±0,02 cd
Omruuff	17,39± 3,07 b-f	15,0±0,035 c-f	112,33±0,57 ab	114,67±1,52 ab	0,80±0,10 e-g	1,67±0,20 cd	1,54±0,05 a-e	1,65±0,037 a-d	0,12±0,05 d	0,16±0,02 cd
Moyennes	19,69±4,56 a	12,58±2,05 b	105,6±7,29 b	109±4,5 a	0,89±0,41 b	1,38±0,64 a	1,33±0,29 b	1,57±0,16 a	0,18±0,12 a	0,15±0,07 b

Les moyennes entre les colonnes non suivies de la même lettre sont significativement différentes selon le test de Newman-Keuls ($p=0,05$)

B. Partie aérienne

a. Surface foliaire

A l'échelle du lot témoin, les surfaces les plus larges ont été notées chez les variétés Bidi 17, Mohamed Ben Bachir, Sémito, Boussellam et GTA Dur.

Les autres génotypes affichent des valeurs de surfaces variant entre 19,32±2,74et13,90±0,16cm². Cependant, sous régime stressé, les surfaces les plus larges on été trouvé chez les génotypes Omruff, Mohamed Ben Bachir, Waha et Boussellam comparativement aux variétés Cirta, Sémito, Beni Mestina et Bidi 17. Ces derniers génotypes, leurs feuilles sont très étroites.

La précocité de certains génotypes (GTA Dur, Waha et Wahbi) a été pleinement confirmée. Alors que, les génotypes Mohamed Ben Bachir, Beni Mestina et Omruff se sont révélé les plus tardifs.

I. 2.1. Analyse globale

Des corrélations entre les caractéristiques racinaires mesurées et les caractères d'état hydriques des dix génotypes testés en conditions stressés ont été étudiés (Tableau III.9).

Tableau III.9. Matrice de coefficients de corrélation de différents caractères racinaires et d'état hydrique mesurés chez les dix génotypes testés sous conditions stressés

PMR: profondeur maximale racinaire; **NRP:** nombre de racines principales; **NRS:** nombre de racines secondaires ; **NRT:** nombre de racines totales; **MSR (g):** matière sèche racinaire; **SF(cm²):** surface foliaire; **DE (jours):** date d'épiaison ; **VR(cm³):** volume racinaire; **MFR(g):** matière fraîche racinaire ; **TRE(%):** Teneur relative en eau; **PO** ou **Ψ_π (MPa):** potentiel osmotique ; **POT** ou **Ψ_{Tπ} (MPa):** potentiel osmotique à turgescence maximale; **AO (MPa):** ajustement osmotique.

	NRP	NRS	NRT	MFR	MSR	VR	SF	TRE	PO	DE	POT	AO
PMR	-0,67*	-0,58*	-0,74**	-0,02 Ns	0,53*	-0,47	0,22Ns	-0,07 Ns	0,19 Ns	0,50*	0,19 Ns	0,15 Ns
NRP	1,00	0,05 Ns	0,34	0,41	-0,15 Ns	0,45	0,39	0,14 Ns	-0,27 Ns	-0,28 Ns	-0,34	-0,21 Ns
NRS		1,00	0,96***	-0,64*	-0,52*	0,47 Ns	-0,39	0,13 Ns	0,40	-0,22 Ns	0,31 Ns	-0,45 Ns
NRT			1,00	-0,48	-0,54*	0,57*	-0,26 Ns	0,16 Ns	0,29 Ns	-0,29 Ns	0,19 Ns	-0,50*
MFR				1,00	-0,12 Ns	^{-0,19} Ns	0,25 Ns	0,38	-0,71**	-0,18 Ns	-0,84***	0,50*
MSR					1,00	-0,44	0,43	-0,42	0,33 Ns	0,22 Ns	0,46	-0,19 Ns
VR						1,00	0,38 Ns	0,39	0,33 Ns	0,34	0,12 Ns	-0,59*
SF							1,00	0,21 Ns	0,29 Ns	0,35	0,12 Ns	-0,50*
TRE								1,00	0,03 Ns	0,15 Ns	-0,47	-0,05
PO									1,00	0,37	0,87***	0,84***
DE										1,00	0,26	-0,30
POT											1,00	-0,70**

*p ≤ 0,1, **p ≤ 0,05, ***p ≤ 0,001: respectivement significatif, hautement significative et très hautement significative.

La première composante participe à (33,05%) de l'information totale. Du côté positif, elle est décrite par les variables, matière fraîche racinaire (MFR) et ajustement osmotique (AO). Du côté négatif, elle est définie par le nombre de racines secondaires (NRS), le nombre de racines totales (NRT) et le volume racinaire (VR).

Quant à la deuxième composante (axe 2), elle participe à (28,45%) de l'information totale. Du côté positif, elle est décrite par les variables, nombre de racines principales et teneur relative en eau.

Quant au côté gauche, elle est définie par la profondeur maximale racinaire (PMR), la matière sèche racinaire (MSR), la surface foliaire et la durée d'épiaison (DE). Par ailleurs, les variables d'état hydriques (potentiel osmotique et potentiel osmotique à turgescence maximale) contribuent de manière équilibrée à la formation du côté négatif de l'axe (1) et (2).

Sur la base de la matrice de corrélations (Tableau III. 9) parmi les dix variétés testées, on note que la profondeur maximale racinaire est corrélée négativement avec le nombre de racines principales et le nombre de racines totales (coefficients de corrélation égaux à $r=-0,67^{**}$; $r=-0,74^{**}$ respectivement). D'autres corrélations ont été également trouvées entre le nombre de racines secondaires et le nombre de racines totales ($r=-0,96^{***}$) et entre le nombre de racine totales et le volume racinaire ($r=0,57^*$).

Nous constatons aussi que les caractères d'états hydrique de la plante (potentiel osmotique, le potentiel osmotique à turgescence maximale et l'ajustement osmotique) sont corrélées uniquement avec la matière fraîche racinaire (coefficients de corrélation égaux à $r=-0,71^{**}$; $r=-0,84^{***}$ et $r=0,50^*$ respectivement). Cependant, on note que la surface foliaire, la date d'épiaison et la teneur relative en eau ne sont pas corrélées aux autres caractères racinaires. Comme il à été mentionnée par différent auteurs, de forte corrélations existent entres les différents caractères racinaires (Kara et *al.*, 2000 ; El-fakhri et *al.*, 2010).

Cependant, aucune relation significative n'a été observée entre le nombre de racines principales, la matière sèche racinaire et les autres caractères (caractères racinaires et caractères d'état hydrique de la plante étudiés).

Le tableau (III.9) et la figure (III.12) montrent que, la profondeur maximale racinaire est corrélée négativement avec le nombre de racines principales et le nombre de racines totales (coefficients de corrélation égaux à $r=-0,68^{**}$; $r=-0,74^{**}$ respectivement).

D'autres corrélations ont été également trouvées entre le nombre de racines secondaires et le nombre de racines totales ($r=-0,93^{***}$) et entre le nombre de racine totales et le volume racinaire ($r=-0,62^{**}$).

Cependant, on note que le nombre de racines principales, la date d'épiaison et la surface foliaire ne sont pas corrélées aux autres caractères. L'absence de corrélation entre ces caractères montre que le système racinaire de certaines variétés est influencé par d'autres stress (stress thermique). Ce dernier inhibe la division et l'élongation cellulaire au niveau de la racine (Fraser et *al.*, 1990).

Selon la répartition des individus (Figure III. 13), sur le côté positif de l'axe 1, ce sont les géotypes Cirta, Mohamed Ben Bachir et Wahbi, variétés qualifiées de locales se distinguent par leurs capacité d'ajustement osmotique élevée, matière fraîche des racines la plus importante et le volume racinaire, le nombre de racines secondaires et totales les plus faibles. A l'opposé, GTA Dur et Bidi 17 occupant le côté négatif de l'axe 1.

Ces variétés sont caractérisées par le volume racinaire, le nombre de racines secondaires et totales les plus élevés d'une part et la profondeur maximale de la racine et la matière sèche racinaire les plus faibles d'autre part.

En revanche, les géotypes Beni Mestina, Omruff, Boussellam, Sémito et Waha ont le plus contribués dans la formation de la partie négative de l'axe (2).

Ces variétés accusent des valeurs importantes de la profondeur maximale racinaire et de la matière sèche racinaire. À l'opposé, ces variétés dénotent des valeurs faibles de nombre de racines principales et de la teneur relative en eau.

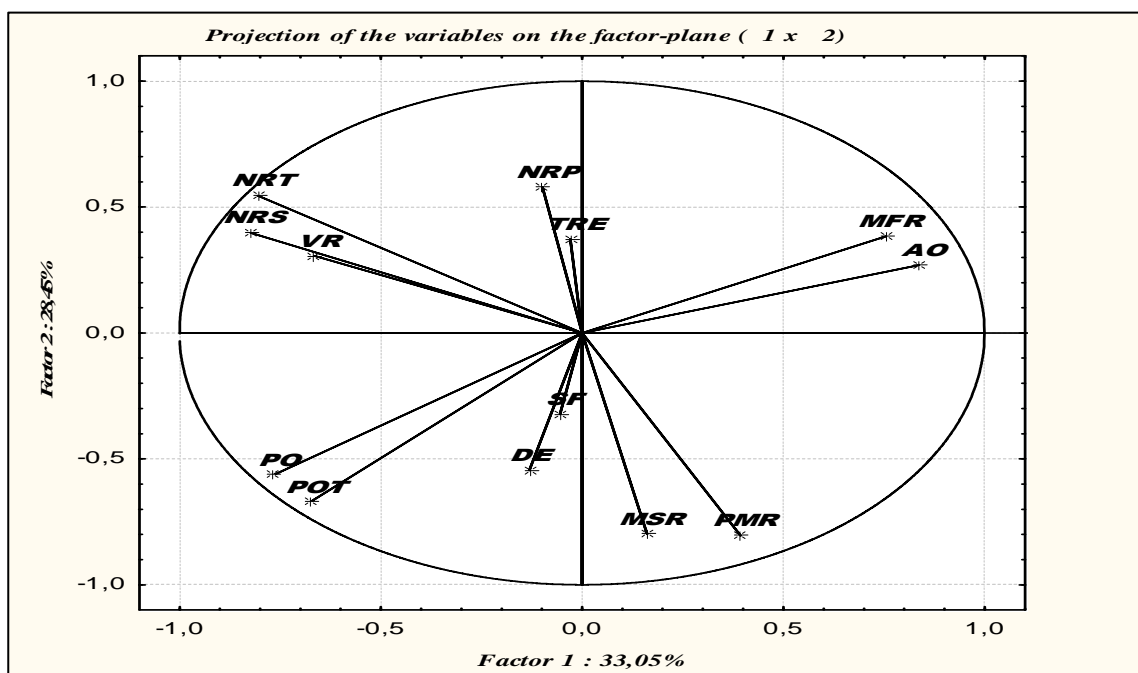


Figure III.12. Cercle des corrélations (paramètres racinaires, surface foliaire, date d'épiaison et paramètres d'état hydrique)

PMR: profondeur maximal racinaire; NRP: nombre de racines principales ; NRS: nombre de racines secondaires ; NRT: nombre de racines totales ; MSR (g): matière sèche racinaire ; SF(cm²): surface foliaire ; DE (jours): date d'épiaison ; VR(cm³) : volume racinaire; MFR(g): matière fraîche racinaire ; MSR (g): matière sèche racinaire; TRE: Teneur relative en eau; PO ou Ψ_{π} (MPa): potentiel osmotique ; POT ou Ψ_T^{π} (MPa): potentiel osmotique à turgescence maximale; AO (MPa): ajustement osmotique.

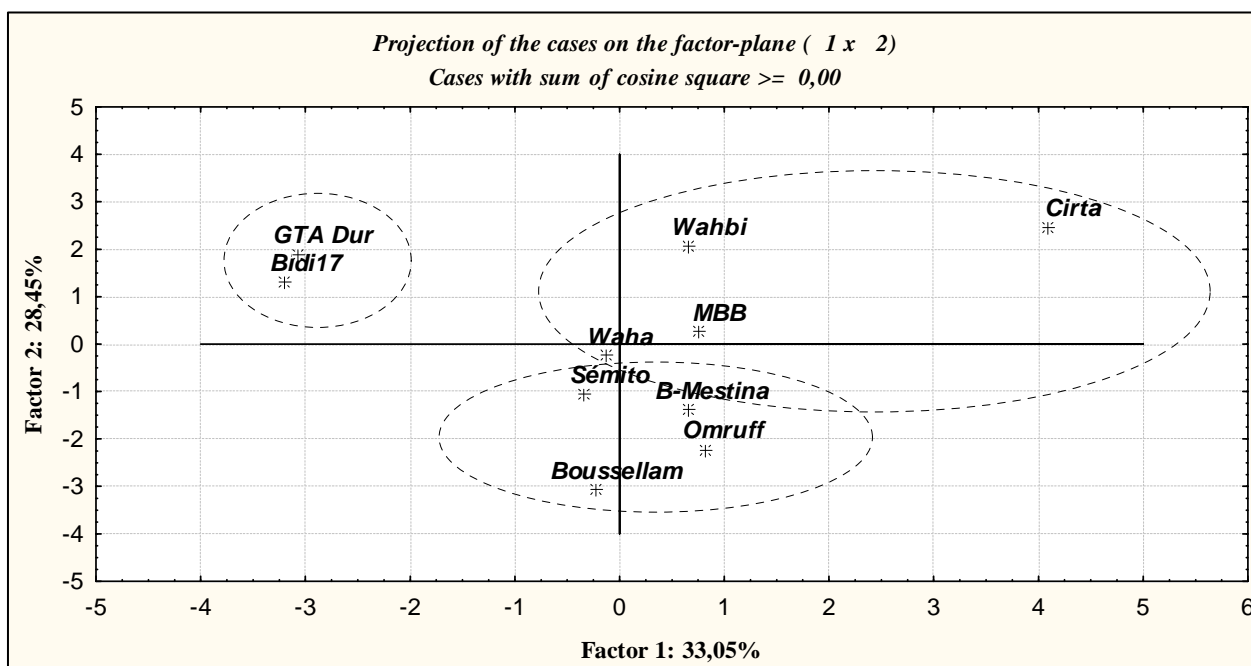


Figure III.13. Diagramme des individus (paramètres racinaires, surface foliaire, date d'épiaison et paramètres d'état hydrique)

I. 3. Essais aux champs

De nombreux travaux, concordent à dire que la sélection pour le rendement et ses composantes est peu efficace et héritable en conditions environnementales défavorable (Kara, 2000 ; Frey, 1964 et Daday *et al.*, 1974).

Les données traitées dans le cadre de cette partie de l'étude, concernent essentiellement la variable rendement en grains (qx.ha^{-1}) et ses composantes. Dix géotypes de comportements agronomiques contrastés et d'origines diverses (Algérie, France, Italie, ICARDA ; Syrie, Cimmyt ; Mexique), ont été retenus sur trois campagnes agricoles successives (2011/012 ; 2012/013 et 2013/014 ; cf. Matériels et Méthodes).

I. 3. 1. Paramètres morpho-phénologiques, rendement et ses composantes ; campagnes agricoles 2011/012, 2012/013 et 2013/014

L'analyse de la variance effectuée sur les caractères morpho-phénologiques, rendement et ses composantes montre qu'il existe un effet géotype, un effet année et un effet géotype \times année hautement significatif voire à très hautement significatif pour tous les traits morphologiques et les composantes excepté le nombre de talles par plante.

En effet, l'effet année est de loin celui qui absorbe la plus grande part de la variation observée mise à part l'indice de récolte qui ne montre pas un effet significatif à travers les trois campagnes. Ce résultat indique clairement que c'est l'effet année qui est à l'origine des fluctuations des géotypes d'une année à l'autre (Tableau III.10).

Comme nous l'avons évoqué dans la partie (Matériels et Méthodes), les deux années 2012/13 et 2013/14 peuvent être qualifiées de favorables en raison de l'importance des précipitations au cours du cycle de la plante (574,5 et 518,4 mm).

Des quantités importantes enregistrées pendant le mois de février, mars, avril et mai ont probablement contribuées au bon développement de la céréale.

Tableau III. 10. Analyse de la variance (ANOVA) : caractères morpho-phénologiques, rendement et ses composantes, l'indice de récolte et l'indice de sensibilité à la sécheresse. (Campagnes agricoles 2011/012, 2012/013 et 2013/014).

NP.m²: nombre de plantes par mètre carré, NT.p⁻¹: nombre de talles par plante; NT.m²: nombre de talles par mètre carré; NE.m²: nombre d'épi par mètre carré; NE. p⁻¹: nombre d'épi par plante; DE (jours): date d'épiaison, SF: surface foliaire(cm²) HP: hauteur de plante en cm, CE: Col de l'épi, NG.E⁻¹: nombre de grains par épi, P EPI: poids de l'épi, PMG: poids de mille grains en gramme, RDT: rendement en grains (qx .ha⁻¹) ; BIOM : biomasse de la plante ; IRR : Indice de récolte ; ISS : Indice de sensibilité à la sécheresse.

Variables	Effet géotypes (F1)				Effet année (F2)				Effet géotypes× année (F1× F2)			
	DDL	CM	F _{obs}	Pr > F	DDL	CM	F _{obs}	Pr > F	DDL	CM	F _{obs}	Pr > F
NP.m ²	9	5512	11,49	0,0000***	2	46627	97,19	0,0000***	18	3401	7,088	0,0000***
NT.p ⁻¹	9	1,637	1,476	0,169Ns	2	47,65	42,90	0,0000***	18	2,04	1,837	0,032**
NT.M ²	9	31897	14,611	0,0000***	2	617479	282,839	0,0000***	18	12999	5,954	0,0000***
DE (jours)	9	99	33,3	0,0000***	2	237	79,5	0,0000***	18	69	23,0	0,0000***
NE.m ²	9	22999	12,204	0,0000***	2	666259	353,547	0,0000***	18	15189	8,060	0,0000***
NE/P	9	2,383	2,683	0,0082**	2	49,972	56,266	0,0000***	18	1,525	1,717	0,050**
SF (cm ²)	9	66,84	4,406	0,0001***	2	800,23	52,756	0,0000***	18	39,57	2,609	0,0015**
LE (cm)	9	5,532	5,618	0,0000***	2	76,568	77,754	0,0000***	18	3,375	3,427	0,0001***
LB (cm)	9	11,67	9,18	0,0000***	2	8,27	6,51	0,0022**	18	6,30	4,96	0,0000***
HP (cm)	9	867,6	11,79	0,0000***	2	5560,6	75,54	0,0000***	18	277,4	3,77	0,000014***
CE (cm)	9	24,85	4,265	0,00013***	2	211,51	36,302	0,0000***	18	37,04	6,357	0,0000***
NG.E	9	129,8	3,036	0,003**	2	7979,0	186,633	0,0000***	18	249,7	5,841	0,0000***
PEPI (g)	9	2,1295	3,494	0,00096***	2	6,5480	10,743	0,0000***	18	1,3185	2,163	0,009**
BIOM(g)	9	501,26	6,1879	0,0000***	2	936,7	24,859	0,0000***	18	522,63	6,4517	0,0000***
PMG(g)	9	164,3	4,360	0,000097***	2	1413,5	34,33	0,0000***	18	100,8	2,675	0,0011***
RDT (qx.ha ⁻¹)	9	73,83	2,866	0,005**	2	12618,46	489,811	0,0000***	18	240,25	9,326	0,0000***
IRR	9	0,50572	6,6355	0,0000***	2	0,03986	0,5230	0,59Ns	18	0,36866	4,8372	0,0000*
ISS	9	0,04564	6,604	0,00004***								

En revanche, l'année 2012/13 peut être qualifiée de défavorable voire même sèche. Le cumul des précipitations annuelles est de 392,3 mm, ce qui représente une diminution par rapport aux années favorables de 32%. En outre, près du tiers de ce cumul a été noté pendant le mois de février ou nous avons constaté de visu une sorte d'asphyxie racinaire dans certaines parcelles. A cela s'ajoute des températures excessives dépassant les 30° C.

A. Variation des caractères morphologiques

a. Variation de la surface foliaire

Les résultats montrent que la surface foliaire est influencée par la variation des conditions climatiques qui caractérisent la région d'étude. La moyenne de la surface foliaire pour les années dites humides (2012 et 2014) sont sensiblement les mêmes ($28,37 \pm 3,84$ et $28,30 \pm 5,68$ cm²). A l'opposé, la moyenne de ce trait durant l'année sèche ou défavorable est de $20,59 \pm 4,64$ cm² soit une réduction de l'ordre de -27,42% (Figure III.14 ; Annexe 2).

Pour plus de clarté, en année humide, les génotypes caractérisés par de larges feuilles sont : Bidi17 ($33,85 \pm 1,41$ cm²), Waha ($32,98 \pm 2,18$ cm²), Beni Mestina ($32,60 \pm 3,16$ cm²), Omruff ($32,63 \pm 1,98$ cm²) et Cirta ($29,91 \pm 2,12$ cm²). Wahbi, Mohamed Ben Bachir et Sémito ont des feuilles de dimension intermédiaires et sensiblement les mêmes ($26,28 \pm 2,12$, $26,81 \pm 1,7$ et $25,84 \pm 1,8$ cm² respectivement). Alors que, Boussellam et GTA Dur présentent des feuilles relativement plus étroites ($21,32 \pm 0,36$ cm² et $20,80 \pm 0,79$ cm²).

A l'échelle de la campagne agricole sèche ou défavorable (2013), tous les génotypes accusent des valeurs inférieures à celles enregistrées durant les années (humides). Ces valeurs sont comprises entre $17,64 \pm 2,58$ et $24,62 \pm 2,26$ cm².

Ce sont les génotypes Bidi17, Boussellam et Cirta qui présentent les surfaces les plus larges ($24,62 \pm 2,26$; $23,21 \pm 3,79$ et $22,54 \pm 2,30$ cm² respectivement), suivis des génotypes Beni Mestina et Sémito et enfin en dernière position GTA Duret Waha (Figure III.14).

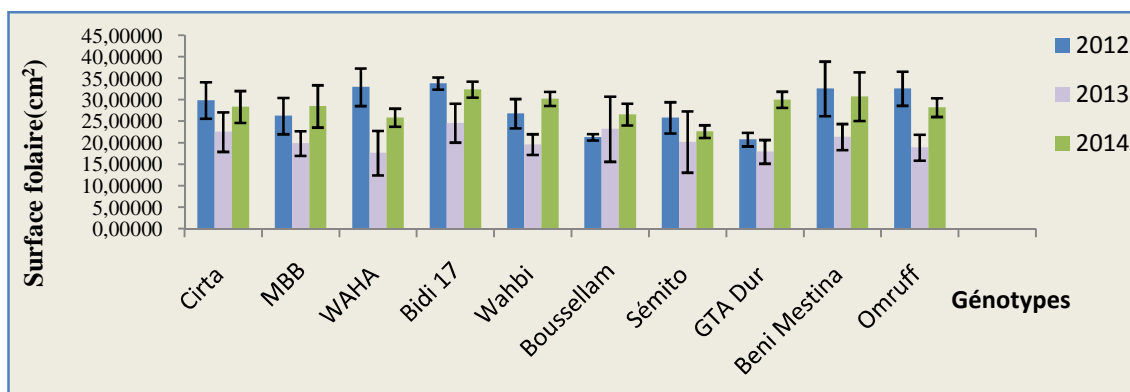


Figure III. 14. Variation de la surface foliaire chez les dix génotypes testés durant les trois campagnes agricoles (2012-2014)

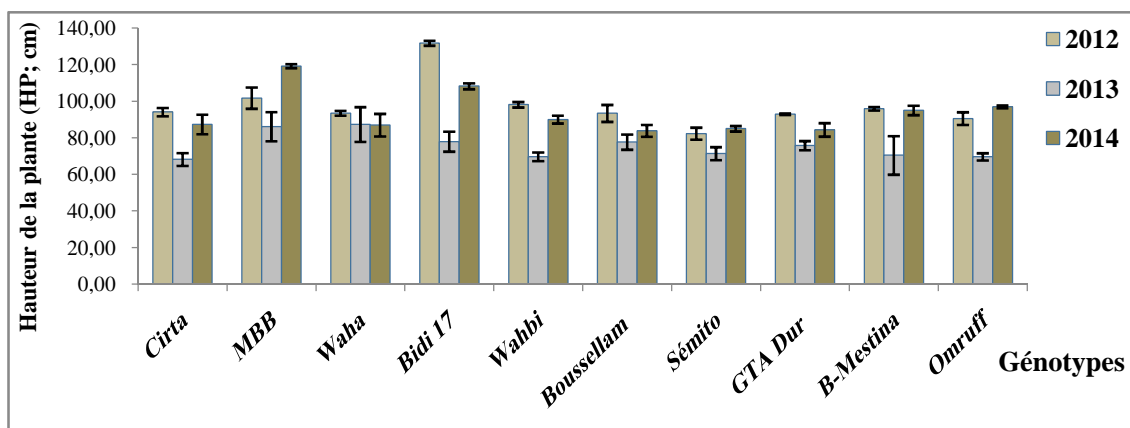


Figure III. 15. Variation de la hauteur de la plante chez les dix génotypes testés durant les trois campagnes agricoles (2012-2014)

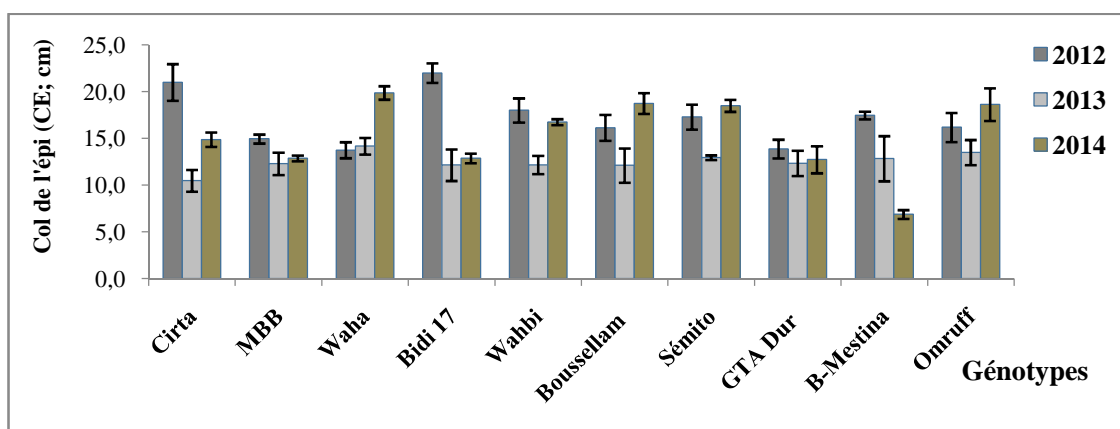


Figure III. 16. Variation du col de l'épi chez les dix génotypes testés durant les trois campagnes agricoles (2012-2014)

b. Variation de la hauteur de la plante (HP) et du col de l'épi (CE)

La hauteur de la plante varie en fonction du génotype et de l'année. Ainsi, la moyenne de la hauteur de la plante de tous les génotypes testés pour les trois années passe de $93,71 \pm 12,64$ cm et $97,44 \pm 13,61$, années humides à $75,41 \pm 12,36$ (année sèche). Dans le cas de figure de l'année sèche, les génotypes sans exception aucune ont des hauteurs de chaume nettement inférieures à celles notées (années humides).

En effet, certains génotypes sont à taille très haute dépassant la barre des 100cm, à l'image de Bidi17, Mohamed Ben Bachir, Wahbi et Beni Mestina, variétés exclusivement Algériennes réputées être sensibles à la verse mécanique. Les variétés dites à haut rendement comme Waha, Boussellam et GTA Dur se caractérisent quant à elles par des chaumes dont la hauteur se situe autour des 90 cm. En revanche, et particulièrement en année sèche (2013), peu de différences pour la hauteur du chaume apparaissent entre les génotypes testés, leur hauteur gravite autour des 70 cm, excepté pour Mohamed Ben Bachir et Waha. Ce résultat dénote de façon péremptoire l'influence néfaste de la sécheresse sur la hauteur du chaume (**Figure III.15; Annexe 3**).

Concernant le col de l'épi, l'analyse de la variance révèle un effet génotype, un effet année et un effet génotype×année très hautement significatif. La longueur moyenne du col de l'épi varie de $17,06 \pm 3,39$ (année humide) à $12,50 \pm 2,67$ cm (année sèche) (Figure III.16 ; Annexe 3).

Ce sont les génotypes Bidi 17, Cirta et Wahbi qui enregistrent la longueur du col de l'épi la plus élevée $22 \pm 1,04$, $21 \pm 1,96$ et $18 \pm 1,29$ cm respectivement. Suivis d'Omruuff, Sémito et Boussellam, valeurs intermédiaires. Les longueurs du col de l'épi les plus faibles sont attribuées à Mohamed Ben Bachir, Waha et GTA Dur. On note par ailleurs, que durant l'année 2014, la variété Beni Mestina s'est distinguée par une valeur très faible sortant de l'ordinaire égale à $6,88 \pm 0,47$ cm, ce qui représente une diminution de -65,39% par rapport à la variété témoin Waha.

En revanche, en année défavorable, la contrainte hydrique a affecté la longueur du col de l'épi chez tous les génotypes expérimentés en comparaison à celles des années humides.

A titre d'exemple, la variété Cirta se voit attribuée une valeur faible de l'ordre de $10,49 \pm 1,16$ soit une diminution de -38,45% par rapport au témoin (année favorable 2012).

Les génotypes qui ont des cols de l'épi plus long possèdent la meilleure potentialité de rendement. Dans notre essai c'est le cas des variétés Omruff et Waha, ces variétés dites performantes développent un col de l'épi plus long.

c. Variation de la longueur de l'épi et des barbes

La longueur de l'épi est une caractéristique variétale peu ou pas influencée par les variations du milieu. Dans notre étude, la longueur moyenne de l'épi varie de $5,55 \pm 0,74$ cm (année défavorable) à $7,95 \pm 1,46$ cm (années humides, 2012 et 2014).

Durant la campagne humide (2012), les longueurs de l'épi les plus élevées sont obtenus par Cirta, Bidi17, Wahbi, GTA Duret Boussellam avec des valeurs variant entre $9,2 \pm 0,43$ et $8,59 \pm 0,42$ cm. Les variétés Beni Mestina et Waha enregistrent des valeurs intermédiaires. Les longueurs les plus faibles de l'épi sont notées chez Mohamed Ben Bachir, Sémito et Beni Mestina.

Durant l'année 2014, nous assistons à un changement catégorique des génotypes. La variété Wahbi se classe en première position avec ($10,5 \pm 1,06$ cm) suivie de Waha, Boussellam, Sémito, GTA Dur, Beni Mestina, Cirta et Omruff. Bidi17 qui a enregistré les meilleures valeurs en ce qui concerne les paramètres surface foliaire, col de l'épi et la hauteur du chaume se voit attribuée la dernière position avec une valeur de la longueur de l'épi égale à $6,82 \pm 0,19$ (réduction de -35,04%).

En année sèche, tous les génotypes affichent des valeurs de la longueur de l'épi nettement inférieures aux années qualifiées dans notre expérimentation de favorables (2012 et 2014) excepté la variété Waha et Bidi17 (Figure III. 18 ; Annexe 4).

Il est admis que la longueur des barbes est un caractère variétal intrinsèque à la variété. De ce fait, et quelque soit l'année d'étude où l'on se place, les génotypes affichent des valeurs très rapprochées voire même carrément identiques à l'exception de Bidi17 et Waha qui se détachent sensiblement des autres variétés (Figure III.17 ; Annexe 4).

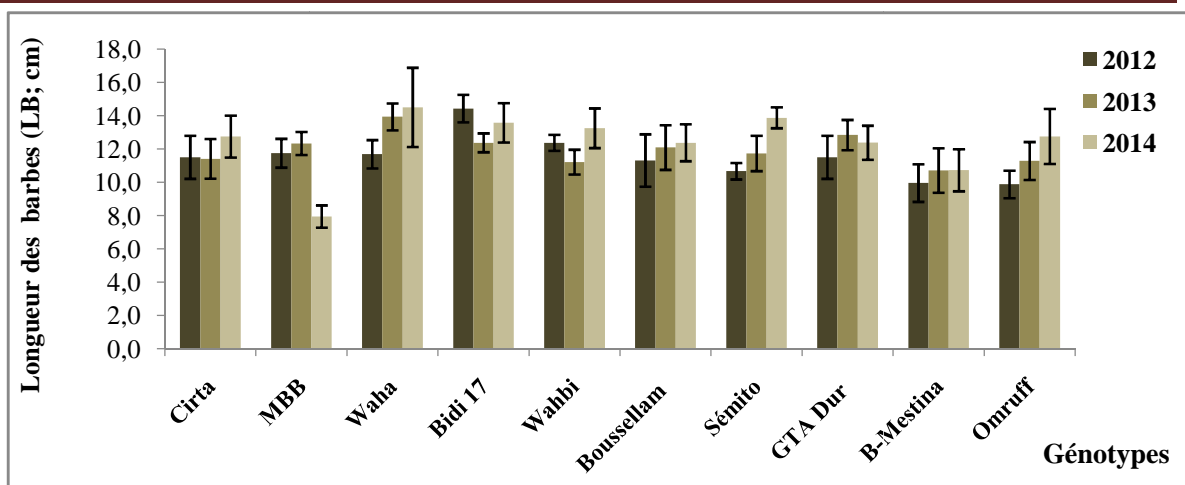


Figure III.17. Variation de la longueur des barbes durant les années favorables et défavorables de l'essai (2012-2014 et 2013)

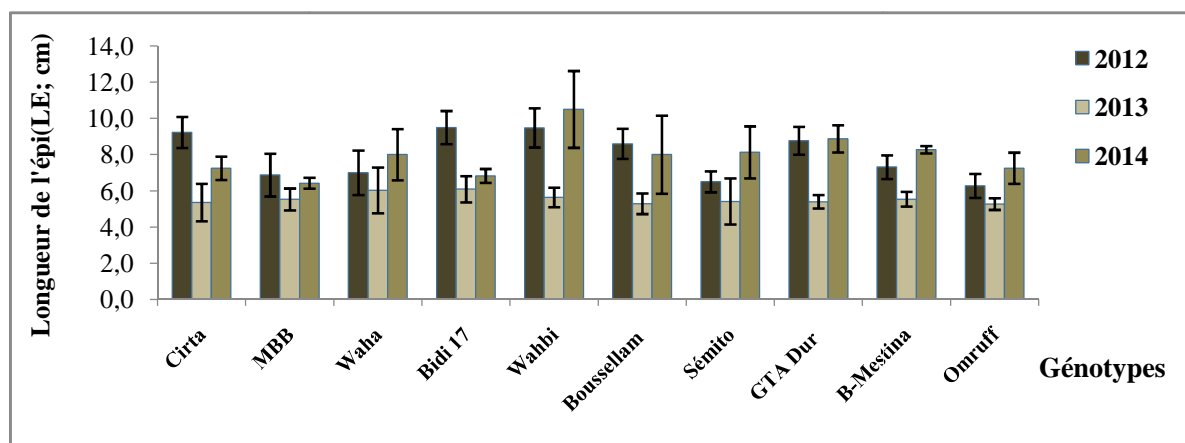


Figure III.18. Variation de la longueur de l'épi durant les années favorables et défavorables de l'essai (2012-2014 et 2013)

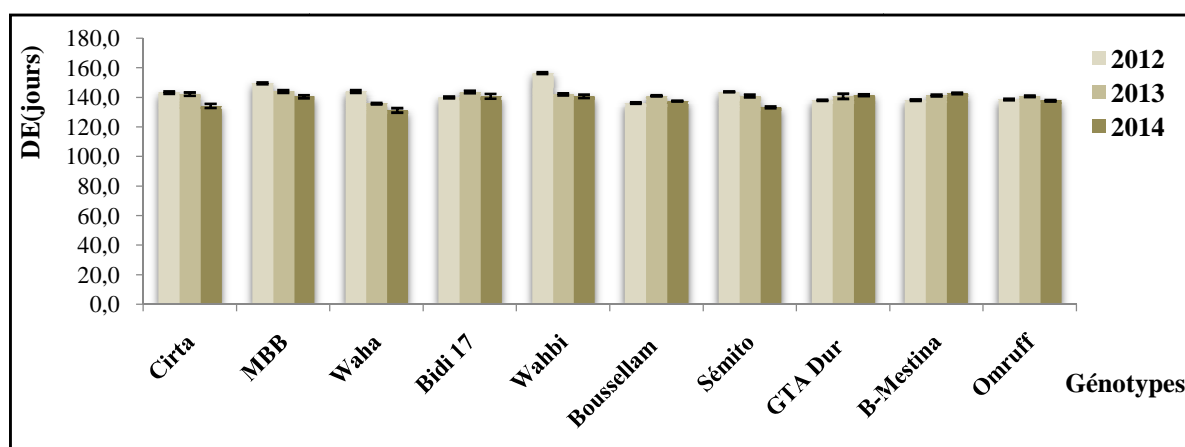


Figure III.19. Variation de la durée d'épiaison ou précocité (années favorables 2012-2014 et défavorable 2013)

A. Caractères phénologiques

a. Durée phase : semi-épiaison

La durée d'épiaison varie de $136,25 \pm 0,48$ à $149,5 \pm 0,6$ (année 2012) et de $133,25 \pm 0,6$ à $142,75 \pm 0,4$ jours (année 2014) et de $135,75 \pm 0,5$ à $144 \pm 0,9$ jours en année sèche, soit une différence de 13,9 et 9 jours respectivement.

D'après les résultats obtenus durant les trois campagnes agricoles, les génotypes Wahbi, suivi de Mohamed Ben Bachir et Bidi17 sont considérés comme variétés tardives, alors que Waha, Boussellam et Sémito sont supposés être des génotypes précoces. Quant aux autres variétés restantes à savoir Beni Mestina, GTA Dur, Cirta et Omruff elles occupent une position intermédiaire (Figure III.19 ; Annexe 2).

B. Variation du rendement et ses composantes

a. Variation du rendement en grains

En années favorables, tous les génotypes semblent accuser de très bons rendements variant entre $34,79 \pm 9,12$ qx.ha⁻¹ (année 2012) et $41,48 \pm 9,81$ qx.ha⁻¹ (année 2014). Cette dernière semble être plus performante comparativement à l'année précédente en matière de rendement en grains. A l'opposé, en année sèche (2013), toutes les variétés affichent une moyenne de rendement faible environ $7,92 \pm 2,79$ qx.ha⁻¹ excepté la variété MBB qui se démarque légèrement de l'ensemble des génotypes. Ce résultat était prévisible et attendu en raison d'une quantité relativement faible de précipitations par rapport à la moyenne sur 25 ans établie selon l'Office National de la Météorologie ONM. Ce constat laisse apparaître un début et une fin de campagne relativement sèche.

En année favorable 2012, le cumul des précipitations avoisinait les 574,5 mm. Les résultats en matière de rendement en grains donnaient dans cette campagne Mohamed Ben Bachir comme étant la variété la plus performante ($43,78 \pm 12,02$ qx.ha⁻¹), suivie de Wahbi ($42,05 \pm 3,74$ qx.ha⁻¹), Cirta ($38,12 \pm 6,059$ qx.ha⁻¹), Sémito ($37,42 \pm 2,09$ qx.ha⁻¹) et Waha ($34,79 \pm 4,58$ qx.ha⁻¹). Bidi17, Beni Mestina et Omruff se positionnent en dernier avec ($29,85 \pm 10,98$, $27,24 \pm 8,46$ et $27,24 \pm 10,11$ qx.ha⁻¹ respectivement) (Figure III.20 ; Annexe 9).

En revanche, durant la campagne agricole 2014 considérait elle aussi comme année humide et donc en apparence favorable pour le cycle végétatif du blé, nous nous sommes confrontés du moins à une situation imprévisible, contradictoire, voire même paradoxale.

En effet, la variété Mohamed Ben Bachir qui occupait le premier rang se trouve ramenée à la dernière position avec un rendement des plus faibles ($23,27 \pm 0,204 \text{ qx.ha}^{-1}$) soit un déficit de $20,51 \text{ qx.ha}^{-1}$. L'explication de ce résultat incohérent et irrationnel en apparence réside en fait dans une pluviométrie qualifiée d'anormale (167,4 mm) couplée à des températures ascendantes.

Néanmoins, l'analyse statistique pour l'année 2014 révèle que cette campagne est nettement meilleure par rapport à la précédente, la moyenne des rendements, toutes variétés confondues est de $41,48 \pm 9,81 \text{ qx.ha}^{-1}$ ce qui représente en termes statistiques une amélioration de près de 20,53% par rapport à l'année 2012. Dans le cas de figure de l'année 2014, Beni Mestina, variété semi précoce et de surcroît tolérante à la sécheresse considérée par les sélectionneurs comme étant une variété candidate très productive affiche le meilleur rendement suivie de la variété Waha, variété de référence selon les sélectionneurs de l'I.T.G.C avec des rendements de ($54,56 \pm 0,43$ et $52,24 \pm 0,74 \text{ qx.ha}^{-1}$ respectivement). Les géotypes restants enregistrent également des rendements appréciables.

b. Variation de la biomasse potentielle

En matière de production en paille, un résultat qui paraît spectaculaire, celui de la chute de la biomasse, tous géotypes confondus de 76,32% lorsque le déficit hydrique se fait sentir en année sèche (2013) comparativement aux années qualifiées d'humide ($8,05 \text{ g} \pm 4,42$ contre $34,17 \text{ g} \pm 20,82$). Waha, dans ce contexte affiche la meilleure valeur quoique faible talonnée par Wahbi et Bidi 17 et en dernier Boussellam (Figure III.21; Annexe 8).

Pour les années humides (2012 et 2014), les valeurs de biomasse sont souvent aléatoires et n'obéissent pas une norme logique. Nos résultats ne nous permettent pas dans ce cas de figure (biomasse) de classer par ordre de performance nos géotypes ni même avancer l'hypothèse de supériorité ou d'infériorité de l'un ou de l'autre.

Ce constat montre qu'on ne peut pas sélectionner des variétés sur la base d'un mono caractère agronomique, car il s'agit probablement d'un caractère fortement influencé par l'environnement et peu héritable.

