

DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

N°/SNV/2015

MÉMOIRE

Présentée par

Salmi Manel

Pour l'obtention du diplôme de

MAGISTER EN AGRONOMIE

Spécialité : Génétique et amélioration des plantes

THÈME

**Caractérisation morpho-physiologique et biochimique de quelques
générations F₂ de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions
semi-arides.**

Soutenue publiquement le 22/04/2015

DEVANT LE JURY

Président	Laouer Hocine	Pr UFA Sétif 1
Directeur	Benmahammed Amar	Pr UFA Sétif 1
Examineurs	Bouzerzour Hamenna	Pr UFA Sétif 1
	Hafsi Miloud	Pr UFA Sétif 1

Remerciment

Tout d'abord, louange à «ALLAH» qui m'a donné le courage, ma guidé sur le droit chemin tout au long de ce travail et m'a inspiré les bons pas et les justes réflexes. Sans sa miséricorde, ce travail n'aurait pas abouti.

Avant de présenter ce travail, je tiens à remercier tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, ont contribué à sa réalisation :

Mes remerciements vont tout d'abord à Monsieur Benmahammed Amar professeur à l'université de Sétif pour avoir accepté de diriger ce travail. Qu'il trouve ici, l'expression de ma profonde reconnaissance, mon immense gratitude et mon grand respect, pour tous ses efforts, son savoir, ses idées, sa grande disponibilité, sa confiance et ses encouragements.

À Monsieur Laouer H, professeur à l'université de Sétif, qui m'a fait l'honneur de présider ce jury.

À Monsieur Hafsi M, professeur à l'université de Sétif, pour l'honneur que vous m'avez fait d'accepter de juger ce travail.

Mes sincères remerciements vont à Monsieur Bouzerzour H professeur à l'université de Sétif, qui a fait preuve d'une grande patience et qui a été d'une grande aide dans la réalisation de ce travail, Je lui suis très reconnaissante d'avoir consacré son temps malgré ses multiples charges, pour ses conseils, ses orientations ainsi que sa gentillesse, ses qualités humaines, et pour m'avoir honoré en acceptant de faire partie de ce jury.

À Monsieur Sersour D directeur de l'Institut Technique des Grandes Cultures à Sétif de m'avoir permis d'installer mon essai au sein de cette institution expérimentale ainsi que toute l'équipe qui y travaille pour leur aide précieuse et instantanée.

À Monsieur Benbelkacem A, Maître de recherche A à l'INRAA de nous avoir donné les semences des lignées parentales et de leurs hybrides F₁. Veuillez agréer l'expression de ma reconnaissance et de mes remerciements les plus sincères.

Mes vifs remerciements s'adressent tout particulièrement à Monsieur Benfarhi S professeur à l'université de Batna et à Madame Benfarhi A docteur à l'université de Batna pour leurs précieux conseils, leurs encouragements et leurs soutien moral.

Mes considérables remerciements vont également au laboratoire de valorisation des ressources biologiques et naturelles de l'Université de Sétif-1 qui m'a permis de réaliser mes tests avec leurs responsables Messieurs Benmahammed A et Bouzerzour H ainsi que l'ingénieur de laboratoire M^{elle} Sabrina. Je remercie également le laboratoire de phytothérapie appliquée aux maladies chroniques de l'Université de Sétif-1 sous la direction de Madame Dhamna, qui m'a prêté main forte dans la réalisation de mes tests. Je remercie aussi à cet effet Mr Harzala D, Mr Belhadj H, Mr Baghiani et Mr Aarar qui m'ont beaucoup aidé au niveau de leur laboratoire respectif.

Je remercie chaleureusement M^{elle} Haddad L pour ses précieux conseils, sa gentillesse et son aide.

Je remercie également Mr Hannachi A, Mr Fellahi Z, et Mr Oulmi A pour leurs contributions, leur aide et leurs conseils précieux.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	01
CHAPITRE I. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	
I.1. Historique et répartition géographique du blé.....	03
I.2. Origine génétique du blé dur.....	03
I.3. Le cycle biologique du blé.....	05
I.3.1. Période végétative.....	05
I.3.2. Période reproductrice.....	06
I.3.3. Période remplissage et maturité du grain	07
I.4. Importance de la culture du blé dur en Algérie.....	08
I.5. Effet du stress hydrique	09
I.5.1. Effet du stress hydrique sur la photosynthèse	10
I.5.2. Effet du stress hydrique sur la croissance et le développement du blé.....	11
I.5.4. Influence du stress hydrique sur le rendement du blé dur et ses composantes.....	12
I.5.5. Mécanisme d'adaptation des plantes au stress hydrique.....	13
I.5.5.1. Adaptation phénologique	13
I.5.5.2. Adaptations morphologiques	14
I.5.5.3. Adaptation physiologique.....	15
I.5.5.3.1. La régulation stomatique.....	15
I.5.5.3.2. La teneur relative en eau de la feuille	16
I.5.5.3.3. Le maintien de l'intégrité membranaire.....	17
I.5.5.3.4. La température de la canopée.....	18
I.5.5.4. Adaptation biochimique.....	19
I.5.5.4.1. La teneur en chlorophylle.....	19
I.5.5.4.2. Ajustement osmotique	19
I.5.5.4.2.1. Accumulation de la proline.....	20
I.5.5.4.2.2. L'accumulation de sucres solubles.....	21
I.6. L'amélioration génétique du blé dur.....	22
I.6.1. Objectifs et critères de sélection variétale	22
I.6.1.1. La sélection pour la productivité.....	23
I.6.1.2. La sélection pour l'adaptabilité.....	24
I.6.1.3. La sélection assistée par les marqueurs.....	29
CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES	

II.1. Localisation et mise en place de l'expérimentation.....	33
II.2. Le matériel végétal.....	33
II.3. Caractères mesurés.....	35
II.3.1. Caractères phéno-morphologiques.....	35
II.3.2. Caractères physiologiques.....	36
II.3.3. Caractères biochimiques.....	37
II.3.4. Le rendement et ses composantes.....	39
II.4. Analyses des données.....	39
CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSION	
III.1. Conditions climatiques.....	41
III.2. Etude de la variabilité phénotypique.....	42
III.2.1. Les caractères phéno-morphologiques, le rendement et ses composantes.....	42
III.2.1.1. La durée de la phase végétative.....	45
III.2.1.2. La surface de la feuille étendard.....	46
III.2.1.3. La hauteur de la plante.....	47
III.2.1.4. La biomasse aérienne à maturité.....	49
III.2.1.5. L'indice de récolte.....	50
III.2.1.6. Le poids et la longueur des épis.....	51
III.2.1.7. Le rendement et ses composantes.....	52
III.2.2. Caractères physiologiques et biochimiques.....	55
III.2.2.1. La teneur relative en eau.....	57
III.2.2.2. Le contenu en chlorophylle.....	57
III.2.2.3. La teneur en proline.....	58
III.2.2.4. L'intégrité cellulaire.....	60
III.2.2.5. La température du couvert végétal.....	60
III.3. Analyse des liaisons inter- caractères.....	62
III.4. Caractérisation des génotypes.....	69
III.5. L'analyse en composantes principales.....	70
III.6. Analyse génétique.....	76
III.6.1. Estimation des coefficients de la variabilité phénotypique et génotypique, de l'héritabilité et le gain génétique en termes de pourcentage de moyenne.....	76
CONCLUSION	81
PERSPECTIVES	83