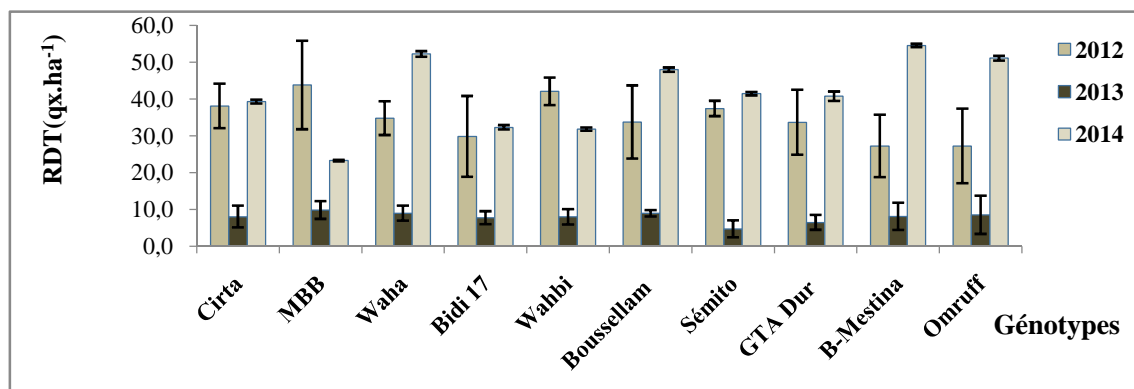


Figure III. 20. Variation du rendement en grains durant les années favorables et défavorables de l'essai (2012-2014 et 2013)

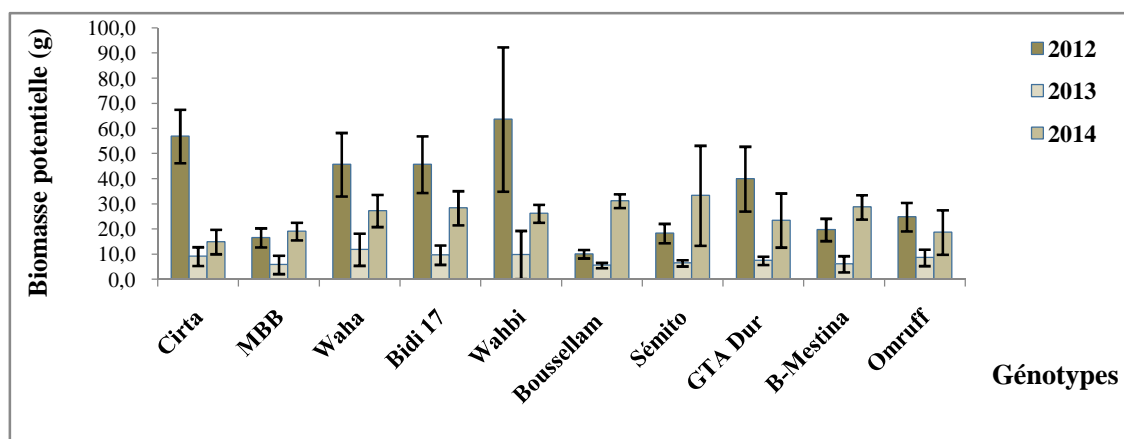


Figure III. 21. Variation de la biomasse potentielle chez les dix géotypes testés durant les années favorables et défavorables de l'essai (2012-2014 et 2013)

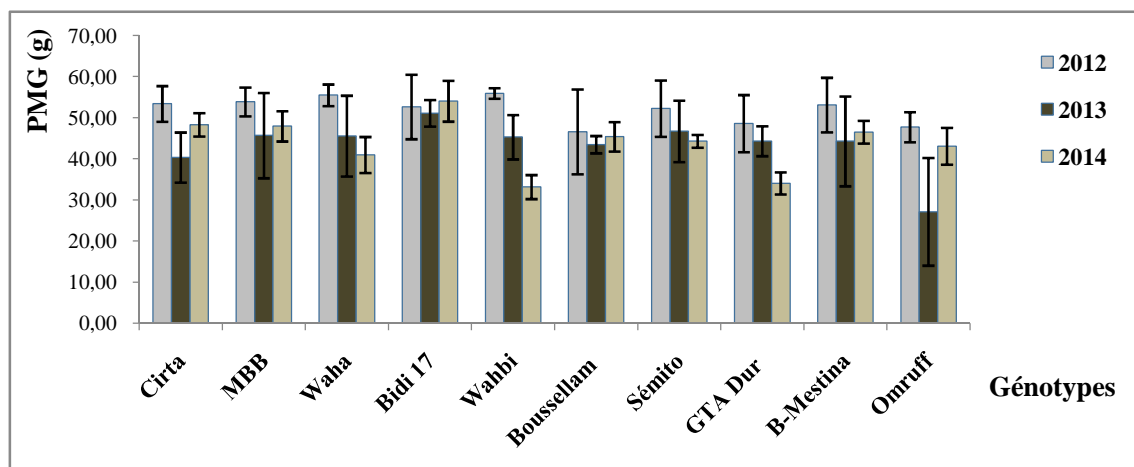


Figure III. 22. Variation de poids de milles grains PMG durant les années favorables et défavorables de l'essai (2012-2014 et 2013)

c. Variation du nombre de grains par épi, du poids de l'épi et du PMG

Le résultat de l'analyse montre que les valeurs moyennes des composantes à savoir, le nombre de grains par épi, le poids de l'épi et le poids de milles grains (PMG) sont significativement différentes d'un génotype à un autre et d'une année à l'autre.

Concernant le nombre de grains par épi, la campagne 2012 semble être la meilleure en termes de production pour ce caractère avec une moyenne de $63,5 \pm 9,68$, soit un taux d'augmentation de 43% par rapport à l'année 2013 (année sèche), suivie par la campagne 2014 avec une valeur de $43,65 \pm 9,57$. La campagne 2013 se positionne en dernier avec $36,20 \pm 7,63$ grains par épi.

En effet, en année humide (2012), ce sont les variétés Cirta, Omruff, Boussellam, Beni Mestina, Mohamed Ben Bachir, GTA Dur et Wahbi qui paraissent les plus fertiles avec des valeurs du NG/épi variant entre ($74,75 \pm 3,94$ et $63 \pm 7,78$) comparativement aux autres variétés. Toutefois, nous constatons d'après nos résultats que la variété Cirta affiche non seulement un NG/épi élevé mais également un PMG, une biomasse, un poids d'épi et un nombre d'épi par m^2 les plus élevés et de ce fait occupe en termes de rendement en grains et de talles fertiles, le troisième rang.

Quant à la variété Boussellam, cette dernière accuse la plus faible valeur du poids de l'épi, du PMG et de rendement en paille (biomasse).

Sachant que la campagne 2014 souffre d'un manque de précipitations durant le mois d'avril (6,4 mm), et qui pourrait éventuellement coïncider avec le remplissage du grain et induire probablement une baisse du NG/épi, du rendement en grains et biomasse. Les valeurs moyennes du NG/épi affichées durant cette campagne sont de l'ordre de $43,65 \pm 9,57$, ce qui représente un déficit de 20 grains par épis par rapport à l'année 2012.

Notons par ailleurs que la variété Cirta semble être la plus sensible à la sécheresse pour les composantes : poids de l'épi, biomasse et rendement en grains.

A l'opposé, les génotypes les moins sensibles à la sécheresse dans le cas de l'année 2014 sont : Boussellam, Bidi 17 et Waha. Ces deux génotypes ont été trouvés également les plus précoces et peuvent éventuellement échapper à la sécheresse.

Alors que, le génotype Bidi 17 dit tardif, est inscrit parmi les derniers en matière de production de rendement en grains et en paille (Annexe 2, 8 et 9).

En année sèche (2013), tous les génotypes expérimentés ont été affectés par le stress hydrique. Les valeurs de ce trait agronomique sont nettement inférieures ($36,20 \pm 7,63$) avec une réduction de l'ordre de 43% par rapport aux années favorables 2012 et 2014. Le nombre de grains par épi le plus faible est attribué au génotype Wahbi ($30,31 \pm 9,19$).

Le PMG est un caractère variétal associé au rendement en grains. En année favorable (2012), les valeurs du PMG sont comprises entre $55,93 \pm 1,27$ g et $46,58 \pm 10,32$ g. Les génotypes Wahbi et Waha présentent les meilleures valeurs du PMG, ($55,93 \pm 1,27$ et $55,49 \pm 2,62$) ce qui explique en d'autres termes leurs performances constatées également en matière de rendement en grains. Il est à signaler que, la performance du rendement en grains de la variété Wahbi pourrait s'expliquer par ses origines génétiques intrinsèques. En effet, cette variété est issue du croisement entre les parents anciens et locaux Waha et Bidi17. Ces deux variétés ont acquis adaptation et rusticité à travers une évolution très longue sous les conditions du climat semi-aride Algérien. De ce fait, Waha et Bidi 17 sont d'après les sélectionneurs réputées comme étant des variétés candidates.

En années 2013 (année sèche) et 2014 (année dite favorable), Les valeurs de PMG affichées pour les deux années sont sensiblement les mêmes ($43,77 \pm 6,88$ et $43,39 \pm 9,93$). On note cependant une diminution de 17% par rapport à l'année (2012). Néanmoins, le génotype Omruff se démarque des autres variétés avec un PMG plus faible ($27,12 \pm 13,09$ g). A noter que ce génotype se caractérise par une plus faible longueur de l'épi (Figure III. 22 ; Annexe 8).

d. Variation du nombre d'épis, du nombre de talles fertiles et de l'indice de tallage

D'après l'analyse statistique, il s'avère que le peuplement épis au mètre carré à diminué en année défavorable (2013) par rapport aux années (2012-2014) soit $194,56 \pm 49,93$ épis contre $357,025 \pm 68,31$ épis et $449,5 \pm 97,49$ épis respectivement. Ce qui représente un déficit allant de 160 à 254 épis par m².

En 2012, année humide, six variétés se distinguent comme prometteuses. Ce sont les variétés Cirta, Mohamed Ben Bachir, GTA Dur, Waha, Wahbi et Bidi17 avec des valeurs variant entre $443,75 \pm 35,27$ et $360 \pm 21,21$.

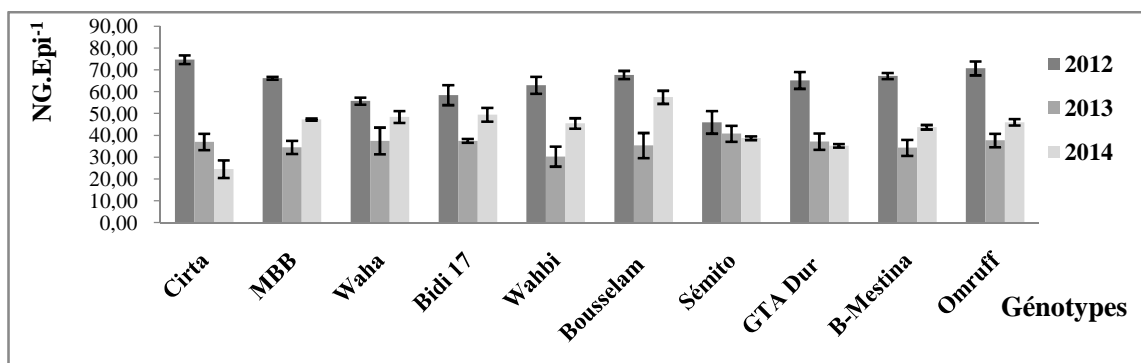


Figure III.23. Variation du nombre de grains par plante (années favorables et défavorable 2012-2014 et 2013)

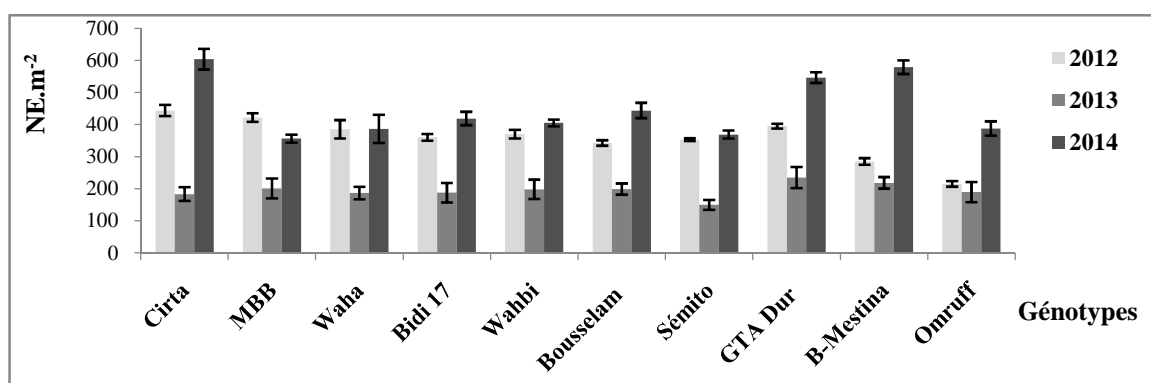


Figure III.24. Variation du nombre d'épis par m² (années favorables et défavorables 2012-2014 et 2013)

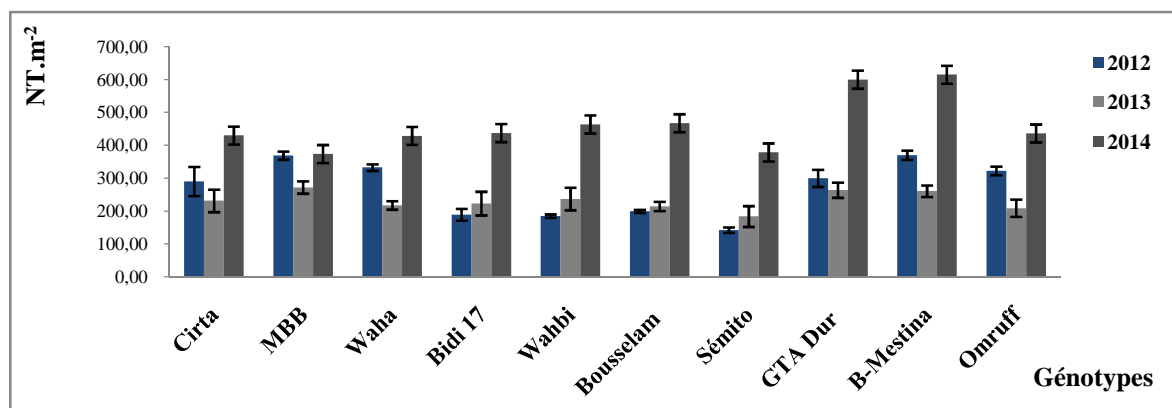


Figure III.25. Variation du nombre de tiges par m² (années favorables et défavorables 2012-2014 et 2013)

A noter par ailleurs, que les variétés dites locales affichent en plus du NEp.m⁻², un rendement en grains, un nombre de grains par épi et une biomasse conséquente par rapport aux variétés améliorées. Ce résultat était prévisible et attendu sans doute attribué à leur longue adaptation et rusticité. A l'opposé, le génotype Omruff, variété améliorée accuse par contre le NEp.m⁻² le plus faible.

Lors de l'année sèche (2013), les dix génotypes ont montré des variations significatives, indiquant que leur comportement et leurs performances de production ont été différents. C'est-à-dire pour une variété donnée, ce caractère (Nepi/m²) peut varier en fonction de l'environnement du climat et du type de sol. Les variétés ayant un bon tallage épi permettent en principe l'obtention d'un bon rendement en grains (Kara, 2000 ; Morsli, 2010).

Durant cette campagne (2013), tous les génotypes semblent être affectés par la contrainte hydrique, cependant, GTA Dur, Ben Mestina, Mohamed Ben Bachir, Boussellam et Wahbi enregistrent des valeurs du NEp.m⁻² légèrement supérieures. Sémito dans ce cas de figure est la plus affectée par le stress hydrique.

Pour ce qui est du paramètre tallage, tous les génotypes en année sèche ont une moyenne de 231,19 talles ±53,25 contre 463,13 talles ±89,36 en année 2014 soit un écart de -232 talles. La campagne (2014) est la plus performante en termes de tallages herbacées. Ainsi, Beni Mestina et GTA Dur, dans ce contexte affichent les meilleures valeurs du nombre de talles, suivies par Wahbi, Boussellam, Cirta et Waha et en dernier Mohamed Ben Bachir.

D'un point de vue de l'indice de tallage variétal (rapport du nombre d'épis par m² sur nombre de plantes levées, il varie en fonction de l'année, soit 1,53±0,35 (année défavorable 2013) à 2,26±0,48 (année favorable 2012) et 2,38±0,64 (année favorable 2014).

Le génotype Sémito se classe en premier avec un indice de tallage élevé (2,70±0,43) suivi de Wahbi (2,65±0,26), GTA Dur (2,65±0,43), Cirta (2,58±0,17), Boussellam (2,49±0,19) et Omruff (1,62±0,42) se classe en dernier.

En année défavorable (2013), le classement des génotypes change radicalement pour ce trait. Le classement des génotypes est le suivant : Wahbi (1,79±0,26), Boussellam (1,63±0,29), GTA Dur (1,62±0,38), Mohamed Ben Bachir (1,57±0,50), Cirta (1,54±0,12), Beni Mestina (1,538±0,13), Bidi 17 (1,535±0,49), Waha (1,51±0,32), Sémito (1,43±0,29) et Omruff (1,07±0,40).

I. 3. 2. Interaction génotype×année

L'étude globale de l'analyse de la variance (effet génotype, effet année et interactions génotype×année) des trois campagnes montre qu'à travers ce résultat, 3 groupes de génotypes distincts se dégagent en terme de rendement en grains :

- Un groupe productif : représenté respectivement par les variétés Waha, Boussellam et Beni Mestina ;
- Un groupe intermédiaire : représenté par les variétés Omruff, Cirta, Wahbi, Sémito et GTA Dur ;
- Un groupe peu productif : représenté par Mohamed Ben Bachir et Bidi 17 (Annexe 9).

I. 3.3. Relation entre indice de sensibilité à la sécheresse (ISS) et rendement

L'indice de sensibilité à la sécheresse se calcule de la façon suivante :

$$S = (1 - Y_d/Y_p/D)$$

Tableau III.11. Indice de sensibilité à la sécheresse durant les années favorables et défavorables de l'essai (2012-2014 et 2013)

	Indice de sensibilité à la sécheresse	
	ISS (2013/014)	ISS (2013/012)
Cirta	0,98±0,09	1,018±0,10
MBB	0,71±0,13	0,97±0,15
Waha	1,02±0,04	0,95±0,12
Bidi17	0,94±0,06	0,93±0,14
Wahbi	0,92±0,08	1,05±0,05
Boussellam	1,004±0,023	0,92±0,16
Sémito	1,094±0,06	1,134±0,08
GTA Dur	1,049±0,05	1,02±0,15
Beni Mestina	1,051±0,08	0,90±0,19
Omruff	1,029±0,12	0,82±0,36

Dans notre étude, les deux campagnes 2012 et 2014 avec un rendement élevé de 34,79 qx.ha⁻¹± 9,12 et de 41,47 qx.ha⁻¹± 9,81 et un cumul pluviométrique de l'ordre de 574,5 et 518,4 mm sont qualifiées de favorables.

Alors que, la campagne (2013) est dite défavorable (rendement faible $7,92 \text{ qx.ha}^{-1} \pm 2,72$, cumul pluviométrique avoisinant les 392,3 mm. Les résultats indiquent que plus l'indice est élevé plus la sensibilité au stress est accrue.

A. Indice de sensibilité (année 2013-2014)

En année 2013 et 2014, l'ISS varie entre $0,71 \pm 0,13$ et $1,094 \pm 0,06$. Les variétés Mohamed Ben Bachir, Wahbi, Bidi 17 et Cirta, ont un indice inférieur à 1, cela signifie que ces variétés sont tolérantes à la sécheresse (Tableau III.11). Boussellam, GTA Dur, Beni Mestina et Sémito ont un indice supérieur à 1, ces variétés sont donc sensibles au stress hydrique. Omruff et Waha, ont un indice égal à 1, ces deux variétés sont considérées comme intermédiaires entre les groupes précédents.

Cet indice permet de classer les variétés dans l'ordre de tolérance suivant: Mohamed Ben Bachir > Cirta > Wahbi > Bidi 17 > Boussellam > Omruff > GTA Dur > Beni Mestina > Sémito.

B. Indice de sensibilité (année 2013-2012)

En revanche, en année 2012 et 2013, la position des géotypes face à la sécheresse change. Le classement des géotypes les plus tolérants par ordre de sensibilité croissant est différent par rapport à l'année précédente 2014. Omruff ($0,82 \pm 0,36$), Beni Mestina ($0,90 \pm 0,19$), Boussellam ($0,92 \pm 0,16$), Bidi 17 ($0,93 \pm 0,14$), Waha ($0,95 \pm 0,12$), Mohamed Ben Bachir ($0,97 \pm 0,15$), Cirta ($1,02 \pm 0,105$) et GTA Dur ($1,02 \pm 0,15$), Wahbi ($1,05 \pm 0,05$), Sémito ($1,134 \pm 0,08$). Quelque soit l'année ou l'on se positionne, sémito occupe le dernier rang.

Le changement du classement des géotypes est une indication de la présence de l'interaction géotype \times milieu (Yan *et al.*, 2000).

Les résultats obtenus (Figure III. 26) montrent qu'il existe une corrélation négative significative entre le rendement en grains et l'indice de sensibilité à la sécheresse, coefficients de corrélation égaux respectivement à $r = -0,80^{***}$ et $r = -0,73^{***}$.

Les variétés les plus productives étant généralement les moins sensibles au déficit hydrique (Bayoumi *et al.*, 2008).

Ceci montre clairement que plus le rendement est faible plus l'indice devient plus croissant. En d'autres termes, les génotypes qui valorisent les conditions contraignantes du milieu, assurant un minimum du rendement sont les génotypes les plus tolérants.

Ce résultat est en accord avec ceux de Fischer et Maurer, (1978) qui montrent que le rendement en grains sous stress hydrique est le résultat de plusieurs facteurs et leurs interactions dominées par la sensibilité au déficit hydrique, le potentiel de production et l'esquive.

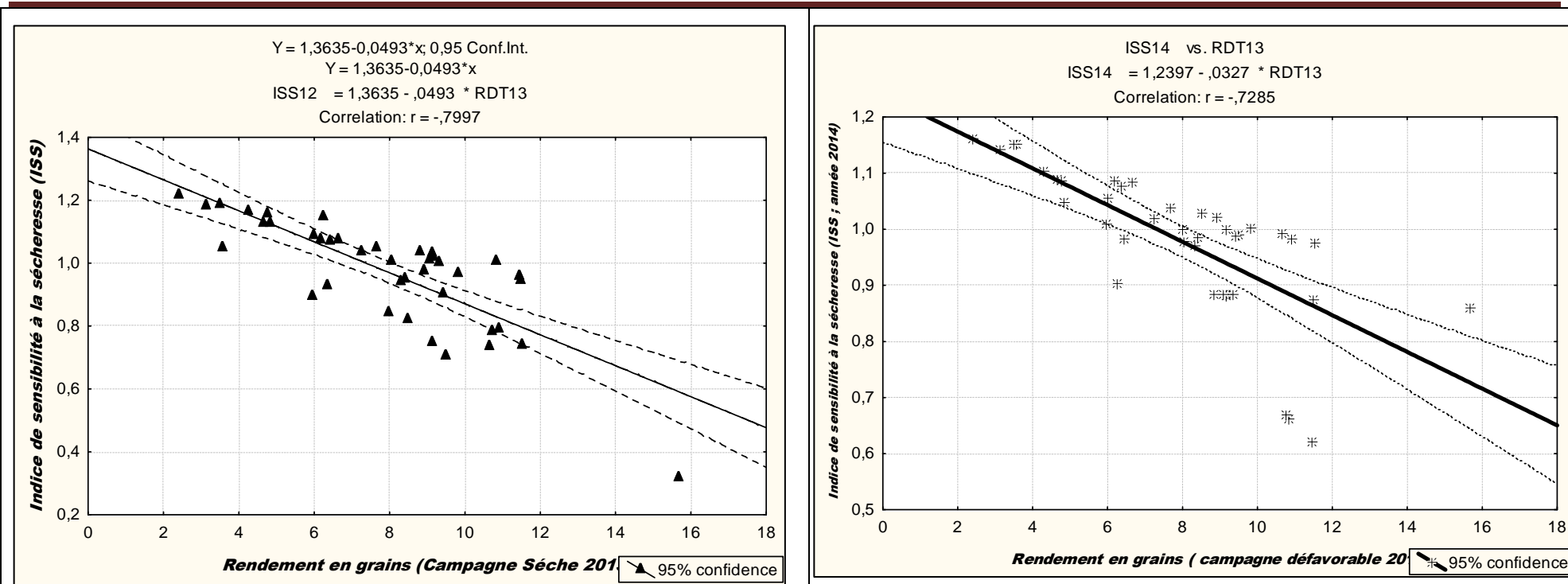


Figure III.26. Corrélations entre l'indice de sensibilité à la sécheresse et le rendement potentiel (qx.ha⁻¹) en années favorables (2012-2014) et année défavorable(2013)

I. 3.4. Corrélation entre indice de récolte (IRR) et rendement en grains

L'indice de récolte est défini comme étant le rapport entre le rendement en grains et la biomasse. Ce rapport ne montre pas de différences significatives entre les campagnes d'étude (2012, 2013 et 2014). L'analyse statistique (ANOVA) montre un effet année non significatif pour l'IRR (Tableau III.10).

En revanche, l'analyse statistique révèle un effet significatif entre les génotypes (Tableau III.10). Durant la campagne humide (2012), Sémito prend le plus fort indice de récolte avec $1,50 \pm 0,60$. Ce résultat pourrait être associé à sa faible productivité en biomasse notée durant cette année. A l'opposé, Waha, Cirta et Bidi 17 se distinguent par les plus faibles valeurs de cet indice ($0,25 \pm 0,06$ à $0,22 \pm 0,14$). Soit une diminution de 83,33%. En effet, ces génotypes semblent être les meilleurs en matière de rendement en biomasse.

En année sèche (2013), les variétés Mohamed Ben Bachir et Boussellam se distinguent des autres génotypes par des valeurs élevées de l'indice de récolte (résultat indubitablement attribué à leur productivité élevée notée durant cette année), suivie de Wahbi et Beni Mestina avec des valeurs intermédiaires. L'IRR le plus faible est celui du génotype Omruff avec $0,32 \pm 0,09$ soit une diminution de 66% par rapport au témoin (variété Mohamed Ben Bachir).

En année humide 2014, la sélection des variétés sur la base de l'indice de récolte nous donne le classement suivant : Omruff > Sémito > Cirta > Boussellam > Waha > GTA Dur > Beni Mestina > Mohamed Ben Bachir > Bidi 17 > Wahbi.

A titre indicatif, le rendement du génotype Omruff est variable d'une année à l'autre, ce qui dénote que ce génotype n'est pas stable et donne de bon rendement qu'en milieu favorable.

En se basant sur les droites de régression linéaires, les résultats montrent qu'il existe une corrélation significative enregistrée entre l'indice de récolte et la variable rendement en grains durant l'année humide 2012. Coefficient de corrélation égale ($r = 0,608^{**}$; Figure III. 27).

En année sèche, la figure (III. 28) montre l'inexistence de corrélation entre l'IRR et le rendement ($r = 0,023$). Ce résultat est en accord avec ceux de Debaeke et *al.*, 1996, qui montrent que l'indice de récolte chute progressivement en cas de stress hydrique.

L'indice de récolte du blé apparaît particulièrement sensible à défaut d'alimentation hydrique. D'après Steduto et al, (1986), la valeur de l'indice de récolte peut diminuer sous l'effet d'une contrainte hydrique à une valeur minimale soit (0,17).

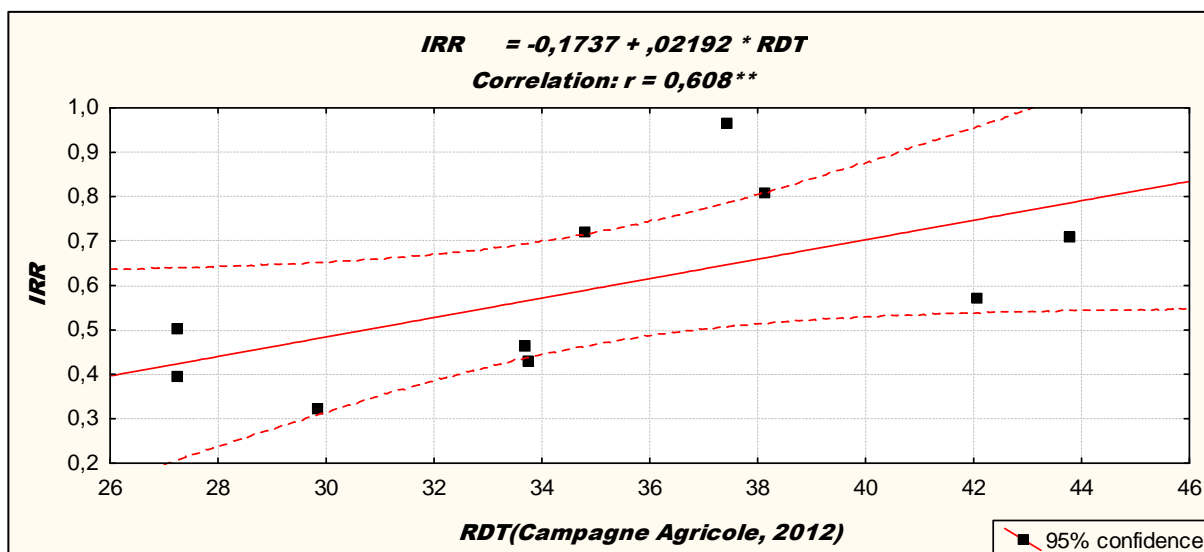


Figure III. 27. Corrélation entre Indice de récolte (IRR) et rendement (année humide 2012)

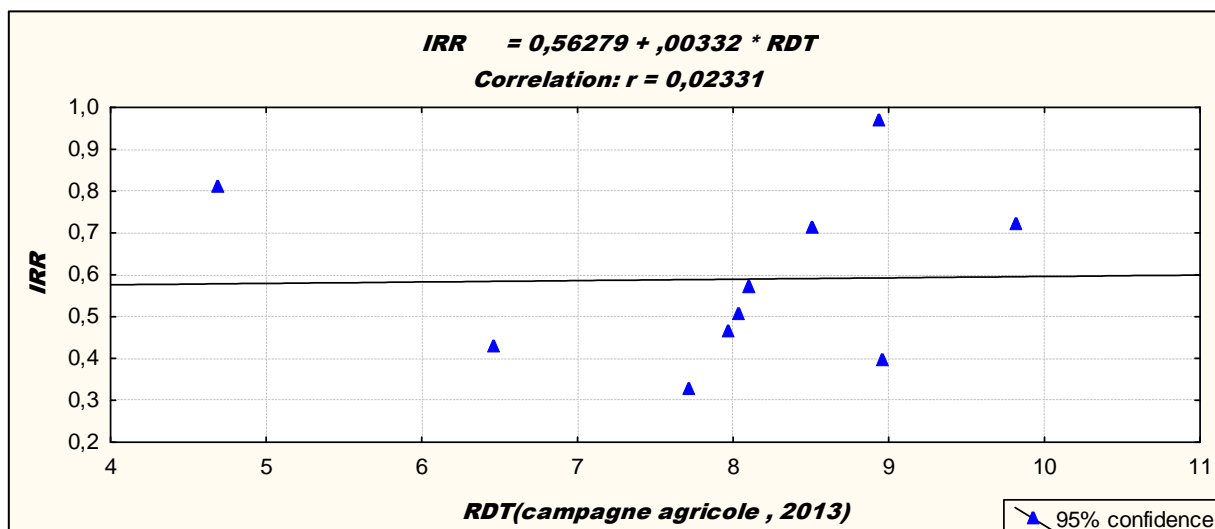


Figure III. 28. Corrélation entre Indice de récolte (IRR) et rendement (année sèche 2013)

I. 3. 5. Analyse en composantes principales

A. Etude de l'année humide (campagne agricole 2012)

En année favorable 2012, le cumul des précipitations avoisinait les 574,5 mm couplée avec des températures basses comprises entre -6 et 11°C. Les résultats en matière de rendement en grains donnaient dans cette campagne que Mohamed Ben Bachir par exemple est la variété la plus performante. Ceci nous amène à postuler que le blé en général est sous la dominance des aléas climatiques à savoir températures et pluviométrie. C'est la raison pour laquelle, nous avons introduit dans notre étude statistique ayant trait aux composantes principales ces deux facteurs : températures et précipitations.

En vue de procéder à une interprétation tenant compte de l'ensemble des variables étudiées (rendement et ses composantes, ainsi que les données climatologiques). Une analyse en composantes principales a été effectuée sur cet essai menée sur le site d'El-khroub, en vue de mettre en évidence les relations d'associations et d'oppositions des différentes variables analysées et de comparer les différents individus. Le pourcentage d'information donné par l'axe 1 est de 31,6 % et celui donné par l'axe 2 est de 19,5 % soit un total de 51,1%. L'interprétation peut donc être limitée à ces deux premières composantes à grand pouvoir discriminant (Tableau III .12 ; Figure III. 29 et III. 30).

Sur le premier axe, du côté positif, on trouve la variable IRR indice de récolte avec un coefficient de corrélation avec l'axe 1 égal à 0,65**.

A l'opposé, du côté négatif, ce sont surtout les composantes, nombre de plante par m², nombre d'épis par m², biomasse, poids de l'épi, poids de milles grains, longueur de l'épi et des barbes et la hauteur de la plante qui montrent la plus forte contribution (coefficients de corrélations avec l'axe 1 égaux respectivement à : -0,67** ; -0,71** ; -0,79***; -0,64** ; -0,73** ; -0,61** ; -0,78*** et -0,59**). Quant aux données climatologiques, l'axe 1 est également corrélé négativement avec la température maximale ($r=-0,72^{**}$) (Tableau III .12 ; Figure III. 29).

Sur l'axe 2, les composantes : poids de l'épi, rendement en grains, date d'épiaison et la température minimale contribuent à la formation du côté positif de cet axe (coefficients de corrélations avec l'axe 2, $r=0,59^{**}$, $r=0,80^{***}$, $r=0,58^{**}$ et $r=0,52^{*}$).

Tableau III. 12. Matrice de coefficients de corrélation des différentes variables analysées (rendement et ses composantes et données climatologiques; année favorables 2012)

	NP/m ²	NT/PL	NT/ m ²	DE	NEP/m ²	NEP/PL	SF	LE	LB	HP	CE	NG/Epi	Bio	PEP	PMG	IRR	RDT	T MX	T MIN	PLUV
NT/PL	0,17	1,00																		
NT/ m ²	0,34	0,10	1,00																	
DE	0,09	-0,31	-0,14	1,00																
NEP/m ²	0,47*	0,15	-0,07	0,41	1,00															
NEP/PL	0,50*	0,24	0,61*	0,23	0,56	1,00														
SF	0,49*	0,22	0,29	-0,01	-0,33	0,10	1,00													
LE	0,15	0,53*	-0,40	0,13	0,46*	0,14	-0,20	1,00												
LB	0,62*	0,11	-0,41	0,28	0,50*	0,03	0,09	0,68*	1,00											
HP	0,69*	0,19	-0,12	0,01	0,13	0,07	0,39	0,51*	0,84***	1,00										
CE	0,20	0,39	-0,43	0,04	0,08	0,11	0,41	0,54*	0,46	0,56*	1,00									
NG/Epi	-0,02	0,34	0,51*	-0,17	-0,06	0,62*	-0,01	0,26	-0,20	0,02	0,10	1,00								
Bio	0,28	0,31	-0,15	0,48*	0,41	0,21	0,26	0,64*	0,52*	0,28	0,38	0,08	1,00							
PEP	0,33	-0,40	-0,05	0,58*	0,69**	0,27	-0,23	0,17	0,42	0,12	-0,06	-0,29	0,43	1,00						
PMG	0,48	0,12	0,07	0,74**	0,45	0,33	0,44	0,09	0,33	0,20	0,21	-0,30	0,54*	0,48*	1,00					
IRR	-0,48*	-0,22	-0,25	-0,24	-0,16	-0,24	-0,59*	-0,28	-0,34	-0,36	-0,28	-0,08	-0,81***	-0,40	-0,52*	1,00				
RDT	0,09	-0,32	-0,17	0,80***	0,74**	0,40	-0,43	0,15	0,24	-0,16	-0,11	-0,12	0,24	0,67**	0,49*	0,10	1,00			
T MAX	-0,64*	-0,20	0,21	-0,42	-0,77***	-0,42	-0,03	-0,42	-0,69*	-0,42	-0,29	0,13	-0,35	-0,33	-0,52*	0,07	-0,60**	1,00		
TMIN	0,42	-0,11	0,60*	-0,24	-0,43	0,19	0,80***	-0,48*	-0,18	0,21	0,08	0,16	-0,04	-0,11	0,08	-0,49*	-0,51*	0,29	1,00	
PLUVIO	-0,18	0,00	-0,31	-0,25	0,14	-0,16	-0,69**	0,18	0,12	0,01	-0,22	0,03	-0,51*	-0,26	-0,52*	0,82***	0,15	-0,24	-0,66*	1,00
N.J.Gelées	-0,38	0,03	-0,81***	0,28	0,00	-0,49*	-0,39	0,49*	0,38	0,15	0,24	-0,22	0,09	-0,15	-0,07	0,40	0,24	-0,24	-0,76*	0,55*

NP/m²: nombre de plantes par mètre carré, NT /p: nombre de talles par plante ; NT/m²: nombre de talles mètre carré: NEP/m²: nombre d'épi par mètre carré; NEP/p: d'épi par plante; DE (jours): date d'épiaison, SF: surface foliaire HP: hauteur de la plante, CE: Col de l'épi , LB : longueur de barbes , LE : longueur de l'épi ; NG/Epi: nombre de grains par épi, Bio : Biomasse, PEP: poids de l'épi, PMG: poids de mille grains, RDT: rendement en grains ; IRR : Indice de récolte ; T MAX : Température maximale, T MIN : Température minimale, PLUV : Pluviométrie (mm), Gelée : Nombre de jours de gelées.

Du côté négatif, ce sont les variables, nombre de talles par plante, surface foliaire et col de l'épi qui apportent la plus forte contribution (coefficients de corrélations égaux respectivement à : $-0,64^{**}$, $-0,64^{**}$ et $-0,49^*$). La variable rendement en grains est positivement corrélé avec les composantes DE, NEP/m^2 , PEPI et PMG (coefficients de corrélations égaux respectivement à : $0,80^{***}$, $0,74^{**}$, $0,67^*$, $0,49^*$). Egalement dans ce cas de figure, le RDT est corrélé aux températures maximale et minimale ($r=-0,60^*$ et $r=-0,51^*$). Ce résultat montre clairement que le facteur température et en particulier les basses températures influencent favorablement le rendement du blé.

Le nombre de talles par m^2 est positivement corrélé au NEP par plante et au NG par épi (coefficients de corrélations égaux respectivement à : $0,61^*$ et $0,51^*$). En outre, le nombre d'épis par m^2 est positivement corrélé à la longueur de barbes ($r= 0,50^*$) et au poids de l'épi ($r= 0,69^{**}$). La longueur de l'épi est positivement corrélée à la hauteur de la plante ($r= 0,51^*$), au col de l'épi ($r= 0,54^*$), à la longueur de barbes ($r=0,68^*$) et à la biomasse ($r= 0,64^*$). La biomasse est liée à la longueur des barbes ($r=0,52^*$), au PMG ($r = 0,54^*$) et à l'indice de récolte ($-0,81^{***}$).

Concernant les facteurs climatiques (précipitations, températures et gelées), associés au rendement et ses composantes, la température maximale est corrélée au NP/m^2 ($r=-0,64^*$), au NEP/m^2 ($r=-0,77^{***}$), à la longueur de barbes ($r=-0,69^*$), au PMG ($r=-0,52^*$) et au RDT ($r=-0,60^{**}$). A la lumière de ces résultats on peut conclure que le stress hydrique ne sévit jamais seul. Il est souvent combiné à un stress thermique durant le remplissage du grain. Ce dernier affecte particulièrement les composantes à savoir PMG, longueur de barbes et rendement en grains.

Certains génotypes valorisent un rendement élevé lorsque la température est plus basse (moins de zéro). Le froid modéré permet la mise en place d'un programme d'adaptation appelé Endurcissement. En d'autres termes l'exposition au froid permet à la plante à subir la contrainte des basses températures (Jean-françois *et al.*, 2009). À titre d'exemple la variété Mohamed Ben Bachir dénote un bon rendement en grains lorsque la température est plus basse (Tableau III.12 ; Figure III. 29).

La pluviométrie est positivement corrélée à l'indice de récolte($r= 0,81^{***}$). Dans le cas de figure de cette campagne (2012), l'analyse en composantes principales (Figure III. 30) a permis de mettre en évidence trois groupes distincts :

Un premier groupe constitué principalement par les génotypes :

- Mohamed Ben Bachir, Wahbi et GTA Dur, variétés performantes qui se caractérisent par un rendement en grains, un nombre d'épis par m², un poids de l'épi et un PMG élevés.
- Sémito avec un indice de récolte élevé. A signaler par ailleurs que ce génotype accuse par contre un rendement en biomasse faible.

Les valeurs de ces variables citées précédemment sont moins importantes chez les variétés Boussellam, Beni Mestina et Omruff. Ces génotypes accusent entre autre un poids de l'épi, un PMG, une biomasse et un rendement en grains faibles. Ce groupe est donc moins performant.

De cette analyse se dégage également un groupe intermédiaire composé des variétés, Bidi 17 et Cirta et Waha. Signalons au passage, que les génotypes Cirta et Bidi 17 présentent néanmoins la hauteur de la plante, le col de l'épi, la surface foliaire et la longueur de l'épi et des barbes les plus élevés en particulier lorsque la pluviométrie devienne importante, Figure (III. 29 et III. 30).

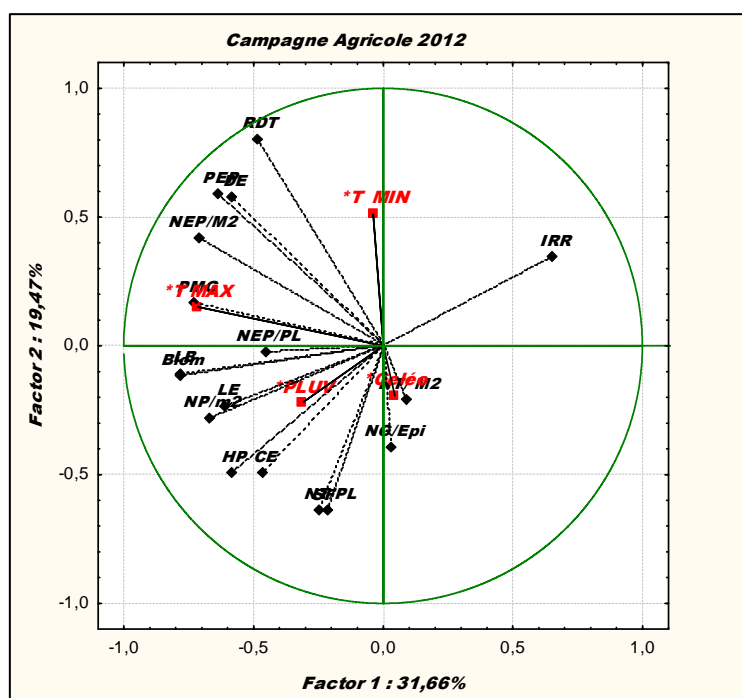


Figure III. 29. Cercle des corrélations (campagne agricole 2012)

NP/m²: nombre de plantes par mètre carré, NT/ p: nombre de talles par plante; NT/m²: nombre de talles mètre carré; NEP/m²: nombre d'épi par mètre carré; NEP/p: nombre d'épi par plante; DE (jours): date d'épiaison, SF: surface foliaire HP: hauteur de plante en cm, CE: Col de l'épi, LB: longueur de barbes, LE: longueur de l'épi; NG/Epi: nombre de grains par épi, PEP: poids de l'épi, PMG: poids de mille grains en gramme, RDT: rendement en grains; IRR: Indice de récolte; *T MAX: Température maximale, *T MIN: Température minimale, * PLUV: Pluviométrie (mm), *Gelée: nombre de jours de gelées.