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	84
---	-----------

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1. Production des céréales et de blé dur en Algérie de 1998 à 2012 (MADR, 2012).....	09
Tableau I.2. Intérêt des mesures de capacité d'ajustement osmotique en tant que critère d'évaluation de la tolérance au stress hydrique (Monneveux et Depigny-This, 1995).....	27
Tableau II.1. Listes des géotypes de blé dur retenus pour ce travail au cours de la campagne 2013/2014 sur le site expérimental de l'ITGC Sétif.....	34
Tableau III.1. Carrés moyens de l'analyse de la variance des caractères phéno-morphologiques.....	42
Tableau III.2. Carrés moyens de l'analyse de la variance du rendement et ses composantes.....	43
Tableau III.3. Valeurs moyennes des caractères morphologiques mesurés chez les parents et chez les F ₂	44
Tableau III.4. Carrés moyens de l'analyse de la variance des caractères physiologiques et biochimiques.....	55
Tableau III.5. Valeurs moyennes des caractères physiologiques et biochimiques mesurés chez les parents et chez les F ₂ des six croisements.....	56
Tableau III.6. Corrélations inter-caractères mesurées chez les lignées F ₂ (au-dessus de la diagonale, n-2=4. r _{5%} =0.811 r _{1%} =0.917) et chez les parents (au dessous de la diagonale, n-2=10, r _{5%} =0.576, r _{1%} =0.708).....	64
Tableau III.7. Coefficients de corrélation des variables et coordonnées des géotypes sur les axes principaux de l'analyse en composantes principales.....	74
Tableau III.8. Estimation des coefficients de la variabilité phénotypique et génotypique, de l'héritabilité et le gain génétique en termes de pourcentages de moyenne.....	76
Tableau III.9. Valeurs du coefficient de variation phénotypique des différents caractères mesurés chez les F ₂	79
Tableau III.10. Valeurs du coefficient de variation génotypique des différents caractères mesurés chez les F ₂ des six croisements.....	79
Tableau III.11. Valeurs de l'héritabilité au sens large des différents caractères mesurés chez les F ₂ des six croisements.....	80
Tableau III.12. Valeurs du gain génétique en pourcentage de moyenne de la sélection sur la base des différents caractères mesurés chez les F ₂ des six croisements.....	80

LISTE DES FIGURES

Figure I.1. Phylogénie de blé Shewry (2009).....	04
Figure I.2. Caryotypes de trois espèces de blé (Salamé, 2012).....	05
Figure I.3. Cycle de développement du blé (Henry et De Buyser, 2000).....	07
Figure II.1. Courbe étalon du dosage de la proline.....	38
Figure III.1 : Pluviométrie et températures moyennes des 20 dernières années et celles de la dernière campagne enregistrées sur le site ITGC de Sétif.....	41
Figure III.2. Transgressions de la durée de la phase végétative des F ₂ et leurs parents.....	45
Figure III.3. Transgressions de la surface foliaire des F ₂ et leurs parents.....	47
Figure III.4. Transgressions de la hauteur de la plante des F ₂ et leurs parents.....	48
Figure III.5. Transgressions de la biomasse aérienne à maturité des F ₂ et leurs parents.....	49
Figure III.6. Transgressions de l'indice de récolte des F ₂ et leurs parents.....	51
Figure III.7. Transgressions du poids et de la longueur des épis des F ₂ et leurs parents.....	52
Figure III.8. Transgressions du rendement grain des F ₂ et leurs parents.....	53
Figure III.9. Transgressions de la teneur relative en eau et de la chlorophylle chez les F ₂ et leurs parents.....	58
Figure III.10. Transgressions de la teneur en proline chez les F ₂ et leurs parents.....	59
Figure III.11. Transgressions de l'intégrité cellulaire et de la température du couvert végétal chez les F ₂ et leurs parents.....	62
Figure III.12. Liaisons entre la surface foliaire et le nombre de grains par épi d'une part et entre la surface foliaire et la teneur relative en eau de la population F ₂ , d'autre part.....	63
Figure III.13. Liaisons entre la biomasse et le poids des épis d'une part et entre la biomasse et le rendement grain des parents, d'autre part.....	66
Figure III.14. Liaisons entre la biomasse et le nombre d'épis par plante d'une part et entre la biomasse et la hauteur des F ₂ , d'autre part.....	67
Figure III.15. Liaisons entre le rendement grain et l'indice de récolte d'une part et entre le rendement grain et le nombre de grains par épi des parents, d'autre part.....	68
Figure III.16. Liaisons entre le rendement grain et l'indice de récolte d'une part et entre le rendement grain et le nombre de grains par épi des F ₂ , d'autre part.....	68
Figure III.17. Valeurs moyennes, en pourcent de la valeur maximale, des variables mesurés chez les six croisements.....	70
Figure III.18. Corrélations des caractères mesurés et des génotypes avec les axes principaux 1 et 2.....	72

Figure III.19. Corrélation des caractères mesurés et des génotypes avec les axes principaux 1 et 373

LISTE DES ABREVIATIONS

ABRÉVIATION	EXPLICATION
ABA	Acide abscissique
ACP	Analyse en composantes principales
ADN	Acide désoxyribonucléique
AFLP	Polymorphisme de longueur de fragment d'amplification
BIO (g/plante)	Biomasse aérienne à maturité
CCI	Chlorophyll Content Index
CIC	Le Conseil International des Céréales
CIMMYT	Centre international d'amélioration du maïs et du blé
CM	Carré Moyen
cm ²	centimètre carré
Cov	Covariance
CV _G	Coefficients de la variabilité génotypique
CV _p	Coefficients de la variabilité phénotypique
ddl	degré de liberté
FAO	Organisation mondiale de l'agriculture et de l'alimentation
G X E	Interaction génotype avec l'environnement ou milieu
h ²	L'héritabilité au sens large
ha	Hectare
HI (%)	Indice de récolte
HT (cm)	Hauteur du chaume en centimètres
IC (%)	Intégrité cellulaire
ICARDA	Centre international pour la recherche agricole dans les zones arides
INRA	Institut National de la Recherche Agronomique
INRAA	Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie
ITGC	Institut Technique des Grandes Cultures
K	intensité de sélection