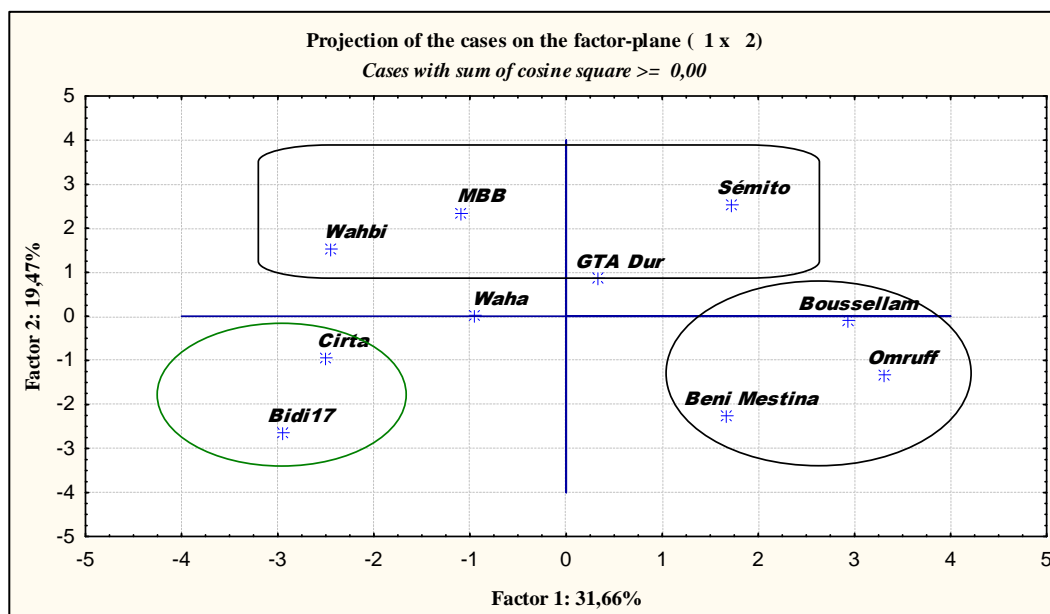


Figure III. 30. Diagramme des individus (campagne agricole 2012)

B. Année sèche (campagne agricole 2013)

En année sèche (2013), le pourcentage d'information donné par l'axe 1 est de 24,93% et celui donné par l'axe 2 est de 22,11% soit un total de 47%. L'interprétation peut donc être limitée à ces deux premiers axes à grand pouvoir discriminant (Tableau III .13 ; Figure III. 31 et III. 32).

Les variables corrélées à l'axe 1 sont : le nombre de talles par plante, la date de l'épiaison, le nombre d'épis par plante, la longueur de l'épi (LE), des barbes (LB), la hauteur de la plante (HP), le col de l'épi (CE) et la biomasse (BIO).

Leurs coefficients de corrélations sont égaux respectivement à -0,64* ; -0,73** ; -0,53* ; 0,58* ; 0,67** ; 0,57* ; 0,79* et 0,51*). L'axe 2 est fortement corrélé avec les variables poids de l'épi ($r=0,75^{***}$), PMG ($r=0,75^{***}$) et l'indice de récolte ($r=0,70^{**}$).

Le poids de milles grains est également lié au nombre de plante par m^2 ($r=-0,77^{***}$) et à la longueur de l'épi ($r=0,60^{**}$). La longueur de barbes est corrélée à la hauteur de la plante ($0,83^{***}$). La biomasse est corrélée positivement à la longueur de l'épi ($r=0,64^{**}$).

Tableau III.13. Matrice de coefficients des corrélations des différentes variables analysées (rendement et ses composantes et données climatiques; année défavorables 2013)

	NP/m ²	NT/PL	NT/ m ²	DE	NEP/m ²	NEP/PL	SF	LE	LB	HP	CE	NG/Epi	Bio	PEP	PMG	IRR	RDT	T ° MAX	T ° MIN	PLUV
NT/PL	-0,07	1,00																		
NT/ m ²	0,18	0,54*	1,00																	
DE (jour)	-0,08	0,26	0,32	1,00																
NEP/m ²	0,42	0,70***	0,83***	0,06	1,00															
NEP/PL	-0,02	0,40	0,02	0,40	-0,02	1,00														
SF	-0,30	0,22	-0,14	0,58*	-0,19	-0,11	1,00													
LE	-0,31	-0,13	0,01	-0,19	-0,09	-0,50*	0,09	1,00												
LB	-0,14	-0,09	-0,02	-0,52*	0,03	-0,25	-0,34	0,51*	1,00											
HP	-0,12	-0,24	0,21	-0,27	0,09	-0,51*	-0,20	0,52*	0,83***	1,00										
CE	0,36	-0,65**	-0,26	-0,67**	-0,08	-0,57*	-0,59	0,30	0,37	0,38	1,00									
NG/Epi	0,09	-0,45	-0,56*	-0,25	-0,51*	0,02	-0,01	-0,04	0,32	0,05	0,22	1,00								
Bio	-0,07	-0,02	-0,23	-0,46	-0,18	-0,02	-0,21	0,64**	0,40	0,12	0,20	0,01	1,00							
PEP	-0,41	-0,33	0,16	0,33	-0,13	-0,40	0,16	0,40	0,16	0,51*	0,18	-0,08	-0,36	1,00						
PMG	-0,77***	0,18	0,17	0,15	-0,02	-0,25	0,30	0,60**	0,35	0,40	-0,15	-0,09	-0,01	0,70	1,00					
IRR	0,27	0,03	0,41	0,00	0,33	-0,40	0,06	0,15	0,13	0,47	0,01	-0,52*	0,11	-0,02	-0,20	1,00				
RDT	-0,35	0,08	0,40	0,41	0,17	-0,17	0,20	-0,15	-0,18	0,27	-0,25	-0,64**	-0,54*	0,56*	0,31	0,45*	1,00			
T ° CMAX	0,53*	-0,12	0,28	0,05	0,09	0,22	-0,26	-0,38	-0,21	-0,17	-0,10	0,22	-0,05	-0,42	-0,60*	0,17	-0,26	1,00		
T ° C MIN	0,39	-0,14	0,29	0,04	0,03	0,21	-0,26	-0,34	-0,14	-0,08	-0,15	0,19	-0,03	-0,37	-0,52	0,23	-0,17	0,98***	1,00	
PLUVIO	-0,49*	0,22	-0,25	0,00	-0,10	0,08	0,25	-0,29	0,04	0,05	-0,27	-0,26	-0,29	0,07	0,20	0,05	0,54*	-0,63**	-0,55*	1,00
N.J.Gelées	-0,55*	0,07	-0,47	0,15	-0,32	0,14	0,32	-0,07	-0,12	-0,19	-0,13	-0,11	-0,20	0,28	0,36	-0,40	0,29	-0,85***	-0,83***	0,77***

NP /m²: nombre de plantes par mètre carré, NT /p: nombre de talles par plante; NT/m²: nombre de talles mètre carré; NEP/m²: nombre d'épi par mètre carré; NEP/p: d'épi par plante; DE (jours): date d'épiaison, SF: surface foliaire HP: hauteur de plante en cm, CE: col de l'épi , LB : longueur de barbes , LE : longueur de l'épi ; NG/Epi: nombre de grains par épi, Bio : biomasse en gramme, PEP: poids de l'épi, PMG: poids de mille grains en gramme, RDT: rendement en grains ; IRR : Indice de récolte, T ° MAX : Température maximale, T ° MIN : Température minimale, PLUV : Pluviométrie (mm), Gelée : Nombre de jours de gelées
 *p ≤ 0,1, **p ≤ 0,05, ***p ≤ 0,001: respectivement significative, hautement significative et très hautement significative.

La position des variables (rendement et ses composantes et données climatologiques température maximale, minimale, précipitations et nombre de jours de gelées) sur les axes permet d'opposer sur l'axe 1 les variétés Cirta, GTA Dur, Wahbi et Boussellam avec un nombre d'épis par plante, un nombre de talles par plante et un nombre d'épis par m² élevés à la variété Waha caractérisée quant à elle par des valeurs faibles de ces paramètres.

De ce fait, l'axe 2 permet d'identifier à droite les génotypes : Mohamed Ben Bachir avec un rendement en grains RDT, un NT/m², un IRR et un poids de l'épi élevés. Beni Mestina associée à la variable, nombre d'épis par m² élevé et enfin Bidi17 présentant un PMG et une hauteur de la plante élevée. A gauche de l'axe 2 on trouve les variétés : Sémito et Omruff avec un rendement en grains faible.

Dans ces conditions environnementales défavorables (année sèche), le groupement des génotypes reste inchangé par rapport à la campagne précédente (2012) particulièrement les variétés MBB, Wahbi et Cirta.

Nous n'avons pas observé de corrélations significatives entre les différentes composantes étudiées et le rendement en grains en année sèche. A l'exception pour les variables nombre de grains par épi ($r = -0,64^*$), Biomasse ($r = -0,54^*$), poids de l'épi ($r = 0,56^*$). Ce constat est attribué probablement à la sécheresse terminale qui a sévi au cours de cette année.

L'absence de corrélation pourrait également être liée au fait que le rendement de certaines variétés ait été affecté par la sécheresse et probablement par d'autres stress (hautes et basses températures).

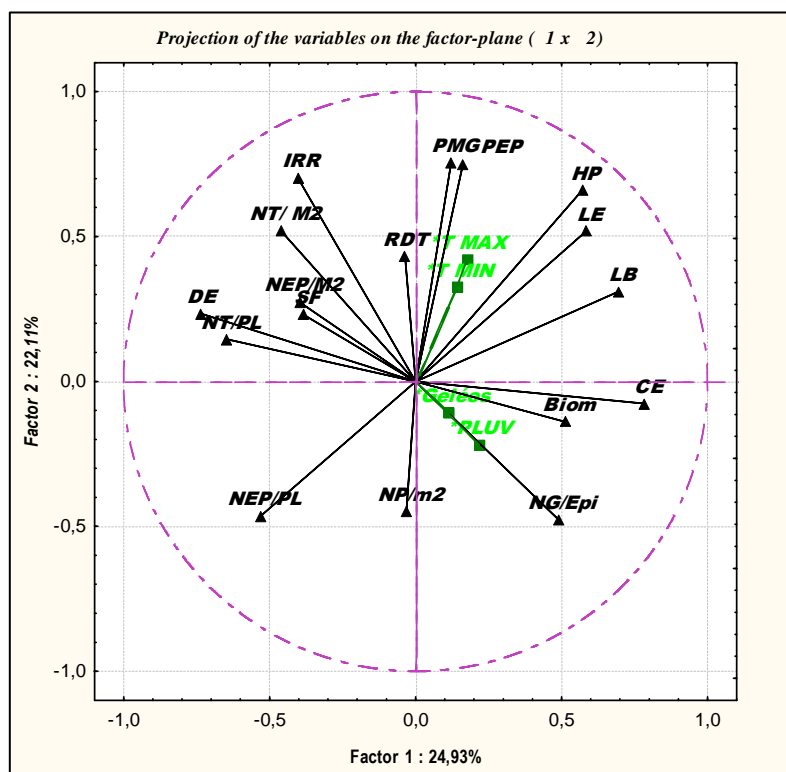


Figure III. 31. Cercle des corrélations des différentes variables évaluées (Année sèche ; 2013)

NP /m² : Nombre de plantes par mètre carré, NT /p : Nombre de talles par plante ; NT/m² : Nombre de talles mètre carré ; NEP/m² :Nombre d'épi par mètre carré; NEP/p : Nombre d'épi par plante ; DE (jours):date d'épiaison, SF :surface foliaire HP : hauteur de la plante, CE : Col de l'épi, LB : longueur de barbes, LE : longueur de l'épi ; NG/Epi: Nombre de grains par épi, PEP: Poids de l'épi, PMG :Poids de mille grains en gramme, RDT : Rendement en grains ; IRR: Indice de récolte ;*T MAX : température maximale, *T MIN : température minimale, *PLUV : Pluviométrie (mm), *Gelée : nombre de jours de gelées

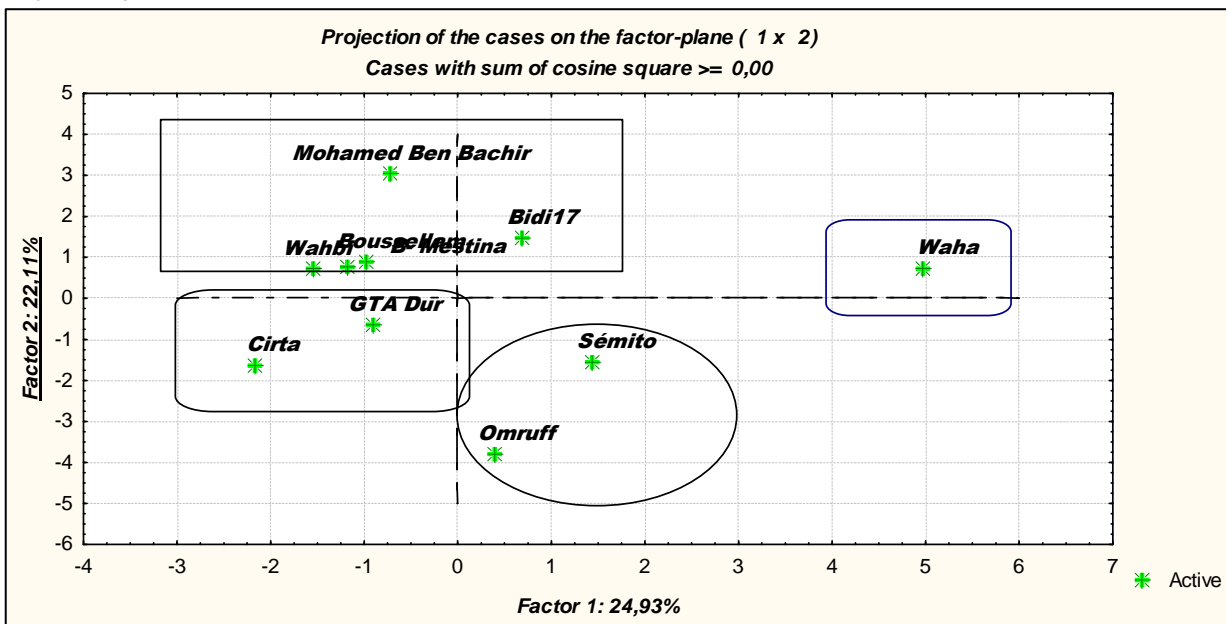


Figure III. 32. Diagramme des individus (campagne agricole 2013)

C. Année favorable (campagne agricole 2014)

Lors de cette campagne, le pourcentage d'information donné par l'axe 1 est de 27,33% et celui donné par l'axe 2 est de 23,35% soit un total de 50,67%. L'interprétation peut donc être limitée à ces deux premiers axes à grand pouvoir discriminant (Tableau III. 14 ; Figure III. 33 et III. 34).

Les variables corrélées à l'axe 1 sont : le nombre de plante par m² ($r= 0,72^{***}$), la date d'épiaison ($r= 0,86^{***}$), la surface foliaire ($r= 0,87^{***}$), la longueur de barbes ($r= -0,64^{**}$), le col de l'épi ($r= -0,84^{***}$) et l'indice de récolte ($r= -0,65^{**}$).

L'axe 2 est corrélé avec les variables : nombre de talles par m², nombre d'épis par m², longueur de l'épi (LE), nombre de talles par plante, hauteur du chaume (HP), nombre d'épi par plante, nombre de grains par épi et PMG.

Leurs coefficients de corrélations avec l'axe 2 sont égaux respectivement à $0,77^{***}$; $0,71^{**}$; $0,54^*$; $-0,73^{**}$; $-0,70^{**}$; $-0,64^{**}$; $-0,50^*$ et $-0,48^*$.

Le nombre de plante par m² est corrélé avec le nombre de talles par m² ($r= 0,52^*$), à la surface foliaire ($r= 0,76^{***}$) et à l'indice de récolte ($r= -0,68^{**}$).

Le nombre d'épis par m² est également lié au nombre de talles par m² ($r = 0,70^{***}$), au col de l'épi ($r = -0,58^*$) et au nombre de grains par épi ($r= -0,60^*$). Le nombre d'épis par plante est lié au nombre de talles par plante ($r = 0,84^{***}$).

La durée d'épiaison est liée au nombre de talles par m² ($r = 0,58^*$). La surface foliaire est liée positivement à la durée d'épiaison ($r=0,80^{***}$) et au nombre de talles par m² ($r= 0,51^*$).

Tableau III. 14. Matrice de coefficients des corrélations des différentes variables analysées (rendement et ses composantes et données climatiques ; année favorables 2014)

	NT/PL	NT/ m ²	DE	NEP/m ²	NEP/PL	SF	LE	LB	HP	CE	NG/Epi	Bio	PEP	PMG	IRR	RDT	T MAX	T MIN	PLUVIO
NP/m ²	-0,03	0,52*	0,43	0,48*	-0,01	0,76**	0,22	-0,13	0,15	-0,53*	-0,13	-0,29	0,19	-0,17	-0,13	-0,68*	-0,06	-0,03	0,02
NT/PL	1,00	-0,25	0,31	-0,49*	0,84***	0,12	-0,04	-0,50*	0,51*	0,03	0,73**	0,06	0,00	0,11	-0,22	-0,28	-0,39	-0,28	0,58*
NT/ m ²		1,00	0,58*	0,70**	-0,36	0,51*	0,43	-0,08	-0,31	-0,62*	-0,11	0,13	0,35	-0,34	0,43	-0,23	0,45	0,37	-0,07
DE			1,00	0,24	0,09	0,80***	0,16	-0,55*	0,44	-0,74**	0,18	-0,04	0,21	-0,06	-0,30	-0,45	0,17	0,16	0,19
NEP/m ²				1,00	-0,28	0,38	0,12	-0,06	-0,35	-0,58*	-0,60*	-0,26	-0,26	0,01	0,28	-0,06	0,59*	0,58*	-0,16
NEP/PL					1,00	0,08	0,01	-0,34	0,29	0,22	0,40	-0,27	-0,42	0,04	-0,24	-0,09	-0,25	-0,13	0,50*
SF						1,00	0,04	-0,26	0,43	-0,67*	0,02	-0,28	0,06	0,08	-0,26	-0,50*	0,12	0,14	0,04
LE							1,00	0,36	-0,60*	0,09	-0,03	0,34	0,09	-0,83	0,12	-0,23	-0,03	-0,22	-0,08
LB								1,00	-0,66*	0,57*	-0,07	0,36	-0,03	-0,22	0,38	0,24	-0,13	-0,27	-0,34
HP									1,00	-0,40	0,26	-0,31	0,06	0,53*	-0,59*	-0,28	-0,18	-0,03	0,13
CE										1,00	0,22	0,10	-0,07	-0,25	0,13	0,43	-0,38	-0,41	0,09
NG/Epi											1,00	0,51*	0,49*	0,11	0,09	-0,27	-0,59*	-0,53*	0,63*
Bio												1,00	0,41	-0,03	0,26	-0,24	-0,41	-0,53*	0,22
PEP													1,00	-0,28	0,16	-0,34	-0,32	-0,36	0,19
PMG														1,00	-0,10	0,04	-0,05	0,11	0,13
IRR															1,00	0,47	0,42	0,39	-0,21
RDT																1,00	0,61*	0,59*	-0,47
T MAX																	1,00	0,97***	-0,62*
T MIN																		1,00	-0,50*

NP /m²: Nombre de plantes par mètre carré, NT / p: nombre de talles par plante; NT/m²: nombre de talles mètre carré; NEP/m²: nombre d'épi par mètre carré; NEP/p: nombre d'épi par plante; DE (jours): durée d'épiaison, SF: surface foliaire HP: hauteur de la plante, CE: col de l'épi, LB: longueur de barbes, LE: longueur de l'épi; NG/Epi: nombre de grains par épi, Bio: Biomasse, PEP: Poids de l'épi, PMG: Poids de mille grains, RDT: Rendement en grains; IRR: Indice de récolte; T MAX: Température maximale, T MIN: Température minimale, PLUV: Pluviométrie (mm), Gelée: Nombre de jours de gelées.

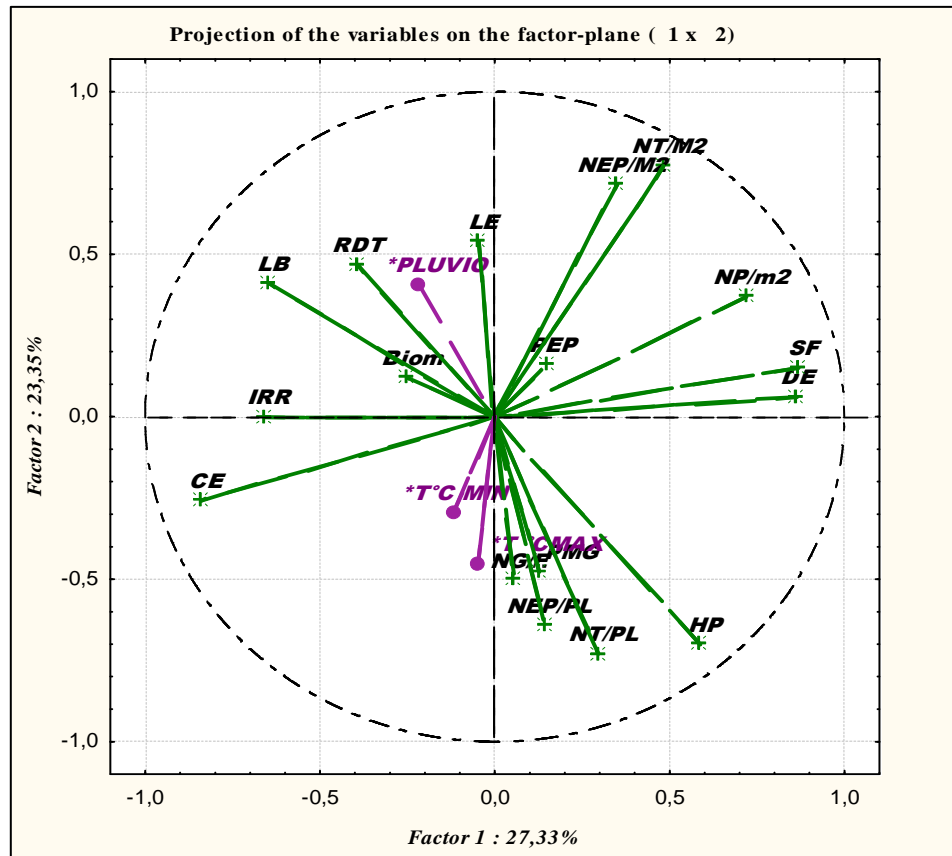


Figure III. 33. Cercle des corrélations des différentes variables évaluées (Année 2014)

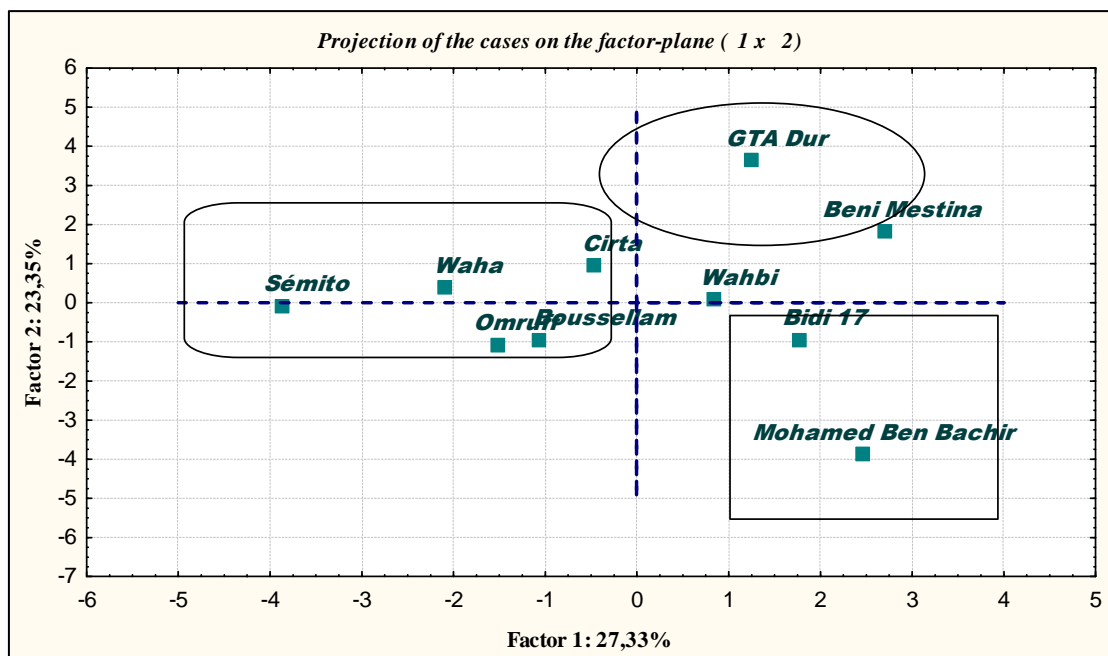


Figure III. 34. Diagramme des individus (campagne agricole 2014)

Le nombre de grains par épi est positivement corrélé à la biomasse ($r= 0,51^*$) et au poids de l'épi ($r= 0,49^*$). Le poids de milles grains est négativement lié à la longueur de l'épi ($r= -0,83^{***}$).

L'axe 1 et 2 séparent d'une façon très claire les génotypes étudiés. Cependant, pour l'axe 1, les résultats révèlent que ce sont principalement les cultivars, Waha, Bidi 17, WahbiSémito, Beni Mestina et Omruff qui ont contribué à la formation de cet axe. Le reste des variétés ont contribué à la formation de l'axe 2 (Figure III. 33 et III. 34).

Le groupe des génotypes étudiés sur la base de l'ensemble des caractères évalués conduit à l'identification de trois groupes distincts:

- Un premier groupe comprend les génotypes GTA Dur et Beni Mestina qui se caractérisent par un nombre de talles par m^2 , un nombre d'épis par m^2 , un nombre de plante par m^2 les plus élevés et la surface foliaire la plus large.
- Un deuxième groupe se compose de : Cirta, Waha, Bousellam, Wahbi et Omruff. Ces génotypes accusent des valeurs élevées du rendement en grains, de la biomasse, ainsi que des barbes et des épis plus longs.
- Un troisième groupe constitué principalement par les variétés locales Mohamed Ben Bachir et Bidi 17. Ces dernières dites tardives démontrent ainsi des durées d'épiaison plus longues et des hauteurs du chaume les plus élevées.

Nous signalons par ailleurs que la variété MBB a présenté des performances en termes de rendement en grains et s'est classée au premier rang lors des campagnes 2012 et 2013 (Figure III. 33).

Chapitre II : Synthèses des résultats

II. Synthèses des résultats

- *Essais aux conditions semi-contrôlées*

A la lumière des résultats obtenus, l'étude de certains mécanismes morpho-physiologiques d'adaptation à la sécheresse chez les géotypes de blé dur testés dans notre étude et soumis à des conditions de contrainte hydrique par arrêt d'arrosage ont montré que Cirta, Boussellam, Mohamed Ben Bachir, Bidi 17 et Wahbi présentent une capacité élevée d'ajustement osmotique, phénomène qui apparaît aujourd'hui comme un mécanisme majeur d'adaptation (Garg *et al.*, 2002; Moinuddin *et al.*, 2005).

Les géotypes accusant une grande capacité d'ajustement osmotique sont en général des géotypes qualifiés de tolérants car, tolérance et capacité d'ajustement osmotique élevée sont consubstantielles. Nos résultats vont dans le même sens que ceux de Morgan *et al.*, (1988) ; Babu *et al.*, 1999 ; Kara, (2000) ; Poormohamed kiani *et al.*, (2009) et Nouri , (2011) qui ont montré le rôle effectif de l'ajustement osmotique dans le criblage des géotypes pour la tolérance à la sécheresse.

Par ailleurs, le comportement de chaque géotype face à la contrainte hydrique est la résultante de plusieurs mécanismes liés à l'absorption et/ou à la perte d'eau, à l'ajustement osmotique, mais également aux caractéristiques morpho-physiologiques de la variété (enracinement, enroulement foliaire, taux élevé d'osmotocums, teneur relative en eau, etc ... (Kara, 2000).

Dans cette étude, ayant trait aux paramètres du statut hydrique, d'importantes variations ont été observées en conditions de déficit hydrique essentiellement pour la teneur relative en eau, potentiel osmotique, potentiel osmotique à turgescence maximale et les différents osmotocums accumulés au niveau symplasmique.

La TRE est un indicateur de choix pour la tolérance à la sécheresse et le criblage des géotypes chez le blé dur (Kara, 2001; Kara et Zoghmar, 2011 et Bouseba *et al.*, 2013). Face à un stress modéré (35% cc) et sévère (15% cc), les dix géotypes montrent une diminution significative de leur teneur relative en eau en comparaison au lot témoin (100% cc). Cette baisse de la TRE varie d'une variété à une autre selon le degré du stress. A titre indicatif, le taux de réduction par rapport au lot témoin oscille entre 23,006% (stress modéré ; 35% de la capacité au champ) et 32,72% (stress sévère ; 15% cc).

Dans notre étude, les génotypes qui semblent les moins affectés par le stress hydrique sont : Beni Mestina, GTA Dur et Boussellam. Nos résultats, semblent en parfaite adéquation et vont dans le même sens que avec ceux notamment évoqués par Chahbar *et al.*, 2016 ; Thameur *et al.*, 2011 et de Thameur *et al.*, 2012 qui stipulent que les génotypes qui maintiennent une teneur relative en eau définie comme étant une teneur variant selon l'humidité du sol et le degré du maintien de l'eau dans les tissus de la plante sont des génotypes résistants à la sécheresse.

Sur d'autres espèces dicotylédones comme par exemple le pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) Oukara *et al.*, (2017) mentionnent que le maintien de la TRE plus ou moins élevé par rapport au témoin est un mécanisme de tolérance au stress hydrique. Une étude sur le colza (*Brassica napus* L.) a montré que la TRE chute en conditions de stress. Cette diminution est plus rapide et plus importante chez les variétés sensibles (Toumi *et al.*, 2014).

Parmi le lot des génotypes étudiés, Sémito semble être le plus affecté par la contrainte hydrique. Ce résultat était prévisible et attendu compte tenu de sa faiblesse en matière de rendement (rendement le plus faible en année sèche (2013): $4,69 \pm 2,30$ qx.ha⁻¹). Aussi, Sémito affiche la valeur d'ajustement osmotique, elle-même corrélée à la TRE la plus faible de tout le lot des génotypes étudiés. Cette variété semble par conséquent génétiquement moins performante par rapport aux autres variétés testées. Nos résultats semblent corroborer ceux notamment de Chetmi, (2009) qui montre que ce génotype est non seulement instable et moins performant mais présente également un rendement par mètre linéaire, un nombre d'épillet par épis et un indice de récolte faible. Wahbi, Cirta, Mohamed Ben Bachir et Waha sont des variétés intermédiaires pour ce caractère (TRE).

Toutefois, les variétés Cirta, Boussellam, Mohamed Ben Bachir, Bidi 17 et Wahbi qui manifestent la meilleure capacité d'ajustement osmotique avec les indices qui s'y rattachent (potentiel osmotique et potentiel osmotique à turgescence maximale) est étroitement liée à une accumulation importante des sucres solubles notée particulièrement chez Cirta et Boussellam. Les sucres solubles protègent les membranes contre la déshydratation, il participent en grande partie à l'abaissement du potentiel osmotique chez le blé (Hireche, 2006). Ces osmolytes admis comme étant un excellent marqueur de tolérance au stress hydrique, témoignent des mécanismes génétiques endogènes à chacun des génotypes de blé dur étudiés (Radhouane, 2011; Hacini et Brinis, 2012). L'accumulation des sucres solubles

peut résulter d'une diminution de l'amidon dans les tissus stressés (Bouchelarem, 2012). Les réactions d'oxydoréduction sont essentielles à la croissance et à la survie des organismes, car l'oxydation des molécules organiques produit de l'énergie.

Les réactions produisant de l'énergie peuvent stimuler la synthèse de molécules d'énergie importantes, telles que l'ATP dans la glycolyse. Pour cette raison, les déshydrogénases jouent un rôle central dans le métabolisme.

Pour notre cas, il existe bel et bien une variabilité importante non seulement dans l'accumulation de la proline, mais aussi en sucres solubles. Les génotypes concernés par ce constat sont : Bidi 17, Wahbi, Boussellam et Mohamed Ben Bachir.

Par voie de conséquence, Il semblerait d'après (Rascio *et al.*, 1994 et Kara, 2000) que la capacité d'ajustement osmotique mise en évidence maintenant, tend à confirmer le rôle essentiel de ces osmolytes dans l'abaissement du potentiel osmotique chez les céréales en particulier le blé dur.

L'ajustement osmotique se rapporte spécifiquement à une augmentation nette de la concentration de solutés provoquée par des processus métaboliques déclenchés par le stress, alors qu'une certaine augmentation de la concentration en solutés pourrait être considérée comme résultant de la déshydratation de la cellule et de la diminution de son volume (Hopkins, 2003). De même, Popova *et al.*, (2002) ont montré une expression accrue de **NADP-iso citrate déshydrogénase** spécifique qui est impliquée dans la biosynthèse de la proline et qui permet le maintien de nombreuses fonctions physiologiques (photosynthèse, transpiration...)

Notons au passage que les génotypes cités plus haut qui montrent une capacité d'ajustement osmotique et un taux élevé en proline se caractérisent également par un potentiel osmotique à turgescence maximale élevé, par rapport à l'ensemble du groupe des génotypes, cas par exemple de la variété Bidi 17 ($-1,12 \pm 0,26$ MPa). Ce résultat montre que la capacité de maintenir un potentiel hydrique élevé a été considérée comme un mécanisme qui permet à la plante d'esquiver la déshydratation.

En d'autres termes, cela nous autorise à dire que ces variétés manifesteraient plutôt une tolérance à un potentiel osmotique à turgescence maximale élevé et donc le maintien de la turgescence cellulaire, Levitt, (1980).

Des variations importantes ont été notées entre les génotypes testés pour les différents osmotocums analysés indiquant que leurs comportements vis-à-vis de ces osmotocums sont contrastés d'un degré de stress à un autre.

Par ailleurs, comme nous l'avons montré plus haut que la variété Bidi 17 manifeste la plus forte valeur en proline, en revanche, cette même variété affiche une valeur faible en nitrates par rapport au témoin. Il existe donc une corrélation négative significative entre le taux de proline et la teneur en nitrates (coefficient de corrélation $r = -0,852^{***}$) ceci peut éventuellement s'expliquer par le fait qu'à ce niveau l'un de ces deux osmolytes (nitrates ou proline) est impliqué d'avantage dans la réalisation de l'ajustement osmotique (Figure III. 35).

Ce résultat suggère l'existence d'une connexion vraisemblable entre la voie de biosynthèse de la proline d'une part et l'assimilation du nitrate d'autre part. Une compétition entre ces deux osmotocums sur leur précurseur commun, le glutamate, peut être à l'origine de cette évolution (Tahri et *al.*, 1998).

Pour appuyer cette hypothèse relative à l'existence de cette connexion entre proline et nitrates, (Gate, 1995 et Lydie, 2015) expliquent ce phénomène par le métabolisme de l'azote dans la plante de blé dur. L'azote sera stocké dans la vacuole sous forme nitrique pour constituer une réserve qui s'effectuera au niveau de la tige. Les nitrates sont alors réduits dans les chloroplastes par le nitrite réductase (NIR) en ammonium (NH_4^+), lui-même, rapidement incorporé dans les molécules organiques (acide aminés). Ainsi, la plante utilisera ces nitrates pour la production accrue de la proline et par voie de conséquence réalisera l'ajustement osmotique. En définitive, Les nitrates contribuent d'une manière indirecte à l'ajustement osmotique.

Nous constatons entre autre, une fluctuation importante de la teneur en nitrates en particulier chez la variété Mohamed Ben Bachir, variété caractérisée par :

- une productivité élevée, une paille haute, un poids de l'épi et une PMG élevés quelque soit année considérée (Partie résultats et discussion; essais au champ);
- une TRE et une capacité d'ajustement osmotique élevée;
- une longue durée d'épiaison.

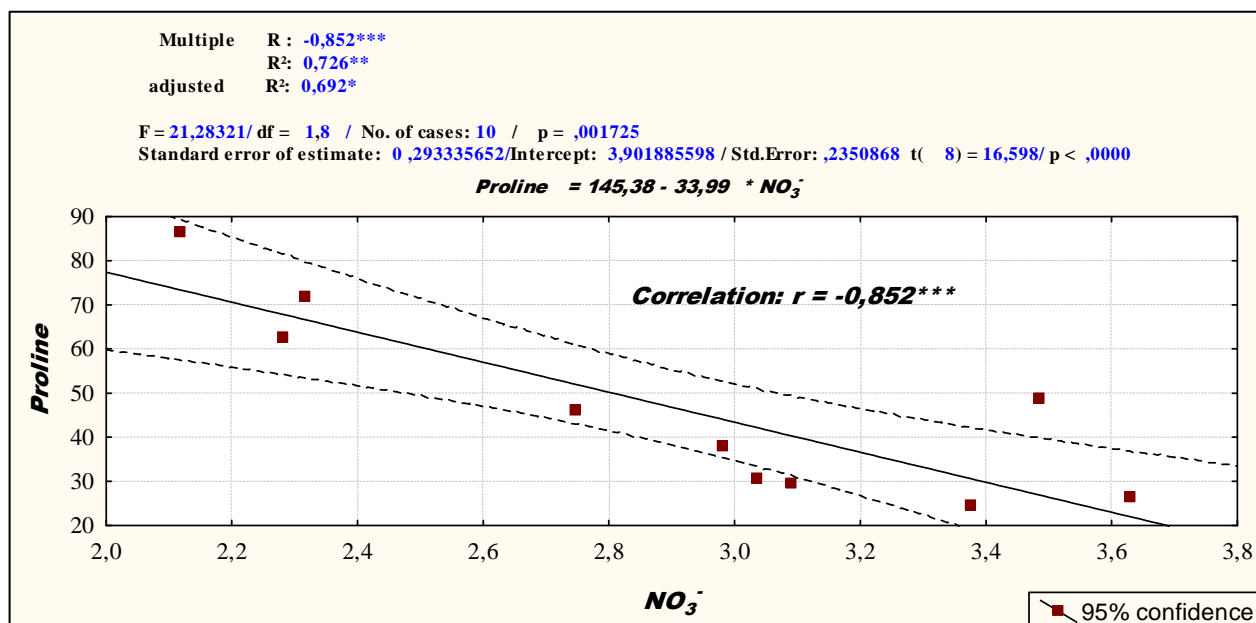


Figure III. 35. Corrélation entre le taux de la proline et la teneur en nitrates chez les génotypes étudiés.

Cette variété comparativement à l'ensemble des autres variétés manifeste une meilleure réponse vis-à-vis du stress sévère et à édifié probablement de nouveaux mécanismes d'adaptation et de nouvelles compositions cellulaires lui conférant une meilleure adaptation aux stress abiotiques. Ce résultat quoique préliminaire et isolé montre que les génotypes ayant une accumulation importante en nitrates et une paille relativement haute, sont capables de transférer les assimilats stockés vers les grains et donc meilleur rendement.

Ces résultats ayant trait à la hauteur de la plante semblent corroborer et en parfaite syntonie avec les travaux, notamment ceux de (Sassi, 2008; Blum *et al.*, 1994) qui stipulent que la hauteur de la plante est considérée comme le siège de stockage des assimilats transférables vers les grains.

Pour ce qui est les ions inorganiques à savoir potassium et sodium, ces derniers enregistrent des taux moindres en termes de concentration par rapport aux sucres solubles et proline.

Les résultats obtenus pour ces deux ions semblent à priori similaires à ceux obtenus par Elfakhri *et al.*, (2011) montrant qu'il existe entre autre un rapport de sélectivité entre ces deux macroéléments nutritifs essentiels (K⁺/Na⁺) par une compartimentation cellulaire dans les racines vers les feuilles. Le stress entraîne en effet la diminution de ce ratio, du fait que les

ions Na^+ sont en concurrence avec les ions K^+ , ce qui est défavorable pour les processus biochimiques cellulaires.

De même, une forte concentration de potassium augmente le potentiel osmotique qui entraîne une entrée d'eau à partir du milieu extérieur (Claussen et al., 1997). Le prélèvement de K^+ est essentiel pour la turgescence et le déroulement des processus biochimiques sous stress salin.

Le niveau de transcription des gènes codant pour les transporteurs de K^+ reflète probablement une différence de capacité de la plante à prélever le K^+ sous stress salin. Par exemple chez *Arabidopsis*, le stress salin augmente le niveau de transcription du gène *ATKCI* correspondant à un transporteur de K^+ (Pilot et al., 2003).

Les résultats que nous venons de rapporter sur l'analyse des cations monovalents comme les Na^+ et K^+ suggèrent une variabilité cationique de la réponse de blé comme un bon marqueur physiologique au déficit hydrique.

Excepté la variété Sémito qui accuse des valeurs presque similaires en K^+ et Na^+ , la quasi-totalité des variétés testées, accumulent en revanche plus de K^+ que de Na^+ c'est le cas des génotypes Mohamed Ben Bachir, Waha, Wahbi, Boussellam, GTA Dur et Beni Mestina. A travers des travaux récents, publiés en 2016, ces chercheurs ont confirmé que les variétés de blé accumulent plus de K^+ que de Na^+ (Chahbar et al., 2016). Aussi, ce même constat a été rapporté chez plusieurs espèces végétales comme par exemple les Triticales (Morant-Manceau et al., 2004), et l'Olivier (Navarro et Rubio, 2006; Ottow, 2005).

Nos résultats sont en parfaite adéquation et concordent avec les travaux de (Lindsay et al., 2004) sur le blé dur et de (Munns et al., 2006) et (Munns, 2002) sur le blé et l'orge suggérant que le taux élevé de K^+ conduit à un ratio K^+/Na^+ relativement important qui influe inéluctablement sur la photosynthèse. Ce dernier joue un rôle clé dans la tolérance des plantes à la sécheresse et on peut par conséquent suggérer que le ratio K^+/Na^+ peut être retenu comme technique de sélection variétale (Wyn Jones et Gorham, 1998 ; Munns et al., 2006).

Pour la teneur foliaire en Na^+ , les variétés Cirta, Bidi 17 et Omruff montrent la plus forte accumulation de ce cation comparativement à l'ensemble des variétés étudiées. Dans la littérature, il est rapporté que l'accumulation du Na^+ dans les feuilles peut causer la toxicité chez les plantes glycophytes (Shabala et al., 1998; Yousfi et al., 2010). Cette forme de

séquestration du Na⁺ en excès dans les feuilles indique l'abaissement du potentiel osmotique (Morant-Manceau et *al.*, 2004).

Mais ce comportement suppose évidemment un contrôle de la quantité accumulée du sodium dans les feuilles qui ne doivent pas perturber l'équilibre osmotique (Rush et Epstein, 1981).

Nos travaux concordent avec ceux de Bendaradji, (2013) et El-fakhri et *al.*, (2011) réalisés sur le blé tendre et dur, qui ont constatés que les génotypes qui séquestre le plus de sodium dans les feuilles sont les plus tolérants au stress hydrique et salin.

En effet, le génotype tolérant aura tendance à afficher des concentrations élevées de sodium dans les feuilles, tout en compartimentant cet ion dans la vacuole pour protéger le cytoplasme de sa toxicité. Par contre le génotype sensible exclut le sodium dans les cellules des tissus de la tige et des racines où il y a peu de réactions enzymatiques vitales pour la plante. Au niveau de la plante, les ions Na⁺ entrant par les racines, sont véhiculés par la sève xylémique jusqu'au feuillage, où ils sont soit : stockés comme c'est le cas des plantes inclusives, soit mobilisés par la sève phloémique jusqu'aux racines comme c'est le cas des plantes exclusives (Hakim et *al.*, 2010 ; Munns et *al.*, 2012).

L'analyse en composantes principales (ACP) entre la capacité d'ajustement osmotique et les différents osmotocums analysés montre que la capacité d'ajustement osmotique présente une liaison significative positive particulièrement avec les deux osmotocums, sucres solubles ($r=0,57^*$) et proline ($r=0,53^*$) (Tableau III. 5).

Ce résultat montre que l'osmotocum qui contribue préférentiellement le plus à l'ajustement osmotique est : les sucres solubles, la proline, le potassium, le sodium et en dernier les nitrates.

Il semblerait que les modalités d'ajustement osmotique varient en fonction de l'origine de la variété, de la durée du stress appliqué, la nature des osmolytes accumulés, de la variété proprement dite, ainsi que de l'organe (racine, feuilles). A noter que ces mêmes osmolytes pourraient également intervenir dans la régulation du pH cytoplasmique ou servir de réservoir de composés azotés et du carbone pour l'utilisation ultérieure dans la croissance, Pesci et Beffagna, (1984).