LE(cm/plante)	Longueur de l'épi
Kg/ hab/an	kilogramme par habitant par an
MADR	Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural
m ²	mètre carré
mg	milligramme
ml	millilitre
NE	Nombre d'épis par plante
NGE	Nombre de grain par épi
pb	paire de base
PCR	Amplification en Chaîne par Polymérase
PE (g/plante)	Poids des épis
PMG (g)	Poids de mille grains
Ppds	La plus petite différence significative
q	Quintal
q/ha	Quintaux par hectar
QTL	Quantitative Traits Loci
RAPD	Polymorphisme d'ADN par Amplification Aléatoire
RDT (g/plante)	Rendement grain par plante
RFLP	Polymorphisme de longueurs de fragments de restriction
SAM	Sélection assisté par les marqueurs
ssp	Sous espèce
SF (cm ²)	Surface de la feuille étendard en centimètre carré
T°C	Température en degré Celsius
TRE (%)	Teneur Relative en Eau
σ^2_G	variance génotypique
σ^2_p	variance phénotypique
μg	microgramme

INTRODUCTION

INTRODUCTION

En Algérie, les céréales sont les principales cultures, cultivées sur une superficie annuelle d'environ 3,6 millions d'hectares (MADR, 2012). Parmi les céréales, le blé dur occupe une place de choix dans l'alimentation des populations algériennes (Megherbi et *al.*, 2012). Le rendement grain national de cette culture est le plus faible du bassin méditerranéen (Belaid, 2000). Le pays figure actuellement parmi les premiers importateurs mondiaux de blé dur en s'accaparant de près de 50 % du marché mondial (CIC, 2007). Cette situation risque de se prolonger à plusieurs années, faute de rendements insuffisants et des besoins de consommation sans cesse croissants devant une forte évolution démographique (Chellali, 2007).

Parmi les alternatives offertes pour satisfaire cette demande, figure la sélection de variétés performantes et adaptées (Fellahi, 2013). Depuis le début des années soixante-dix la recherche agronomique s'évertue à sélectionner de nouvelles variétés de céréales qui seraient capables d'améliorer sensiblement la production dans les zones où ces espèces occupent relativement de larges étendues, et notamment sur les hautes plaines de l'intérieur du pays. Trente années plus tard, plusieurs nouvelles variétés sont mises à la disponibilité des agriculteurs (Benmahammed et *al.*, 1999).

Les variétés nouvelles sont le plus souvent sélectionnées sur la base de leur niveau de rendement sans tenir compte des caractères adaptatifs qui sont des régulateurs de la production en milieux variables (Laala, 2010). Ces variétés, si en milieux favorables ou sous irrigation, elles arrivent à exprimer leur potentiel de rendement, en pluviale et sous climat semi-aride, elles se montrent plus variables et souvent aussi, sinon moins, productives que les cultivars locaux qu'elles sont censées remplacer, suite à leur sensibilité aux stress (Benmahammed et *al.*, 2010).

De ce fait, le rendement devient un critère de sélection complexe et peu reproductible. D'où il est nécessaire de tester le matériel végétal à travers un éventail de sites pendant plusieurs saisons, pour obtenir des résultats relativement précis (Kadi et *al.*, 2010). L'aspect adaptation doit donc être pris en compte dans le processus de sélection en milieu variable (Benmahammed, 2005). Bajji et *al.*, (2001), notent que l'utilisation d'un matériel végétal possédant la tolérance à la contrainte hydrique est la seule voie qui permet de tirer le maximum de production sous de telles conditions climatiques.

L'étude de la variabilité génétique de cette caractéristique chez des populations en ségrégation et de la réponse à la sélection sont des informations utiles pour une éventuelle utilisation en sélection. La plupart des travaux effectués sur le blé dur dans le cadre de l'amélioration génétique de la tolérance au stress hydrique, se sont donnés pendant longtemps pour objectif primordial l'augmentation de la productivité, une approche basée sur les performances agronomiques. Actuellement, les programmes d'amélioration du blé s'intéressent de plus à l'amélioration génétique de la tolérance au stress hydrique. Cette amélioration exige d'étudier, d'identifier et de vérifier les caractères phénologiques, morpho physiologiques et biochimiques liés au rendement en condition de stress hydrique (Pfeiffer et *al.*, 2000) .

Pour répondre à cette préoccupation, ce travail a pour objectif de caractériser six lignées de génération F₂ de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sur la base des caractères morpho-physiologiques et biochimiques sous conditions semi- arides.

Notre mémoire est présenté en trois chapitres :

Le chapitre I, est une synthèse bibliographique sur le blé dur, le stress hydrique, les mécanismes phénologiques, morphologiques, physiologiques et biochimiques de la tolérance des plantes au stress hydrique et l'amélioration génétique du blé dur.

Le second chapitre, porte sur « matériel et méthodes » qui décrit d'une manière détaillée la description du matériel végétal, les différents caractères mesurés et les méthodes d'analyse utilisées dans ce travail.

Le troisième chapitre, est réservé aux résultats et discussions et leur interprétation.

Le mémoire se termine, par une conclusion et des perspectives, suivies de la liste de références bibliographiques.

**REVUE
BIBLIOGRAPHIQUE**

CHAPITRE I – REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Historique et répartition géographique du blé

Depuis la naissance de l'agriculture, le blé est à la base de la nourriture de l'homme (Ruel, 2006). La découverte du blé remonte à 15000 ans avant Jésus-Christ dans la région du croissant fertile, vaste territoire comprenant, la vallée du Jourdain et des zones adjacentes de Palestine, de la Jordanie, de l'Iraq, et la bordure Ouest de l'Iran (Feldman et Sears, 1981). Ceci correspond au début de la période du Dryas qui fut localement un épisode climatique de sécheresse et de refroidissement, qui a pu aboutir à l'arrêt progressif du mode de vie « chasseur-cueilleur » et entraîner la domestication de certaines plantes - dont les blés - et, via le stockage de stocks alimentaires, la création de premières communautés villageoises (Hayden, 1990 ; Wadley et Martin, 1993).