Il a été démontré chez de nombreuses espèces et dans différentes situations de stress (osmotique, hydriques, thermiques) que ces osmorégulateurs permettent une protection des membranes et des systèmes enzymatiques surtout dans les organes jeunes à l'image des sucres solubles et la proline qui sont considérés comme des osmotocums majeurs et qui s'accumulent dans les organes des végétaux et préférentiellement dans les feuilles en cas de stress (Monneveux et Nemmar, 1986; Belkhodja et Bidai, 2004; Radhouane, 2011; Mouri *et al.*, 2012; Chorfi et Taïbi, 2011; Chaib *et al.*, 2015; Mwadzingeni *et al.*, 2016).

Il semblerait que la proline joue un rôle particulier dans le maintien des pressions cytosol-vacuole et la régulation du pH (Ottow *et al.*, 2005). Ces osmotocums devraient s'accumuler dans le cytoplasme et les organites pour équilibrer la pression osmotique (Blum, 1996).

Lorsqu'il s'agit d'un stress salin, (Hasegawa *et al.*, 2000) trouvent que les solutés organiques qui s'accumulent préférentiellement sont le plus souvent : proline et glycine bêtaïne, et à des moindres degrés les sucres solubles. Ces derniers ont été identifiés comme des composés impliqués dans l'ajustement osmotique (Yokoi *et al.*, 2002).

Par ailleurs, nous avons pu montrer dans le cas de notre étude l'existence d'une corrélation positive significative entre la teneur en proline et la capacité d'ajustement osmotique ($r=0,53^*$). Des études récentes (Toumi *et al.*, 2014 ; Alem *et al.*, 2000) ont montré que le rôle de la proline est controversé, car des études sur l'orge montrent que cet amino-acide est corrélé négativement avec la stabilité membranaire face au stress hydrique et salin.

Les variétés présentant une forte augmentation de la proline présentent en même temps une diminution de la stabilité membranaire. Il semblerait donc compte tenu de ces hypothèses que les teneurs foliaires en proline sont impliquées d'avantage dans la réalisation des équilibres osmotiques et ioniques dans les conditions de stress que dans la stabilité membranaire cellulaires.

Au niveau de la rhizosphère, l'analyse de la variance effectuée sur les caractères morphologiques racinaires montre qu'il existe un effet significatif voire très hautement significatif.

Parmi les génotypes testés, la contrainte hydrique affecte positivement le nombre de racines principales chez tous les génotypes, ce trait a été augmenté de 34% chez les génotypes

du lot stressé par rapport aux génotypes du lot témoin. Les variétés d'origine Afrique du nord et du Moyen orient semblent toutefois les plus performantes en termes d'augmentation de NRP (cas de Mohamed Ben Bachir, Wahbi, Bidi 17, Cirta et Waha). Dans la littérature, l'aptitude à maintenir un nombre de racines primaires élevé sous stress hydrique est considérée comme permettant une meilleure accessibilité à l'eau par la plante, Elfakhri et *al.*, 2010).

Benlaribi et *al.*, (1990) mentionnent que les génotypes dans les populations d'origine algérienne semblent indiquer une moindre sensibilité au déficit hydrique de l'organogénèse racinaire. Ces génotypes affichent non seulement un (NRP) élevé mais aussi une profondeur maximale racinaire, un poids frais racinaire assez important et une capacité d'ajustement osmotique élevée.

La plus grande profondeur maximale racinaire est observée chez les génotypes Omruff, Boussellam, Beni Mestina et Sémito. Ce résultat confirme ceux de Benlaribi et *al.*, (1990) ; Ludlow et Muchow, (1988) ; Callot et *al.*, (1982) et de Sayar et *al.*, (2008) qui émettent l'hypothèse selon laquelle : une sélection pour la résistance à la sécheresse est intimement liée à une longueur des racines primaires importantes pour permettre une bonne alimentation hydrique de la plante. A noter que la variété Sémito possède un système racinaire peu développé en masse et en volume (VR, MFR et du MSR).

Concernant les autres traits, à savoir volume racinaire, nombre de racines secondaires et totales, Bidi 17 et GTA Dur sont les plus performantes par rapport aux autres génotypes. A l'opposé, ces deux variétés possèdent une profondeur maximale de la racine, une surface foliaire et une matière sèche racinaire faibles. Le volume racinaire traduit une extension et/ou une ramification du système racinaire favorisant ainsi une colonisation ou exploration importante d'un plus grand volume de terre, rendant plus accessible à la plante les réserves en eau et en éléments nutritifs du sol (Benlaribi et *al.*, 1990).

La matrice des corrélations présentées dans le tableau (III. 9) semble indiquer que les variétés qui possèdent un volume racinaire élevé produisent un nombre de racines totales élevé (NRT) en situation de déficit hydrique ($r = 0,57^*$). La longueur du système racinaire ou profondeur racinaire (PR) est toutefois corrélée négativement aux nombre de racines principales, secondaires et totales ($r = -0,67^*$, $r = -0,58^*$ et $r = -0,74^{**}$).

La profondeur maximale racinaire est positivement corrélée à la date d'épiaison ($0,50^*$). Résultat qui trouve sa confirmation dans les travaux de (Blum, 1993; Gimenez et

Fereres, 1986), qui suggèrent que les variétés tardives de blé, du sorgho et du tournesol ont un système racinaire plus développé et plus persistant, facilitant la récupération de la plante après un stress.

Ces auteurs concluent que les variétés tardives sont un meilleur choix que les variétés précoces car leur enracinement plus profond leur permet de valoriser des réserves en eau profondes. Kara, 2000, montre aussi que la précocité ne permet pas toujours un gain significatif de tolérance à la sécheresse et que les génotypes tardifs sont les plus résistants au stress thermiques (hautes températures).

Néanmoins, il faut toutefois nuancer ce postulat et dire que les variétés combinant une longue durée à l'épiaison, une capacité élevée d'ajustement osmotique et une faible productivité sont les plus tolérantes (à l'image de Mohamed Ben Bachir; année 2013/14).

L'analyse en composantes principales (ACP) a montré ainsi une liaison positive significative entre la matière fraîche racinaire (MFR) et la capacité d'ajustement osmotique ($r=0,50^*$). Toutefois, il faut bien noter que nos résultats sont en accord avec ceux de Morgan et Condon, (1986), Blum, (1998); Kara, (2000), Kara et Belkhiri, 2011, Benlaribi, (1990), Ledent, (2000) et Anatole, (2000) suggérant:

- Le rôle avantageux de l'ajustement osmotique comme un mécanisme majeur d'adaptation à la sécheresse retardant la sénescence foliaire tout en améliorant l'extraction de l'eau par les racines (Turner et al., 2001; Turner, 1997 et Jones et Turner, 1980).
- ***Essais au champ***

Concernant l'essai aux champs, les trois années de l'essai ont été très différentes d'un point de vue des aléas climatiques. Cette variabilité des aléas a permis d'étudier et d'évaluer le comportement de dix variétés testées dans deux situations différentes (année sèche et humide). Ce qui a permis de caractériser l'adaptation spécifique ou générale de chaque variété testée.

Le rendement en grains est toujours considéré comme la variable dépendante tandis que les paramètres morpho-physiologiques constituent les variables indépendantes (Acevedo et Ceccarelli, 1990). Certains de ces caractères sont susceptibles d'avoir une grande importance dans l'adaptation de la variété à son milieu.

Cependant, en année 2011/12, les variétés d'origine locales Mohamed Ben Bachir, Wahbi et Cirta se distinguent des autres génotypes par un rendement en grains, un PMG, une hauteur de la plante, une longueur de l'épi, un nombre d'épi par mètre carré ($NE. m^{-2}$), un nombre de grains par épi ($NG. Epi^{-1}$) et un poids de l'épi (PEP) élevés. Ces variétés possèdent par ailleurs une capacité d'AO élevée liée à une réduction du potentiel osmotique et un maintien de la teneur relative relativement élevé en eau par rapport à l'ensemble des variétés testées.

Ferdous *et al.*, 2010 ; Morsli, 2010, Megherbi *et al.*, 2012, Semcheddine, 2015 et Salmi *et al.*, 2015, suggèrent que le rendement en grains est la résultante d'un nombre important de grains par épi associé à un PMG et un PEP élevés témoin d'un bon remplissage des grains et par voie de conséquence un bon rendement. Ces auteurs mentionnent aussi que le nombre de grains par épis, le PMG et le nombre d'épis par plante contribuent positivement au rendement et de ce fait doivent être inclus dans un indice de sélection pour améliorer le rendement.

Pour les autres variétés en particulier Omruff, Beni Mestina et Bidi 17 se classent en dernier en matière de rendement en grains. Notons aussi que le génotype Bidi 17 qui possède un rendement faible, semble être le plus performant en termes des caractères morphologiques par rapport à l'ensemble des variétés (hauteur de la plante, col de l'épi, surface foliaire, longueur de l'épi et des barbes).

Blum (1988), montre que la hauteur du chaume avec les substrats stockés au niveau surtout du dernier entre nœud et du col de l'épi contribuent indirectement au rendement en grain sous stress.

Lors de la campagne agricole 2014, un changement radical à été notée pour le classement des génotypes en fonction de ces caractères (rendement et ses composantes) et des aléas climatiques. Les variétés Beni Mestina, Waha, Omruff et Boussellam se distinguent par un rendement, une biomasse, un poids de l'épi, une surface foliaire et un nombre de talles par mètre carré et un indice de tallage élevés. Beni Mestina et Waha variétés considérée par les sélectionneurs de l'I.T.G.C comme étant des variétés candidates et des variétés de référence. Nous signalons par ailleurs que la variété MBB qui présenté des performances en termes de rendement en grains en année 2012 est classée au dernier rang lors de cette campagne.

Un déficit pluviométrique plus marqué a été enregistré durant cette campagne surtout au mois d'Avril par rapport à la moyenne sur 25 ans (soit -52 mm). Ce dernier affecte la phase de différenciation des épillets traduisant ainsi une stérilité d'épis et par conséquent une réduction du nombre de grains par épi et du rendement (Bouzerzour et *al.*, 2002). Ainsi, les pluies abondantes de Mars ont un effet négatif sur le rendement à cause du phénomène de la verse particulièrement chez les géotypes à paille hautes (Mohamed Ben Bachir et Bidi 17 par exemple).

En année 2012/13, la contrainte hydrique affecte particulièrement le rendement en grains et ses composantes, on note une différence significative entre la moyenne des géotypes en années dites favorables (2012-14) ($41,48 \pm 9,81$ et $34,79 \pm 9,12$ qx.ha⁻¹) et la moyenne des géotypes en année sèche 2012/13 avec $7,92 \pm 2,79$ qx.ha⁻¹ soit une diminution de 80%. Acevedo, (1990) suggère que le rendement est varié beaucoup d'une année à l'autre et d'un site à l'autre, reflétant ainsi la variation dans la pluviométrie et d'autres facteurs de l'environnement (**Annexe 9**).

Toutefois, on constate la distinction des anciennes variétés Mohamed Ben Bachir, Waha, Boussellam et Cirta avec un rendement varié de $9,82 \pm 2,4$ à $8,04 \pm 2,95$ qx. ha⁻¹. Ces mêmes variétés semblent avoir un comportement satisfaisant pour les caractères de l'élaboration de rendement et les caractères morphologiques à savoir PMG, PEP, NG.Epi⁻¹, CE, LE et LB (**Annexes 3, 4, 5, 6, 7 et 8**).

Elles pourraient être considérées comme étant stables d'autant plus que ceux sont anciennes variétés et que l'on pourrait récupérer leur capacité d'adaptation locale aux différents environnements (climat, sol, ...). En effet, ces variétés sont caractérisées par leur rusticité et constituent un réservoir de gènes de résistances et surtout au stress hydrique (Sassi, 2008).

Selon Sassi (2008), la variabilité du rendement est due par des facteurs environnementaux imprévisibles (fortes ou basses températures, déficit hydrique, maladies cryptogamiques...). Le sélectionneur devrait développer des variétés adaptables.

Suivant la stratégie envisagée (recherche de l'adaptation générale ou spécifique), nous retiendrons les géotypes les plus performants sur l'ensemble des milieux (adaptation générale) ou sur certains milieux en particulier (recherche de l'adaptation spécifique), individuellement ou par comparaison à des géotypes témoins. Ces conclusions pourraient être appliquées surtout aux variétés locales (cas de Mohamed Ben Bachir et Cirta) qui se sont

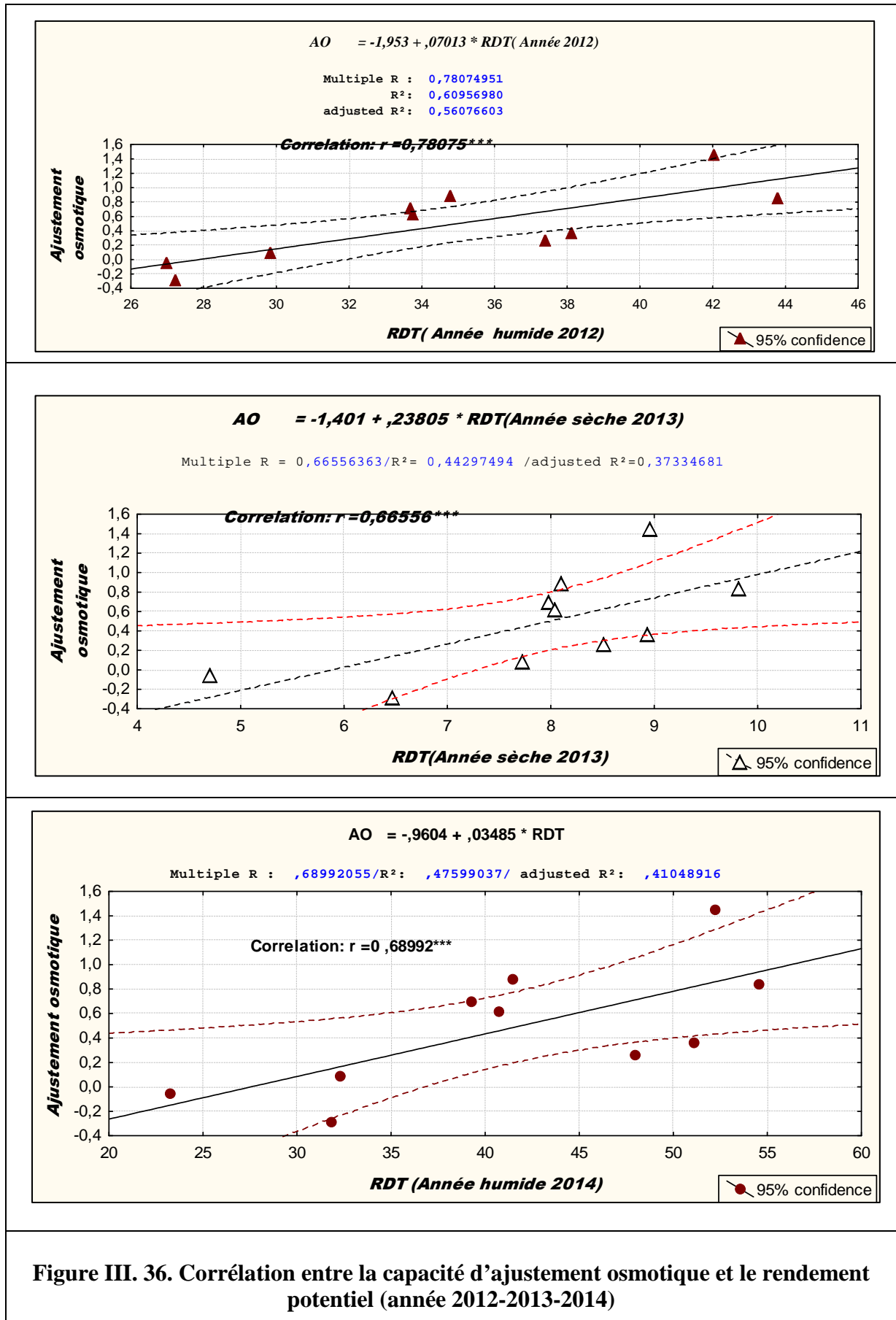
bien comportées avec des performances jugées satisfaisantes lorsque l'année est défavorable. Donc ces deux variétés répondant bien à une large gamme d'environnement et considérées comme des variétés stables et à large adaptation.

Par ailleurs, la variété sémito possède non seulement un rendement faible mais également un poids de l'épi, un $Np.m^{-2}$, un $Nt.m^{-2}$ et un $NE.m^{-2}$ faible.

Durant cette campagne le cumul des précipitations annuelles est de 392,3 mm, ce qui représente une diminution par rapport aux années favorables de 32%. A cela s'ajoute des nombres de jours de gelées (18 jours) qui ont coïncidé avec les phases installation du peuplement et tallage ainsi que la période d'élaboration maximale de matière sèche qui correspond aux mois de février et mars, cette période coïncide avec la phase montaison et épiaison, phases critiques de développement des céréales d'hiver en enregistrant de faibles niveaux de rendements et surtout pour les géotypes sensibles (Baldy, 1993).

L'indice de sensibilité (ISS) à permet de comparer le niveau de tolérance au déficit hydrique à permis de classer les variétés Mohamed Ben Bachir, Wahbi, Bidi 17 et Cirta comme tolérantes à la sécheresse. Sémito semble être le plus sensible à ce paramètre. Sémito à été jugée très instable.

Le résultat obtenu montre qu'il existe une corrélation positive significative entre le rendement en grains et la capacité d'ajustement osmotique (Figure III. 36). il faut bien noter que nos résultats vont dans le même sens que ceux de Kara, (2000); Blum (1989) et Rekika et *al.*, (1997) conduisant à accorder un rôle primordial à l'ajustement osmotique et aux caractères qui s'y rattachent dans l'analyse physiologique et le criblage de géotypes pour la tolérance à la sécheresse. Nos résultats concernant les relations entre capacité d'ajustement osmotique et le rendement en grains plaident pour une utilisation de ce critère en sélection.



Conclusions générales et perspectives

Conclusions générales et perspectives de recherches

Cette étude s'est fixé comme objectifs principaux, l'identification de caractères morpho-physiologiques et biochimiques associés à la tolérance au déficit hydrique : enracinement, surface foliaire, TRE, ajustement osmotique, mesure des osmotocums (proline, sucres solubles, potassium et nitrates) chez le blé dur cultivé dans le Constantinois. Nous nous sommes attelés à étayer les performances agronomiques des variétés dans le but d'évaluer le potentiel de chacun des génotypes étudiés pour l'amélioration de la tolérance au déficit hydrique.

Nous avons tenté à travers ce travail expérimental durant quatre longues années à répondre aux questionnements concernant la baisse des rendements enregistrée au fil des années vu que ces régions se caractérisent par un climat méditerranéen imprévisible et erratique (précipitations faibles et souvent irrégulières, sécheresse coïncidant le plus souvent avec les phases critiques de la céréale en l'occurrence le remplissage du grain et enfin un gel quasi permanent qui s'étale sur deux voire trois mois.

L'expérimentation réalisée dans les conditions semi-contrôlées a permis de donner une vue globale des comportements des variétés vis-à-vis du déficit hydrique et de distinguer les variétés Mohamed Ben Bachir, Cirta, Boussellam, Bidi 17, Wahbi pour leur capacité d'ajustement osmotique élevée. Les génotypes accusant une grande capacité d'ajustement osmotique sont en général des génotypes qualifiés de tolérants car, tolérance et capacité d'ajustement osmotique élevée sont consubstantielles.

Le comportement des variétés stressées montre une variabilité dans l'accumulation des osmotocums d'un degré de stress à un autre (modéré ou sévère). Les variétés Cirta et Boussellam accumulent plus de sucres solubles, alors que les génotypes Mohamed Ben Bachir, Bidi 17 et Wahbi ont tendance à synthétiser et emmagasiner plus de proline vis-à-vis du stress et particulièrement le stress hydrique sévère. La capacité d'ajustement osmotique présente une liaison positive significative notamment avec les sucres solubles et la proline qui contribuent préférentiellement à l'ajustement osmotique.

Dans notre étude, ces deux osmotocums semblent être responsables dans une large part de la baisse du potentiel osmotique. Quant au potassium, sodium et nitrates, leur contribution s'est avérée moindre.

Ces résultats quoique préliminaires, nous autorisent dans ce cas de figure à dire que ces génotypes sont capables de supporter la sécheresse en ajustant plus ou moins rapidement leur potentiel osmotique avec celui du milieu extérieur de manière à maintenir un gradient de potentiel hydrique entre la plante et milieu. Il ressort alors que l'adaptation aux conditions de sécheresse peut être recherchée : à travers l'accroissement de la capacité d'ajustement osmotique qui permet le maintien de la turgescence face à un stress hydrique même sévère.

Notre étude nous entraîne par ailleurs à privilégier la teneur relative en eau. C'est un paramètre simple, facile à mesurer et constitue un critère de choix pour le criblage d'un grand effectif. A cet effet, les variétés citées plus haut (Mohamed Ben Bachir, Cirta, Wahbi...) qui manifestent une capacité d'ajustement osmotique importante se caractérisent par une TRE élevée. Ce résultat était prévisible et attendu du fait que TRE et ajustement osmotique sont significativement corrélés.

Dans notre étude ayant trait à l'accumulation des ions inorganiques Na^+ et K^+ , les résultats montrent une importante variabilité cationique et suggèrent que les deux ions sont des bons indicateurs de la tolérance au déficit hydrique. Les variétés Cirta et Omruff séquestrent le plus de Na^+ dans les feuilles comparativement à l'ensemble des variétés étudiées. En effet, une meilleure tolérance des plantes à la contrainte hydrique réside dans le maintien d'une concentration cytosolique en Na^+ dans les feuilles que dans les racines. Le génotype tolérant aura tendance à afficher des concentrations élevées en sodium dans les feuilles, tout en compartimentant cet ion dans la vacuole pour protéger le cytoplasme de sa toxicité.

Concernant le K^+ , les variétés Mohamed Ben Bachir, Waha, Boussellam, Wahbi, GTA Dur et Bidi 17 séquestrent le plus de potassium. Un taux élevé en K^+ conduit à un ratio K^+/Na^+ relativement important qui influera sur la photosynthèse et permettra ainsi l'ouverture et la fermeture des stomates, l'ajustement osmotique (turgescence) et la croissance racinaire. D'autres travaux ont également mis en évidence l'impact significatif du potassium sur la réserve utile du sol (Goujard et Proffit, 2013).

Dans la littérature, toutes les recherches sur le potassium confirme le rôle majeur de ce cation et suggère qu'il constitue un élément de prédilection du déficit hydrique et de ce fait peut être utilisé dans les programmes de sélection.

Concernant la teneur en nitrates, cet anion contribue d'une manière indirecte à l'ajustement osmotique. En effet, les nitrates jouent un rôle important dans la production accrue de la proline.

L'ajustement osmotique implique des changements de solutés dans les différents compartiments cellulaires. Néanmoins, la similarité de dynamique d'accumulation du nitrate et de la proline fait penser que l'accumulation de la proline dans le cytoplasme est compensée par l'accumulation du NO_3^- dans la vacuole. Ce dernier est un anion intéressant pour la plante car son assimilation est rapide.

Le NO_3^- est alors réduit dans les chloroplastes par le nitrite réductase (NIR) en ammonium (NH_4^+), lui-même, rapidement incorporé dans les molécules organiques (acide aminés, proline...). Le génotype Mohamed Ben Bachir se caractérise par des fluctuations importantes de la teneur en nitrates.

L'utilisation de l'appareil racinaire et les caractères qui s'y rattachent constituent un critère majeur d'adaptation à la contrainte hydrique, il s'est révélé très riche en informations, toutefois son exploitation pratique demeure difficile.

Les variétés nord Africaines et du Moyen orient semblent toutefois les plus performantes en termes d'augmentation de NRP (cas de Mohamed Ben Bachir, Wahbi, Bidi 17, Cirta et Waha). Ces génotypes affichent non seulement un (NRP) élevé mais aussi une profondeur maximale racinaire, un poids frais racinaire assez important et une capacité d'ajustement osmotique élevée. Ce résultat est sans doute attribué à leur rusticité et probablement à leur tardivité également.

Notons par ailleurs, que la précocité n'est toutefois pas sans inconvénients car le recours à une stratégie d'évitement conduit ainsi à sacrifier une part de la productivité, ce qui peut être inopportun lorsque le climat présente une grande variabilité. Un plus grand décalage peut constituer un avantage lors de la reprise en croissance après un stress court mais sévère.

Les plantes tardives présentent généralement une meilleure capacité de récupération et en cas de gels tardifs, les génotypes tardifs ont une plus grande probabilité d'éviter cet accident.

Les corrélations observées entre la capacité d'ajustement osmotique, la matière fraîche racinaire (MFR) et la surface foliaire montrent que les génotypes qui se caractérisent par un poids frais racinaire élevé manifestent la meilleure capacité d'ajustement osmotique et le meilleur maintien de la teneur relative en eau et par voie de conséquence un système racinaire

développé. Il semblerait que ce mécanisme permettrait de maintenir la conductance stomatique à des potentiels hydriques bas et aussi de retarder la sénescence foliaire en améliorant l'extraction de l'eau par les racines.

La majorité des caractères morphologiques et composantes de rendement mesurés (HP, CE, SF, PEP, LE, LB, NG, Epi-1, PMG, Biomasse et ISS) ont montrés une large variabilité parmi les dix variétés testées, ce qui suggère l'utilisation de ces derniers dans un programme de sélection.

La corrélation observée entre la capacité d'ajustement osmotique (mesurée en conditions contrôlées, au stade plantule) et le rendement au champ, en conditions semi-arides, confirme le rôle de l'ajustement osmotique dans la tolérance au déficit hydrique.

Les résultats obtenus aux champs pour le rendement en grains, ses composantes et l'indice de sensibilité à la sécheresse ont permis de distinguer :

- Cirta, Mohamed Ben Bachir, Bidi 17, Boussellam, Waha et Wahbi comme génotypes réputés stables et performants quelque soit l'année considérée sèche ou humide ;
- Beni Mestina et Omruff comme des génotypes stables et performants en milieu favorable qu'en milieu défavorable ;
- Sémito et GTA Dur comme des génotypes instables et non performants.

Dans notre étude, les résultats ayant trait à la durée d'épiaison ont permis de classer les génotypes :

- Wahbi, Mohamed Ben Bachir et Bidi17 comme tardives ;
- Waha, Boussellam et Sémito comme précoces ;
- Beni Mestina, GTA Dur, Cirta et Omruff occupent une position intermédiaire.

Le comportement variétal du blé dur dans les zones semi-arides est affecté par le changement des aléas climatiques (stress hydrique et thermique) d'une année à une autre, ce qui explique la présence de l'interaction génotype \times milieu. La réside la nécessité de chercher l'adaptation, la stabilité et donc la tolérance aux divers stress qui caractérisent l'environnement de sélection et de production.

Les résultats obtenus à partir de l'étude des dix variétés constituent un pas préliminaire et nécessaire pour la compréhension du comportement de la culture du blé dur dans les plaines intérieures de l'Est Algérien (Constantinois).

Néanmoins, il est aussi impératif de faire une étude génétique (croisements intra spécifiques, dispositif diallèle ou demi diallèle entre les génotypes performants) et de rechercher également des marqueurs moléculaires associés aux caractères se rattachant au blé dur (AO, Proline, Sucres solubles, TRE, Nitrate, potassium, NRP, Ng. Epi⁻¹ et rendement en grains).

Ces étapes apparaissent ainsi comme autant de maillons dans une chaîne faisant intervenir des connaissances et compétences en matière de physiologie, de génétique et de biologie moléculaire. La mise en place de programmes basés sur de telles stratégies requiert donc la constitution d'équipes pluridisciplinaires et la mise en place de larges collaborations.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

-A-

Abebe, T., Guenzi, A. C., Martin, B., and Cushman, J. C. (2003). Tolerance of mannitol-accumulating transgenic wheat to water stress and salinity. *Plant physiology*, **131(4)**: 1748-1755.

Acevedo, E. (1990). Effect of heat stress on wheat and possible selection tools for use in breeding for tolerance wheat for the warm areas. D.A, Sanders, UNDP/CIMMYT, 27-29.

Acevedo, E., and Ceccarelli, S. (1989). Role of physiologist-breeder in a breeding program for drought tolerance conditions. In : FWG Baker, ed. Drought resistance in cereals, CAB International : 117-139

Acevedo, E., Fereres, E., Hsiao, T. C., and Henderson, D. W. (1979). Diurnal growth trends, water potential and osmotic adjustment of maize and sorghum leaves in the field. *Plant Physiology*, vol **64(3)**: 476-480.

Acevedo, E. (1991). Improvement of winter cereal crops in Mediterranean environments. Use of yield, morphological and physiological traits. *Physiology- Breeding of Winter Cereals for Stressed Mediterranean Environments. Colloques INRA*, vol **55**: 273-306.

Achour, A. (1982). Contribution à l'étude des mécanismes physiologiques de production et de résistance à la sécheresse du blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Mémoire de fin d'études de spécialisation de l'INAT, Tunis, I 20p.

Adda, A. (2006). Effet du stress hydrique sur le comportement morpho-physiologique du système foliaire et racinaire chez différents génotype de blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Thèse de Doctorat en Sciences Université d'Es Sénia*, Oran, 327p.

Agreste synthèses-Grandes cultures. (2014). Agreste Conjoncture et les données régionales de la situation mensuelle grandes cultures, Céréales-Janvier 2014, N° 2014/229. http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/conjsynt_229201401_cult.pdf.

Agreste synthèses-Grandes cultures. (2016). Agreste Synthèses -Grandes cultures- octobre 2016, N° 2016/294. http://aagrestegriculture.gouv.fr/IMG/pdf/conjsynt294201609_cult.pdf.

Ait Kaki, Y. (1993). Contribution à l'étude des mécanismes morpho-physiologiques de tolérance au stress hydrique sur 5 variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) (Thèse de Magister, Université d'Annaba.

Al Hakimi, A. (1992). Evolution de la variabilité génétique des caractères d'adaptation à la sécheresse chez les espèces primitives (sauvages et cultivées) de blé tétraploïde. Thèse Doctorat, *Université de Montpellier, France*.

- Alem C., Labhilili M., Brahim K., Jlibene M., Nasrallah N., and Filali-Maltouf A. (2002).** Adaptations hydrique et photosynthétique du blé dur et du blé tendre au stress salin. *C. R. Biologies*, Vol. **325** :1097-1109.
- Ali Dib T. (1992).** Etude de la tolérance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Etude des caractères phénologiques et morphologiques d'adaptation. Thèse. Doct. ENSA. Montpellier 186 p.
- Ali Dib, T., Monneveux, P., et Araus, J. L. (1992).** Adaptation à la sécheresse et notion d'idéo type chez le blé dur. II. Caractères physiologiques d'adaptation. *Agronomie*, **12(5)** : 381-393.
- Ali, M., Jensen, C.R., Mogensen, V.O., Andersen, M.N., Henson, I. E. (1999).** Root signalling and osmotic adjustment during intermittent soil drying sustain grain yield of field grown wheat. *Field Crops Research*, vol. **62**: 35-52. doi: 10.1016/S0378-4290(99)00003-9.
- Altenbach S.B, Dupont F.M, Kothari K.M, Chan R, Johnson EL, Lieu, D. (2003).** Temperature, water and fertilizer influence the timing of key events during grain development in a US spring wheat. *Journal of Cereal Science* **37(1)**:9-20.
- Anatole, N. (2000).** Le rôle de quelques osmorégulateurs dans l'induction des mécanismes de tolérance au déficit hydrique. Rapport Ingénieur industriel en défense des végétaux, Centre d'étude Régional pour l'amélioration de l'adaptation à la sécheresse, Sénégal.
- Andersen, P. C., Lombard, P. B., and Westwood, M. N. (1984).** Effect of root anaerobiosis on the water relations of several *Pyrus* species. *Physiologia plantarum*, vol. **62(2)**: 245-252.
- Andrews, M. (1986).** The partitioning of nitrate assimilation between root and shoot of higher plants. *Plant, Cell and Environment*, vol. **9(7)**: 511-519.
- Andrews, M., Sutherland, J. M., Thomas, R. J., and Sprent, J. I. (1984).** Distribution of nitrate reductase activity in six legumes: the importance of the stem. *New Phytologist*, **98(2)**: 301-310.
- Angeli A., Monachell, D., Ephritikhine, G. (2006).** The nitrate/proton antiporter At CLCa mediates nitrate accumulation in plant vacuoles. *Revue Nature*, vol. **442**:939-942
- Annerose, D. J. M. (1990).** Recherches sur les mécanismes physiologiques d'adaptation à la sécheresse. Application au cas de l'arachide (*Arachis hypogaea*) cultivé au Sénégal. Thèse de doctorat, Université Paris VII, 282 p.
- Annicchiarico, P., Bellah, F., et Chiari, T. (2005).** Defining sub-regions and estimating benefits for a specific-adaptation strategy by breeding programs. *Crop Science*, vol **45(5)**:1741-1749.

APG III. (2009). an update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*, vol. **161**: 105-121.

Araus, J. L., Febrero, A., and Vendrell, P. (1991). Epidermal conductance in different parts of durum wheat grown under Mediterranean conditions: the role of epicuticular waxes and stomata. *Plant, Cell & Environment*, vol. **14(6)**: 545-558.

Araus, J. L., Tapia L., and Alegre, L. (1989). The effect of changing sowing date on leaf structure and gas exchange characteristics of wheat flag leaves grown under Mediterranean climate condition. *Journal of Experimental Botany*, vol. **40(215)**: 639-646.

Ashraf, M., Ahmad, A. and Mc Neilly, T. (2001). Growth and photosynthetic characteristics in pearl millet under water stress and different potassium supply. *Photo-synthetica*, vol. **39**: 389-394.

Aslam, M., Travis, R. L. et D.W. Rains. (1996). Evidence for Substrate Induction of a Nitrate Efflux System in Barley Roots. *Plant Physiol.* Vol **112**:1167-1175.

Assem, N., El Hafid, L., Haloui, B., et 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*. Vol. **17(4)** : 499-505.

-B-

Babu, R. C., Pathan, M. S., Blum, A., and Nguyen, H. T. (1999). Comparison of measurement methods of osmotic adjustment in rice cultivars. *Crop Science*, **39(1)** : 150-158.

Bahlouli, F., Bouzerzour, H., et Benmahammed, A. (2009). Etude des mécanismes de stabilité du rendement grain de quelques génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous climat semi-aride. *Annales de la Faculté des Sciences et Sciences de l'Ingénieur*, vol **1** : 1-11.

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 variant soma clonaux sélectionnés In vitro (Doctoral dissertation, *Thèse de doctorat*. Univ. Louvain).

Baldy, C. (1993). Effet du climat sur la croissance et le stress hydrique des blés en Méditerranée occidentale. In : Tolérance à la sécheresse des céréales en zones méditerranéennes. *Colloque Diversité génétique et amélioration variétale*, Montpellier (France), 15-17 décembre 1992. Les colloques, **64, 83-93**. Paris : Inra éditions, 1993.

- Bammoun, A. (1997).** Contribution à l'étude de quelques caractères morpho- physiologiques, biochimiques et moléculaires chez des variétés de blé dur (*Triticum turgidum* ssp *durum*.) pour l'étude de la tolérance à la sécheresse dans la région des hauts plateaux de l'Ouest Algérien. Thèse de Magister, pp: 1-33.
- Barrs, H. (1968).** Determination of deficit in plant tissues. In: Water deficit and plant growth .T.T. Koslowski (Ed). *Academic Press .New York*, pp 235-368.
- Batcho, E., Daouda, O. S., Do, F., Annerose, D. J., Fofana, A., Laffray, D., et Lougeut, P. (1990).** Etude de la croissance racinaire de 6 cultivars de mil (*Pennisetum americanum*) *Rev. Res. Amelior. Prod. Agr. milieu aride*, vol **2**: 51-65.
- Bayoumi, T.Y., Manal, H. et Metwali, E. M. (2008).** Application of physiological and biochemical indices as a screening technique for draught tolerance in wheat genotypes, *African Journal of Biotechnology*, vol **14**: 2341-2352.
- Bednarek, J. (2012).** Analyse fonctionnelle de TaGW2, une E3 ligase de type RING, dans le développement du grain de blé tendre (*Triticum aestivum*) .Thèse Doctorat Physiologie et génétique moléculaire. Université Blaise Pascal–INRA 24, avenue des Landais 63171 Aubière Cedex, Clermont Ferrand II, 188 pp.
- Begg J.E. and Turner. N.C. (1976).** Crop water deficits, *Adv. Agron.* Vol **28**: 161-217.
- Belaid D, J. (1986).** Aspect sur la céréaliculture Algérienne *O.P.U.* 207 p.
- Belhassen, É., This, D., et Monneveux, P. (1995).** L'adaptation génétique face aux contraintes de sécheresse. *Cahiers agricultures*, **4(4)** : 251-261.
- Belkhodja M., Bidai Y. (2004).** Réponse des graines d'*Atriplex halimus* L. à la salinité au stade de la germination. *Sécheresse*, **15 (4)**: 331-335.
- Belkhodja, R. (1993).** Chlorophyll fluorescence as a possible tool for salinity tolerance screening in barley (*Hordeum vulgare* L.). Master of Science Thesis. Instituto Agronomico Mediterraneo de Zaragoza, Spain (1993).
- Bellinger, Y., Bensaouda A., et Larher, F. (1989).** Physiology breeding of winter cereals for stress environments. *Colloque, N°3. France*: Montpellier.
- Ben Abdallah, N. et Ben Salem, M. (1993).** Paramètres morphophysiologiques de selection pour la sécheresse des céréales .In: Monneveux ,P et Ben Salem, M . (eds) . *Tolérance à la sécheresse des céréales en zone Méditerranéenne*. Diversité Génétique et Amélioration Variétale .Montpellier (France) 15-17 décembre 1992, *INRA , Les Colloques*, pp: 173-190.

Ben Naceur, M., Nailly, M., et Selmi, M. (1999). Effet d'un déficit hydrique, survenant à différents stades de développement du blé, sur l'humidité du sol, la physiologie de la plante et sur les composantes du rendement. *Medit* N° (99/2): 52-63 pp.

Ben Salem, M., Boussen, H., et 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. 6ème Journées scientifiques AUPELF/UREF, "*Biotechnologie Végétales : Génie Génétique des Plantes*". Orsay du 30/6 au 3/7 1997.

Bendaradji, L. (2013). Sélection in vitro pour la tolérance aux stress salin et thermique chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.). *Thèse doctorat*, Université des Frères Mentouri Constantine, Alger 143 pp.

Benderradji, L., Brini, F., Amar, S. B., Kellou, K., Azaza, J., Masmoudi, K., and Hanin, M. (2011). Sodium Transport in the Seedlings of Two Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes Showing Contrasting Salt Stress Tolerance. *Australian Journal of Crop Science*, vol 5(3): 233.

Ben-Hayyim G., Vaadia, Y., and William, B.G (1989). Aspects of salt tolerance in a NaCl selected stable cell line of *Citrus sinensis*. *J. Physiol. Plant.* vol (77): 332-340.

Benlaribi, M. (1990). Adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Etude des caractères morphologiques et physiologiques. Thèse Doctorat d'Etat, Univ. Constantine.

Benlaribi, M., et Monneveux, P. (1988). Etude comparée du comportement, en situation de déficit hydrique de deux variétés Algériennes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) adaptées à la sécheresse. *C. R. Acad. Agric. Fr.* vol. 74(5) : 73-83.

Benlaribi, M., Monneveux, P., et Grignac, P. (1990). Étude des caractères d'enracinement et de leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Agronomie*, vol 10(4) : 305-322.

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 Doctorat d'état, Univ. Constantine, 125p.

Benmahammed, A., Kribaa M., Bouzerzour, H., et 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 p.

Bhandal, I. S., et Malik, C. P. (1988). Potassium estimation, uptake, and its role in the physiology and metabolism of flowering plants. In *International Review of Cytology* (Vol. 110, pp. 205-254). Academic Press.

- Binet, P. (1989).** Métabolisme et adaptation des végétaux supérieurs aux contraintes hydriques thermiques et salines. *Bull. Ecol. T.*, 20(1), 41-49.
- Bloom, A. J., Sukrapanna, S. S., et Warner, R. L. (1992).** Root respiration associated with ammonium and nitrate absorption and assimilation by barley. *Plant Physiol.* **99**: 1294-1301.
- Blum, A. (1983).** Genetic and physiological relationship in plants breeding for drought resistance. In *Plants production and management under drought conditions* (Stone J.T. & Willis W.O. eds), pp195-205. *Elsevier*, Amsterdam.
- Blum, A. (1988).** Plant breeding for stress environments. *Boca Raton: CRC Press Eds* ; 223p
- Blum, A. (1989).** Osmotic adjustment and growth of barley genotypes under drought stress. *Crop Science*, **29**(1): 230-233.
- Blum, A. (1993).** Selection for sustained production in water-deficit environments. *International crop science I*, (international): 343-347.
- Blum, A. (1996).** Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. In *Drought tolerance in higher plants: Genetical, Physiological And Molecular Biological Analysis* (pp. 57-70). Springer, Dordrecht.
- Blum, A. (1998).** Improving wheat grain filling under stress by stem reserve mobilization. *Euphytica*, vol. **100**: 77-83.
- Blum, A., Mayer, J., and Golan, G. (1983).** Chemical desiccation of wheat plants as a simulator of post-anthesis stress: II. Relations to drought stress. *Field Crops Research*, vol **6**: 149-155.
- Blum, A., Ramaiah, S, Kanemasu, E.T, et Paulsen, G. M. (1990).** Recovery of wheat from drought stress at the tillering developmental stage. *Field Crop Res*, Vol, **24**: 67-85p.
- Blum, A., Sinmena, B., Mayer, J., Golan, G., et Shpiler, L. (1994).** Stem reserve mobilisation supports wheat-grain filling under heat stress. *Functional Plant Biology*, vol **21**(6): 771-781.
- Bohnert, H. J., et Jensen, R. G. (1996).** Strategies for engineering water-stress tolerance in plants. *Trends in biotechnology*, **14**(3): 89-97.
- Borojevic S., et Denicic S. (1986).** Screening a wheat collection for leaf position at different stage of growth. *Plant Breeding*, **97** : 97-106.
- 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. *Université Badji Mokhtar, Annaba*, 157p

Boufenar-Zaghouane, F., et Zaghouane, O. (2006). Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie (blé dur, blé tendre, orge et avoine). *ITGC, El-Harrach, Alger*, 1^{ère} Ed.152p.

Bouniols, A., Puech, J., et Mondies, M. (1982). Influence d'un déficit hydrique appliqué durant la fructification sur la production du soja. *Bull. Gr. Fr. Humid. Neutron, 11*, 39-56.

Bousba, R., Djekoun, A., Duraa, S., et 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*, vol. 9, No.12 ISSN: 1857-7881 (Print) e- ISSN 1857-7431.

Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Makhluof, A., Hadj Sahraoui, A., et Harkati, N. (2002). Variabilité génétique, héritabilité et corrélation entre caractères mesurés sur orge en zone semi-aride. *Céréaliculture*, vol 37: 4-13.

Bouzerzour, H., et Benmahammed, A. (2009). Variation in early growth, canopy temperature, translocation and yield of four durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes under semiarid conditions. *Jor. J. Agricultural Sci.*, vol 5(2): 142-154.

Boyer J.S (1985). Water transport. *Ann Rev plant physiol.* Vol, 36: 473-516.

Brooks, A., Jenner CF., et Aspinall, D. (1982). Effects of water deficit on endosperm starch granules and on grain physiology of wheat and barley. *Australian Journal of Plant Physiology* 9:423-436.

-C-

Callot, G.1 et al. (1982). Mieux comprendre les interactions sol racine. Incidence sur la nutrition minérale. FRA., Paris: *I.N.R.A.* 325 p.

Casals, M. L. (1996). Introduction des mécanismes de résistance à la sécheresse dans un modèle dynamique de croissance et de développement du blé dur. Thèse de Doctorat, Institut National Agronomique de Paris-Grignon.