Les blés ont d'abord évolué en dehors de l'intervention humaine, puis sous la pression de sélection qu'ont exercée les premiers agriculteurs (Henry et de Buyser, 2001). En simplifiant, on peut considérer que la culture des blés a historiquement entraîné trois grands types de modifications :

Dans une première phase, qui correspond à la période de transition entre la collecte manuelle de formes sauvages dans leur habitat natif et l'apparition des premiers champs cultivés, le passage de formes à épi fragile à des types à rachis solide a été déterminant, ainsi que le repérage de mutants à épi facilement battable et grain nu. D'autres modifications ont accompagné cette période comme le choix préférentiel de plantes érigées, à gros grain non dormant, germant uniformément et certainement un tri sur la couleur du grain, lié à des pratiques religieuses ou autres. Il est possible également que, dès cette étape, les agriculteurs aient pris conscience de l'intérêt du nombre d'épillets par épi, mais ce n'est pas certain (Bonjean, 2001).

On admet généralement que la culture de blé dur a commencé et s'est développée en Algérie au lendemain de la conquête Arabe. La plupart des auteurs s'accordent pour considérer que la céréaliculture algérienne est depuis cette date et jusqu'à la colonisation, très largement dominée par le blé dur (Laumont et Erroux, 1961).

I.2. Origine génétique du blé dur

Le blé appartient à la famille des graminées (Gramineae = Poaceae), qui comprend plus 10000 espèces différentes (Mac Key, 2005). Plusieurs espèces de ploïdie différentes sont

regroupées dans le genre *Triticum* qui est un exemple classique d'allo polypléidie, dont les génomes homéologues dérivent de l'hybridation inter espèces appartenant à la même famille (Levy et Feldman, 2002)

D'après Feillet (2000), ces espèces se différencient par leur degré de pléidie (blés diploïdes : génome AA ; blés tétraploïdes : génomes AA et BB ; blés hexaploïdes : génomes AA, BB et DD) et par leur nombre de chromosomes (14, 28 ou 42). La nature polypléidie du génome des blés aurait également contribué au succès de leur domestication (Dubcovsky et Dvorak, 2007).

La filiation génétique des blés est complexe et incomplètement élucidée. Il est acquis que le génome A provient de *Triticum monococcum*, le génome B d'un *Aegilops* (*bicornis*, *speltoïdes*, *longissima* ou *searsii*) et le génome D d'*Aegilops squarrosa* (également dénommé *T. tauschii*). Le croisement naturel *T. monococcum* × *Aegilops* (porteur du génome B) a permis l'apparition d'un blé dur sauvage de type AABB (*T. turgidum ssp. dicoccoides*) qui a ensuite progressivement évolué vers *T. turgidum ssp. dicoccum* puis vers *T. durum* (blé dur cultivé) (Feillet, 2000). Des restes de types primitifs de *T. turgidum* cultivé (l'amidonnier, qui est un blé à grains vêtus), découverts sur plusieurs sites archéologiques en Syrie, ont été datés d'environ 8000 avant J-C (Brink et Belay, 2006). Le croisement entre l'espèce *T. durum* de constitution génomique AABB et l'*Aegilops tauschii* de constitution génomique DD, donna naissance à l'espèce *T. aestivum* de constitution génomique AABBDD (Feldman et Sears, 1981 ; Shewry, 2009) (Figure I.1).

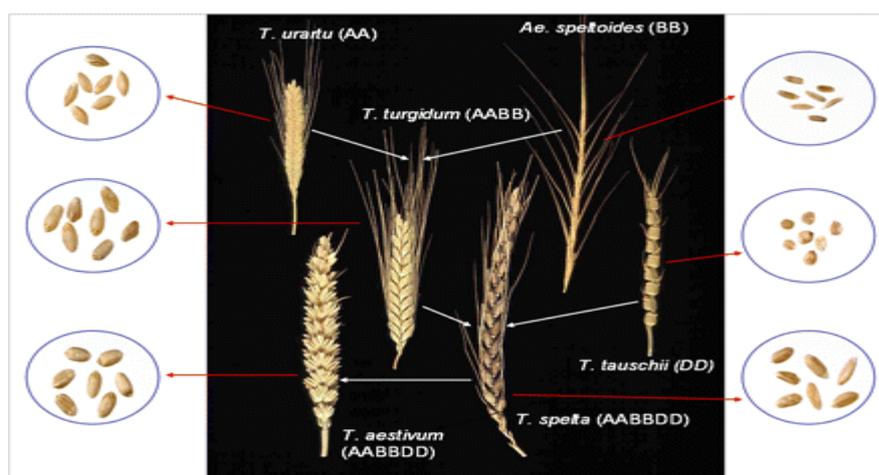


Figure I.1. Phylogénie de blé (Shewry, 2009).

Des études ultérieures de cytogénétique mirent en évidence que les différents blés formaient une série allopolyploïde avec $X = 7$ (Feldman et *al.*, 1995). Selon Salamé (2012),

des observations cytologiques plus fines, réalisées afin de classer les chromosomes des 3 espèces ont conduit à établir les 3 caryotypes suivants (Figure I.2) :