Cataldo, D. A., Maroon, M., Schrader, L. E., et Youngs, V. L. (1975). Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Communications in soil science and plant analysis*, vol 6(1): 71-80.

Cechin, I., Rossi, S. C., Oliveira, V. C., et Fumis, T. D. F. (2006). Photosynthetic responses and proline content of mature and young leaves of sunflower plants under water deficit. *Photosynthetica*, vol 44(1) : 143p.

Centre National de Contrôle et de Certification de Semences et Plants, (2015). Bulletin des variétés de céréales autogames. Edition, 2015. Site web : <http://cncc-dz.org/>

Chahbar, S., et Belkhodja, M. (2016). Effet du déficit hydrique sur certains osmolytes chez cinq variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) *International Journal of Innovation and Applied Studies* ISSN 2028-9324. Vol, **17** (3): 757-767 pp, *Innovative Space of Scientific Research Journals* <http://www.ijias.issr-journals.org/>.

Chaib, G. et Benlaribi, M. (2006 b). Proline Accumulation in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under water deficit. *Arab. Univ. J. Agric. Sci., Ain Schams Univ, Cairo*, vol **14(1)**: 235-247.

Chaib, G. et Benlaribi, M. (2006 a). Accumulation de la proline et des sucres solubles chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous stress hydrique. Xèmes Journées Scientifiques AUF. Constantine 8-11 Mai, p : 207-208.

Chaib, G., Benlaribi, M., et Hazmoune, T. (2015). Accumulation d'osmoticums chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous stress hydrique. *European Scientific Journal, ESJ*, **11(24)**.

Chaib, G., Hazmoune, T., et Benlaribi, M. (2008). Impact de stress hydrique sur le test proline autant qu'indicateur à la biodiversité de blé dur (*Triticum durum* Desf.), *Actes des Journées Scientifiques*.

Chen, T. H., et Murata, N. (2008). Glycine betaine: an effective protectant against abiotic stress in plants. *Trends in plant science*, **13(9)**, 499-505.

Chetmi, D. (2009). Etude comparative de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf) et analyse diallèle de leurs hybrides F1. Thèse Magister en sciences agronomique, *Institut National d'Agronomie INA El Harach, Alger*, 123p.

Chopart, J. L. (1984). Développement racinaire de quelques espèces annuelles cultivées en Afrique de l'Ouest et résistance à la sécheresse. Colloque : *La sécheresse en zone intertropicale*, CIRAD, Paris France : 145-154.

Chorfi A, et Taïbi, K. (2011 a). Physiological behavior of wheat genotypes from Algerian semi-arid regions grown under salt stress. *African Journal of Agricultural Research*, **6(3)**, 636-641.

Chorfi, A. (2009). Contribution à l'étude de la résistance à la salinité chez une variété de blé dur Algérien (*Triticum Durum* Desf.) Variété Mohamed Ben Bachir. *Sciences & Technologie. C, Biotechnologies*, (**29**), 41-44.

Chorfi, A., et Taïbi, K. (2011 b). Biochemical screening for osmotic adjustment of wheat genotypes under drought stress. *Tropicult* vol **29(2)**:82-87.

Clarke, J. M. (1986). Effect of leaf rolling on leaf water loss in *Triticum* spp. *Canadian Journal of Plant Science*, vol **66(4)**: 885-891.

Clarke, J.M., Romagosa, I., Jana S., Srivastava, J.P., and Mc Caig, T.N. (1989). Relation of excised leaf water loss rate and yield of durum wheat in diverse environments. *Can .J.Plant Sci.* **69**: 1057-1081.

Clarkson, D. T., and Hanson, J. B. (1980). The mineral nutrition of higher plants. *Annual review of plant physiology*, vol **31(1)**: 239-298.

Claussen M, Luthen H, Blatt M, and Bottger M, (1997). Auxin induced growth and its linkage to potassium channels. *Planta* n° **201**: 227-234.

Close, T. J. (1996). Dehydrins: emergence of a biochemical role of a family of plant dehydration proteins. *Physiologia Plantarum*, **97(4)**: 795-803.

Cochard, H., Ridolfi, M., and Dreyer, E. (1996). Responses to water stress in an ABA-unresponsive hybrid poplar (*Populuskoreana ' trichocarpa* cv. Peace). II. Hydraulic properties and xylem embolism. *New Phytol.***134**: 455-461.

Conseil International des Céréales, 2014. Rapport annuel du Conseil International des Céréales "CIC" pour l'année 2014, Kingdom [.igc@igc.int](mailto:igc@igc.int). © International Grains Council 2014.

Conseil International des Céréales, 2015. Rapport annuel du Conseil International des Céréales "CIC" pour l'année 2015 [Kingdom .igc@igc.int](mailto:igc@igc.int). © International Grains Council 2015.

Conseil International des Céréales, 2017. Rapport annuel du Conseil International des Céréales "CIC" pour l'année 2017 [Kingdom .igc@igc.int](mailto:igc@igc.int). © International Grains Council 2017.

Courtois, B., McLaren, G., Sinha, P., Prasad, K., Yadav, R., & Shen, L. (2000). Mapping QTLs associated with drought avoidance in upland rice. *Molecular breeding*, **6(1)**: 55-66.

Cronquist, A., & Takhtadzhian, A. L. (1981). *An integrated system of classification of flowering plants*. Columbia University Press.

-D-

Daaloul A. Bchini H. et Sayar R. (2009). Variabilité génétique de quelques paramètres du système racinaire du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous deux régimes hydriques. *PGR Newsletter*, **No. 129**: 25-31p.

- Daday, H., Grassia, A., et Peak, J. (1974).** Effect of plant density on the expression of the creeping-rooted character and forage yield of the Lucerne (*Medicago sativa*) cultivar Cancreep. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, **14(71)**: 735-741p.
- Darbyshire B. (1974).** The function of the carbohydrate units of three fungal enzymes in their resistance to dehydration. *Plant Physiol*, vol **54**:717-721.
- Davidson, D.J and Chevalier, P.M. (1990).** Pre-anthesis tiller mortality in spring wheat. *Crop Sci*; **30**: 832-6.
- Davies, W.J. et Zhang, J. (1991).** Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annu Rev Plant Phys Mol Bio*.N°**42**: 55-76.
- Debaeke, P, Puech J, Casals M l., et Petibon P. (1996).** Élaboration du rendement du blé d'hiver en conditions de déficit hydrique. I. Étude en lysimètres. *Agronomie, EDP Sciences*, 1996, 16 (1), pp.3-23.
- Deumier JM. (1987).** Bilan de quelques années d'irrigation du blé. *Persp Agric* **114**, 11-16p.
- Diaz, P., Borsani, O., et Monzo, J. (1999).** Proline accumulation in plants as response to osmotic stress. *Agrociencia-Montevideo*, 3 (1): 1-10p.
- Din, J., Khan, U., Ali, I., et Gurmani, R. A. (2011).** Physiological and agronomic response of *Canola* varieties to drought stress. *The Journal of Animal and Plant Sciences* **21(1)**, 78-82.
- Djermoun, A. (2009).** La production céréalière en Algérie: les principales caractéristiques. *Nature & Technology*, vol (1), 45.
- Dorfling, K., et Askman, A. (1989).** Relationship between frost tolerance and formation of proline, abscisic acid and specific proteins in cold hardened winter wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. XII *Eucarpia Congress*: in spring wheat cultivars. 1. *Grain yield response*. *Aust J Agric Res*; vol **29**: 897- 912.
- Dreyer, E. (1997).** Photosynthesis and drought in forest trees. Trees-Contributions to Modern Tree Physiology. (Rennenberg, H., Eschrich, W. & Ziegler, H., Eds.). *Backhuys Publishers*: 215- 238 p.
- Drier, W. and Gorning, M. (1974).** Der einfluss boher Salzkonzentrationen auf verschiedene physiologische parameter von Maiswurzeln. *Wiss. Z der H.V. Berlin, Nath. Naturwiss.* 23: 641- 644.
- Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Rebers P.A. et Smith F. (1956).** Colometric method for determination of sugar and related substances. *Vol.28, N° 3*: pp 350-365.

-E-

EL-fakhri M., Mahboub S., Benchekroun, M., et Nsarellah, N. (2010). Effet du stress hydrique sur les caractéristiques d'enracinement du blé dur (*Triticum durum*. Desf), *Nature et Technologie*, N° **03** : 06-12 pp.

El-fakhri, M., Mahboub, S., Benchekroun, M., et Nsarellah, N. (2011). Effet du stress hydrique sur la répartition ionique dans les feuilles et les racines du blé dur (*Triticum durum*). *Nature & Technologie*, vol **05**: 66-71.

Eliane, C., Gruszka, V., Ivan, S., Marcos, P., Carlos, A S., Hugo, B., Correa, M., Celso J M, and Luis Gonzaga E V. (2007). Stress-induced synthesis of proline confers tolerance to water in transgenic wheat. *Journal of Plant Physiology*, Vol **164** : 1367-1376.

Erchidi, A.E., Talouizte, A., et Benbella, M. (2000). Relation entre certains paramètres contrôlant les pertes en eau et le rendement grain chez neuf variétés de blé dur soumises au stress hydrique. In: Royo C. (ed.), Nachit M. (ed.), Di Fonzo N. (ed.), Araus J.L.(ed.). *Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges* . Zaragoza : CIHEAM, 2000. p. 279-282. (Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 40). Seminar on Durum Wheat Improvement in the Mediterranean Region: *New Challenges*, 2000/04/12-14, Zaragoza (Spain). <http://om.ciheam.org/om/pdf/a40/00600044.pdf>.

-F-

Faure, J.D., Meyer, C., Caboche, M. (1997). Assimilation du nitrate : nitrate et nitrite reductases. In JF Morot-Gaudry, ed, Assimilation de l'azote chez les plantes. *Aspects physiologique biochimique et moléculaire*. INRA éditions, Paris, France, 45-83 pp.

Feldman, M. (1976). Taxonomic Classification and Names of Wild, Primitive, Cultivated, and Modern Cultivated Wheats. Dans : Simmonds, N.W. (éd)., *Evolution of Crop Plants*. Longman, Londre: 120-128p.

Feldman, M. (2001). Origin of cultivated wheat. Dans Bonjean A.P. et Angus W.J. (ed). *The world wheat Book: a history of wheat breeding*. Intercept limited, Andover, Angle Terre: 3-58.

Feldman, M. (1979). New evidence on the origin of the B genome of wheat. *Proc. 5th Int. Wheat Genetics Symposium*, New Delhi: 120-132.

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

Ferdous, M. F., Shamsuddin, A. K. M., Hasna, D., et Bhuiyan, M. M. R. (2010). Study on relationship and selection index for yield and yield contributing characters in spring wheat. *J. Bangladesh Agricul. Univ.* **8**: 191-194.

Fischer, R. A. (1985). Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *J. Agric. Sci. (Camb.)* vol **105**: 447-461.

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

Focar, M., Nguyen, H.T. and Blum, A. (1998). Heat tolerance in spring wheat. Grain filling. *Euphytica*, **104**: 9-15.

Fraser, T.E., Silk, W.K. and Rost, T, L. (1990). Effect of low water potential on cortical cell length in growing region of maize roots. *Plant Physiol.* **93**: 648-651.

Frey, K. J. (1964). Adaptation Reaction of Oat Strains Selected Under Stress and Non-Stress Environmental Conditions 1. *Crop science*, **4(1)** : 55-58.

-G-

Garg, A., Kim, K., Owens, J., Ranwala, T., Choi, A., Kochian, Y.V. and Wu, R. J. (2002). A trehalose accumulation in rice plant confers high tolerance levels to different abiotic stresses. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, vol **99**: 15898-15903.

Garwood, E. A. et Williams, T. B. (1967). Growth, water use and nutrient uptake from the subsoil by grass swards. *The Journal of Agricultural Science*, **69(1)**: 125-130.

Gate, P. (1995). Ecophysiologie du blé, de la plante à la culture, Lavoisier Tech and Doc., Paris 430 pp.

Gate, P., Bouthier, A., Casablanca, H. et Deleens, E. (1992). Caractères physiologiques décrivant la tolérance à la sécheresse des blés cultivés en France. Interprétation des corrélations entre le rendement et la composition isotopique du carbone des grains. In : Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne. Diversité génétique et amélioration variétale. Montpellier (France) INRA. (Les colloques n°64).

Gaudillère, J.P. et Barcelo, M.O. (1990). Effets des facteurs hydriques et osmotiques sur la croissance des talles de blé. *Agronomie*, **(10)**:423-432.

Geiger, D., Scherzer, S., Mumm, P., Stange, A., Marten, I., Bauer, H., and Romeis, T. (2009). Activity of guard cell anion channel SLAC1 is controlled by drought-stress signaling kinase-phosphatase pair. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **106(50)**: 21425-21430.

Ghars, M. A., Parre, E., Debez, A., Bordenave, M., Richard, L., Leport, L., et Abdelly, C. (2008). Comparative salt tolerance analysis between *Arabidopsis thaliana* and *Thellungiella halophila*, with special emphasis on K^+/Na^+ selectivity and proline accumulation. *Journal of plant physiology*, vol **165(6)**:588-599.

Ghennai, A., Zérafa, C. et Benlaribi, M. (2017). Étude de la diversité génétique de quelques variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et de blé dur (*Triticum durum* Desf.) selon la base des caractères de l'U.P.O.V. *Journal of Applied Biosciences*, vol **113**: 11246-11256.

Gimenez C., et Fereres, E. (1986). Genetic variability in sunflower cultivars under drought. II. Growth and water relations. *Australian journal of agricultural research*, **37(6)**: 583-597.

Goujard, O., et Proffit, T. (2013). Potassium et Magnésium pour une meilleure tolérance au stress hydrique. *Journées COMIFER-GEMAS 2013*: 1-8p.

Grattan, S. R. and Grieve, C. M. (1993). Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environments. In *Handbook of Plant and Crop Stress*. Ed. M Pessarakli. pp 203-226. M Dekker.

Greenway, H., et Munns, R. (1980). Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes. *Annual review of plant physiology*, vol **31(1)**: 149-190.

Grieu, P., Maury, P., Debaeke, P., et Sarrafi, A. (2008). Améliorer la tolérance à la sécheresse du tournesol: apports de l'écophysiologie et de la génétique. *Innovations Agronomiques*, vol **2** :37-51.

-H-

Hachemi N., Seklani, H. et Hamza, M. (1995). Effets du stress hydrique sur le comportement de trois variétés de sorgho fourrager. *El Awmia*, vol **89** : 125-139 pp.

Hacini, N. et Brinis, L . (2012). Utilisation de quelques marqueurs physiologiques et biochimiques dans l'expression de la tolérance au stress hydrique chez 10 génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Rev. Sci .Technol . Synthèse*, vol **25**:6-16.

Hadjadj, S., Djerroudi, O. et Bissati, S. (2011). Etude comparative des mécanismes biochimiques de tolérance au stress salin de deux espèces d'atriplex: *Atriplex halimus* L. et *Atriplex canescens* (PURCH) NUTT. *Algerian Journal of Arid Environment "AJAE"*, vol. **1 (2)**: 3-10.

Hakim, M. A., Juraimi, A. S., Begum, M., Hanafi, M.M., Ismail. M.R., Selamat, A. (2010). Effect of salt stress on germination and early seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.). *African Journal of Biotechnology*, **9 (13)**: 1911-1918.

- Hamli, S., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Oulmi, A., Kadi, K., et Addad, D. (2015).** Déterminisme génétique des caractères morpho-physiologiques liés au rendement chez le blé dur (*Triticum durum* Desf) en zone semi-aride des hauts plateaux Sétifiens, Algérie. *European Scientific Journal*, vol **12**: 146-160.
- Hamza, M. (1980).** Action de différents régimes d'apport du chlorure de sodium sur la physiologie de deux légumineuses: *Phaseolus vulgaris* (sensible) et *Hedysarum carnosum* (tolérante). *Relations hydriques et relations ioniques*.
- Hasegawa, P. M., Bressan, R. A., Zhu, J. K., et Bohnert, H. J. (2000).** Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual review of plant biology*, vol **51(1)**: 463-499.
- Henchi, B. (1987).** Effets des contraintes hydriques sur l'écologie et l'écophysiologie de *Plantago albicans* L. Thèse de Doctorat d'État, Univ Tunis.
- Hennin, S. (1976).** Définition de la sécheresse et politique d'utilisation de l'eau. *Fourages*. **67**:13-2.
- Hincha, D.K., Hageman, M. (2004).** Stabilization of model membranes during drying by compatible solutes involved in the stress tolerance of plants and microorganisms. *Biochem J*. **383**: 277-283.
- Hinckley, T. M. and Braatne, J. (1994).** Stomata. In: *Plant -environment interactions*. Wilkinson RE, Eds. New York: Marcel Dekker Inc, pp: 323-355.
- Hireche, Y. (2006).** Réponse de la luzerne (*Medicago sativa* L.) au stress hydrique et à la profondeur de semis. Mémoire de Magistère en sciences agronomique, Option: *Agrotechnie*. Université Al Hadj Lakhdar- Batna. 83p.
- Hooker, M. L., Mohiuddin, S. H., et Kanemasu, E. T. (1983).** The effect of irrigation timing on yield and yield components of winter wheat. *Canadian Journal of plant Science*, **63(4)** : 815-823.
- Hopkins, W. G. (2003).** Physiologie végétale. 2^{ème} édition. De Boeck, Bru scelles: Chapitre 22 : *Physiologie des plantes soumis au stress abiotique*, 451-476p.
- Hsiao, T. C., O'Toole, J. C., Yambao, E. B., et Turner, N. C. (1984).** Influence of osmotic adjustment on leaf rolling and tissue death in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Physiology*, **75(2)**: 338-341.
- Hsiao, T.C. (1973).** Plant responses to water stress. *Annual Rev Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* vol **24**:519-570.

Hsiao, T.C. and Bradford, K.J. (1984). Physiological consequences of cellular water deficit. In tailor HM. Jordan WM. Sinclair TR. Edits. Limitations of efficient water use in crop production. *Radison* : 227-231 pp.

Hsissou, D. (1994). Sélection in vitro et caractérisation des mutants de blé dur tolérants à la sécheresse. Thèse de Doctorat en Sciences, *Université Catholique de Lovain*.

Hubac, C. et Vieira DA Silva, J. (1980). Indicateurs métaboliques de contraintes mésologiques. *Physiol. Vég.* vol, **18**: 45-53p.

Hurd, E. A. (1968). Growth of Roots of Seven Varieties of Spring Wheat at High and Low Moisture Levels 1. *Agronomy Journal*, **60(2)**: 201-205.

Hurd, E. A. (1974). Phénotype and drought tolérance in wheat. *Agricultural Meteor.* Vol **(14)**: 19-55.

-J-

Jamaux I., Steinmetz A, and Belhassen, A. (1997). Looking for molecular and physiological markers for osmotic adjustment of sunflower. *New Phytal*, vol **137**: 117-127.

Jean-françois, M.G., Roger, P., Bohn-Courseau, I., Marc J., Catherine, P. R ., Michèle, R C ., Luc R ., et Arnauld, S. (2009). Biologie Végétale *Croissance et Développement*. Dunod, Paris, 2^{ème} Edition, ISBN978-2-10-057728-6.

Johanson D.A., Richards R.A. and Turner N.C. (1983). Yield water relation gas exchange and surface reflectance on near-isogenic wheat lines differing in glaucousness. *Crop Sci*, vol **23**: 318-325p.

Johnson, R.C., Nguyen, H.T and Croy, L. I. (1984). Osmotic adjustment and solute accumulation in two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Sci*. **24**:957-62.

Jones, M. M., et Turner, N. C. (1980). Osmotic adjustment in expanding and fully expanded leaves of sunflower in response to water deficits. *Functional Plant Biology*, vol **7(2)**: 181-192.

Jones, M.M., Osmon, B., et Turner, N.C. (1980). Accumulation of solutes in leaves of sorghum and sunflower in response to water deficits. *Aust J Plant Physiol*, vol 7: 193-205.

-K-

Kala, S. et Godara, A. K. (2011). Effect of moisture stress on leaf total proteins, proline and free amino acid content in commercial cultivars of *Ziziphus mauritiana*. *Journal of Scientific Research*, vol **55**: 65-69.

- Kameli A., and Lösel D.M. (1995).** Contribution of carbohydrates and others solutes to osmotic adjustment in *wheat leavers under water stress* .*J. Plant. Physiol*, vol **145**: 363-366.
- Kameli, A., and Lösel, D. M. (1996).** Growth and sugar accumulation in durum wheat plants under water stress. *New Phytologist*, **132(1)** : 57-62.
- Kara Y., et Belkhiri, C. E. (2011).** Etude des caractères d'adaptation au déficit hydrique de quelques variétés de blé dur et d'espèces sauvages apparentées: intérêt potentiel de ces variétés pour l'amélioration de production. *Courrier du savoir*, n°(11) : 119-126pp.
- Kara Y., et Zoghmar, M. (2011).** Etude des Caractéristiques Racinaires, du Statut Hydrique et Ajustement Osmotique de Quelques Génotypes de Blés Durs et D'espèces Sauvages Apparentées. *European Journal of Scientific Research* ISSN 1450-216X Vol. **48 (3)**: 434-445pp.
- Kara, Y. (2000).** Etude des caractères morpho-physiologiques d'adaptation à la sécheresse du blé dur et de quelques espèces apparentées, intérêt potentiel de ces espèces pour l'amélioration de ces caractères. Thèse Doctorat, Université de Constantine 159 p.
- Kara, Y., Martin, A., Souyris, L., Rekika, D ., et Monneveux, P. (2000).** Roots characteristics in durum wheat (*T.turgidumconv.durum*) and some wild Triticeae Spesies .Genetic variation and relathionship with plant architecture. *Cereal Research and Communication*, **28(3)**: 147-254.
- Kauss, H. (1977).** Biochemistry of regulation. In northcote (Ed): *International Review of Biochemistry*, II, pp: 119-139.
- Kellou, R. (2008).** Analyse du marché algérien du blé dur et les opportunités d'exportation pour les céréaliers français dans le cadre du pôle de compétitivité Quali-Méditerranée. (*Master of Science*, IAMM, 2008, Série Thèses & Masters n°93).
- Khaldoun A., Chery J., et Monneveux P. (1990).** Étude des caractères d'enracinement et de leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez l'orge (*Hordeum vulgare* L). *Agronomie*, **10(5)**: 369-379.
- Khlestkina, E. K., et Salina, E. A. (2001).** Genome-specific markers of tetraploid wheats and their putative diploid progenitor species. *Plant breeding*, **120(3)**: 227-232.
- Kilani B., Rejeb, Chedly A., et Arnould S. (2012).** La proline, un acide aminé multifonctionnel impliqué dans l'adaptation des plantes aux contraintes environnementales. *Biologie Aujourd'hui*, **206 (4)**: 291-299.
- Kimber G., et Sears E.R. (1987).** Evolution in the genus *Triticum* and the origin of cultivated wheat. In: Heyne EG (ed) *Wheat and wheat improvement*, 2nd Ed. *American Society of Agronomy*, Madison, WI, pp 154-164.
- Kishor, P. K., Sangam, S., Amrutha, R. N., Laxmi, P. S., Naidu, K. R., Rao, K. R. S. S., and Sreenivasulu, N. (2005).** Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: its implications in plant growth and a biotic stress

tolerance. *Current science*, 424-438.

Kleinhofs, A. N. D. R. I. S., and Warner, R. L. (1990). Advances in nitrate assimilation. *Intermediary nitrogen metabolism*, **16**: 89-120.

Kobata, T., Palta, J. A., and Turner, N. C. (1992). Rate of development of post-anthesis water deficits and grain filling of spring wheat. *Crop Science*, **32(5)**: 1238-1242.

Korichi, M. (1993). Contribution à l'étude de l'ajustement osmotique et de la réponse protéique de blé dur au stress hydrique. DEA, Montpellier France.

-L-

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. Mémoire magister, Faculté des Sciences de la Nature et de la vie, Univ. Ferhat Abbas Sétif-1, 96 pages.

Labdelli, A. (2011). Etude des effets des variations morpho-structurales du système racinaires pour la tolérance à la sécheresse du blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mémoire Magister Université d'Oran Es-Senia, Alger 120 p,

Lacaze, X., (2006). Développer des plantes résistantes à la sécheresse. Exemple des recherches sur les céréales menées à l'Institut de L'Évolution. Ambassade France en Israël. Service de coopération & d'action culturelle 16 pp.

Langlet, A. (1973). Effets de la sécheresse sur la croissance et la production de sorgho grain. *Ann. A gro.* **3**: 307-38.

Laval-Martin, D., Maziliac P. (1979). TP et TD de physiologie végétale Ed. Hermann Paris, 338 p.

Ledent, J. F. (2000). Cours de Modélisation et Stress, CESS, formation diplômâtes C'ERAAS. Thiès Sénégal.

Lemaire, G., et Denoix, A. (1987). Croissance estivale en matière sèche de peuplements de fétuque élevée (*Festuca arundinacea* Schreb.) et de dactyle (*Dactylis glomerata* L.) dans l'Ouest de la France. II. Interaction entre les niveaux d'alimentation hydrique et de nutrition azotée. *Agronomie*, **7(6)**, 381-389.

Levitt J. (1972). Responses of plants to environmental stress. *Acad. Press New York*.

Levitt, J. (1980). (Eds), Response of plant to environmental stresses. Vol II, water radiation, salt and others stresses, New York, *Academic Press*: 365-406.

Levy, A. A. and Feldman, M. (2002). The impact of polyploidy on grass genome evolution. *Plant physiology*, vol **130(4)**:1587-1593.

Lev-Yadun S., Gopher A., and Abbo, S. (2000). The cradle of agriculture. *Science*, vol **288**: 1602-1603.

Lin, C. M., Koh, S., Stacey, G., Yu, S. M., Lin, T. Y., Tsay, Y. (2000). Cloning and functional characterization of a constitutively expressed nitrate transporter gene, OsNRT1, from rice. *Plant Physiol.* 122, 379-388.

Lindsay, M.P., Lagudah, E.S., Hare, R.A., Munns, R. (2004). A locus for sodium exclusion (Nac1) a trait for salt tolerance, mapped in durum wheat. *Funct. Plant. Biol*, 31: 1105-1114p.

Ludlow, M. M., Chu, A. C. P., Clements, R. J., et Kerlake, R. G. (1983). Adaptation of species of *Centrosema* to water stress. *Functional Plant Biology*, **10(2)**:119-130.

Ludlow, M. M., et Muchow, R. C. (1988). Critical evaluation of the possibilities for modifying crops for high production per unit of precipitation. *Drought research priorities for the dryland tropics*: 179-211.

Ludlow, M. M., Fisher, M. J. and Wilson, J. R. (1985). Stomatal adjustment to water deficits in three tropical grasses and a tropical legume grown in controlled conditions and in the field. *Functional Plant Biology*, vol **12(2)**: 131-149.

Ludlow, M. M., and Muchow, R. (1990). A critical evaluation of traits for improving crop yields in water limited environments. *Adv Agron*, vol **43**: 107-53.

Lydie, S. (2015). Les végétaux : Evolution, développement et reproduction, Edition Quae RD10, 78026 Versailles Cedex, France ISBN : 978-2-7592-2248-3, 63p.

Lyunch, J, Van Beem, J. J. (1993). Growth and architecture of seedling roots of common bean genotypes. *Agronomy Journal*, vol **33**:1253-1257.

-M-

Madjouri, N. (2006). Estimation de l'aptitude à l'osmorégulation chez quelques graminées sous conditions de stress hydrique. Mémoire d'Ingénieur d'Etat, AMP. Dépt S. N. V. Université des Frères Mentouri Constantine 1.

MADR. (2012). Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (information économique et des statistiques), Algérie.

Mahajan, S., and Tuteja, N. (2005). Cold, salinity and drought stresses: an overview. *Archives of biochemistry and biophysics*, vol **444(2)**: 139-158.

- Martin, J. M., Talbert, L. E., Lanning, S. P. And Blake, N. K. (1995).** Hybrid performance in wheat as related to parental diversity. *Crop science*, vol **35(1)**: 104-108.
- Martre P., Morillon, R., Barrieu F., North G. B., Nobel P., and Chrispeels, M. J. (2002).** Plasma membrane aquaporins play a significant role during recovery from water deficit, *Plant Physiology*, **130**: 2101-2110.
- Maury, P. (1997).** Adaptation à la sécheresse et photosynthèse chez le tournesol. *Thèse Institut National Polytechnique de Toulouse*, 137 pp.
- Maury, P., Langlade, N., Grieu, P., Rengel, D., Sarrafi, A., Debaeke, P., et Vincourt, P. (2011).** Ecophysiologie et génétique de la tolérance à la sécheresse chez le tournesol. *Innovations Agronomiques*, vol **14** :123-138.
- Mazouz, L. (2006).** Etude de la contribution des paramètres phéno morphologiques dans l'adaptation du blé dur (*Triticum durum* Dsf.) dans l'étage bioclimatique semi aride. Mémoire de Magister. Dept Agr, Fac Sci, UHL, Batna, Algérie.
- Megherbi, A., Mehdadib, Z., Toumia, T., Moueddenec, K. et Bouadjraa, B. S. E. B. (2012).** Tolérance à la sécheresse du blé dur (*Triticum durum* Desf.) et identification des paramètres morfo-physiologiques d'adaptation dans la région de Sidi Bel-Abbès (Algérie occidentale). *Acta Botanica Gallica: Botany Letters*, vol, **159(N°1)**: 137-143p.
- Meinzer, F.C., and Grantz, D.A. (1990).** Stomatal and hydraulic conductance in growing sugarcane: stomatal adjustment to water transport capacity. *Plant, Cell Environ.* **13**: 383-388.
- Mekhlouf, A., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Sahraoui, A. H., et Harkati, N. (2006).** Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, **17(4)**: 507-513.
- Moinuddin A., Fischer, R., Sayre. K. and Reynolds, M. P. (2005).** Osmotic Adjustment in Wheat and Relation to Grain Yield under Water Deficit Environments. *Agro. J.***97**:1062-1071.
- Monneveux, P. (1991).** Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hiver ? In : Chalbi, Demarly Y, eds. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Tunis: AUPELF-UREF, John Libbey Eurotext, Paris, pp: 165-186.
- Monneveux, P. et This, D. (1997).** La génétique face au problème de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse: Espoirs et difficultés. *Sécheresse*, vol **8(1)**: 29-37.
- Monneveux, P., et Depigny-This, D. (1995).** Intégration des approches physiologiques, génétiques et moléculaires pour l'amélioration de la tolérance à la sécheresse chez céréales. *Quel avenir pour l'amélioration des plantes*: 149-163.

- Monneveux, P., et Nemmar, M. (1986).** 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.): étude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agronomie*, **6(6)**: 583-590.
- Moradshahi, A., Salehi esk Andari, B., and Kholdebarin, B. (2004).** Some physiological responses of canola (*Brassica napus* L.) to water deficit stress under laboratory conditions. *Iranian Journal of Science and Technology (Sciences)*, **28(1)**: 43-50.
- Morant-Manceau, A., Pradier, E. and Tremblin, G., (2004).** Osmotic adjustment, gas exchanges and chlorophyll fluorescence of a hexaploid triticale and its parental species under salt stress. *J. Plant Physiol*, **161**: 25-33.
- Morgan, J. M., Hare, R. A. and Fletcher, R. J. (1986).** Genetic variations in osmoregulation in bread and durum wheat and its relationship to grain yields in a range of field environment. *Aust J. Agric. Res*, vol **37**: 449-457p.
- Morgan, J.A., Le Cain, D.R., Mc Caig, T.N. and Quick, J.S. (1993).** Gas exchange, carbon isotope discrimination and productivity in winter wheat. *Crop Sci*, vol **33**: 178-186p.
- Morgan, J. M. (1983).** Osmoregulation as a selection criterion for drought tolerance in wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*, vol **34**: 607-614.
- Morgan, J. M. (1992).** Osmotic components and properties associated with genotypic differences in osmoregulation in wheat. *Aust J Plant Physiol*, vol **19**:67-76.
- Morgan, J. M. (1984).** Osmoregulation and water stress in higher plants. *Annu.Rev.Plant .Physiol*, vol **35**: 299-319.
- Morsli, L. (2010).** Adaptation du blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans les conditions des hautes plaines constantinoises. *Thèse doctorat*, Université Badji Mokhtar Annaba, Alger 99 p.
- Mouellef, A. (2010).** Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au stress hydrique. Mémoire Magister, Université des Frères Mentouri Constantine 1, 118p.
- Mouri, C., Benhassaini H., Bendimered, F. Z. et Belkhodja, M. (2012).** Variation saisonnière de la teneur en proline et en sucres solubles chez l'oyat (*Ammophila arenaria* (L.) Link) provenant du milieu naturel de la côte ouest de l'Algérie. *Acta Botanica Gallica: Botany Letters* Vol. 159, No. 1, 127-135pp.
- Munns, R. (2002).** Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Envi*, **25**: 239-250p.

Munns, R., and Weir, R. (1981). Contribution of sugars to osmotic adjustment in elongating and expanded zones of wheat leaves during moderate water deficits at two light levels. *Functional Plant Biology*, **8(1)**: 93-105.

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., and Gilliam, M. (2012). Wheat grain yield on saline soils is improved by an ancestral Na⁺ transporter gene. *Nature Biotechnology*, vol **30**: 360-364.

Munns, R., James, R. A., and Lauchli, A. (2006). Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *J. Exp. Bot*, **27**: 1025-1043.

Mwadzingeni, L., Shimelis, H., Tesfay, S., and Tsilo, T. J. (2016). Screening of bread wheat genotypes for drought tolerance using phenotypic and proline analyses. *Frontiers in Plant science*, vol 1276(7):1-12p.

-N-

Nachit, M., Nachit, G., Keteta, H., Gauch, H.G. and Zobel, R.W. (1992). Use of AMMI and linear regression models to analyse genotype environment interaction in durum wheat. *Theor. Appl. Gent*, vol **83**: 597-601.

Narayan, D. (1991). Root growth and productivity of wheat cultivars under different soil moisture conditions. *Intern. J. Ecology and Environ. Sci*, vol **17**: 19-26.

Navarro, A. R. and Rubio, F. (2006). High-affinity potassium and sodium transport systems in plants, *Journal of Experimental Botany*, vol **57(5)**:1149-1160.

Nemmar, M. (1980). Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) et chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.): étude l'accumulation de la proline sous l'effet du stress hydrique. Thèse D. A. A. ENSA. Montpellier 63 pp.

Nemmar, M. (1983). Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez les variétés de Blé dur (*Triticum durum* Desf.) et de Blé tendre (*Triticum aestivum* L.): évolution des teneurs en proline au cours du cycle de développement. Thèse ENSA Montpellier. France. 108 pages.

Nicolas, M. E., Gleadow, R. M., and Dalling, M. J. (1984). Effects of drought and high temperature on grain growth in wheat. *Functional Plant Biology*, **11(6)**: 553-566.

Nouri, L. (2011). Identification de marqueurs physiologiques de la tolérance à la sécheresse chez le tournesol (*Helianthus annuus* L.). Thèse doctorat en Sciences, Université des Frères Mentouri Constantine, Alger 131pp.

Nouri, L. (2002). Ajustement osmotique et maintien de l'activité photosynthétique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) en condition de déficit hydrique. Thèse de Magister en Biologie végétale, Université des Frères Mentouri, Constantine, 77 p.

-O-

O'Brien, L. (1979). Genetic variability of root growth in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Aust J Agric Res* **30**, 587-595.

Olufayo, A., (1994). Les indicateurs du stress hydrique. *Thèse de D.E.A.*

Osonubi, O., Oren, R., Werket. K. S., and Schulze, E. D. (1988). Performance of two *Picea abies* (L) karst. Stands of different stages of declin. Xylem sap concentrations of magnesium, calcium, potassium and nitrogen. *J. Oecologia*, (77): 1-6 pp.

Ottow, E. A., Brinker, M., Teichmann, T., Fritz, E., Kaiser, W., Brosché, M., and Polle, A. (2005). *Populus euphratica* displays apoplastic sodium accumulation, osmotic adjustment by decreases in calcium and soluble carbohydrates, and develops leaf succulence under salt stress. *Plant Physiology*, vol **139(4)**: 1762-1772.

Oukara, F.Z., Chaouia, C. et Benrebaha, F. Z, (2017). Contribution a l'étude de l'effet du stress hydrique sur le comportement morphologique et physiologique des plantules du pistachier de l'atlas *Pistacia atlantica* desf. *Revue Agrobiologia* ISSN (print): 2170-1652 e-issn: 2507-7627 www.agrobiologia.net.

-P-

Palfi, G., Koves, E., Bito, M., and Sebestyen, R. (1974). The role of amino acids during water stress in species accumulating proline. *Phyton (Buenos Aires)* vol **32**: 121-127

Passioura, J. B. (1977). Grain yield, harvest index and water use of wheat. *J Aust Agric Sci*; **43**: 117-20.

Passioura, J.B. (1994). The yield of crops in relation to drought. In: Boote KJ, et al., eds. *Physiology and Determination of Crop Yield*. Madison, WI, USA: *Crop Science Society of America*: 343-59.

Pathan Safiullah, M., Blum, A. and Ngugen, H.T. (1999). Comparison of measurement methods of osmotic adjustment in Rice cultivars. *Crop sci*, vol **39**: 150-158.

Perrier, F, C, R, M., Mckell M and Davidson J, M. (1961). Plant-soil-water and relation of tow subspecies of chard grasses. *Soil Scien*, **92**:413-420.

Pesci, P., and Beffagna, N. (1984). Inhibiting effect of fusaric acid on abscisic acid-induced proline accumulation in barley leaves. *Plant science letters*, vol **36(1)**: 7-12.

Pilot, G., Pratelli, R., Gaymard, F., Meyer, Y., and Sentenac, H. (2003). Five-group distribution of the Shaker-like K⁺ channel family in higher plants. *Journal of Molecular Evolution*, vol **56(4)**: 418-434.

Poormohammad Kiani, S., Nouri, L., Maury, P., Darvishzadeh, R., Grieu, P. and Sarrafi A, (2009). Genetic variation and identification of molecular markers associated with osmotic adjustment-related traits in gamma irradiation-induced mutants of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Genetics and Breeding*, vol **62**: 67-74.

Popova O, Ismailov, S., Popova, T., Dietz, K. J., and Gollack, D. (2002). Salt induced expression of NADP-dependent iso citrate dehydrogenase and ferredoxin-dependent glutamate synthase in *Mesembryanthimum crystallinum*, *Planta*, vol **215**: 903-914.

Premachandra, G. S., Saneoka, H. and Ogata, S., (1991). Cell membrane stability and leaf water relations as affected by potassium nutrition of water-stressed maize. *J. Exp. Bot*, vol **42**: 739-745.

-R-

Radhouane, L . (2008). Corrélation entre le stade de germination et le stade adulte en présence de stress hydrique chez quelques ecotypes de mill (*Pennisetum glaucum*(L).R.Br. *Comptes Rendues Biologies*, vol **331(8)**: 623-630.

Radhouane, L. (2011) . Accumulation métabolique en présence de contraintes hydrique chez le mill (*Pennisetum glaucum*(L).R.Br)¹INRAT. *Avenie Hédi Karray*. Ariana 2049.Tunisie. *Revue des Régions Arides* n°**25(1)**:15-34 pp.

Rascio, A., Platani, C., Scalfati, G., Tonti, A., and Di Fonzo, N. (1994). The accumulation of solutes and water binding strength in durum wheat. *Physiologia Plantarum*, vol **90(4)** : 715-721.

Rastoin, J.L., et El Hassan, B. (2014). Les céréales et les oléoprotéagineux au Maghreb pour un co-développement d'un filières territorialisées, *Institut de prospective Economique du Monde Méditerranéen*; Pour une présentation méthodologique de l'analyse de filières agroalimentaires, *Construire la Méditerranée*. *IPEMED*, cf. Rastoin et Ghersi, 2010.136 pp

Rekika, D. (1997). Identification et analyse génétique des caractères physiologiques liés au rendement en conditions de sécheresse chez le blé dur. Intérêt potentiel des espèces sauvages apparentées pour l'amélioration de ces caractères. *Thèse Doctorat, ENSAM France* : 160 p.

Rekika, D., Monneveux, P., and Havaux, M. (1997). The in vivo tolerance of photosynthetic membranes to high and low temperatures in cultivated and wild wheat's of the *Triticum* and *Aegilops* genera. *Journal of Plant Physiology*, vol **150(6)**: 734-738.

Richards, R. A., and Passioura, J. B. (1981). Seminal Root Morphology and Water Use of Wheat II. Genetic Variation 1. *Crop Science*, vol **21(2)**: 253-255.

Rush, D.W. and Epstein, E. (1981) Comparative studies on sodium, potassium and chloride of a wild halophytic and a domestic Salt-sensitive tomato species. *J. Plant Physiol*, **68**: (1981) 1308-1313.

- S -

Salah, H.B.H., and Tardieu, F. (1997). Control of leaf expansion rate of droughted maize plants under fluctuating evaporative demand. A superposition of hydraulic and chemical messages?. *Plant Physiol*. **114**: 893-900.

Salmi, M., Haddad, L., Oulmi, A., Benmahammed, A. et Benbelkacem, A. (2015). Variabilité phénotypique et sélection des caractères agronomiques du blé dur (*Triticum durum* Desf.) Sous conditions semi-arides. *European Scientific Journal* vol.11(21), ISSN: 1857-7881 (Print) e- ISSN 1857- 7431.

Salsac, L. et Monneveux, P. (1991). Relations entre la nutrition minérale et la tolérance au déficit hydrique. *Physiology-Breeding of Winter Cereals for Stressed Mediterranean Environments. Colloques INRA*, **55**: 49-66.

Sanchez, DH., Schwabe, F., Erban, A., Udvardi, MK., Kopka, J. (2011). Comparative metabolomics of drought acclimation in model and forage legumes. *Plant Cell Environ* (2011), [10.1111/j.1365-3040.2011.02423.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2011.02423.x)

Sassi, K. (2008). Contribution à l'étude de l'adaptation des cultivars de blé dur (*Triticum durum* Desf.) à l'agriculture biologique : rendement en grains, stabilité et qualité technologique et nutritionnelle. Thèse Doctorat en Agronomie et Biotechnologie Végétale, *Institut National Agronomique de Tunisie (INAT)*, 171p.

Savouré, A., Jaoua, S., HuaXue, Jun., Ardiles, W., Van Montagu, M. and Verbruggen, N. (1995). Isolation, caractérisation and chromosomal location of a gene encoding the DELTA 1-pyrroline .5.carbohydrate synthetase in *Arabidopsis thaliana*. *FEBS Letters* **372**:13-19.

Sayar, R., Mosbahi, M., H. Bchini, H., et Khemira, H. (2008). Le rôle des traits architecturaux des racines dans l'adaptation du blé dur (*Triticum durum* DESF.) Aux environnements à contrainte hydrique. *Ann. De l'INRAT*, **81 (1)** :196-213p.