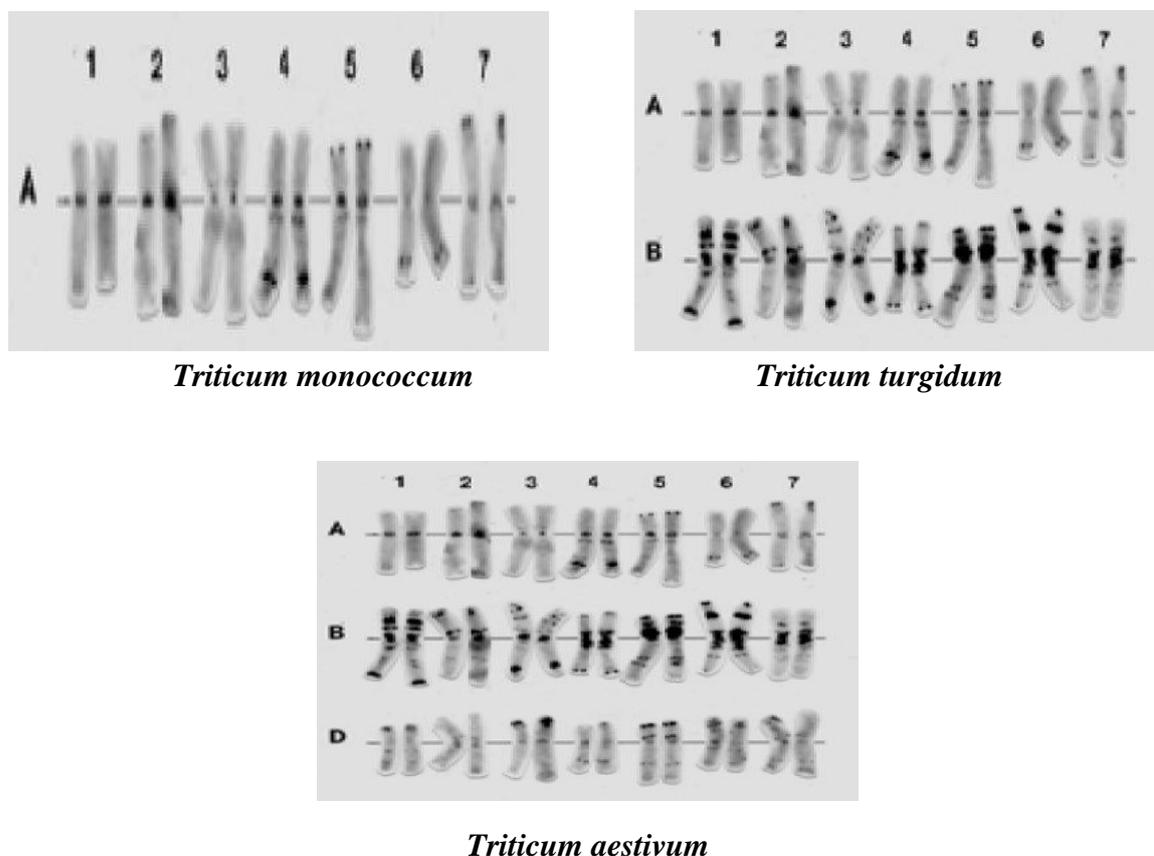


Figure I.2. Caryotypes de trois espèces de blé ([Salamé, 2012](#)).

I.3. Le cycle biologique du blé

De graine à graine, le cycle biologique du blé se divise en trois périodes successives, chacune comporte des phases et des stades (Figure I.3). La réalisation des différents stades est sous le contrôle de la somme des températures journalières (degré-jour) subie par la plante. La somme des températures, base zéro pour le blé, se calcule ainsi :

Somme degré-jour = $(T^{\circ}\text{C min} + T^{\circ}\text{C max}) / 2$ Il ne faut prendre en considération que les valeurs positives (>0) (Hamadache, 2013).

I.3.1. Période végétative

I.3.1.1. Phase germination-levée

Cette phase correspond à la mise en place du nombre de pieds/m². Le sol est percé par le coléoptile qui est un étui protecteur de la première feuille (Hamadache, 2013). La levée est notée quand 50% des plantes sont sorties de de la terre (Figure I.3). Pendant cette phase, les

jeunes plantes sont sensibles au manque d'eau qui provoque une perte des plantes et au froid qui provoque le déchaussage (Karou *et al.*, 1998).

I.3.1.2. Le tallage

Cette phase s'amorce à partir de la quatrième feuille. La formation de la première talle se fait au stade 3 feuilles. La première talle primaire (maitre-brin) apparaît à l'aisselle de la première feuille du blé. La 2^{ème} et la 3^{ème} talle apparaissent à l'aisselle de la 2^{ème} et la 3^{ème} feuille (Hamadache, 2013). La fin tallage est celle de la fin de la période végétative, elle marque le début de la phase reproductive, conditionnée par la photopériode et la vernalisation qui autorisent l'élongation des entre-nœuds (Gate, 1995) (Figure I.3).

Cependant, Longnecker *et al.*, (1993) suggèrent que le tallage ne s'arrête pas à n'importe quel stade de développement du blé, mais il est plutôt contrôlée par un certain nombre de facteurs génétiques et environnementaux. Le nombre de talles productives dépend du génotype, de l'environnement et est fortement influencée par la densité de peuplement (Acevedo *et al.*, 2002).

I.3.2. Période reproductrice

I.3.2. 1. Montaison-floraison

La montaison débute lorsque les entres nœuds de la tige principale se détachent du plateau du tallage (Belaid, 1987). Selon Baldy (1984) la montaison constitue la phase la plus critique du développement du blé. Tout stress hydrique ou thermique au cours de cette phase réduit le nombre d'épis montants par unité de surface (Figure I.3).

A l'épiaison, l'épi sort de la dernière feuille. Les épis dégainés fleurissent généralement après quelques jours (moins de 7 jours) après l'épiaison. Les températures élevées et la sécheresse au cours de l'épiaison et de la floraison peuvent réduire la viabilité du pollen et ainsi réduire le nombre de grain (Herbek *et Lee*, 2009).