- Sechley, K. A., Yamaya, T., Oaks, A. (1992).** Compartmentation of nitrogen assimilation in higher plants. *Int. Rev. Cyt.* vol **134**: 85-163
- Segonzac, C., Boyer, J. C., Ipotesi, E., Szponarski, W., Tillard, P., Touraine, B., and Gibrat, R. (2007).** Nitrate efflux at the root plasma membrane: identification of an Arabidopsis excretion transporter. *The Plant Cell*, vol **19(11)** : 3760-3777.
- Semcheddine, N. (2008).** Utilisation de la discrimination isotopique du carbone comme critère de sélection du blé dur en relation avec le bilan hydrique. Mémoire de Magister, Département d'Agronomie, Université Ferhat Abbas, Setif, 101 p.
- 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. Thèse Doctorat, Université Farhat Abbas Sétif 1, Alger, 93p.
- Shabala, S. N., Shabala S. I., Martynenko, A.I, Babourina, O. and Newman, I. A. (1998).** Salinity effect on bioelectric activity, growth, Na⁺ accumulation and chlorophyll fluorescence of maize leaves: a comparative survey and prospects for screening, *Journal Plant Physiology*, Vol. 25: 609-616p.
- Sharm, S. S., and Dietz, K. J. (2006).** The significance of amino acids and amino acid-derived molecules in plant responses and adaptation to heavy metal stress. *J Exp Bot* 2006, vol **57**: 711-726.
- Sharp, R. E. (2002).** Interaction with ethylene: changing views on the role of abscisic acid in root and shoot growth responses to water stress. *Plant Cell and Environment* vol **25**: 211-222.
- Sing, T. N., Aspinall, D., and Paleg, L. G. (1973).** Stress metabolism III-Variations in response to water deficit in the barley plant. *Aust. J. Biol. Sci.*, **26**: 65-76.
- Sivakumar, P., Sharmila, P., and Saradhip, P. P. (2000).** Proline alleviates salt-stress induced enhancement in Ruisco oxygenase activity. *Biochem Biophys Res Commun*, **279**:512-50.
- 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 Tunisie.
- Slama, A., Ben Salem, M., Ben Naceur, M., et Zid, B. (2005).** Les céréales en Tunisie: production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. *Sécheresse*; **16 (3)**: 225-9.
- Slama, F. (1986).** Intervention des racines dans la sensibilité ou la tolérance à NaCl de plantes cultivées. *Agronomie*, **6(7)**: 651-658.

Slama, I., Chedly, A., Bouchereau, A., Tim, F. and Savouré, A. (2015). Diversity, distribution and roles of osmoprotective compounds accumulated in halophytes under a biotic stress. *Ann Bot.* 2015; **115(3)**: 433-447. Doi: [10.1093/aob/mcu239](https://doi.org/10.1093/aob/mcu239).

Snoussi, S. A., et Abbad, M. (2012). Production De Proline Chez La Tomate Dans Un Environnement Salin. *Agrobiologia*, **2(1)**: 52-56.

Soltani, A. (1988). Analyse des effets de NaCl et de la source d'azote sur la nutrition minérale de l'orge. *Thèse de Doctorat d'État, Faculté de Sciences de Tunis*.

Soltner, D. (1988). Les bases de la production végétale. **Tome 1: Le sol** (16th edn.) *Collection Sciences et Techniques Agricoles*, Angers.

Steduto, P., Alvino, A., Maglino, V. and Sisto, L. (1986). Analysis of the physiological and reproductive responses of five wheat varieties under rainfed and irrigated conditions in southern Italy. Dans : Drought Resistance in Plants : *Physiological and Genetic Aspects*, EEC Mtg, Amalfi, 19-23 octobre 1986, pp: 131-149.

Szabados, L. et Savoure, A. (2010). Proline: a multifunctional amino acid. *Trends in plant science*, vol **15(2)**: 89-97.

-T-

Tahri El-Houssine., Belabed, A. et Sadki, K. (1998). Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum*). *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat*, 1997 (**21**) : 81-87.

Taiz, L., et Zeiger, E. (2006). Auxin: The growth hormone. *Plant Physiology*, **4(1)**: 468-507.

Tanguilig, V. C., Yambao, E. B., O' Toole, J. C. et de Datta, S. K. (1987). Water stress effects on leaf elongation, leaf water potential transpiration and nutrient uptake of rice, maize and soybean. *Plant Soil*, **103**: 155-168.

Tardieu, F., et Dreyer, E. (1997). Régulation des échanges gazeux par les plantes soumises à la sécheresse. In *L'eau dans l'espace rural. Production végétale et qualité de l'eau*. Edited by INRA- Éditions. Institut National de Recherche Agronomique. Pp. 41-5.

Thameur, A., Ferchichi, A., et López-Carbonell, M. (2011). Quantification of free and conjugated abscisic acid in five genotypes of barley (*Hordeum vulgare* L.) under water stress conditions. *Science direct. South African Journal of Botany*, vol. **77**: 222-228 pp.

Thameur, A., Lachiheb, B., et Ferchichi, A. (2012). Drought effect on growth, gas exchange and yield, in two strains of local barley Ardhaoui, under water deficit conditions in

southern Tunisia. *Science direct. Journal of Environmental Management*, Vol (113): 495-500 p.

Tomassone, R., Audrain, S., Lesquoy-Deturckheim, et Millier, C. (1992). La régression: *nouveaux regards sur une ancienne méthode statistique*.

Toumi, M., Barris, S., et Aid, F. (2014). Effets des stress hydrique et osmotique sur l'accumulation de proline et de malondialdéhyde (MDA) chez deux variétés de colza (*Brassica napus* L.) *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de la Vie*, N° 36: 17-24.

Trejo, C. L., Clephan, A. L. and Davies, W. J. (1995). How do stomata read abscisic acid signals?. *Plant Physiology*, 109(3): 803-811.

Triboï, E. (1990). Modèle d'élaboration du poids du grain chez le blé tendre. *Agronomies*, 10: 191-200.

Troll, W., and Lindsley, J. (1955). A photometric method for the determination of proline *J.Biol. Chemistry*, 215: 655-660p.

Turner, N.C. (1979). Drought resistance and adaptation to water deficits in crops plants. *In: Stress Physiology in Crop Plants, Mussell, H. et Staples, R. C. (éds). Wiley Inter sciences, New York: 303-372 p.*

Turner, N.C. (1986). Adaptation to water deficit: a changing perspective. *Aust. J. Plant Physiol*, vol 13: 175-90p.

Turner, N.C. (1997). Further progress in crop water relations. *Advances in Agronomy*, 58: 293-338p.

Turner, N.C., Wright, G.C., and Siddique, K. H. M. (2001). Adaptation of grain legume to water-limited environments. *Adv Agron*, vol 71: 193-231p.

-V-

Van Keulen, H. (1981). Modelling the interaction of water and nitrogen. *Plant and Soil*, 58(1-3): 205-229.

Vavilov, N. I. (1951). The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants. Selected writings. New-York, Ronald Press, 364 p. (*Chronica Botanica*).

Venekamp, J.H., Lampe, J.E.M., and Koot, J.T.M. (1989). Organic acids as sources for drought-induced proline synthesis in field bean plants, (*Vicia faba* L.). *Plant Physiol*.133: 654-659 p.

Vinocur, B., and Altman A. (2005). Recent advances in engineering plant tolerance to abiotic stress: achievements and limitations. *Curr. Opi. Biotech*, **16**: 123-132.

Viratelle, L. (1992). Caractérisation de l'enroulement foliaire induit par la sécheresse chez deux graminées cultivées **1992**.

Voetberg, G. S. and Sharp, R. E. (1991). Growth of the maize primary root in low water potentials. III. Roles of increased proline depositions in osmotic adjustment. *Plant Physiol*, **96**:1125-1130.

-W-

Wang, G.Z., Miyashita, N.T., and Tsunewaki, K. (1997). Plasmon analyses of *Triticum* (wheat) and *Aegilops*: PCR-single-strand conformational polymorphism (PCR-SSCP) analyses of organellar DNA. *PNAS.*, **94**: 14570-14577.

Wang, W. X., Brak, T., Vinocur, B., Shoseyov, O., and Altman, A. (2003). A biotic resistance and chaprones: Possible physiological role of SP1, a stable and stabilizing protein from populus. In: Vasil IK (ed), *Plant Biotechnology 2000 and beyond*. Kluwer, Dordrecht, 439-443 pp.

Wang, Z., Quebedeaux, B., and Stutte, G. W. (1995). Osmotic adjustment: effect of water stress on carbohydrates in leaves, stems and roots of apple. *Functional Plant Biology*, **22(5)**: 747-754.

Wartinger, A., Heilmeier, H., Hartung, W., and Schultze E. D. (1990). Daily and seasonal courses of leaf conductance and abscisic acid in the xylem sap of almond trees (*Prunus dulcis* M.) under desert conditions. *New Phytol*, **116**: 581-587.

Weimberg, R., Lerner, H.R. and Poljakooff-Mayber, A. (1986). Changes in growth and water-soluble solute concentrations in *Sorghum bicolor* stressed with sodium and potassium salts. *Physiol. plant*, **62**: 472-480.

Wendehenne, D., Lamotte, O., Frachisse, J. M., Barbier-Brygoo, H., and Pugin, A. (2002). Nitrate efflux is an essential component of the cryptogein signaling pathway leading to defense responses and hypersensitive cell death in tobacco. *The Plant Cell*, **14(8)**:1937-1951.

Wilfred, C. (2005). Proline as a measure of stress in tomato plants. *Plant Science*, **168**:241-248 p.

Wilson J.R., Fischer, M. J., Schutze, E.D., Dolby, G. R., and Ludlow M. M. (1979). Comparaison between pressure -volume and lewd point-hygrometry techniques for determining water relation characteristics of grass and legume leaves. *Ecologia*, **41**:77-88. With the scanning electron microscope. *Can.J .Bot.* Vol **58**: 2467-2480 p.

Wyn Jones, R.G. and Gorham, J. (1998). Use of physiological traits in breeding for salinity tolerance. Dans: Drought Resistance in Cereals, Baker F.W.G. (ed.). CAB International, Wallingford. *Wallingford, 1998.*

-Y-

Yan, W., Hunt, L. A., Shang, Q., and Szlavnic, Z. (2000). Cultivar evaluation and mega environment investigation based on model GGE ballot, *Crop Science*, **40**: 597-605.

Yokoi, S., Quintero, F. J., Cubero, B., Ruiz, M. T., Bressan, R. A., Hasegawa, P. M., and Pardo, J. M. (2002). Differential expression and function of *Arabidopsis thaliana* NHX Na⁺/H⁺ antiporters in the salt stress response. *The Plant Journal*, **30(5)**: 529-539.

Yousfi, S., Serret M. D., Voltas, J., and Araus J. L. (2010). Affect of salinity and water stress during the reproductive stage on growth, ions concentrations, $\Delta^{13}C$, and $\delta^{15}N$ of durum wheat and related *amphiploids*, *Journal of Experimental Botany*, Vol, **61** (13):3529-3542 p.

-Z-

Zadock's J. C., Chang T. T., and Konzak C. F. (1974). A decimal code for growth stages of cereals. *Weed Res.* **14**: 415-421p.

Zaharieva, M. (1996). Etude des ressources génétiques d'Aegilops de Bulgarie. Thèse de Doctorat, Université de Montpellier, 184p.

Zegad, W., Maataoui, B. S., Hilali, S., EL Antri, S et Hmyenne. A. (2008). Etude comparative des mécanismes biochimiques de résistance au stress hydrique de deux variétés de blé dur. *Lebanese Science Journal*, Vol. **9** (2): 27-36.

Zerafa, C., Ghenai, A. et Benlaribi, M. (2017). Comportement phénologique et morphologique de quelques génotypes d'orge et de blé. *European Scientific Journal*, *ESJ*, **13(6)**. <http://dx.org/10.19044/esj.v13 n6 p287>.

Zhang, J., Babu, R.C. Pantuwan, G., Kamoshita, A., Blum, A., Wade, L, G., Sarkarung, S., O'toole, J, C and Negyen, H, T. (1999). Molecular dissection of drought tolerance in rice: from physio-morphological traits of field performance in: Proceeding of the paper presented at al International Workshops in Molecular approaches for the genetic improvement of Cereals for Stable Production in Water-Limited Environment, *CYMMYT*, Albatan, Mexico, 21-25p.

Zoghmar, M., Kara, Y., Farhati, L., Zeltani, A., and Bouchareb, R. (2016). Morphological and agricultural diversity of durum wheat varieties sown in a semi-arid area. *Advances in Environmental Biology*, **10(4)**: 108-120p.

Résumés

Résumé

Divers caractères morpho-physiologiques, biochimiques et phénologiques liés à la tolérance à la contrainte hydrique (surface foliaire, ajustement osmotique, accumulation des osmotocums, caractères racinaires et durée d'épiaison) ont été étudiés chez dix génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) à comportements agronomiques contrastés.

Des variations importantes entre les génotypes testés ont été observées essentiellement pour la teneur relative en eau, potentiel osmotique et les différents osmotocums analysés au niveau symplasmique indiquant que leurs comportements vis-à-vis de ces osmotocums sont sensiblement différents d'un degré de stress à un autre. Les relations entre ces caractères et les stratégies d'adaptation développées par chaque variété ont été décrites. Le classement des génotypes étudiés en fonction de leur sensibilité vis-à-vis du stress hydrique indique que les génotypes Cirta, Boussellam, Mohamed Ben Bachir, Bidi 17 et Wahbi accusent une longue durée de remplissage du grain, une teneur relative en eau élevée et sont par conséquent performants et tolérants à la contrainte hydrique. Les variétés ayant montrées une sensibilité au stress sont par conséquent peu productifs à l'image de la variété Sémito.

Ce constat nous emmène à formuler que tolérance et grande capacité d'ajustement osmotique sont consubstantiels. D'autres résultats mettent en exergue des corrélations négatives significatives entre teneur en nitrates et proline montrant ainsi l'existence probable d'une connexion entre la voie de biosynthèse de la proline et l'assimilation des nitrates. Des relations étroites ont été observées essentiellement entre ajustement osmotique, teneur en sucres solubles et proline. Ceci suggère que l'osmoticum qui contribue le plus à l'ajustement osmotique par ordre de préférence sont les sucres solubles, proline, potassium et à un degré moindre les nitrates.

En cas de stress, la réponse biochimique évaluée à travers le processus d'accumulation de la proline et des sucres solubles des variétés (Waha, Boussellam, Mohamed Ben Bachir, Cirta et Bidi17) sous stress hydrique s'est révélée être un critère d'adaptation efficace. Les corrélations entre la capacité d'ajustement osmotique et le rendement montrent le rôle fiable de l'ajustement osmotique dans la tolérance au déficit hydrique. Les résultats obtenus aux champs révèlent l'existence de génotypes performants, peu productifs et non performants. La durée d'épiaison a permis de classer les génotypes en (précoces et tardifs).

Mots clés

Blé dur, adaptation, teneur relative en eau, proline, sucres solubles, ajustement osmotique, potassium, nitrate, nombre de racines principales et rendement potentiel.

الملخص:

مختلف المعايير المورفو-فيزيولوجية، المعايير البيوكيميائية و الفينولوجية المتعلقة بالتحمل للإجهاد المائي (المساحة الورقية، التعديل الاسموزي، تراكم المنظمات الاسموزية، الخصائص الجذرية و فترة الإنبال) تمت دراستها عند عشرة أصناف من القمح الصلب (*Triticum durum Desf.*) ذات تباين وراثي مختلف في سلوكها الزراعي.

أظهرت النتائج أن هناك اختلافات كبيرة معنوية و واضحة بين الأنماط الوراثية المدروسة التي خضعت للاختبار وخاصة بشكل أساسي بالنسبة للمحتوى النسبي للماء ، الضغط الاسموزي و مختلف المنظمات الاسموزية التي تم تحليلها على المستوى البين خلوي ، مما يشير إلى أن سلوك هذه الأصناف يختلف اختلافاً كبيراً من درجة إجهاد إلى آخر. وقد تم وصف العلاقات بين هذه الصفات واستراتيجيات التأقلم التي طورها كل صنف . يشير تصنيف التراكيب الوراثية التي تمت دراستها وفقاً لحساسيتها تجاه الإجهاد المائي إلى أن كل من الأصناف: *Boussellam*، *Cirta*، *Mohamed Ben Bachir*، *Bidi 17* و *Wahbi* تتميز بفترة امتلاء للحبوب طويلة ومحتوى مائي نسبي مرتفع وبالتالي فهي فعالة وتتسامح مع الإجهاد المائي. في حين، فإن الأصناف التي أظهرت حساسية للإجهاد هي ضعيفة المردود الحبي تماماً مثل الصنف *Sémito*.

تؤكد النتائج المتحصل عليها أيضاً أن كل من التسامح والقدرة الكبيرة للتعديل الاسموزي هما ظاهرتان مرتبطتان لا يمكن فصلهما. نتائج أخرى أظهرت أن هناك ارتباطات سلبية معنوية بين كمية النترات ومحتوى البرولين مما يدل على احتمال وجود علاقة بين مسار تخليق البرولين وناتج امتصاص النترات.

أسفرت الدراسة البيوكيميائية وجود علاقات وثيقة أساساً بين التعديل الاسموزي، محتوى السكريات الذوابة و كمية البرولين. هذا ما يشير إلى أن المنظم الذي يساهم بشكل أكبر في التعديل الاسموزي حسب الترتيب التفاضلي هو السكريات الذوابة، محتوى البرولين وكذلك البوتاسيوم. أما النترات فهي تساهم في التعديل الاسموزي و لكن بشكل أقل مقارنة مع دور السكريات الذوابة و البرولين. إن السكريات الذوابة و البرولين هما عنصرين أساسيين في التعديل الاسموزي عند القمح الصلب.

إن تقييم الاستجابة البيوكيميائية عند الأصناف (*Waha*, *Boussellam*, *Mohamed Ben Bachir*) و *Cirta Bidi17*) وهذا من خلال مراكبتها للسكريات الذوابة و البرولين يمكن اعتبارهما كمعيارين فعالين للتكيف و التأقلم.

أوضحت درجة الارتباط التي سجلت ما بين كل من سعة التعديل الاسموزي و المردود الحبي الدور الذي يلعبه التعديل الاسموزي في تحسين التأقلم مع الجفاف. أظهرت النتائج المتحصل عليها من خلال التجربة الحقلية وجود أصناف ذات مردود جيد ، أصناف أخرى ذات مردود منخفض و أصناف ضعيفة المردود . إن تقدير فترة الإنبال سمح بتقسيم الأصناف المدروسة إلى مبكرة و متأخرة.

الكلمات المفتاحية

القمح الصلب ، التأقلم ، المحتوى النسبي المائي ، البرولين ، السكريات الذوابة ، الضغط الاسموزي ، البوتاسيوم ، النترات، عدد الجذور الرئيسية ، المردود.

Abstract:

Various morpho-physiological, biochemical and phenological features related to water stress tolerance (leaf area, osmotic adjustment, osmotic accumulation, root traits and date to heading) were studied in ten genotypes of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) with contrasting agronomic behaviour.

Significant variations between the tested genotypes were observed mainly for the relative water content, osmotic potential and the various osmolytes analysed at the symplasmic level indicating that their behaviour with respect to these osmolytes is significantly different from a degree of stress to another. The relationships between these traits and the adaptation strategies developed by each variety have been described. The classification of the genotypes studied according to their sensitivity to water stress indicates that the Cirta, Boussellam, Mohamed Ben Bachir, Bidi 17 and Wahbi genotypes have a long grain filling time, high relative water content (RWC) and are therefore efficient and tolerant to water stress. Varieties that have shown sensitivity to stress are therefore not very productive, just like the Sémito variety.

This observation leads us to conclude that tolerance and great capacity of osmotic adjustment are consubstantial. Other results highlight significant negative correlations between nitrate and proline content and thus showing the probable existence of a connection between the proline biosynthesis pathway and nitrate uptake. Close relations have been observed essentially between osmotic adjustment, soluble sugar content and proline. This suggests that the osmolyte that contributes most to osmotic adjustment in order of preference are soluble sugars, proline, potassium and to a lesser degree nitrates.

In case of stress, the biochemical response evaluated through the process of accumulation of proline and soluble sugars varieties (Waha, Boussellam, Mohamed Ben Bashir, Cirta and Bidi17) under water stress has proved to be a criterion of effective adaptation.

Correlations between osmotic adjustment capacity and yield show the reliable role of osmotic adjustment in water deficit tolerance. The results obtained in the fields reveal the existence of high performance, low productivity and non-performing genotypes. The duration of heading allowed classifying the early and late genotypes.

Key words

Durum wheat, adaptation, relative water content, proline, soluble sugars, osmotic adjustment, potassium, nitrate, number of main roots, and potential yield.

Annexes

Annexe 1. Analyse physico-chimiques du sol (substrat utilisé lors de l'expérimentation).

Substrat	Matières organiques
Matières organiques %	1,737
Carbone ‰	10,1
	Réserves minérales
CaCO₃ total %	21,28
CaCO₃ actif %	9,0
	Solution du sol
% Saturation	68
pH	8,16
CE (millimhos/cm)	1,5
CO₃H⁻ (méc/l)	0,61
SO₄⁻ (méc/l)	6,97
Cl⁻ (méc/l)	12,12
Ca⁺⁺ (méc/l)	10,97
Mg⁺⁺ (méc/l)	2,97
Na⁺ (méc/l)	5,67
K⁺ (méc/l)	0,09
<i>Laboratoire de chimie des sols, Constantine (Année 2012/2013)</i>	

Annexe 2. Effets moyen année, Effet moyen génotype et Interaction génotype x année des variables mesurées au cours des années de l'essai (durée d'épiaison DE et surface foliaire SF)

Variables								
DE (Jours)					SF (cm ²)			
Effet année								
2011/012	142,8± 6,068 a				28,30±5,68 a			
2012/013	141,25± 2,69 b				20,59±4,64 b			
2013/014	138,03± 4,18 c				28,379±3,84 a			
Effet génotypes×année								
	2011/012	2012/013	2013/014	Moyenne	2011/012	2012/013	2013/014	Moyenne
Cirta	143,25±0,8	142,25±1,1	134,25±1,4	139,91±4,66 de	29,91±2,12	22,54±2,30	28,37±1,85	26,93±5,04 abc
MBB	149,5±0,6	144±0,9	140,5±1,0	144,67±4,185 b	26,28±2,12	19,87±1,42	28,52±2,45	24,887±5,32 bc
Waha	144±0,9	135,75±0,5	131,25±1,5	137±5,83 f	32,98±2,18	17,64±2,58	25,88±1,05	25,497±7,525 bc
Bidi17	140±0,71	143,75±0,85	140,75±1,6	141,5±2,67 c	33,85±0,7	24,62±2,26	32,43±0,93	30,29±5,003 a
Wahbi	140±0,65	142±0,71	140,75±1,1	146,43±7,62 a	26,81±1,7	19,63±1,20	30,26±0,81	25,56±5,186 bc
Boussellam	136,25±0,48	141±0,41	137,5±0,29	138,25±2,22 ef	21,32±0,36	23,21±3,79	26,61±1,26	23,71±4,776 bc
Sémito	143,75±0,25	141±0,91	133,25±0,6	139,3±4,79 de	25,84±1,8	20,23±3,56	22,65±0,73	22,903±4,879 c
GTA Dur	138±0,41	140,75±1,75	141,5±0,65	140,08±2,54 cde	20,80±0,79	17,94±1,38	30,05±0,94	22,93±5,74 c
B-Mestina	138,25±0,48	141,25±0,63	142,75±0,4	140,75±2,18 cd	32,60±3,16	21,37±1,51	30,80±2,83	28,25±6,97 ab
Omruuff	138,5±0,50	140,75±0,48	137,75±0,4	139±1,59 de	32,63±1,98	18,91±1,5	28,23±1,1	26,58±6,61 abc

Annexe 3. Effets moyen année, Effet moyen génotype et Interaction génotype x année des variables mesurées au cours des années de l'essai (caractères morphologiques HP et CE)

Variables								
HP (cm)				CE (cm)				
Effet année								
2011/012	97,44± 13,61 a				17,06± 3,39 a			
2012/013	75,41± 12,36 b				12,50± 2,67 c			
2013/014	93,71± 12,64 a				15,27± 4,194 b			
Effet génotypes×année								
	2011/012	2012/013	2013/014	Moyenne	2011/012	2012/013	2013/014	Moyenne
Cirta	94,125± 2,2	68,175± 3,52	87,375±5,32	83,2± 3,48 b	21,00± 1,96	10,49± 1,16	14,88± 0,77	15,45± 5,157 a
MBB	101,75± 5,8	86,125± 7,99	119,25±1,10	102,37± 17,53 a	14,95± 0,48	12,30± 1,20	12,88± 0,31	13,37± 1,82 b
Waha	93,5± 1,27	87,3125± 9,49	87± 6,15	89,27± 12,29 b	13,75± 0,85	14,17± 0,89	19,88± 0,71	15,930± 3,27 a
Bidi17	131,75± 1,3	77,9375± 5,45	108,25±1,65	105,97± 23,80 a	22,00 ± 1,04	12,15± 1,69	12,88± 0,51	15,67± 5,148 a
Wahbi	98,125± 1,5	69,6875± 2,4	90± 2,12	85,93± 13,03 b	18,00± 1,29	12,17± 0,97	16,75± 0,32	15,640± 3,133 a
Boussellam	93,415± 4,6	77,6875± 4,16	83,875±3,2	84,99± 9,97 b	16,14± 1,38	12,11± 1,83	18,75± 1,10	15,66± 3,90 a
Sémito	82,29± 3,29	71,375± 3,58	85± 1,47	79,55± 8,12 b	17,29± 1,32	12,96± 0,25	18,50± 0,64	16,249± 2,93 a
GTA Dur	93± 0,46	75,75± 2,487	84,375±3,68	84,37± 8,71 b	13,88± 1,00	12,34± 1,36	12,73± 1,44	12,98± 2,41 b
B-Mestina	95,905± 0,9	70,4375± 10,57	95± 2,55	87,11± 16,79 b	17,47±0,419	12,85± 2,41	6,88± 0,47	12,39± 5,224 b
Omruuff	90,54± 3,47	69,625± 1,99	97± 0,73	85,72± 12,92 b	16,19± 1,55	13,50± 1,35	18,63± 1,74	16,10± 3,56 a

Annexe 4. Effets moyen année, Effet moyen génotype et Interaction génotype x années des variables mesurées au cours des années de l'essai (caractères morphologiques, LE et LB)

Variables								
LE (cm)					LB (cm)			
Effet année								
2011/012	7,95± 1,46 a				11,50± 1,53 b			
2012/013	5,56± 0,744 b				11,99± 1,26 ab			
2013/014	7,95± 1,55 a				12,41± 2,14 a			
Effet génotypes×année								
	2011/012	2012/013	2013/014	Moyenne	2011/012	2012/013	2013/014	Moyenne
Cirta	9,2±0,43	5,35±0,5	7,25±0,32	7,275±1,82 bc	11,50±0,64	11,41±0,59	12,75±0,62	11,89± 1,3 b
MBB	6,87±0,59	5,53±0,3	6,42±0,140	6,27±0,919 c	11,75±0,43	12,34±0,34	7,95±0,33	10,68± 2,139 c
Waha	7±0,61	6,03±0,6	8±0,70	7,01±1,447 bc	11,69±0,42	13,94±0,40	14,50±1,19	13,37± 1,88 a
Bidi17	9,5±0,45	6,09±0,4	6,82±0,19	7,47±1,658 bc	14,43±0,41	12,37±0,28	13,58±0,58	13,46± 1,19 a
Wahbi	9,47±0,54	5,64±0,3	10,5±1,06	8,54±2,528 a	12,38±0,23	11,21±0,37	13,25±0,59	12,28±1,17 b
Boussellam	8,59±0,42	5,29±0,28	8±1,08	7,296±1,95 bc	11,32±0,78	12,09±0,67	12,38±0,55	11,92±1,31 b
Sémito	6,5±0,29	5,42±0,63	8,12±0,72	6,68±1,562 bc	10,67±0,24	11,74±0,53	13,88±0,31	12,09±1,55 b
GTA Dur	8,76±0,38	5,39±0,18	8,87±0,37	7,678±1,79 b	11,50±0,64	12,84±0,45	12,38±0,51	12,24±1,55 b
B-Mestina	7,312±0,32	5,54±0,20	8,27±0,10	7,04±1,25 bc	9,96±0,56	10,71±0,66	10,73±0,63	10,46±1,18 c
Omruuff	6,27±0,33	5,26±0,16	7,25±0,43	6,264±1,03 c	9,88±0,41	11,29±0,56	12,76±0,82	11,305±1,67 bc

Annexe 5. Effets moyen année, Effet moyen génotype et Interaction génotype x années des variables mesurées au cours des années de l'essai (Np. m⁻² et NT.m⁻²)

Variables								
Np. m ⁻²					NT.m ⁻²			
Effet année								
2011/012	161,21±30,96 b				269,93± 87,05 b			
2012/013	129,9±27,59 c				231,19± 53,25 c			
2013/014	198,10±47,20 a				463,13± 89,36 a			
Effet génotypes×année								
	2011/012	2012/013	2013/014	Moyenne	2011/012	2012/013	2013/014	Moyenne
Cirta	172,25±19,67	117,5± 19,89	217±12,96	168,92±45,44 a	290± 88,51	231,25± 68,81	430± 37,19	317,08±106,7 b
MBB	190± 17,2	129,37± 11,25	199,5±31,26	172,95±37,87 a	368,75± 24,84	271,87± 37,49	373,75± 44,97	338,12±59,1 b
Waha	191± 4,54	123,75± 14,50	226,25±29,78	180,3±47,71 a	332,5± 20,20	217,5± 25,74	428,75± 61,28	326,25±97,21 b
Bidi17	202± 20,06	123,87± 21,46	222,17±28,3	182,68±49,13 a	189± 35,496	223,12± 72,15	437,5± 68,98	283,21±127,5 b
Wahbi	140,33±19,44	110,87± 30,89	230,25±16,5	160,48±57,01 ab	185± 10	236,87± 68,54	463,75± 49,56	295,21±134 b
Boussellam	137,5± 8,06	123,75± 25,86	161,5±13,52	140,91±22,7 b	199,5± 9,11	214,37± 28,46	467,5± 20,207	293,79±129,82 b
Sémito	133,25±25,47	106,25± 24,87	102,25±17,93	113,91±25,3 c	142,25±17,056	183,75± 63,42	378,75± 26,88	234,92±113,89 c
GTA Dur	151,33±21,79	143,62± 26,60	236,75±13,47	177,235±48,11 a	299,75± 51,96	263,75± 46,39	600± 47,43	387,83±163,4 a
B-Mestina	155,25± 24,5	141,25± 13,61	231,91±11,66	176,13±44,54 a	370± 28,58	260,62± 34,66	615± 47,78	415,20±158,49 a
Omruuff	139,25± 36,4	178,75± 19,63	153,5±33,9	157,17±32,73 ab	322,5± 26,29	208,75± 52,62	436,25± 54,67	322,5±105,68 b

Annexe 6. Effets moyen année, Effet moyen génotype et Interaction génotype x année des variables mesurées au cours des années de l'essai (NE. m⁻² et NT. P⁻¹)

Variables									
NE. m ⁻²					NT. P ⁻¹				
Effet année									
2011/012	357,025± 68,31 b				3,57± 1,02 b				
2012/013	194,56± 49,93 c				2,52± 0,65 c				
2013/014	449,5± 97,49 a				4,7± 1,55 a				
Effet génotypes×année									
	2011/012	2012/013	2013/014	Moyenne	2011/012	2012/013	2013/014	Moyenne	
Cirta	443,75± 35,27	183,12± 43,2	603,75± 64,20	410,20±186,4 a	4,2±1,122	2,75± 0,866	3,5± 0,577	3,48±1,01	ab
MBB	421,5± 27	200,62± 61,4	356,25± 24,95	326,12±103 cd	2,875±0,85	2,357± 0,26	6,25± 1,892	3,82±2,10	ab
Waha	385± 57,445	186,25± 39,02	386,25± 87,5	319,167±114,2 cd	3,77±0,635	2,27± 0,748	4,5± 1,73	3,51±1,42	ab
Bidi17	360± 21,21	187,25± 61,15	418,75± 41,70	322±110,2 cd	3,75±0,957	2,56± 0,515	4,5± 1,290	3,61±1,21	ab
Wahbi	370± 27,38	198,125± 60,39	405± 20,81	324,37±101,1 cd	3,5±0,577	2,705± 0,90	5,75± 1,258	3,98±1,59	a
Boussellam	342,5± 17,07	198,75± 34,91	443,75± 48,02	328,33±109,8 cd	3,87±1,03	2,65± 0,426	5,75± 1,5	4, 1±1,65	a
Sémito	352,5± 8,66	149,37± 30,98	368,75± 24,62	290,208±106,3 de	3±1,41	2,125± 0,72	3,75± 0,96	2,9583±1,19	c
GTA Dur	395± 14,71	234,62± 66,43	546,25± 33,00	391,95±138,6 ab	3,5±1,29	2,94± 0,51	3± 0,81	3,14±0,88	ab
B-Mestina	285± 20,41	218,12± 35,78	578,75± 42,69	360,62±166,5 bc	4,25±0,5	2,56± 0,898	5± 1,825	3,93±1,526	ab
Omruuff	215± 17,53	189,37± 62,56	387,5± 44,81	263,9±100,71 e	3±1,4	2,25± 0,67	5± 0,816	3,41±1,5	ab

Annexe 7. Effets moyen année, Effet moyen génotype et Interaction génotype x année des variables mesurées au cours des années de l'essai (PEP et NG. Epi⁻¹)

Variables								
PEP (g)					NG. Epi ⁻¹			
Effet année								
2011/012	3,27± 1,059 a				63,5± 9,68 a			
2012/013	2,46± 0,80 c				36,20± 7,63 c			
2013/014	2,88± 0,86 b				43,65± 9,58 b			
Effet génotypes×année								
	2011/012	2012/013	2013/014	Moyenne	2011/012	2012/013	2013/014	Moyenne
Cirta	3,48± 0,415	1,96± 0,599	1,43± 0,279	2,29±0,99 b	74,75±3,94	37±7,427	24,5±8,10	45,41±23,12 ab
MBB	4,25± 0,95	2,975± 1,118	3,048± 0,84	3,42±1,07 a	66,25±1,258	34,5±6,027	47,25±0,957	49,3±14,0 ab
Waha	3,26± 1,082	2,42± 1,346	3,64± 1,04	3,103±1,18 ab	55,75±3,30	37,5±12,28	48,5±5,446	47,25±10,66 ab
Bidi17	3,425± 1,114	2,74± 0,657	3,065± 0,55	3,07±0,79 ab	58,5±9,14	37,5±1,779	49,5±6,40	48,5±10,75 ab
Wahbi	3,79± 0,512	2,46± 0,79	2,48± 0,377	2,91±0,83 ab	63±7,788	30,31±9,19	45,5±4,795	46,27±15,50 ab
Boussellam	1,9± 0,63	2,445± 0,38	2,95± 0,79	2,43±0,72 ab	67,75±3,77	35,37±11,49	57,5±6,027	53,541±15,77 a
Sémito	3,69± 0,70	2,74± 0,63	2,69± 0,596	3,04±0,76 ab	46±10,36	40,75±7,36	38,75±1,707	41,83±7,42 b
GTA Dur	4,2± 0,976	2,28± 0,528	3,83± 0,737	3,44±1,11 a	65,25±7,719	37,125±7,518	35,25±1,707	45,87±15,42 ab
B-Mestina	2,3± 0,98	2,55± 1,237	2,99± 0,67	2,61±0,94 ab	67,25±2,753	34,3±7,37	43,75±2,061	48,43±15,07 ab
Omruuff	2,39± 0,32	2,027± 0,51	2,68± 0,4	2,36±0,47 b	70,75±6,396	37,67±6,136	46±2,943	51,47±15,46 a

Annexe 8. Effets moyen année, Effet moyen génotype et Interaction génotype x année des variables mesurées au cours des années de l'essai (PMG et BIOM)

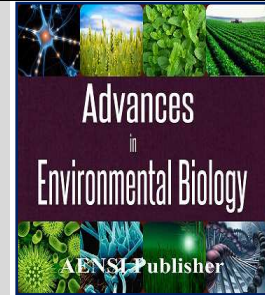
Variables									
PMG (g)					BIOM(g)				
Effet année									
2011/012	51,95± 6,11 a				34,17± 20,82 a				
2012/013	43,39± 9,303 b				8,05± 4,42 c				
2013/014	43,77± 6,88 b				25,14± 9,51 b				
Effet géotypes×année									
	2011/012	2012/013	2013/014	Moyenne	2011/012	2012/013	2013/014	Moyenne	
Cirta	53,38±4,35	40,34±6,08	48,3± 2,82	47,34±6,99 ab	56,94± 10,66	9,12± 3,73	14,95± 4,87	27,01±23,15	ab
MBB	53,87±3,51	45,67±10,38	47,93± 3,68	49,15±7,03 ab	16,6± 3,761	5,81± 3,64	19,14± 3,50	13,85±6,87	c
Waha	55,49±2,62	45,56±9,83	40,97±4,379	47,3±8,57 ab	45,69± 12,64	11,86± 6,40	27,29± 6,39	28,28±16,56	ab
Bidi17	52,64±7,843	51,12±3,24	54,05±4,96	52,6±5,28 a	45,75± 11,26	9,73± 3,866	28,36± 6,78	27,951±16,94	ab
Wahbi	55,93±1,27	45,29±5,39	33,15±2,92	44,79±10,25 b	63,68± 28,67	9,77± 9,56	26,18± 3,55	33,21±28,4	a
Boussellam	46,58±10,32	43,47±2,09	45,38±3,60	45,14±5,96 ab	10,12± 1,70	5,59± 1,052	31,17± 2,73	15,62±11,77	c
Sémito	52,24±6,83	46,69±7,47	44,31±	47,75±6,37 ab	18,3± 3,84	6,45± 1,23	33,33± 19,88	19,365±15,63	b
GTA Dur	48,58±6,95	44,31±3,65	34,05±2,68	42,31±7,706 b	39,98± 12,88	7,46± 1,66	23,5± 10,74	23,648±16,42	ab
B-Mestina	53,12±6,64	44,28±10,92	46,52±2,75	47,97±7,87 ab	19,73± 4,45	6,08± 3,22	28,75± 4,83	18,1891±10,45	b
Omruuff	47,72±3,67	27,12±13,09	43,09±4,47	39,31±11,86 c	24,87± 5,66	8,64± 3,28	18,72± 8,87	17,411±9,05	b

Annexe 9. Effets moyen année, Effet moyen géotype et Interaction géotype x année des variables mesurées au cours des années de l'essai (RDT et Nepi.P')

Variables								
RDT (qx.ha ⁻¹)					Nepi.P ⁻¹			
Effet année								
2011/012	34,79± 9,12 b				3,14±1,006 b			
2012/013	7,92± 2,79 c				2,06± 0,42 c			
2013/014	41,48± 9,81 a				4,3± 1,45 a			
Effet géotypes×année								
	2011/012	2012/013	2013/014	Moyenne	2011/012	2012/013	2013/014	Moyenne
Cirta	38,12± 6,06	8,04± 2,95	39,30± 0,53	28,48±15,51 b	4,5± 1,29	2,25± 0,28	4,5± 1,73	3,75± 1,58 a
MBB	43,78± 12,02	9,82± 2,40	23,27± 0,204	25,62±15,93 b	4,25± 0,957	2,05± 0,42	5,25± 1,25	3,85± 1,63 a
Waha	34,79± 4,58	8,96± 2,03	52,24± 0,74	32,00±18,758 a	3,125± 0,629	1,83± 0,349	4± 0,81	2,98± 1,08 ab
Bidi17	29,85± 10,98	7,72± 1,768	32,3± 0,59	23,28±12,92 c	2,75± 0,5	2± 0,204	3,75± 0,957	2,8± 0,94 ab
Wahbi	42,055± 3,7	7,97± 2,10	31,80± 0,44	27,28±15,08 b	2,875± 0,85	2,18± 0,746	5,5± 2,08	3,52± 1,93 ab
Boussellam	33,75± 9,93	8,93± 0,86	47,98± 0,58	30,22±17,64 a	2,75± 0,5	1,97± 0,330	5,25± 0,95	3,32± 1,57 ab
Sémito	37,42± 2,09	4,69± 2,30	41,45± 0,46	27,86±17,27 b	2,18± 0,62	2,12± 0,25	3,25± 2,06	2,52± 1,25 b
GTA Dur	33,68± 8,84	6,46± 2,02	40,75± 1,29	26,96±16,16 c	3± 0,816	2,25± 0,54	2,75± 0,5	2,67± 0,66 ab
B-Mestina	27,24± 8,46	8,102± 3,68	54,56± 0,43	29,97±20,48 b	3,25± 0,5	1,85± 0,45	4± 0,81	3,033± 1,08 ab
Omruuff	27,24± 10,11	8,51± 5,19	51,092± 0,66	28,95±19,14 b	2,75± 1,25	2,12± 0,62	4,75± 0,95	3,20± 1,46 ab

Articles scientifique

Nom et prénom	ZOGHMAR Meriem																										
Thème :	Adaptation à la sécheresse chez le blé dur (<i>Triticum durum</i> Desf.) <i>Contribution de quelques solutés à l'ajustement osmotique : Cas des Sucres solubles, Proline, Potassium et Nitrate.</i>																										
<p>Résumé: Divers caractères morpho-physiologiques, biochimiques et phénologiques liés à la tolérance à la contrainte hydrique (surface foliaire, ajustement osmotique, accumulation des osmotocums, caractères racinaires et durée d'épiaison) ont été étudiés chez dix génotypes de blé dur (<i>Triticum durum</i> Desf.) à comportements agronomiques contrastés.</p> <p>Des variations importantes entre les génotypes testés ont été observées essentiellement pour la teneur relative en eau, potentiel osmotique et les différents osmotocums analysés au niveau symplasmique indiquant que leurs comportements vis-à-vis de ces osmotocums sont sensiblement différents d'un degré de stress à un autre. Les relations entre ces caractères et les stratégies d'adaptation développées par chaque variété ont été décrites. Le classement des génotypes étudiés en fonction de leur sensibilité vis-à-vis du stress hydrique indique que les génotypes Cirta, Boussellam, Mohamed Ben Bachir, Bidi 17 et Wahbi accusent une longue durée de remplissage du grain, une teneur relative en eau élevée et sont par conséquent performants et tolérants à la contrainte hydrique. Les variétés ayant montrées une sensibilité au stress sont par conséquent peu productifs à l'image de la variété Sémito.</p> <p>Ce constat nous emmène à formuler que tolérance et grande capacité d'ajustement osmotique sont consubstantiels. D'autres résultats mettent en exergue des corrélations négatives significatives entre teneur en nitrates et proline montrant ainsi l'existence probable d'une connexion entre la voie de biosynthèse de la proline et l'assimilation des nitrates. Des relations étroites ont été observées essentiellement entre ajustement osmotique, teneur en sucres solubles et proline. Ceci suggère que l'osmotocum qui contribue le plus à l'ajustement osmotique par ordre de préférence sont les sucres solubles, proline, potassium et à un degré moindre les nitrates.</p> <p>En cas de stress, la réponse biochimique évaluée à travers le processus d'accumulation de la proline et des sucres solubles des variétés (Waha, Boussellam, Mohamed Ben Bachir, Cirta et Bidi17) sous stress hydrique s'est révélée être un critère d'adaptation efficace. Les corrélations entre la capacité d'ajustement osmotique et le rendement montrent le rôle fiable de l'ajustement osmotique dans la tolérance au déficit hydrique. Les résultats obtenus aux champs révèlent l'existence de génotypes performants, peu productifs et non performants. La durée d'épiaison a permis de classer les génotypes en (précoces et tardifs).</p>																											
<p>Mots clés : Blé dur, adaptation, teneur relative en eau, proline, sucres solubles, ajustement osmotique, potassium, nitrate, nombre de racines principales et rendement potentiel.</p>																											
Laboratoire :	Developpement et Valorisation des Ressources Phyllogenetiques des Plantes																										
Devant le jury:	<table border="0"> <tr> <td>Président:</td> <td>Mr. BENLARIBI Mostafa</td> <td>Professeur.</td> <td>Université des Frères Mentouri,</td> <td>Constantine 1</td> </tr> <tr> <td>Rapporteur:</td> <td>Mr. KARA Youssef,</td> <td>Professeur.</td> <td>Université des Frères Mentouri,</td> <td>Constantine 1</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Examineurs:</td> <td>Mr. HAFSI Miloud</td> <td>Professeur.</td> <td>Université Ferhat Abbas, Sétif 1,</td> <td>Sétif</td> </tr> <tr> <td>Mr. HAZMOUNE Tahar</td> <td>MCA.</td> <td>Université du 20 Août 1955,</td> <td>Skikda</td> </tr> <tr> <td>Mr. BENAZIZA AbdEl Aziz</td> <td>MCA.</td> <td>Université Mohamed Khider,</td> <td>Biskra</td> </tr> </table>				Président:	Mr. BENLARIBI Mostafa	Professeur.	Université des Frères Mentouri,	Constantine 1	Rapporteur:	Mr. KARA Youssef,	Professeur.	Université des Frères Mentouri,	Constantine 1	Examineurs:	Mr. HAFSI Miloud	Professeur.	Université Ferhat Abbas, Sétif 1,	Sétif	Mr. HAZMOUNE Tahar	MCA.	Université du 20 Août 1955,	Skikda	Mr. BENAZIZA AbdEl Aziz	MCA.	Université Mohamed Khider,	Biskra
Président:	Mr. BENLARIBI Mostafa	Professeur.	Université des Frères Mentouri,	Constantine 1																							
Rapporteur:	Mr. KARA Youssef,	Professeur.	Université des Frères Mentouri,	Constantine 1																							
Examineurs:	Mr. HAFSI Miloud	Professeur.	Université Ferhat Abbas, Sétif 1,	Sétif																							
	Mr. HAZMOUNE Tahar	MCA.	Université du 20 Août 1955,	Skikda																							
	Mr. BENAZIZA AbdEl Aziz	MCA.	Université Mohamed Khider,	Biskra																							



Morphological and Agricultural Diversity of Durum Wheat Varieties Sown in a Semi-Arid Area

¹Zoghmar Meriem, ¹Kara Youcef, ¹Farhati Laid, ²Zelti Abd Esselem and ¹Bouchareb Radia

¹Department of Vegetable Biology and Ecology Faculty of Natural Sciences and Life University of Brother Mentouri Constantine , 25000 Algeria

²Technical Institute of Great cultures. Elkhroub, Constantine. Algeria

Address For Correspondence:

Zoghmar Meriem, 1Department of Vegetable Biology and Ecology Faculty of Natural Sciences and Life University of Brother Mentouri Constantine , 25000 Algeria

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Received 12 February 2016; Accepted 28 April 2016; Available online 15 May 2016

ABSTRACT

our study is focused on the diversity of morphological and agricultural traits of four durum wheat variety for drought tolerance in a semi-arid zone area (Constantine) under two years 2011/2012 and 2012/ 2013. The later accuse drought periods during the plant cycle. These climatically areas factors have disrupted the performance of the local and introduced varieties of durum wheat. These factors influenced especially the grain yield and their components, the number of spike per meter square, the biomass production and the number of grains per spike of the new cultivar (Wahbi compared to elder varieties Waha, Bidi 17 and Sémito) from one year to another. The obtained results show a wide variation in morphological characteristics namely leaf area, plant height, and the spike length in addition to some agricultural characters such as grain yield, the thousand kernel weight between genotypes. This indicate that the year effect and the interaction between genotype×year effect are present more than that the genotype effect .There by providing information on biodiversity and explains a large variability inters-varietal , intra and inter-annual between them . Indeed, Mediterranean climate in semi arid areas is changeable during the year from one month to another and affects directly the durum wheat production according to the type of stress (in our case, draught stress). The relationships between the durum grain yield and the related traits under draught conditions evaluated using several multivariate analyses, including simple correlation, principal component analysis and cluster analysis indicated that these traits are correlated with yield to determine the performance cultivars under stress conditions. Introduced cultivars of durum wheat are more efficient than local cultivars because of their earliness. The time of heading is often used as a selection criterion to drought tolerance of durum wheat yields especially in semi-arid areas. These results suggest that selections should be based on this trait for developing new wheat cultivars.