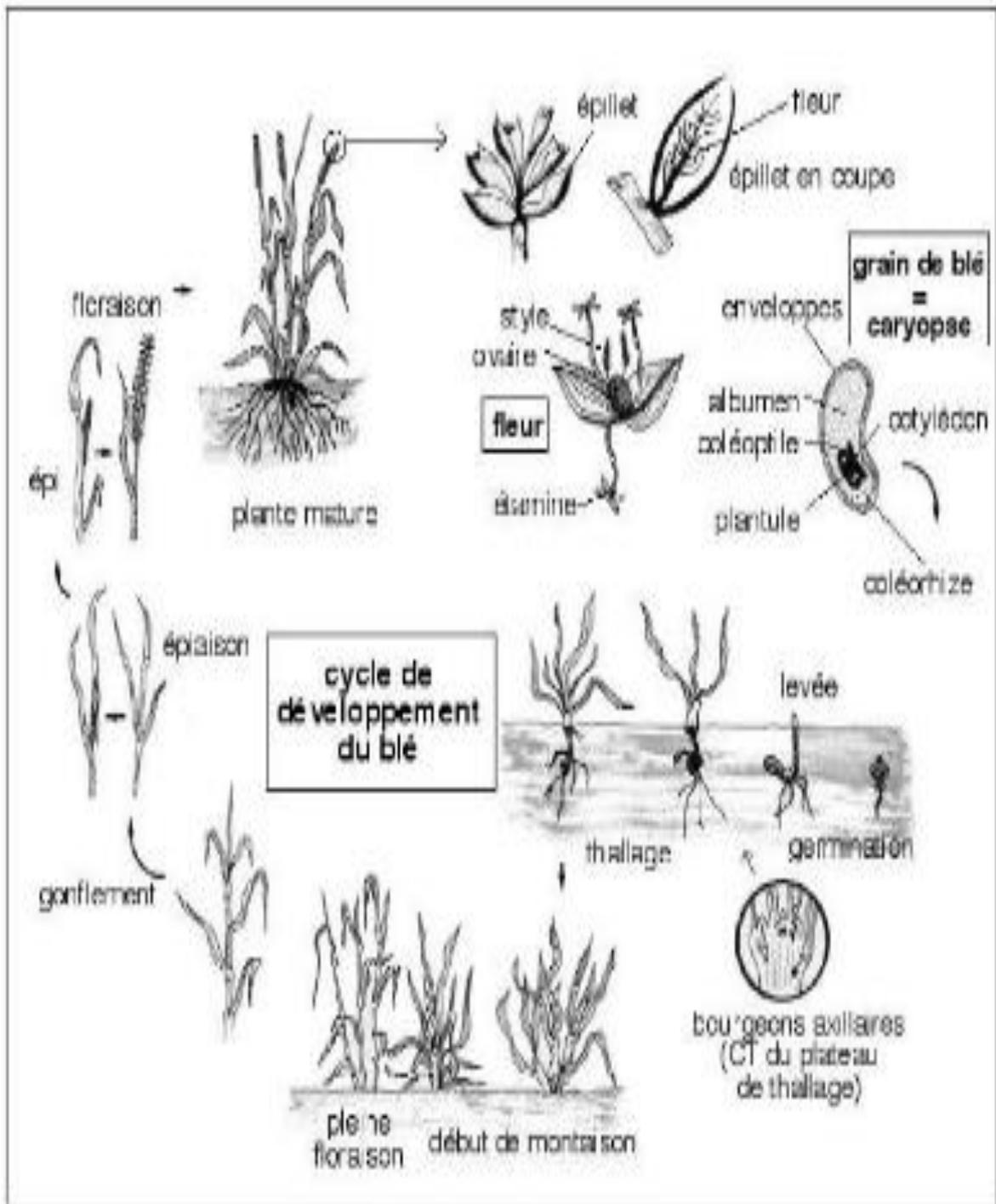


Figure I.3. Cycle de développement du blé (Henry et De Buyser, 2000).

I.3.3. Période remplissage et maturité du grain

I.3.3.1. Floraison-maturité

La période floraison-maturité correspond à l'accumulation des hydrates de carbone et de l'azote dans le grain (Gallais et Bannerot, 1992). Cette période correspond à la formation de la

dernière composante constitutive du rendement qui est le poids de 1000 grains (Robert et *al.*, 1993). Le remplissage du grain, après la floraison, se fait de deux façons :

- Par la migration d'une partie des réserves de la tige.
- Par la photosynthèse des parties de la plante encore vertes (feuilles, épis, barbes) (Hamadache, 2013).

Le rendement en grains, sous système de culture pluviale et sous environnement contraignant, est la résultante de la durée, de la vitesse de remplissage et de la capacité de translocation des assimilats stockés dans la tige (Abbassenne et *al.*, 1997). Les fortes températures au cours de cette période provoquent l'arrêt de la migration des réserves des feuilles et de la tige vers le grain (échaudage du grain). Puis suit le dessèchement du grain, pour atteindre son poids sec final (Wardlow, 2002) (Figure I.3).

I.4. Importance de la culture du blé dur en Algérie

La superficie totale de l'Algérie est de 238 174 100 hectares dont 4/5 sont occupés par le Sahara. La surface agricole utile est de 7,14 millions d'hectares, dont près de la moitié est laissée en jachère chaque campagne. Les cultures herbacées couvrent 3,8 millions d'hectares, la céréaliculture constitue la principale activité, notamment dans les zones arides et semi-arides. Les terres annuellement emblavées représentent 50,42% des terres labourées (Kadi et *al.*, 2010). La superficie occupée par le blé dur varie de 544 milles hectares en 2000 à 1,7 millions hectares en 1998, avec 1,12 millions d'hectares, en moyenne pour la période 1997/98 – 2011/2012 (Tableau I.1). Son aire culturale actuelle correspond à l'ensemble des zones céréalières de l'Algérie, où la pluviométrie annuelle moyenne varie entre 350 et 600 mm (Hamadache et *al.*, 2002). L'importance des superficies occupées par le blé dur, comparativement à la superficie occupée par le blé tendre et l'orge est influencée par le prix à la production garanti par l'état. Ces prix sont de 4800, 3800 et 2800 respectivement pour le blé dur, le blé tendre et l'orge.

La production nationale en blé dur est encore faible, elle ne couvre que 20 à 25 % des besoins du pays, le reste étant importé. Au niveau national, la culture du blé souffre encore de plusieurs carences techniques. En effet, le potentiel génétique des variétés cultivées actuellement au niveau national n'est exploité qu'à 30 ou à 40% (Hamadache et *al.*, 2002).

Tableau I.1. Production des céréales et de blé dur en Algérie de 1998 à 2012 (MADR, 2012)

Année	Production (10 ⁶ q)			Superficie (10 ⁶ ha)	
	Totale	Blé dur	%	Blé dur	RDT (q/ha) Blé dur
1998	30,3	15,0	49,5	1,7	8,8
1999	20,2	9,0	44,6	0,89	10,1
2000	9,3	4,8	51,6	0,54	8,9
2001	26,6	12,4	46,6	1,11	11,2
2002	19,5	9,5	48,7	0,81	11,7
2003	42,6	18,0	42,2	1,27	14,2
2004	40,3	20,0	49,6	1,31	15,3
2005	35,3	15,7	44,4	1,04	15,1
2006	40,1	17,7	44,1	1,16	15,2
2007	36,0	15,3	42,0	1,19	12,9
2008	15,3	8,1	53,0	0,72	11,2
2009	52,5	20,0	38,1	1,26	15,8
2010	40,0	18,1	45,2	1,18	15,3
2011	42,5	21,9	51,5	1,23	17,8
2012	51,3	24,1	47,0	1,34	17,9
Moyenne	33,4	15,3	44,9	1,12	13,7

La production du blé dur, est très fluctuante, elle varie de 4,8 millions de quintaux à 24,1 millions de quintaux avec une moyenne de 15,3 millions de quintaux, et un rendement de 8,8q/ha en 1998 à 17,9 q/ha en 2012 , avec un rendement moyen de 13,7 q/ha pour la période 1997/98 – 2011/2012 (Tableau I.1). La production totale des céréales a varié de 9,3 millions de quintaux à 52,5 millions de quintaux, avec une moyenne de 33,4 millions de quintaux.

Actuellement l'Algérie se classe au premier rang mondial pour la consommation de blé avec une moyenne dépassant largement les 200kg/ha/an, comparativement à l'Egypte dont la moyenne est de 131 kg/ha/an et la France dont la moyenne est de 98 kg/ha/an (Faostat, 2005). La croissance démographique, le changement de modèle de consommation et le soutien des prix des produits de base, ont fait que le volume des céréales consommées a augmenté de 427%, entre 1961 et 2003, passant de 1,2 millions de tonnes à 6,4 millions de tonnes (Faostat, 2005).

I.5. Effet du stress hydrique

Le stress hydrique a été défini comme une baisse de la disponibilité de l'eau, traduisant par une réduction de la croissance de la plante et/ou de sa reproduction par rapport au potentiel du génotype. La contrainte hydrique est le facteur ou l'ensemble de facteurs ayant pour conséquence le stress. D'autres auteurs limitent la définition du stress aux seules conditions correspondant à une hydratation suboptimale des tissus (Lamaze et *al.*, 1994). L'installation

d'une sécheresse se manifeste par la combinaison d'une part, de la restriction de la disponibilité en eau du sol et, d'autre part, de l'augmentation de la demande évaporatrice (Poormohammad Kiani, 2007).

La sécheresse est une des causes principales des pertes de rendement du blé dur, l'impact de la contrainte hydrique varie de 10 à 80% selon les années (Chennafi et *al.*, 2006). Turk (1978) parle de déficit hydrique lorsque l'humidité du sol est inférieure à la capacité du champ. Levitt (1982) utilise le terme de stress ou contrainte pour définir l'effet de la sécheresse climatique ou du déficit hydrique du sol subit par la plante.

Les risques du manque d'eau sont et deviendront de plus en plus fréquents et persistants, à l'avenir, par suite des changements climatiques causés par l'effet de serre (Witcombe et *al.*, 2009). En effet, selon Trinchant et *al.*, (2004), Chaque année, les surfaces perdues à cause des stress hydrique et salin varient autour de 20 millions d'ha dans le monde. En Algérie, la rareté et le caractère irrégulier des précipitations (200 à 600 mm/an) peuvent être les facteurs d'une perte partielle ou totale de production, en particulier dans le cas des céréales (Kara et Bellkhiri, 2011).

Les stress provoqués par un déficit en eau constituent une menace permanente pour la survie des plantes ([Hopkins](#), 2003). L'effet du stress dépend de son degré, sa durée, le stade de développement de la plante, le génotype et son interaction avec l'environnement (Yokota et *al.*, 2006). Tous les processus de la plante sont affectés par un déficit hydrique, que ce soit le métabolisme, l'organogénèse (production d'organe par les méristèmes) et la morphogénèse (phénomène de différenciation, et de croissance aboutissant à des organes matures) ([Doré et al.](#), 2006).

I.5.1. Effet du stress hydrique sur la photosynthèse

La diminution de la photosynthèse, liée à la diminution de la teneur relative en eau et du potentiel hydrique foliaire, est due essentiellement, à la réduction de la pénétration du CO₂, limitée par une fermeture des stomates (Plaut et Federman, 1991). En effet, l'effet dépressif d'une contrainte hydrique sur la photosynthèse des végétaux résulte non seulement d'une baisse de la conductance stomatique, mais également d'une altération de l'appareil photosynthétique et/ou d'une diminution de la surface foliaire (Kaiser, 1987).

Différents auteurs, ont noté une diminution significative de la photosynthèse en cas de sécheresse (Nouri, 2011). A titre d'exemple, La culture du mil en condition difficile

d'alimentation en eau, conduit à une diminution de la capacité maximale de photosynthèse d'environ 37% (Radhouane, 2009). Gharti-Chhetri et Lales, (1990) ont montré aussi, chez d'autres espèces du genre *Triticum*, que la photosynthèse devient nulle lorsque le potentiel hydrique foliaire atteint -26 à -27 bars.

Sous un stress hydrique, une diminution de la teneur en chlorophylle est remarquée chez le blé dur (Bousba et *al.*, 2009). Selon Tahri et *al.*, (1997), une baisse dans les teneurs en pigments chlorophylliens totaux (Chlorophylles a et b) a été enregistrée chez trois variétés de blé dur sous l'effet du stress. Par ailleurs, nous remarquons une nette diminution de la teneur en pigments chlorophylliens (chlorophylle a, b) et caroténoïdiques des feuilles d'arganier, avec le stress hydrique, cela peut être due à la fermeture partielle des stomates qui limite la photosynthèse ou peut être le résultat de la dégradation de la chlorophylle (Fahmi et *al.*, 2011).

I.5.2. Effet du stress hydrique sur la croissance et le développement du blé

Le stress hydrique se concrétise, chez la plupart des espèces, par un ralentissement de la mise en place de nouveaux organes aériens, c'est -à- dire des feuilles et des tiges, et par une réduction de la croissance des organes préexistants (Gaufichon et *al.*, 2010). Ces modifications résultent d'une diminution de la vitesse de division des cellules constituant les tissus végétaux (Granier et *al.*, 2000).

L'un des premiers effets provoqués par le déficit hydrique est une réduction de la croissance végétative. La croissance de la partie aérienne, et surtout celle des feuilles, est généralement plus sensible que celle des racines (Hopkins, 2003). Toutefois, si le stress est sévère on peut observer aussi un arrêt total du développement foliaire (Hegarty et Ross, 1978).

Pour les céréales, la période de sensibilité la plus élevée est celle qui va de la formation du grain de pollen (stade fin gonflement) à la fécondation. Tout déficit hydrique à ce moment affecte le nombre de grain/ épillet (Gate et *al.*, 1990). Le stress hydrique a 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 chez le blé (Davidson et Chevalier, 1990 ; Stark et Longley, 1986 ; Blum et *al.*, 1990). La seconde est la réduction de la vitesse de croissance des talles les plus jeunes (Assem, 2006).

I.5.4. Influence du stress hydrique sur le rendement du blé dur et ses composantes

Le déficit hydrique a un effet dépressif sur le rendement et ses composantes (Kara, 2000; Chennafi et *al.*, 2006). L'organe qui subit l'effet du déficit hydrique en premier lieu est le limbe foliaire dont la croissance ralentit et la sénescence s'accélère. Le stress hydrique diminue l'indice foliaire et la durée de vie de la feuille, et par voie de conséquence la capacité photosynthétique (Turner, 1997). Chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.), la sécheresse est une des causes principales des pertes de rendement, qui varient de 10 à 80% selon les années, en région méditerranéenne (Nachit et *al.*, 1998).

En effet le rendement est la résultante de trois composantes principales qui sont le nombre d'épis, celui des grains/épi et le poids du grain (Fellah et *al.*, 2002 ; Benmahammed et *al.*, 2010). Ces composantes se forment à des différentes phases végétatives réparties tout le long du cycle de la plante. Tout déficit hydrique qui affecte la formation d'une ou plusieurs composantes, affecte le rendement. La phase de maturation correspond à la période de remplissage du grain. L'effet du déficit hydrique, au cours de cette dernière phase, se traduit par une diminution de la taille du grain (Bahlouli et *al.*, 2005). D'après Grignac (1986), la diminution du poids du grain est liée au dessèchement de la dernière feuille, du dernier entrenœud, et de l'épi.