KEYWORDS: Agricultural characters, Biological Diversity, Durum wheat, Grain yield, Year effect.

INTRODUCTION

Water plays a fundamental role in the life of plants. Its deficiency may develop and perform all aspects of plant growth. It is therefore one of the most important factor limiting crop yields around the world especially in arid and semi arid areas. In fact, drought stress is the most serious constraint for crop production [1]. The problem of drought stresses is acute in the developing countries where about 37% of the wheat growing areas are semi-arid with low moisture as a limiting factor for higher yield [29].

Besides, Algerian cereals are largely dominated by durum wheat crop [23]. Since it occupies large areas of the country. Production improving remains very low and irregularly reports with the needs. As a result, the country remains heavily dependent on imports for commodities [11]. The Algerian market has absorbed an annual average of 60, 36% of durum wheat crop [7]. As a matter of fact, wheat imports are increasing from an average of 3 million tons in the period of 2000-2005 to 5 million tonnes over the period 2006-2012 [9]. In this circumstance, the political ambition in agriculture is to achieve an increase in production and yield of this crop.

The analysis of the behaviour of genotypes according to the characteristics of the environment has been a preoccupation subject of the researchers. Many morph-physiological and phenotypical traits are distinguished from one year to another and from one environment to another for a given genotype. In case of drought, some traits proposed by stress physiologists appear to be associated with crop survival. A comparison of old and new varieties has shown that, under drought, older varieties over-produce many tillers of which fail to set grain, while modern drought tolerant lines produce fewer tillers the majority of which survive [25].

In most circumstances, however, the main effect of drought is to reduce grain yield without killing the plant. These annual variations make a difficult selection based on yield potential as a highly influenced by the environment and low heritability [18]. The combination of high yield stability and high relative yield under drought has been proposed as it is a useful selection criterion for characterising genotypic performance under a varying degree of water stress [28]. Traditional local genotypes appear to make idiotypes in ours conditions culture [3]. Allowing them to be used as a genitors in ameliorate actions. The variation in performance is caused by the sensitivity of the new cultivars to various stresses that characterize the environment of production medium [27,8]. A comparison of genotypic performance under favourable and unfavourable environment to the expression of high grain yields is often used to identify tolerant and productive genotypes. The research should aim at selecting tolerant varieties in stress climate, productive and also more stable in their production. This approach aims to characterize the a-biotic stresses and identify adaptable traits in different types of drought stress. So, we understand the interest in this study which is to identify and analyze the variability of four varieties of durum wheat in water deficit in order to identify performance genotypes and that could be adapted in the region of study and to determine suitable selection criteria for selecting genotypes tolerant to draught stress conditions.

MATERIAL AND METHODS

A. Plant materiel:

Four durum wheat varieties from different origin were used in this experiment field, one local variety Bidi 17 and one introduced Sémito: *Capeiti* × *Valvona* with two selected genotypes such as Waha: *Waha* `S` *PLC* `S` *RUFF* // *GTA* `S` *3ROLOTE* and Wahbi: *Bidi17/Waha/ Bidi17* for screening durum wheat varieties for draught tolerance (Farm of Demonstration and Seed Protection; Technical Institute of Great Cultures; *I.T.G.C.* Elkhroub, (Constantine).

B. The field experiments:

Our study is intended to connect the performance of genotypes tested in various morphological and agricultural traits of adaptation to drought tolerance and to compare these genotypes behaviour in the middle of the fields. The experiments were conducted at the Driver Farm of Technical Institute of Great Cultures, during the periods 2011/2012 and 2012/2013. This region has a semi arid climate (574, 5 mm to 392, 3 mm, Figure 1). The experimental site is located 14 km south-east Constantine, Algeria. Seeding wheat was 250 seeds. M^{-2} .

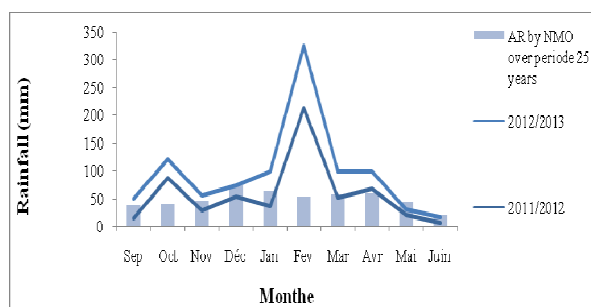
The soil has a clay loam texture. Both trials were conducted according to the Fischer device completely randomized design with four replications in total 16 elementary micro-plots of six m^2 (5 m × 1.20 m) consisting of 6 rows with a 20 cm inter-lows space and a 50 cm inter-blocks space, tests have surrounded rye to put all genotypes in the same conditions.

C. Climate data of both 2011/2012 and 2012/2013 agricultural companions:

• Rainfall:

The average amount saved by agricultural companions is variable, the cumulative rainfall is recorded (574,5 mm and 392,3 mm respectively), the amount of rain was important in the first year and low the second year regarding to 486,5 mm the normal average established by the services of *National Meteorological Office* (NMO) over the period of 25 years (Figure 1).

The wettest period during two companions was February with 213 mm and 111,9 mm respectively and a minimum of 6 mm in June during the 2011-2012, companions climatic conditions that characterized the two years of the trial were quite variable (Figure 1).



Source: (T.I.G.C) Constantine

Fig. 1: Monthly distribution of rainfall during two agricultural companions 2011/2012 and 2012/2013.

AR by NMO over period 25 years:

the average rainfall established by the National Meteorological Office (NMO) over the period of 25 years.

- *Temperature:*

The temperature is a key and a determinant factor for the development of the plant during both agricultural companions. This parameter influences the production by an important effect in winter where low temperatures on several continuous days (Figure 2; A and B) with many days of frost (53 and 55 days in total, respectively) have slowed or even hindered the growth of plants. The mild temperatures of March and especially April helped a lot plant good development (Figure 2; A and B).

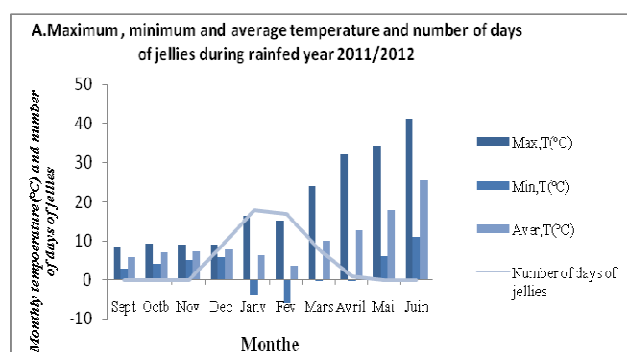
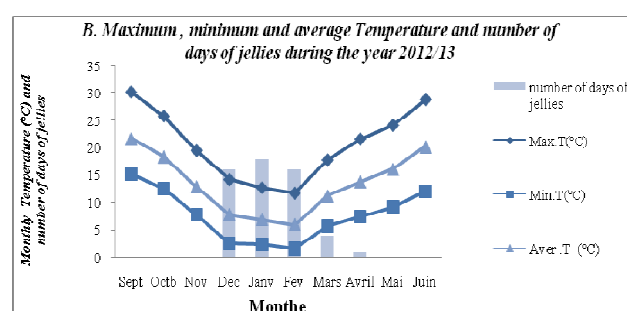


Fig. 2: A. Monthly temperatures and number of days revealed to Constantine during agricultural companion 2011/2012.



Source: (T. I. G.C) Constantine

Fig. 2: B. Monthly temperatures and number of days revealed to Constantine during agricultural companion 2012/2013.

- *Measurements:*

At levee stage, the number of plants per square meter (NP.m^{-2}) was counted on 5 lines at a rate of four plants of one meter long on each plot by avoiding border effects. Date of heading was recorded on all micro-plots in each experiment like the date when 50% of shoots had reached treatment and per micro-plots. After the harvest, the thousand kernel weight (TKW) is counted automatically by an electric counter after the hype of all ears by harvester type (Numigral), and then is evaluated by using Grain yields (qx.ha^{-1}); all grains harvested per

micro-plots weighted, and these traits were measured by four repetitions per treatment and per micro-plots. The biomass production (BIO) is measured by the weighting of the whole plant with its roots of four plants taken randomly per micro-plots were weighted an electric precision balance. The number of grains per spike is counted (NG.Spike^{-1}), the spike and the number of spikes per square meter (NS.m^{-2}) were counted. Leaf area (LA) is measured in cm^2 by a device type (Area Meters) with four leaves per micro-plots and by repetition. At physiological maturity, the plant high (PH), the peduncle length (PL) and the spike length (SL) were measured by four repetitions per treatment and per micro-plots. After the harvest, the thousand kernel weight (TKW) is counted automatically by an electric counter after the hipe of all ears by harvester type (Numigral), and then is evaluated by using an electric precision balance. The number of grains per spike is counted (NG. Spike^{-1}), the spike is weighted, and these traits were measured by four repetitions per treatment and per micro-plots. The biomass (BIO) is measured by the weighting of the whole plant with its roots of four plants taken randomly per micro-plots. The Grain yields (qx.ha^{-1}), all grains harvested per micro-plots were weighted.

Statistical analysis:

The statistical analysis of the results obtained in different experiments was tested by analysis of variance (ANOVA) and performed using the (STATISTICA 7.0 for windows) software. Each experiment was analysed using randomised competed block design model. Mean comparisons are conducted using Fischer's (least significant difference, LSD). The Duncan test has given the average and ranks with a significance levels ($\alpha=5\%$). Analysis of correlation coefficient between grain yield and the other characteristics was used to determine principal component analysis, relationships analysis and dendrogram of cluster analysis influencing on the final grain yield using (STATISTICA 7.0 software for windows).

Results:

A. Variance analysis of morphological characteristics of yield and their components:

Analysé of variance was conducted to determine the effect of years **Y**, genotypes **G** and the interaction effect among this factors ($\text{G}\times\text{Y}$). As shown in Table.1, variance analyses of the measured traits indicate that the mean year effect is present with very high significance for all variables studied (Table 2). The genotype effect was very highly significant for NP.m^{-2} , NDH, PH and SL and was highly significant for LA, PL, SL, BIO and also for GY. This factor was not significant for NS.m^{-2} , NG.S^{-1} , WS, and TKW. Moreover, interaction effect between genotype \times years was very highly significant for NDH, PH, PL, SL, NG.S^{-1} , BIO, also for NP.m^{-2} and GY and the opposite for NS.m^{-2} ; LA, WS and TKW. However, these results suggest that different characters measured vary depending on the genotype and climatic hazards that characterize both agricultural companies. These results showed that, the combined analysis of variance of yield and its components were drastically affected by years of study. This might be attributed to the considerable rainfall increase in the second year of the experiment, especially from March until April (Fig 1).

B. Morphological characters:

Respecting the morphological variables, Table (1) shows a very high significance variation of genotypes, the year and the interaction between genotype \times year effects ($p\geq 0, 01$) excluding Leaf area, for the interaction between genotype \times year effects was not significant ($p= 0,15^{\text{Ns}}$). Leaf area is an evaluation criterion for growth of durum wheat varieties which are grown under climatic conditions of the two wet tests, the results show that this parameter is influenced by these conditions, the average surface of the leaf is from $29, 87\pm 4,778 \text{ cm}^2$ in rain fed year 2011/2012 to $20, 53\pm 5, 26 \text{ cm}^2$ in rain fed year 2012/2013 which corresponds to a decrease of the company 2011/2012 is considered as a favourable year. Leaf areas of both genotypes Bidi17 and Waha were larger ($33, 85\pm 1, 406$ and $32, 98\pm 4, 37 \text{ cm}^2$ respectively), than the leaf areas of the two other genotypes which are Wahbi and Sémito ($26, 81\pm 3,41 \text{ cm}^2$ and $25, 84\pm 3, 63 \text{ cm}^2$ respectively, Table 2). However, in rain fed year 2012/2013, the local variety Bidi17 kept its highest leaf area ($24, 62\pm 4, 52 \text{ cm}^2$) followed by Sémito ($20, 23\pm 7, 13 \text{ cm}^2$) and Wahbi ($19, 63\pm 2, 41 \text{ cm}^2$), and the lowest leaf surface was observed in the Waha variety ($17, 64\pm 5, 17 \text{ cm}^2$).

During the agricultural companion 2011/2012, Plant height ranged from $82,29\pm 6,58 \text{ cm}$ for Sémito to $131,75\pm 2,66 \text{ cm}$ for Bidi17 (Table 2). Otherwise, in season 2012/2013, the Waha variety has the highest straw ($87, 32\pm 18, 98 \text{ cm}$) followed by Bidi17 ($77, 94\pm 10,91 \text{ cm}$) and Sémito ($71, 38\pm 7,17 \text{ cm}$), while Wahbi showed the lowest size ($69, 68\pm 4,82 \text{ cm}$). The highest reduction ($-40, 93\%$) due to the climatic condition in 2012/2013 was observed in Bidi17 cultivar (Table 2). The average sizes of genotypes were varied from one year to another. Relatively a lower straw confers to the plant, where severe water stress explains a best tolerance capacity to drought. However, the peduncle length ranged from $13, 75\pm 1,7 \text{ cm}$ (Waha) to $22\pm 2,082 \text{ cm}$ (Bidi17) during 2011/2012 and ranged from $12, 14\pm 1,69 \text{ cm}$ (Bidi17) to $14, 17\pm 3, 38 \text{ cm}$ (Waha) during 2012/2013. Bidi 17 and Wahbi produced highest peduncle lengths which were significantly higher for the two other genotypes under both conditions of 2011/12. While under rain fed year 2012/2013, the highest peduncle length was observed in Waha variety ($14, 16\pm 1, 78 \text{ cm}$) followed by the rest of variety with a similar values ($12, 95\pm 0, 25$; Table 2).

Spike length was varied from average value of (9, 48 ±1,08 ;9,5± 0,91 cm) characterised Wahbi and Bidi 17 varieties to 6, 5±0,58 cm in Sémito variety in the 1st year and from 6, 09±0,72cm in Bidi 17 to 5, 42±1,27cm in Sémito in the 2nd year, while the average reduction of this character is -28, 62%. Generally, spike length decreased gradually from the 1st year to the 2nd year especially for selected varieties (in our case, is Wahbi cultivar with the highest reduction value of -40, 44%; Table 2).

C. Agricultural characters:

Comparisons were made between durum wheat genotype were used in term of important agronomical traits in the study, four durum wheat genotypes were significantly different from the traits observed (Table 3). According to the results obtained over years in rain fed conditions ,the mean values of genotypes for number of plant per metre square, the number of days to heading and the number of spike per metre square ranged between 166,65±8,88 and 116,19±5,67; 140,62±0,84 and 146,06±1,63; 366,87±32,75 and 180,25±48,33 respectively (Table 2 and 3). Regarding, the Agricultural characters, the thousand kernel weight is a major character of the yield components, the results of this parameter for the four genotypes are varied according to the changing climate conditions in two agricultural companions (Fig 1,2; Table 2). The similar and the highest values are recorded in both Waha and Wahbi varieties which are 55, 49±2, 62g and 55,93±1,28 g respectively followed by Bidi17 and Sémito with 52,65±7,84g and 52,24±6,83 g respectively (Table 2). During 2012/2013, the tested varieties recorded lower significant values from 45,30±5,40 g of Wahbi variety to 51,12±3,25g of Bidi17 variety, which notice that there is a decrease of -17,89; -19, 02%; -10, 62% and 2, 88% for Waha,Wahbi, Sémito, and Bidi17 respectively, compared to the previous year (Table 2).

Table 1: Variance analysis ANOVA of the morphological characteristics, the grain yield and their components of four durum wheat varieties during two agricultural companions 2011/2012 and 2012/2013.

Variables	Genotype effect			Year effect			Genotype ×Year effect		
	CM	F	Pr> F	CM	F	Pr> F	CM	F	Pr> F
NP. m ⁻²	3832,82	8,298	0,0005***	20368,18	44,098	0,0000***	1359,16	2,943	0,053*
NDH	133,36	64,99	0,0000***	236,53	115,26	0,0000***	121,115	59,02	0,0000***
NS.m ⁻²	2047	1,134	0,356 ^{Ns}	278631	154,308	0,0000***	553	0,306	0,81 ^{Ns}
LA	66,364	3,542	0,03**	698,445	37,282	0,00003***	36,407	1,943	0,15 ^{Ns}
PH	1138,65 7	14,686	0,000012** *	4935,460	63,656	0,0000***	929,446	11,988	0,000054** *
PL	13,391	2,704	0,068*	192,080	38,795	0,000002** *	35,986	7,268	0,001239** *
SL	6,025	6,137	0,003**	43,199	43,999	0,00001***	4,545	4,629	0,010824**
NG.S ⁻¹	30,945	0,446	0,723 ^{Ns}	2978,955	42,897	0,0001***	253,747	3,654	0,027**
SW	0,212	0,261	0,853 ^{Ns}	7,325	9,014	0,006***	0,141	0,174	0,913 ^{Ns}
BIO	828,382	5,206	0,007**	9194,358	57,784	0,0000***	593,406	3,729	0,025***
TKW	7,81	0,202	0,894 ^{Ns}	381,833	9,885	0,004***	35,826	0,927	0,443 ^{Ns}
GY	53,15	2,402	0,093*	6586,076	297,68	0,0001***	64,404	2,911	0,055*

NP. m⁻²: number of plants per square meter ; NDH (days) : number of days to heading ; NS.m⁻²: number of spike per square meter ; LA : leaf area ; PH : plant height in cm ; PL : peduncle length in cm ; SL: spike length in cm ; NG.S⁻¹: the number of grains per spike; WS: weight spike in grams; BIO : ground biomass in grams ; TKW : Thousand kernel weight in grams; GY(qx.ha⁻¹): grain yield (quintals per hectare) ; *p ≤ 0,1, **p ≤ 0,05, ***p ≤ 0,001 : respectively significant, highly significant and very highly significant; NS: not significant .

Table 2: Average values of morphological variables, spike weight and date to heading measured in both agricultural companions (2011/12-2012/13): average year, average genotype and average genotype ×year effect

	LA	PH	PL	SL	SW	NDH
Mean year effect (Mean± Ecart type)						
2011/2012	29,87 ^a ±4,778	101,41 ^a ±19,38	17,76 ^a ±3,65	8,11 ^a ±1,67	3,540 ^a ±0,826	140,62 ^b ±0,84
2012/2013	20,53 ^b ±3,26	76,58 ^b ±12,72	12,86 ^b ±2,10	5,79 ^b ±0,94	2,59 ^b ±0,82	146,05 ^b ±1,63
Mean genotype effect						
Waha	25,3 ^b ±9,32	90,40 ^b ±12,96	13,95 ^b ±1,62	6,5 ^b ±1,26	2,83 ^a ±1,21	139,87 ^c ±1,63
Wahbi	23,22 ^c ±4,71	83,90 ^{bc} ±15,65	15,08 ^{ab} ±3,76	7,55 ^a ±2,19	3,12 ^a ±0,94	149,25 ^a ±2,77
Bidi 17	29,23 ^a ±5,82	104,84 ^a ±29,68	17,07 ^a ±5,87	7,79 ^a ±1,98	3,08 ^a ±0,92	141,87 ^b ±0,87
Sémito	23,031 ^c ±6,036	76,83 ^c ±8,64	15,12 ^{ab} ±2,91	5,95 ^b ±1,08	3,21 ^a ±0,80	142,37 ^b ±0,67
Mean genotype ×year effect						
Waha	32,98 ^{ab} ±4,37	93,5 ^{bc} ±2,5	13,75 ^d ±1,70	7,0 ^b ±1,22	3,25 ^a ±1,08	144 ^b ±0,91
Wahbi	26,81 ^{bc} ±3,41	98,12 ^b ±3,010	18 ^b ±2,581	9,48 ^b ±1,08	3,79 ^a ±0,52	156,5 ^a ±0,64
Bidi 17	33,85 ^a ±1,41	131,75 ^a ±2,66	22 ^a ±2,082	9,5 ^a ±0,91	3,4 ^a ±1,11	140 ^c ±0,70
Sémito	25,84 ^{cd} ±3,63	82,29 ^c ±6,58	17,29 ^{bc} ±2,65	6,5 ^b ±0,58	3,69 ^a ±0,70	143,75 ^b ±0,25
Waha	17,64 ^e ±5,17	87,31 ^{bcd} ±18,98	14,16 ^{cd} ±1,78	6,02 ^b ±1,26	2,41 ^a ±1,34	135,75 ^d ±0,47
Wahbi	19,63 ^{de} ±2,41	69,68 ^e ±4,82	12,17 ^d ±1,95	5,64 ^b ±0,54	2,46 ^a ±0,80	142 ^{bc} ±0,70
Bidi 17	24,62 ^{cd} ±4,52	77,94 ^{de} ±10,91	12,14 ^d ±3,38	6,09 ^b ±0,72	2,74 ^a ±0,65	143,75 ^b ±0,85
Sémito	20,23 ^{cd} ±7,13	71,38 ^e ±7,17	12,95 ^d ±0,49	5,42 ^b ±1,27	2,74 ^a ±0,63	141 ^c ±0,91
G.Mean	25,19±6,85	88,99±20,47	15,31±3,8	6,95±1,782	3,06±0,94	143,34±1,02

LA : leaf area ; PH : plant height in cm ; PL : peduncle length of in cm ; SL: spike length in cm ; WS: weight spike in grams; NDH

(days) : the number of days to heading ; a, b, c, d, e: homogenises groups by Duncan test.
--

Table 2: Averages values of grain yield and their components in both agricultural companions (2011/12-2012/13): average year, average genotype and average genotype \times year effect

	NP .m ⁻²	NS.m ⁻²	NG.S ⁻¹	BIO	TKW	GY
Mean year effect						
2011/2012	166,65 ^a ±8,88	366,87 ^a ±32,75	55,81 ^a ±9,68	43,36 ^a ±22,47	54,08 ^a ±5,12	36,03 ^a ±7,26
2012/2013	116,19 ^b ±5,67	180,25 ^b ±48,33	36,51 ^b ±8,6	9,46 ^b ±5,81	47,17 ^b ±6,65	7,33 ^b ±2,47
Mean genotype effect						
Waha	157,38 ^a ±13,18	285,62 ^a ±115,5	46,6 ^a ±12,82	28,78 ^a ±20,32	50,52 ^a ±8,5	21,8 ^{ab} ±14,19
Wahbi	125,61 ^b ±10,11	284,06 ^a ±101,6	46,65 ^a ±19,17	36,72 ^a ±34,95	50,61 ^a ±6,74	25,015 ^a ±18,43
Bidi 17	162,94 ^a ±16,25	273,62 ^a ±101,5	48 ^a ±12,77	27,74 ^a ±20,76	51,88 ^a ±5,61	18,78 ^b ±13,89
Sémito	119,75 ^b ±9,69	250,93 ^a ±110,5	43,37 ^a ±8,78	12,38 ^b ±6,87	49,46 ^a ±7,26	21,06 ^{ab} ±17,61
Mean genotype \times year effect						
Waha	191 ^a ±2,27	385 ^a ±57,44	55,75 ^{ab} ±3,30	45,69 ^a ±12,64	55,49 ^{ab} ±2,62	34,79 ^{bc} ±4,57
Wahbi	140,33 ^b ±9,72	370 ^a ±27,38	63 ^a ±7,78	63,68 ^a ±28,6	55,93 ^a ±1,27	42,05 ^a ±3,74
Bidi 17	202 ^a ±10,33	360 ^a ±21,21	58,5 ^{ab} ±9,146	45,75 ^a ±11,26	52,65 ^{ab} ±7,84	29,84 ^a ±10,98
Sémito	133,25 ^b ±12,73	352,5 ^a ±8,66	46 ^{bc} ±10,36	18,31 ^b ±3,84	52,24 ^{ab} ±6,83	37,42 ^{ab} ±2,09
Waha	123,75 ^b ±7,25	186,25 ^b ±39,02	37,5 ^{cd} ±12,28	11,86 ^b ±6,40	45,56 ^b ±9,83	8,96 ^d ±2,03
Wahbi	110,88 ^b ±15,44	198,12 ^b ±60,39	30,31 ^d ±9,19	9,77 ^b ±9,56	45,29 ^b ±5,39	7,97 ^d ±2,10
Bidi 17	123,88 ^b ±10,73	187,25 ^b ±61,15	37,5 ^{cd} ±1,77	9,73 ^b ±3,86	51,11 ^{ab} ±3,25	7,72 ^d ±1,76
Sémito	106,25 ^b ±12,43	149,37 ^b ±30,98	40,75 ^{cd} ±7,36	6,45 ^b ±1,23	46,69 ^{ab} ±7,47	4,69 ^d ±2,30
G.Mean	141,42±38,94	273,56±103,13	46,16±13,31	26,40±23,60	50,62±6,81	21,6±15,52

NP .m⁻² : number of plants per square meter ; NS.m⁻²: number of spike per square meter ; NG.S⁻¹: the number of grains per spike; WS: weight spike in grams; BIO : ground biomass in grams ; TKW : Thousand kernel weight in grams; GY(qx.ha⁻¹): grain yield (quintals per hectare)

However, at the same conditions, the number of grain per spike (NG. Spike⁻¹) ranged from the average value of 55, 81±9, 68 NG.Spike⁻¹ under rain fed year 2011/2012 to 36, 51±8, 6 NG.Spike⁻¹ under rain fed year 2012/2013 with the reduction value (-34, 57%). This component is varied according the climate changing characterised the reproductive stage under tow rain fed year. Drought stress occurring at the anthesis stage under rain fed year 2012/2013 reduced significantly the number of grains per spike. However, the agricultural companion 2011/2012 is considered the favourable year, while Wahbi, Bidi17 and Waha had the highest number of grains per spike, such as (63, 0±7, 78; 58, 5±9,15 and 55, 75±3, 30 NG. Spike⁻¹ respectively, were the lowest values is recorded in Sémito variety with (46±10, 36 NG. Spike⁻¹) Spike weight (SW) is varied with a several climate change under two agricultural companions. It is respectively ranged from (3, 54±0,83g) to (2, 59 ± 0,82g; Table 2). Under rain fed year 2012/13 all genotypes produced a smaller spike weight compared to previous year 2011/12 with an average reduction value of (-26, 83%). In addition, the biomass production was highest (with average value 43, 36 ±22,47g) in all genotypes in the 1st year and was lowest (with average value of 9, 46±5, 81 g) for this same genotype's in the 2nd year, which the average reduction value was (-78, 18%) characterised the biomass production in 2012/2013 compared to the previous test (Table 2).

The grain yield is the quantitative trait which expression is the results of genotype effect, year effect and the interaction between genotypes and years effect. During the agricultural companion 2011/2012, the average grain yield is highly relative compared to the grain yield of durum wheat genotypes in rain fed year 2012/2013 (Table 3). The Wahbi variety is the most productive which recorded the highest performance (42, 05±3, 74 qx.ha⁻¹) followed by Sémito, Waha and Bidi 17, with a decrease values of GY 37, 43±2,09; 34, 79±4, 57 and 29, 83±10,98 qx.ha⁻¹ respectively. In contrast, a very lowest GY was observed in all genotypes under rain fed year 2012/2013, it is ranged from 8,96±2,03 qx.ha⁻¹ in Waha to 4,70±2,30 qx.ha⁻¹ in Sémito, substantial yield losses of all varieties studied in comparison with the performance of the previous test with the average reduction value (-79,65%; Table 2). This reduction was attributed to reduced number of spikes per M², the number of grains per spike, the spike weight and the biomass production. This reduction could be explained by climate changing conditions during heading and maturity.

- *Correlation between grain yield and yield components:*

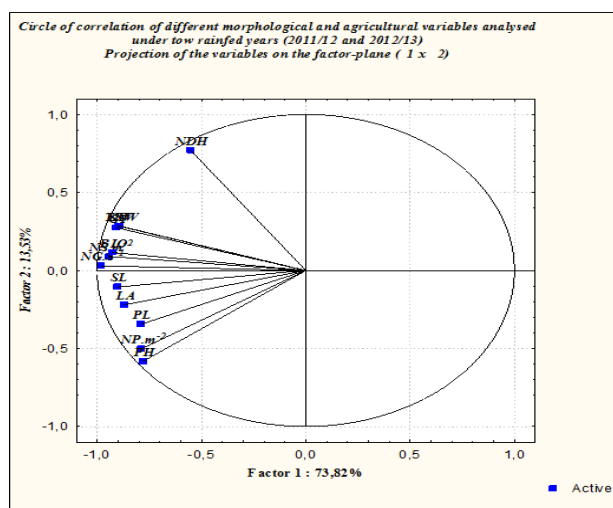
A multi-varies analysis was performed on both tests in the two agricultural companions, namely grain yield, yield components, morphological and phenological characters (date to heading; Table 3). A very highly positive and significant correlations was observed between the grain yield (GY) and their components which are NS.m⁻², NG.S⁻¹, SW, BIO and TKW so, the correlation coefficients are **R=0,96*****; **R=0,88*****; **R=0,96*****; **R=0,82*****; **R=0,82***** respectively; and a highly coefficients correlations was observed between the grain yield and the morphological parameters, which are leaf area (LA), peduncle length (PL) and speak length (SL), the correlation coefficients are **R=0,71*****; **R=0,66*****; **R=0,71***** respectively (Table 3; Fig 3). The date of heading which represents a positive and significant correlation with the agricultural variables studied, which are the speak weight (SW), the biomass (BIO), a Thousand kernel weight (TKW) and the grain yield

Table 4: Correlation matrix of the different morphological and agricultural variables Analyzed

Variable	Correlations matrix of the different morphological and agricultural variables analyzed under two rainfed years (2011/12; 2012/13)											
	NP.m ⁻²	NDH	LA	PH	PL	SL	NS.m ⁻²	NG.S ⁻¹	SW	BIO	TKW	GY
NP.m ⁻²	1,0	0,012ns	0,92***	0,84***	0,62**	0,65**	0,74***	0,76***	0,51	0,69**	0,64**	0,57
NDH		1,0	0,28ns	0,03ns	0,19ns	0,53	0,50	0,58	0,66**	0,67**	0,69**	0,62**
LA			1,0	0,74***	0,61**	0,68**	0,83***	0,82***	0,70***	0,73**	0,84***	0,71***
PH				1,0	0,88***	0,86***	0,61**	0,76***	0,52	0,69**	0,49	0,50
PL					1,0	0,85***	0,68**	0,74**	0,72**	0,63**	0,48	0,66**
SL						1,0	0,72**	0,91***	0,73**	0,90***	0,70***	0,71***
NS.m ⁻²							1,0	0,90***	0,84***	0,86***	0,96***	0,96***
NG.S ⁻¹								1,0	0,85***	0,96***	0,88***	0,88***
SW									1,0	0,76***	0,87***	0,96***
BIO										1,0	0,82***	0,82***
TKW											1,0	0,86***
GY												1,00

NP.m⁻²: number of plants per square meter; NDH (days): the number of days to heading; NS.m⁻²: the number of spike per square meter; LA: leaf area; PH: plant height in cm; PL: peduncle length of in cm; SL: spike length in cm; NG.S⁻¹: the number of grains per spike; WS: weight spike in grams; BIO: ground biomass in grams; TKW: Thousand kernel weight in grams; GY(qx.ha⁻¹): grain yield (quintals by hectare); *p ≤ 0,1, **p ≤ 0,05, ***p ≤ 0,001: respectively significant, highly significant and very highly significant; NS: not significant.

the coefficients correlations are **R=0, 66****; **R=0, 67****; **R=0, 69**** and **R=0, 62**** respectively. No significant correlation was observed between the dates of heading and the morphological parameters especially leaf area (LA), plant high (PH) and peduncle length (PL), the correlation coefficients are **R=0, 28ns**; **R=0, 03 ns**; **R= 0, 19 ns** respectively, and between the date of heading and the number of plant per metre square (NP.m⁻²) (Table 3; Fig 3). Assuming that the some lowest values of the morphological and agricultural variables characterised the genotypes tested may be caused by oxidative stress during the year 2012/2013. Heavy rains that spread from October to April immediately affect the grain yield because of water stagnation in some basic plots which delays the phenomenon of flowering and in the same way affects "grain filling" period which is a critical phase in the production of durum wheat (Fig 3). However, the results showed that the morphological parameters, leaf area, plant height and the peduncle length are positively correlated with each other (Table 3; Fig 3). The correlation values of the measured variables and individuals in the first principal axes are shown in Figure 9. The first two axes (axis 01 and axis 02) explained respectively (73, 82% and 13, 53%), whether 90, 43% of the total variation, the plane formed by these two axes is a good basis for interpretation and evaluation of individuals and the variables measured (Fig 3; 4).

**Fig. 3:** Circle of correlation of different morphological and agricultural variables both agricultural companions 2011/2012 and 2012/2013

The distribution of individuals indicates the existence of three groups (Fig 4). The first group is formed by the three varieties in growing season 2011/2012; Waha Y1, Wahbi Y1, and Sémito Y1 are characterized by the highest values of the variables NP.m⁻², NS.m⁻², PH, LA, SL, SL, NG.S⁻¹, WS, TKW, BIO and GY. The second group is diametrically opposite to the first one formed by the four varieties growing under rain fed year 2012/2013 such as Waha Y2, Wahbi Y2, Bidi 17 Y2 and Sémito Y2. These individuals are characterised by the lowest values of this same variables especially agricultural traits. The third group includes the local variety Bidi 17, this cultivar is characterized by the highest values of morphological traits and the longest value of date to

heading (Fig 4). The expression of these variables in a given location is likely to change in another location. These results show that the effect of year and the effect of genotypes are present. The behaviour of genotypes varies with climate change in these areas from one year to another (Fig 4).

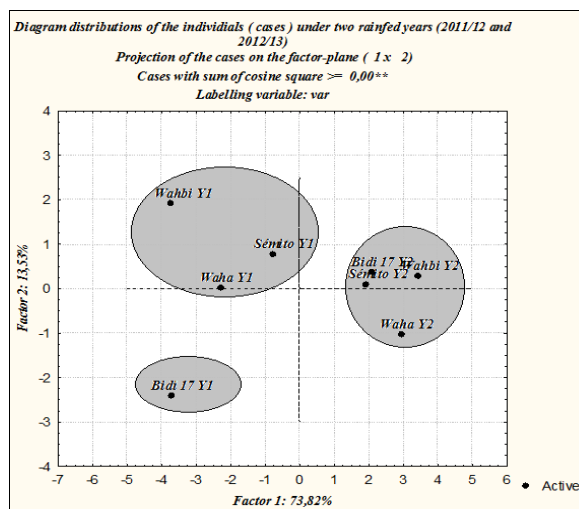


Fig. 4: Diagram distributions of individuals both agricultural companions 2011/2012 and 2012/2013

- Relationship between grain yield and date heading during two agricultural companions 2011/2012 and 2012/2013:

A positive and significant correlation was observed between grain yield and heading date in four durum wheat genotypes during the agricultural company 2011/2012 (correlation coefficient is $R = 0.959^{***}$; Fig 5.C). The period of this heading is a plant mechanism to avoid drought. In opposite, no significant correlation was observed between grain yield and heading date in four durum wheat genotypes under rain fed year 2012/2013, correlation coefficient is $R = 0.187$; Fig 5.D). In contrast, during the year 2012/2013, according to the longest sowing-time heading and the lowest yield potential in all genotypes, In addition, late varieties have a low yield potential in an unfavourable year (Fig 5.D).

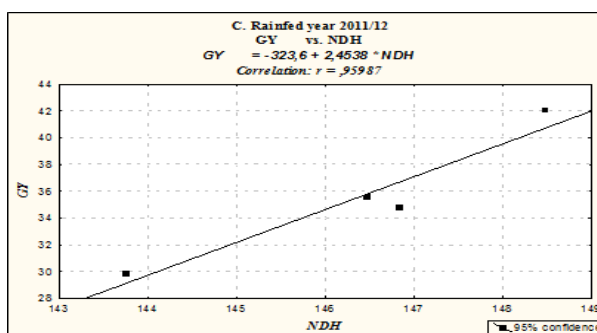


Fig. 5: C. Relationship between grains yields and date to heading under rain fed year 2011/12

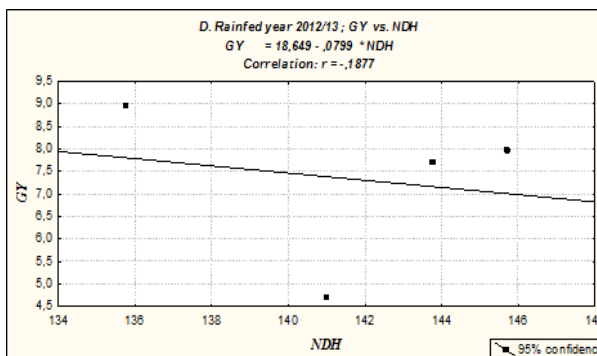


Fig. 5: D. Relationship between grains yields and date to heading under rain fed year 2012/2013

- *Cluster analysis of morpho-phenological and agricultural traits:*

Separate cluster analysis (using Average Linkage between groups method) based on heading date, grain yield and their components were performed between wheat genotypes studies (Fig 6). Using the discriminate function analysis allowed the highest differences among groups when genotypes were categorized into three groups (Fig 6). Mean values of wheat genotypes groups in cluster analysis were presented in table 2 and 3. The third group indicated the grain yield GY and majority of the agricultural and morphological traits such as LA, PL, SL, WS, BIO, NG.S⁻¹, and TKW showed maximum deviance of total means and this group may recommend as superior group (Fig 6). Also cluster analysis supported the results of principal component analysis because genotypes Wahbi, Waha and Sémito under rainfed year 2011/12 were in this group and cleared a superiority of these genotypes in both two years for these parameters. Their cluster analysis results showed that these agricultural traits (LA, GY, PL, SL, WS, BIO, NG.S⁻¹, BIO and TKW) were more effective in identifying high yielding cultivars in divers' climatic areas (Fig 6). The second group represented the plant height and the NS.m⁻² characterized the local cultivar Bidi17 both rain fed years 2011/12.

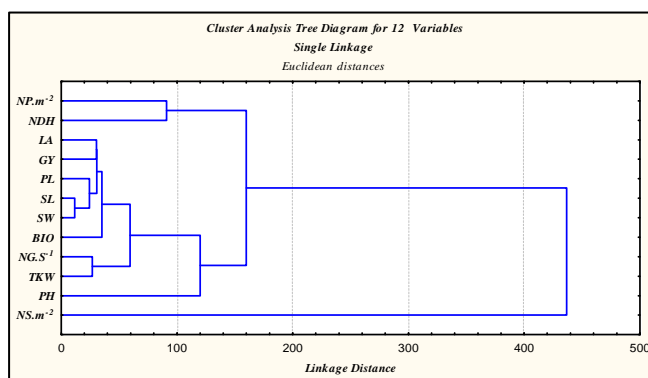


Fig. 6: Clustering of wheat genotypes based on grain yield, morphological, phenological and agricultural, traits during two agricultural companies (2012-13)

Discussion:

According to these results, the varieties studied present a wide variety in behaviour regarding the drought stress during agricultural companions 2011/2012 and 2012/2013, analysis of variance showed that the year effect is present and affects differently all the characters measured. During the agricultural companion 2012/2013, the local variety Bidi17 retains its highest leaf area (24, 62±2, 26 cm²), the Waha variety recorded the lowest surface. Indeed, according to Blum [4], the reduction in leaf area is considered as a response of adaptation to water shortage. This reduction is a strategy that allows the plant water savings and it will be used to survive during stress and to adapt to an unfavourable environment. Kirkham *et al.*, [22], suggested that a reduced leaf area can be advantageous, since it effectively reduces the total water loss from the plant. The change in the production of plant height shows that the highest stem is stored in the local variety Bidi17 under rain fed year 2011/12. While, under season 2012/2013, the Waha variety has the highest straw (87, 32 ±9, 49 cm). This behaviour can be explained by a higher potential formation of carbohydrate reserves. This contribution of stubble height with substrates stored especially between the last node and the peduncle length which provides grain yield under stress [4]. Moreover, in semi-arid areas, the plant height is pertinent in the selection of varieties which were better adapted to drought and considered as the seat storage assimilates transferred to the grains. The highest peduncle length characterized Bidi 17 and Waha varieties less than two seasons. Evans and Wardlaw argued that peduncle of wheat due to its higher green area, highly intensive photosynthesis and proximity to spike plays an important role in grain filling. Concerning the weight of thousand kernels, a lower value of (TKW) characterizes the four genotypes during the year 2012/2013, this is probably due to a lack of precipitation (May to June: Fig 1). These results were obtained also by Geslin and Jonnard (1948), they reported that a temperature of 30°C for two days only is enough to cause scalding especially milky grain stage in drought conditions. Therefore, average yield reduction due to drought condition of two agricultural companions was -79, 08%. Temperature and precipitations are important environmental factors that have a great impact on durum wheat yield [19], generally; the behaviour of durum wheat in the semi-arid areas is influenced by the climatic conditions of these regions. Severe water stress from the seedling stage to maturity reportedly reduced all grain yield components, particularly the number of fertile ears per unit area by 60%, grain number per spike by 48%, dry mater and harvest index [14]. Under drought conditions during two years, Waha, Wahbi and Bidi 17 had the highest number of spike per metre square and the most number of grains per spike (NG. Spike⁻¹). Since number of grains per spike is typically the yield component that is most thermal stress and drought; it has been suggested as a selection criterion for drought tolerance. A significant positive correlation were found between the grain yield and their components, the number of plants

per square meter, the number of spikes per square meter, the number of grains per spike, the spike weight, the Biomass and the thousand kernel weight (Table 3). These results are similar approximate to another study of durum wheat yield components [31,1,20], which found that the number of grains per spike and grain weight had a significant positive effects on grain yield under stress conditions, as well as under well-watered conditions. However, no correlation was observed between these all characters and date to heading (Table 3). Kihç *et al.*, [21], it was reported that the number of days for heading, number of spike per m², the thousand kernel weight and grain yield of durum wheat are reduced in the drought and terminal heat stress conditions. The time to heading is often used as an indicator which is considered as an important character which influences cereal yields especially in areas where the distribution of rainfall, the variability of temperature and precipitation affect the length of the development cycle of the plant [16]. The significant correlation were found between grain yield and date of heading have been described in four durum wheat genotypes during rain fed year 2011/2012 (Fig 5.C) . This is explained by their precocity, according to escape way that allows them to benefit from the favourable moisture conditions during the season. These results are also confirmed by [10,2]. They considered that the genotypes which flowered and matured early may have been favoured by partial escape from drought and have an ability to complete their life before dehydrated by high summer temperature. Zamani and Nassri [32] considered that the precocity enhances the grain yield of durum wheat. Cluster analysis has been widely used for description of genetic diversity and grouping based on similar characteristics [15,26].

Conclusion:

Developing drought adaptation varieties in arid and semi arid environmental conditions has been accepted as the most important factor for increasing crop potential, yield improvement and stability. Therefore, the identification of effective parameters on yield and their relationship under rain fed conditions is a fundamental challenge for cereals improvement programs. This study focused on the diversity and variation of morphological and agricultural characters of some varieties of durum wheat for adaptation to drought in semi-arid area. Both tests were conducted at the Farm Driver of Technical Institute of Great Cultures; Elkhroub, Constantine, full interior eastern Algeria for two agricultural companions 2011/2012 and 2012/2013. They accuse periods of heat, water and oxidative stress during the vegetative cycle of the plant. These climatic hazards experienced severely disrupted the performance of these four genotypes for adaptation to draught (a heading lateness and a very sharp decrease in yield especially under rain fed year 2012/2013).

On morphological characteristics, genotypes Bidi17 and Waha develop a large plant height during 2011/2012. However, during the rain fed year 2012/2013 the local variety Bidi17 retained its high leaf area, while the Waha variety recorded the lowest surface. The reduction in leaf area can be an advantage because it effectively reduces water loss through transpiration of the plant. The plant height would be relevant to the selection varieties better adapted to drought. Furthermore, our results show that the response of durum wheat to a biotic stress such as drought manifested by morphological changes noticed in the aerial parts. Indeed, stressed plants suffer from reductions in leaf area and the plant height [6]. These changes are introduced by a decrease in photosynthetic capacity [24]. Even so, on agronomic traits, the results of thousand kernel weight of the four genotypes in full fields are valid under climate change of two years. It is a varietals character and a valid criterion for the selection of drought tolerance in durum wheat. Grain yields are generally acceptable for all genotypes studied during the year (2011/2012) with a superiority of Wahbi (42, 05±1, 87 qx.ha⁻¹). However, the rain fed year 2012/2013 was the worst in particular for grain yield, this component was decreased in all varieties, especially in Sémito cultivar, these genotype is the most unstable to their potential yield for a given one year to another. Introduced varieties are the least efficient in the semi-arid areas. The reduction in grains yield due to drought stress has been confirmed by Hooker *et al.*, [17]; Gebeyehoub and Knot, [12]; Ali *et al.*, [1]. During two years, the biomass and the grain yield are greatest in rain fed year 2011/2012 and are least during the year 2012/2013. Waha and Bidi17 are distinguished by favourable valuations for the majority of variables studied during the year 2011/2012. Moreover, these two genotypes are identified by morphological and agricultural drought adaptations, and can be used as donors of genes to drought adaptation and we suggest their use in any research program of selection in areas and semi-arid areas. This is confirmed by genotype Wahbi which represents a pedigree created by cross between Bidi17, Waha and Bidi17.

Varietals behaviour of durum wheat in semi-arid areas is affected by different types of climatic change conditions that are water stress, thermal stress and oxidative stress from one year to another, which explains the presence of the interaction genotype × environment and the interaction genotype × year. This is a necessary adaptation, stability and thus tolerance to various stresses that characterize the selection environment and production. The results obtained from the study of four varieties are preliminary and necessary for understanding the behaviour of durum wheat production in the interior plains of eastern Algeria (Constantine). Significant positive correlations were found between the grain yield and date to heading, this explain that the introduced and selected genotypes are characterized by highest yield potential and lowest during of days to heading. It is concluded that introduced and selected cultivars performed superior than the local's cultivars under both moisture environment conditions. Heading date is a critical phase that characterizes Cereals in semi

arid zone. It is affected by changing weather conditions which directly affect the yield potential of these crops. It is necessary to test these genotypes are characterized by an early to ensure a good yield for these areas. Our results indicate that performances of genotypes in terms of traits studied were different at each condition and year.

Appendix:

NP.M²: IS NUMBER OF PLANTS PER SQUARE METER

NDH (DAYS): THE NUMBER OF DAYS TO HEADING

NS.M²: IS THE NUMBER OF SPIKE PER SQUARE METER

LA: IS THE LEAF AREA

PH: IS THE PLANT HEIGHT IN CM

PL: IS PEDUNCLE LENGTH IN CM

SL: IS SPIKE LENGTH IN CM

NG.S⁻¹: IS THE NUMBER OF GRAINS PER SPIKE;

WS: IS WEIGHT SPIKE IN GRAMS

BIO: IS GROUND BIOMASS IN GRAMS

TKW: IS THOUSAND KERNEL WEIGHT IN GRAMS

GY: IS GRAIN YIELD

QX.HA⁻¹: IS THE QUINTALS BY HECTARE

***P ≤ 0, 1**: IS SIGNIFICANT

****P ≤ 0, 05**: IS HIGHLY SIGNIFICANT

*****P ≤ 0,001**: IS VERY HIGHLY SIGNIFICANT

NS: IS NOT SIGNIFICANT

CV: IS THE CRITICAL VALUES OF TURKEY

A, B, C, D, AND E: IS THE HOMOGENISES GROUPS BY DUNCAN TEST.

MS: IS MEAN SQUARES

P: IS THE PROBABILITY

Max.T (°C): Maximum temperature

Min.T (°C): minimum temperature

Aver.T (°C): average monthly temperature

ACKNOWLEDGMENTS

My thanks specially to Mr. Benbelkacem Abd Elkader; Research Director of National Agronomic Institute; Elharach; Algeria and Mr. Sakhri Mohamed El Hadi; Director of Technical Institute of Great Cultures. Elkhroub, Constantine. Algeria

REFERENCES

- [1] Ali, A., A. Nawab, A. Immrani, A. Mohammad, U. Nimat and Z.A. Swati, 2013. Morphological and genetic diversity of Pakistani wheat germplasm under drought stress. In: International Journal of Advancement in Research & Technology, 2(5): 186-193.
- [2] Bayoumi, T.Y., H. Manal and E.M. Metwali. 2008. Application of physiological and biochemical indices as a screening technique for draught tolerance in wheat genotypes. African J. Biotech, 14: 2341-2352.
- [3] Benlaribi, M., P. Monneveux, 1988. Etude comparative en situation de déficit hydrique de deux variétés algériennes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) Adaptées à la sécheresse. In : C R Séances Acad.Agr.fr. 74(5): 73-83.
- [4] Blum, A., 1988. Plants breeding for stress environments, in: Boca Raton, 4, CRC, Press. Florida.USA. p: 223.
- [5] Blum, A., 1996. Crop responses to drought and the interpretation of adaptation plant growth regulation. 20. p 135.
- [6] 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 du Doctorats es-Sciences Université de Constantine 1*. p: 117.
- [7] Chehat, F., 2007. Analyse macroéconomique des filières, la filière blés en Algérie Projet PAPLIM: Perspectives Agricoles et Agroalimentaires Maghrébines Libéralisation et Mondialisation .7-9 Avril, Alger.
- [8] Chenafi, H., H. Bouzerzour, A. Aidaoui and A. Saci, 2006. Yield response of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivar Waha to deficit irrigation under semi arid growth conditions. Asian. J. Plant. Sci., 5: 854-860.

- [9] CIC., 2013. Bulletin du Conseil International des Céréales, Algérie.
- [10] Daaloul, A., H. Bchiri and R. Sayer, 2009. Variabilité génétique de quelques paramètres du système racinaire du blé dur sous deux régimes hydriques. *Plant. Genetic. Ressources*, 129: 25-31.
- [11] Djermoun, A., 2009. La production céréalière en Algérie: les principales caractéristiques. *Revue Nature et Technologie*. N°01 : 45-53.
- [12] Gebeyehoub, G., D.R. Knot, Response of durum wheat cultivars to water stress in the field and green house. *Can. J. Plant. Sci.*, 63: 215-223.
- [13] Geslin, H. and P. Jonard, 1948. Rendement et composantes du rendement dans l'Environnement Méditerranéen Français. Communication présentée in : Séminaire A-grimé de Bari (Italie). 30 Septembre au 2 Octobre 1948-195.
- [14] Giuanta, F., R. Mortzo and M. Deielda, 1993. Effect of drought on yield and yield components of durum wheat and Triticale in Mediterranean environment. *Field. Crop. Res.*, 33: 399-409.
- [15] Golestani, M and H. Pakniat, 2007. Evaluation of drought tolerance indices in sesame lines. *J.Sci.Tech.Agric.Nat.Res.*, 41: 141-149.
- [16] Hadjchristodoulou, A., 1987. The effect of optimum heading date and its stability on yield and consistency of performance barley and durum wheat in dry areas. *J. Agri. Sci. Camb.*, 108: 599-608.
- [17] Hooker, M.I., S.H. Mohiuddin and E.T. Kanemasu, 1983. The effect of irrigation timing on yield and components of winter wheat. *Can. J. Plant. Sci.*, 2: 293-303.
- [18] Kara, Y., A.L. Martin, D. Rekika and P. Monneveux, 2000. Roots characteristics in durum wheat (*T.turgidum conv.durum*) and some wild *Triticeae Species*'. Genetic variation and relationship with plant architecture. *Cereal Research and communication.*, 28(3): 147-254.
- [19] Karimizadeh, R., M. Mohammadi, M. Armion, M.K. Shefazadeh and H. Chalajour, 2012. Determining heritability, reliability and stability of grain yield and yield-related components in durum wheat (*Triticum durum L.*). *Bulg. J. Agric. Sci.*, 18: 595-607.
- [20] Kihç, H and T. Yağbasanlar, 2010. The effect of drought stresses on grain yield, yield components and some quality traits of durum wheat (*Triticum turgidum ssp.durum*) cultivars. *Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj.*, 38 (1): 164-170.
- [21] Kihç, H., H. Özbek and I. Özbek, 1999. Bazi mkarnalik bugday çeşitlerinin sıcak ve kuraga toleranslarının belirlenmesi in: GAPI. Tarim. Congress. Şanhurfa. 26-28 mayıs.
- [22] Kirkham, M.B., E.L. Smith, C. Danasobhon and T.I. Draket, 1980. Resistance to water loss of winter wheat flag leaves. *Cer. Res Commun.*
- [23] Laument, P and J. Eroux, 1961. Inventaires des blés durs rencontrés et cultivées en Algérie : Mémoires de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord., 5: 96.
- [24] Lefi, E., J. Gulias, J. Cifre, M. Ben Yones and H. Medrano, 2004. Drought effects on the dynamics of leaf production and senescence in field-grown *Medicago arborea* and *Medicago criteria*. *Ann. Appl. Biol.*, 144: 176-196.
- [25] Loss, S.P and K.H.M. Siddique, 1994. Morphological and physiological traits associated with wheat yield increases in Mediterranean environments. *Adv. Agron.*, 52: 229-276.
- [26] Malek shahi, F., H. Deghani and B. Alizedeh, 2009. Study of drought tolerance indices in some cultivar of winter rapeseed (*Brassica napus L.*) *J.Sci.Tech.Agric.Nat.Res.*, 48: 78-89.
- [27] Mekhlouf, A., H. Bouzerzour, A. Benmahammed, A. Hadj Sahraoui and N. Harkati, 2006. Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum Desf.*) au climat semi-aride. *Sécheresse*, 17(4): 507-513.
- [28] Pinter, J.R.P.J., G. Zipoli, R.J. Reginato, R.D. Jackson and S.B. Idso, 1990. Canopy temperature as an indicator of differential water use and yield performance among wheat cultivars. *Agric. Water. Manag*, 18: 35-48.
- [29] Rajaram, S., 2001. Prospects and promise of wheat breeding in the 21st century. *Euphytica.*, 119: 3-15.
- [30] Shpiler, L and A. Blum, 1991. Heat tolerance for yield and its components in different wheat cultivars *Euphytica*. 51: 257-263.
- [31] Simane, B., P.C. Struik, M.M. Nachit and J.M. Peacock, 1993. Ontogenetic analysis of yield components and yield stability of durum wheat in water-limited environments. *Euphytica.*, 71: 211-119.
- [32] Zamani, A. S and A. Nasser, 2008. Response of dry land wheat production and precipitation water productivity to planting date. *Asian. J. Plant. Sci.*, 7: 323-326.

Morpho-Physiological Behaviour of Four Genotypes of Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.) Grown under Different Levels of Water Stress

Zoghmar Meriem and Kara youcef

Laboratory of Development and Valuation of Plant Genetics Resources and Laboratory of Mineral Nutrition; Department of Plant Biology and Ecology, Faculty of Natural Science and Life, University of Constantine 1 Algeria, Route Ain El-Bey, 25000

Abstract: As part of a struggle against drought and its adverse effects on agricultural production particularly cereals and in order to understand the effect of water stress and to identify or discriminate the most resistant variety to the water deficit. The adaptation of durum wheat varieties drought is expressed by its ability to maintain a satisfactory level of main factors: physiological, morphological and biochemical. The study is focused on four varieties of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under different levels of water stress (35 %, 25%, 15% and 10% of the field capacity) and 100% of the field capacity (Terms of normal irrigation). The assays are performed by measuring sheet states five morpho-physiological parameters (leaf area, relative water content and pigments of chlorophyll content) and biochemical parameters of the assay (soluble sugar and proline) The three varieties manifest an almost similar behaviour via- à-via to the stress applied; varieties marked high levels of most osmoticums studied a net increase of proline and total of sugars soluble are distinguished of: Sémito, Bidi17 and Citra, respectively, against a low content of this osmoticums in Wahbi. Therefore are tolerant varieties compared to Wahbi Durum wheat actually manifest traits of morpho-physiological and biochemical adaptation to deficit conditions.

Key words: Durum wheat • Water stress • RWC • Proline • Soluble sugars • Chlorophyll pigment • Adaptation

INTRODUCTION

Historically, grains are an important part of resources and economic exchanges among this grain durum wheat is the staple crop, which accounts for 8 % of the wheat area in the world [1]. Over 70 % of this area is Mediterranean conditions. In this region, drought is a major cause yield losses that vary from 10-80% depending on the years [2]. At the annual level, the consequences of drought depend on its period and its duration of action [3].

Cereal production in Algeria is still very inadequate to meet the demand of this product in wide use. It is faces several biotic and a biotic constraint of soil orders and / or climate among these stresses, drought is considered the most important factor limiting grain production is one

of the leading factors leading to differences not only between average yields and potential but also between different cereal seasons [4].

Cereal crops with an annual production ranges from independence between 10 and 45 million quintals, seems to be the vulnerable area as it is practiced in rainfed areas [5]. Most authors agree to consider that the Algerian cereal is long, largely dominated by durum wheat [6], a million hectares production is characterized by a wide variation and yields remain low and irregular, it is closely related to total precipitation [7]. Most often this rainfall is insufficient and irregular in time varies from one year to another.

This irregularity results in drought conditions can affect cereals during one or more phases of their development cycle. The selection process of local

Corresponding Author: Zoghmar Meriem, Laboratory of Development and Valuation of Plant Genetics Resources and Laboratory of Mineral Nutrition; Department of Plant Biology and Ecology, Faculty of Natural Science and Life, University of Constantine 1 Algeria, Route Ain El-Bey, 25000. Mob: 00213773912988.

cultivars had a regression from 1965 largely due to the lack of human and material resources at various levels of existing structures having load the collection and storage of existing genotypes'. To this end, it became imperative to consider a better strategy for conservation and development of genetic resources.

The objectives of this study is to: testing durum wheat varieties (local and introduced) in relation to their resilience to water shortages and capacity in production by morphological approaches (Identification responses these varieties of durum wheat used by the biometric characters), physiological (changes in water status parameters: the relative water content RWC and chlorophyll content) and biochemical (assessing the technical capacity on the accumulation of compatible osmolytes, proline and soluble sugars).

MATERIALS AND METHODS

Plant Material: Four varieties of durum wheat (*Triticum durum* Desf.), local and introduced origins seeds were provided by the Technical Institute Crop El-khroub Constantine (ITGC) are the subject of this study. These cultivars are characterized by contrasting agricultural productivity (Table 1).

Growing Conditions: Experiment was conducted under greenhouse (in semi -controlled conditions. The grains of these varieties were germinated in Petri dishes on filter paper Wattman no...??? soaked with water. After germination, seedlings were transplanted into plastic pots containing the same amount of the mixture of soil, sand and compost in the proportions 3:1: 1. At 8 pars pot seedlings for each genotype 6 treatments and 3 pots per treatment are defined which were 24 pots per treatment and genotype pots are watered three times a week and kept at maximum hydration up at stage four well developed leaves. At this stage , five different water regimes were imposed. They consisted of 100% cc (control), in the case of plants stressed lot, irrigation is suspended until the obtaining different levels of deficit hydrique, 10, 15 and 35% of field capacity.

Measurements:

Relative Water Content (RWC): Relative water content (RWC) was measured according to method described by Barrs [8]. The calculation is done using the formula [1]: $[RWC (\%) = [(FW - DW) / (TW - DW)] * 100]$ [9], where FW is the fresh weight (the blade of the leaves cut at its core

Table 1: Origins of studied genotypes

Varieties	Origin
Cirta	ITGC Elkhroub, Algeria
Bidi 17	ITGC Guelma, Algeria
Wahbi	ITGC Elkhroub, Algeria
Sémito	CIMMYT(Mexique)

is immediately weighed), TW : fresh weight at full turgidity (the same sheet placed in a test tube containing distilled water for 24 h at 4°C), DW is the dry weight determined after the passage of sample in an oven at 80 ° C for 48 hours (dry weight of leaf).

Proline: Was assayed on the middle third of the last two sheets by the method developed by Troll and Lindsly [10] the values obtained are converted to proline levels by means of an equation:

$$Y = 0.62 * OD (528nm) / MS$$

These equations determine the levels of proline in the leaves of plants. The spectrometer is set to zero through 40% methanol.

Total Soluble Sugars: The total soluble sugars (sucrose, fructose and their derivatives methyl and polysaccharides) are assayed by the phenol method as described by Dubois *et al* [11].

Leaf Area: Is determined by a measuring device scanner leaf area.

Chlorophyll Pigments: Are determined by the concentration of chlorophyll a and b are expressed and given by the equations:

$$Chl(a) (\mu g/100mg MF) = 12,3DO(663) - 0,86(645) / 10$$

$$Chl(b) (\mu g/100mg MF) = 22,9DO(645) - 4,86(663) / 10 \text{ in Haggazi } et al [12].$$

Statistical Analysis: The statistical analysis of the results obtained in different experiments was tested by analysis of variance performed using the (Xl- STAT-PRO 2006) software program. The Newman-Keuls test has given the average and ranks with a significance levels ($\alpha=5\%$).

List of Abbreviations:

ITGC : The Grande's Cultures Technical Institute (Elkhroub).

CIMMYT : The International Center for Improvement of Maize and Wheat, Italy.
RWC (%) : The relative water content.
WF : The fresh weight.
WR : The weight of rehydration.
WD : The dry weight.
DO : The density obtique
Chl(A +B) : Chlorophyll content.
Mol : Moll
FM : Fresh mass
DM : Dry mass
XISTAT-PRO 2006: a logician of Statistical treatment.
MS : Mean square.
Pr : Probability.
La (cm²) : Leaf area.
Prol : Proline content.
Sugar : Soluble sugar content.
FC : Field capacity.
35% FC, 25% FC, 15% FC and 10% FC:
The lots of different levels stress of field capacity.
100% FC: control of field capacity

RESULTS AND DISCUSSION

Morpho-Physiological Parameter: The analysis of variance of the results obtained revealed the existence of very highly significant difference between the levels of stress, between varieties insignificant and significant for the interaction between the two factors (Table 2).

Relative Water Content : A comparison between the evolutions of the relative water content of four varieties studied showed that water stress causes a drop in the percentage of water. This fall is becoming clearer as and when the stress level is increasing (Fig. 1), in both varieties Bidi 17 and Wahbi, the values of RWC fluctuate between a 84, 71 % to 27, 57 % consequently scoring percentage decrease of 5, 88 % to 67, 45 % among the four levels of stress (35 %, 25%, 15% and 10% of the field capacity), respectively compared to control (100% of field capacity). About Sémito and Cirta, the RWC is varies 78, 65 % to 25, 26% and decreases in the order of 4, 10% to 44, 59 %. This means that the greater the intensity of water stress s' increases, the higher the relative water content (RWC) is lowered, while maintaining relatively high compared to control values (100% FC).

ontent of Chlorophyll Pigments: The chlorophyll (a + b) was decreased correspondingly over the level of stress among the four genotypes (Fig. 2). The Bidi 17, Wahbi and Cirta varieties are mark grades ranging between 0, 99 to 0, 57 µg/100mg MF. Decline rates are from 10,10 to 25,25% in Bidi 17, 19,14% to 39,36% in Wahbi and 21,50% to 33, 33% in Cirta four levels of stress (35%, 25%, 15% and 10% FC) compared with baseline values at 100% FC, the variety Sémito records levels fluctuating between 1,08 and 0,54 µg/100mg MF, marking rates decrease 20,37% to 50%.

This allowed us to conclude that Bidi 17 decreased its total chlorophyll content unless Sémito, Cirta and Wahbi.

Leaf Area: The analysis of variance of the results revealed the existence of very highly significant difference between the levels of stress, highly significant between varieties and not significant for the interaction between the two factors (irrigation levels and variety) (Table 1 and Fig. 3). In our experiment is the Bidi 17 variety which records high values of leaf area at 35% and 25 % compared to the control, followed by Wahbi, Sémito and Cirta.

At 15% and 10%, the Sémito variety keeps the same value, while varieties Cirta and Bidi 17 mark low rate of decline compared to the Wahbi variety that experiences high decrease in these levels.

Biochemical Parameters: The analysis of variance of the results revealed the existence of very highly significant difference between the levels of stress, between varieties insignificant and significant for the interaction between the variables of biochemical factors, proline and sugar content (Table 3).

Proline Content : Analysis of variance of the results revealed the existence of very highly significant difference for stress levels but not significant between the varieties studied. Proline is known to be widely present in plants and normally accumulates in large quantities in response to environmental stress as well due to an increase in production by reducing degradation (Fig. 4).

In a normal irrigation condition, the proline content was estimated from the degree of stress 35 % of field's capacity, content ranges from 9,16 ± 0,97 to 5, 34 ± 2,1 µmol /100 mg DM among genotypes, the minimum value

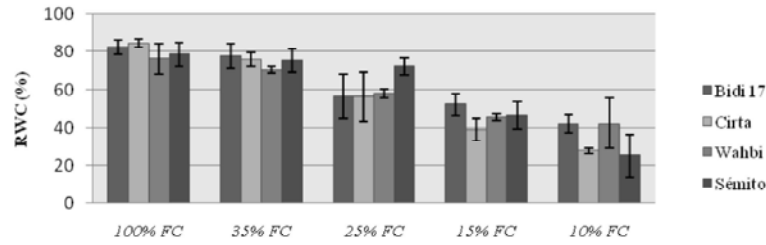


Fig. 1: Variation of relative water content in leaves of four genotypes of durum wheat depending on levels of water stress

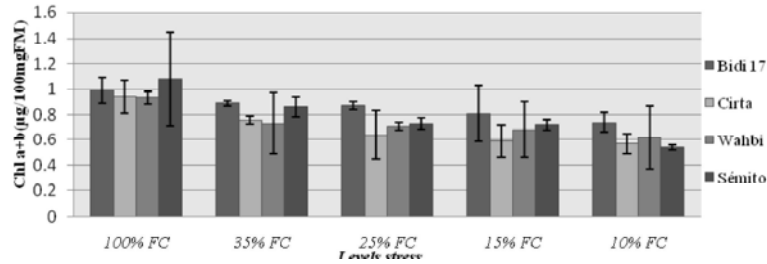


Fig. 2: variation of chlorophyll (a + b) in leaves of four genotypes of durum wheat depending on levels of water stress

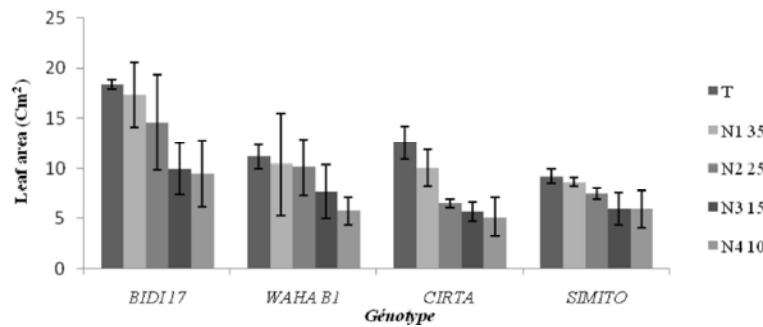


Fig. 3: Variation of the leaf area in leaves of four genotypes of durum wheat depending on level of water stress

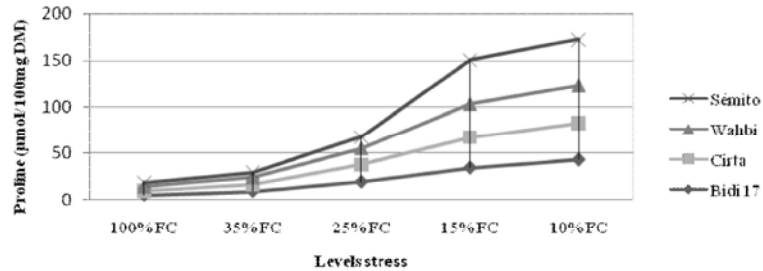


Fig. 4: Variation of proline content in leaves of four durum wheat genotypes based on level of water stress

Table 2: Analysis of variance of Morph physiological parameter.

Variables	Genotype								
	Genotype effect			Treatment effect			Genotype × Treatment effect		
	MS	F	Pr > F	MS	F	Pr > F	MS	F	Pr > F
RWC	104,90	1,897	0,15 Ns	3436,212	62,12	0,0001***	115,15	2,082	0,049**
Chl (a+b)	0,072	3,767	0,020**	0,124	6,519	0,001***	0,006	0,315	0,981 ns
La (cm ²)	106,12	5,6	0,0001***	62,589	9,21	0,0001***	4,296	0,632	0,977ns

MS: Mean square, F: calculated, Pr > F: Probability RWC: the relative water content, Chl (a+b): Content of chlorophyll a+b, La (cm²): leaf area, *p = 0,1, **p = 0,05, ***p = 0,001: its respectively the existence of significant, highly significant and the existence of very highly significant difference; Ns : not significant.

Table 3: Analysis of variance of Biochemical parameter

Genotype Variables	Genotype effect			Treatment effect			Genotype × Treatment effect		
	MS	F	Pr > F	MS	F	Pr > F	MS	F	Pr > F
Prol	30,315	0,807	0,49ns	3018,135	80,32	0,0001***	48,568	1,293	0,270 ns
Sugar	131,733	3,209	0,036*	398,749	9,7 15	0,0001***	57,087	1,391	0,221 ns

MS: Mean square, Pr> F: Probability, Prol: Proline content, Sugar: soluble sugar content *p = 0, 1, **p = 0, 05, ***p = 0,001: its respectively the existence of significant, highly significant et the existence of very highly significant difference; Ns: not significant.

Table 4: Principal component analysis of different variables of four varieties of durum wheat

Variables ¹	RWC	Chl (a+b)	Chl (a)	Chl(b)	Chl (a/b)	La (cm ²)	Prol
Chl (a+b)	0,957***						
Chl(a)	0,952***	0,999***					
Chl (b)	0,975***	0,955***	0,948***				
Chl (a/b)	0,653	0,809***	0,821***	0,603			
La	0,777***	0,743**	0,746**	0,767**	0,539		
Prol	-0,971***	-0,940***	-0,938***	-0,941***	-0,680	-0,738**	
Sugar	-0,737**	-0,795***	-0,797***	-0,732**	-0,757**	-0,688	0,817***

RWC : relative water content; Chl (a+b); Chl(a); Chl (b); Chl (a/b): is respectively Chlorophyll(a+b), Chlorophyll(a),Chlorophyll(b) and rapport of Chlorophyll(a/b) ; La (cm²) : leaf area ; Prol: Proline content; Sugar: soluble sugar content *p = 0,1, **p = 0,05, ***p = 0,001 : its respectively the existence of significant, highly significant et the existence of very highly significant difference; Ns : not significant.

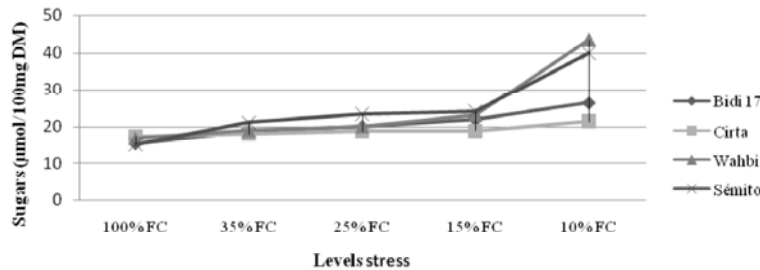


Fig. 5: Variation of total soluble sugar content in leaves of four durum wheat genotypes on level of water stress.

is recorded in the genotype Sémito. While, the maximum value was recorded in the Bidi17. But, those are confused by 100% FC (control), this may be due to the presence of a thermal stress. The order of increase is 1, 81 times; 1, 66 times; 1, 50 times and 1, 33 times in Bidi 17 Wahbi, Cirta and Sémito respectively compared to control. At 25% FC, the four varieties accumulate more proline. A net increase distinguished it is about 3.83 times, 4.09 times, 3.51 times and 2.97 times in Bidi 17, Wahbi, Cirta and Sémito respectively compared to control.

Total of Soluble Sugars: In stressed lot 35% of field capacity, the four varieties marked values vary from $18 \pm 1, 89$ to $21,09 \pm 2,18$ $\mu\text{mol} / 100 \text{ mg DM}$. The maximum value was recorded in the genotype Sémito with a rate of $21,09 \pm 2, 18$ $\mu\text{mol} / 100 \text{ mg DM}$, while the minimum value was recorded in the Wahbi variety that marks a rate of $18 \pm 1, 89$ $\mu\text{mol} / 100\text{mg DM}$. Stressed at the two lots 25 % and 15 % FC, the four varieties show a slight increase (Fig.5). The levels range from $18, 64 \pm 3, 24$ to $23, 32 \pm 8, 28$

$\mu\text{mol} / 100 \text{ mg DM}$ at Wahbi and Sémito. The rate of increase is 1,03 to 1,72 times in Bibi17; from 1,07 to 1.23 times in Wahbi ; of 1,19 to 2,60 times in Cirta and 1,53 to 2,62 times in Sémito compared to the control lot and 35% of field capacity.

Relationship Between Physiological and Biochemical Variables: The principal component analysis reveals for both 100% and 10% of field capacity levels shows that the percentage of information given by the F1 axis is 84, 20% and that given by the axis F2 is 7, 23% a total of 91, 43%. Interpretation may be limited to these two axes large discriminating power (Table 4 and Fig. 6).

Highly significant positive correlation can be found between the Relative water content and the pigment of Chlorophylls Chl (a+b), Chl (a), Chl (b) and between the Relative water content and the leaf area (Table 4 and Fig. 6). A negative correlation very highly significant between the Relative water content and sugars ($r=-0,737**$) and between the Relative water content and Proline ($r=-0,971***$).

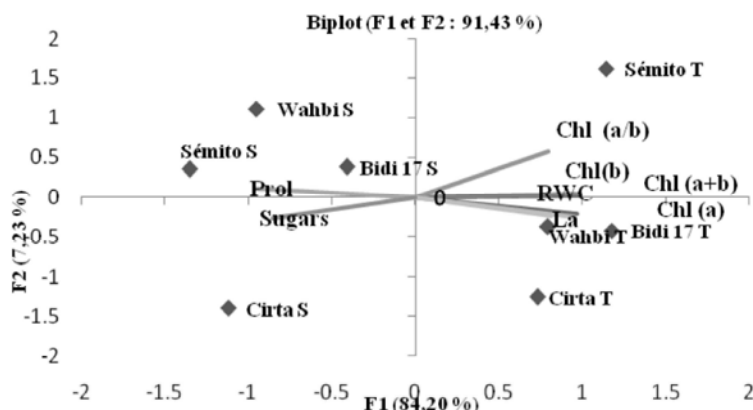


Fig. 6: Diagrams of the distribution of variables and individuals to moisture 10% of field capacity.

The parameters Chlorophylls (a+b), (a), (b), leaf area and Chlorophylls (a/ b) are negatively correlated with the Proline so $r = -0,940^{***}$; $r = -0,938^{***}$; $r = -0,941^{***}$; $r = -0,738^{**}$ and $r = -0,680^*$ respectively. Leaf area is negatively correlated with sugars and proline. Chl (a) has a very highly significant positive correlation with Chl (a + b) so $r = 0,996^{***}$ and with the ratio Chl (a/ b) so $r = 0,764^{***}$ (Fig.6).

This latter, have a significant positive correlation with Sugars. The correlations obtained between sugar accumulation and proline on the one hand and between the RWC, chlorophylls pigment and other sugars shows that more and more increases the proline and the RWC diminuend pigment, lowering the RWC and chlorophyll content and has a strong assessing accumulation of osmolytes (Fig. 6).

DISCUSSION

The analysis of the relative water content and the content of chlorophyll pigments was used to describe a comprehensive way, the water status in response to water stress and evaluate the ability to achieve a good osmoregulation and maintain turgid cell [13]. Comparison of relative water content in four varieties based treatments applied, shows that there is a negative correlation between the level of stress and relative water content. Newman Keuls test ($\alpha = 5\%$) ranks variable stress levels into four groups and the class variable in one group at: Bidi17, Sémito, Cirta and Wahbi (59, 15 %, 56, 73 %, 55, 69 % and 52,304 %).

It could be concluded that all genotypes have almost the same behaviour via-à-via the levels of stress. The lack of water is a key element for the growth of plants,

especially in arid and semi-arid region. It induces a decrease in the stressed plants of the relative water content and a significant reduction of the total biomass production.

The chlorophyll assimilation is the physiological process by which autotrophic plants are able to use solar energy for their nutrition exclusively with mineral feed; the amount of leaf chlorophyll can be influenced by many factors such as the age of the leaves, leaf position and environmental factors such as temperature and water availability [16-18]

The results of our study show that water stress induced a remarkable decrease in chlorophyll levels in almost all genotypes; this is confirmed by Organ [19] and Tambussi *et al* [20]. Proline is known to be widely present in plants and normally accumulates in large quantities in response to environmental stress as well due to an increase in production by reducing its degradation [21]. Given previous experience, the accumulation does not begin until level 40 % of field capacity when the plant feels the lack of water in non- limiting conditions of irrigation [22].

The four varieties show a slight increase. The levels range from $18,64 \pm 3,24$ to $23,32 \pm 8,28 \mu\text{mol} / \text{mg MF}$ at Wahbi and Sémito, The effect of water stress can result at the whole plant level and especially sheets, the net increase in the concentration of a number of constituent primary metabolites which may be carbohydrates. According to our results, the accumulation of soluble sugars is much lower than that of proline. Our results are in agreement with those obtained by Dib *et al* [23]. It is known that the rate of sugar increases significantly in plants subjected to different

types of stress among adult trees of eucalyptus under different stress [24] in wheat response to water deficit [25].

Stressed plants have responded by increasing amounts of sugars in their cells [25]. This increase is actually a parameter adaptation to water stress conditions. This is confirmation with the findings of researchers who have stated that the water deficit caused a significant accumulation of soluble sugars in the leaves. This accumulation is positively correlated with the degree of stress [14].

CONCLUSION

The value of this work is to evaluate the impact of water deficit on four varieties of durum wheat. The effect of drought may result, depending on the adaptive strategy of each variety to reduce sweating; these changes affect the air or underground part: reduction of leaf area and the number of sizes, leaf curling and /or better development root system. The aim is to characterize the effect of this stress on the morphological, physiological and biochemical behaviour of plants in deficit conditions.

The result seems to vary between the different treatments (35 %, 25 %, 15% and 10% field capacity) but does not reveal large variability between different varieties. In our study we have found that the rate of proline significantly higher compared to the control indicating that some metabolic perturbation follows the water stress intensity. The behaviour of four varieties is similar, but the maximum value is marked in Sémito and Bidi 17.

A slight increase in soluble sugar content was observed in four varieties in relation to the proline, despite the accumulation of soluble sugars is in positive correlation with the stress as to proline. Chlorophyll (a+b) shows a decrease depending on the degree of water stress. The RWC and leaf area marked decreases over the degree of stress. Significant positive between the first group of variables (proline, soluble sugars) and between the second group of variables (chlorophyll pigment surface correlations are found. The plants react appropriately to different levels of stress applied and control its metabolic functions following conditions governing culture medium to tolerate water deficit stress. Applying its analysis in several varieties and in other settings and at different levels of stress.

REFERENCES

1. Monneveux, P., 1997. Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hiver ? In AUPELF-UREF éd : L'amélioration des plantes pour l'adaptation au milieu aride, *John Libby Eurotext, Paris*, pp: 165-186.
2. Nachit, M.M., E. Picard, P. Monneveux, M. Labhilili, M. Baum and R. Rivoal, 1998. Présentation d'un programme international d'amélioration du blé dur pour le bassin méditerranéen. *Cahiers Agric.*, 7: 510-515.
3. Amigues, J.P., P. Debaeke, B. Itier, G. Lemaire, B. Seguin, F. Tardieu and A. Thomas, 2006. Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. *Expertise scientifique collective, Rapport, INRA (France)*.
4. Sorrelles, M.F., A. Dib and M. Nachit, 2000. Comparative genetics of draught tolerance. *Options Mediterranean's séries A (Séminaire Mediterranean)*, 40: 191-201.
5. Hazmoune, T., 1995. Erosion des variétés de blé dur cultivées en Algérie : perspectives. In : Royo C.(ed), Nachit M.(ed), Di Fanzo N.(ed), Araus J L.(ed). Durum wheat improvement in the Mediterranean region: News Challenges, Zaragoza: *CEHEAM*, 2000, *Option Mediterranean*, 40: 291-294.
6. Laument, P. and J. Eroux, 1961. Inventaires des blés durs rencontrés et cultivées en Algérie. *Memoires de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord*, 5 : 96.
7. Benlaribi, M., 1990. Adaptation au déficit hydrique chez le blé dur. Etudes des caractères morphologiques. *Thèse de Doctorat D'Etat. Université de Constantine I*.
8. Barrs, H., 1968. Determination of Deficit in Plant Tissues, In: *Water Deficit and Plant Growth*. T.T. Koslowski (ed). Academic Press; New York, pp: 235-368.
9. Clark, J.M. and Mac-Gaig, 1982. Excised leaf water retention capability as an indicator of drought resistance of tritium genotypes. *Can. J. Plant Sci.*, 62: 571-576.
10. Troll, W. and J. Lindsley, 1955. A photometric method for the determination of proline. *Biology. Chemistry*, 215: 655-660.

11. Dubois, M.G. L. Lessk, J.K. Hamilton, P.A. Reberg and F. Smith, 1956. Colometric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28(3): 350-356.
12. Hegazzi, A Aboubakr, Z. Naim and A. Khalfellah, 1998. Effect of some antitranspiration on growth and some metabolic product of wheat plants *Desert Instbull*, 48: 153-171.
13. El-Jaafari, S., 2000. Durum wheat breeding for a biotic stresses resistance: Defining Physiological traits and criteria. *Option Mediterranean*, 40: 251-256.
14. Zegad, W., B.S. Maataoui, S. Hilali, S. ELAntri and A. Hmyenne, 2008. Etude comparative des mécanismes biochimiques de résistance au stress hydrique de deux variétés de blé dur. *Lebanese Science Journal*, 9(2): 27-36.
15. Kara, Y. and C.E. Belkhiri, 2011. Etude des caractères d'adaptation au déficit hydrique de quelques variétés de blé dur et d'espèces sauvages apparentées : intérêt potentiel de ces variétés pour l'amélioration de production. *Courrier du Savoir*, 11: 119-126.
16. Nogués, S.N.R. and Baker, 2000. Effect of drought photosynthesis in Mediterranean plants grown under enhanced UV-B radiation. *J. Exp. Bot.*, 51: 1309-1317.
17. Xie, S. and X. Luo, 2003. Effect of leaf position and age on anatomical structure photosynthesis stomatal conductance and transpiration of Asian pear. *Bot. Bull. Acad. Sin.*, 44: 297-303.
18. Hikosaka, K., K. Ishikawa, A. Borjigidai, O. Muller and Y. Onoda, 2006. Temperature acclimation of photosynthesis: Mechanism involved in the changes in temperature dependence of photosynthetic rate. *J. Exp. Bot.*, 57: 291-302.
19. Ogren, E., 1991. Prediction of photo-inhibition photosynthesis from measurements of fluorescence quenching components. *Planta*, 184: 538-544.
20. Tambussi, E.A., J. Casadessus and J.L. Arus, 2000. Spectroradiometrical evaluation of photosynthesis efficiency in durum wheat subjected to drought. *Option Mediterranean*.
21. Roeder, V., 2006. Recherche et étude de marqueurs de la tolérance au stress chez l'algue brune (*Laminari digitata*) *Thèse of doctorat Biologie. Université of Rennes*, 1: 237.
22. Chaib, G., 1998. Teneur en proline chez les différents organes de blé dur : Essai d'explication des conditions d'accumulations sous manque d'eau. *Thèse of magister. Université de Constantine*, 1: 84.
23. Dib, A., P. Monneveux and J.L. Araus, 1991. Adaptation à la Sécheresse et notion d'idiotype chez le blé dur. Caractères physiologiques d'adaptation. *Elsevier, INRA AGRO*, 12: 381-393.
24. Chunyang, L., 2003. Differences in drought responses of three contrasting *Eucalyptus microtheca* F. Muell. populations. *University of Helsinki Finland. Forest Ecology and Management*, 379: 377-385.
25. Kameli, A. and D.M. Losel, 1995. Contribution of carbohydrates and other solutes to osmotic adjustment in wheat leaves under water stress. *Journal of Plant Physiology*, 145: 363-366.