Les travaux de Ben Naceur et *al.*, (1999) ont montré qu'une sécheresse survenant au stade jeune (tallage) réduit surtout la croissance en hauteur et le nombre d'épis par unité de surface. Par contre, lorsqu'elle survient aux stades gonflement ou anthèse, elle réduit, plutôt le poids des épis et le rendement en grains. Ainsi, Le stade juste avant épiaison (gonflement) est le stade le plus sensible au déficit hydrique puisqu'une sécheresse survenant à ce stade peut réduire les rendements en grains d'environ 70% par rapport au témoin (Ben Naceur et *al.*, 1999). Ces stress réduisent les assimilats stockés dans les tiges après l'épiaison et affectent l'appareil photosynthétique au cours de la phase de remplissage (Bahlouli et *al.*, 2006).

Le nombre d'épillets fertiles est réduit lorsque la sécheresse se produit pendant la phase de différenciation des épillets se traduisant par une réduction du nombre de grains par épi (Bouzerzour et *al.*, 2002). Le manque d'eau après la floraison, combiné à des températures élevées, entraîne une diminution du poids de 1000 grains par altération de la vitesse de remplissage des grains et/ou de la durée de remplissage (Triboï, 1990), provoquant ainsi l'échaudage (Benbelkacem et Kellou, 2001), Ce qui entraîne une réduction du rendement. Par ailleurs, et pour bien se développer, la plante doit disposer de mécanismes d'adaptation qui lui permettent de supporter la sécheresse ([Slama](#) et *al.*, 2005).

I.5.5. Mécanisme d'adaptation des plantes au stress hydrique

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 (Hsissou, 1994). La résistance à la sécheresse est liée à la capacité d'une variété à développer un nombre élevé de mécanismes d'adaptation et non pas à la présence d'un mécanisme donné (Hayek et *al.*, 2000). Passioura, (2004) mentionne qu'elle est la résultante de nombreuses modifications phénologiques, morphologiques, physiologiques et biochimiques, reflétant différents types d'adaptation (esquive, évitement, et tolérance).

I.5.5.1. Adaptation phénologique

La stratégie appliquée en amélioration variétale, pour réduire les effets des stress, consiste à raccourcir la durée du cycle de la variété. La phénologie rythme le développement de la plante et ajuste le cycle végétatif de manière à l'assortir aux conditions optimales de croissance de l'environnement de production. 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. La précocité constitue donc un important mécanisme d'évitement de la sécheresse de fin de cycle (Ben Naceur et *al.*, 1999).

Les variétés qui pourront s'adapter au climat caractéristique des hauts plateaux doivent se caractériser par une croissance élevée en début du cycle, parce que l'eau est disponible à ce moment-là (Belkharouch et *al.*, 2009), ce qui leur permet d'éviter la période de stress hydrique de fin de cycle. Par l'évitement de la déshydratation des tissus en maintenant un potentiel hydrique peu variable, à l'aide d'un système racinaire profond et le contrôle des pertes par transpiration. Ainsi que par une tolérance remarquable de l'activité physiologique (Hayek et *al.*, 2000). Une croissance rapide en début du cycle améliore l'utilisation des pluies hivernales et permet l'obtention d'une biomasse élevée à maturité (Cantero et *al.*, 1995). Cependant, ce type de croissance entraîne souvent une précocité excessive au stade épiaison et fait donc courir les risques de destruction des organes floraux par le gel tardif en zone d'altitude (Oosterom et *al.*, 1993). Comparativement les génotypes qui retardent leur croissance vers le début du printemps, pour des raisons de satisfaction des besoins physiologiques en matière de vernalisation et photopériode souffriront des effets des stress de

fins de cycle (Belkharchouche et *al.*, 2009). Turner (1979) note que l'amélioration des rendements en conditions sèches est due, pour sa plus grande part, à la précocité. Celle-ci serait responsable de 40 à 60% de la variabilité du rendement.

D'après les résultats des essais de Dekkaki et *al.*, (2000), il apparaît qu'une longue période de croissance et une épiaison précoce améliorent le rendement du blé dur. La précocité de l'épiaison est efficacement utilisée comme critère de sélection pour améliorer les productions des zones sèches (Ali Dib, 1992 ; Ben Salem et *al.*, 1997).

I.5.5.2. 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 assimilats. Ces modifications affectent la partie aérienne ou souterraine: réduction de la surface foliaire et du nombre de talles, enroulement des feuilles et/ou meilleur développement du système racinaire (Slama et *al.*, 2005).

Un système racinaire capable d'extraire l'eau du sol serait un caractère essentiel pour l'adaptation à la sécheresse. Cette caractéristique revêt une importance particulière pour les cultures qui subissent régulièrement des déficits hydriques durant le cycle de croissance (El Fakhri et *al.*, 2010). L'exploitation d'un plus grand volume de sol permet à la plante de satisfaire ses besoins en eau, de maintenir ses échanges gazeux et sa croissance en conditions de sécheresse (Annerose, 1990).

La hauteur de la plante apparaît comme un critère de sélection important particulièrement dans les zones semi-arides. Benmahammed (2005), trouve une liaison positive et significative entre le rendement et la hauteur de la paille. Ceci s'expliquerait par le fait qu'une paille haute s'accompagne souvent d'un système racinaire profond ce qui conférerait à la plante une capacité d'extraction de l'eau supérieure (Bagga et *al.*, 1970). Fischer et Maurer (1978) mentionnent que les blés hauts ont un indice de sensibilité à la contrainte hydrique plus faible comparativement aux blés nains et semi – nains.

La surface foliaire détermine progressivement à la fois les quantités d'eau utilisées par la plante sous forme de transpiration et les quantités de carbone fixées par voie photosynthétique. (Cooper et *al.*, 1983; Benmahammed et *al.*, 2008). Les résultats de Mouellef (2010) montrent que le stress hydrique a entraîné une réduction de la surface foliaire. En

milieux variables, la diminution de la surface foliaire peut avoir des effets bénéfiques en réduisant de la surface évaporante et celle soumise à la radiation solaire. (Cooper et *al.*, 1983 ; Benmahammed et *al.*, 2008 ; Belkherchouche et *al.*, 2009).

L'enroulement foliaire, fréquent chez de nombreuses plantes cultivées (blé, sorgho...) peut donc être considéré comme un indicateur de perte de turgescence en même temps qu'un caractère d'évitement de la déshydratation (Monneveux et This, 1997). Chez le blé, l'enroulement foliaire observé chez certaines variétés résistantes relève de ces mécanismes d'économie en eau (Clarke, 1986).

L'inflorescence des céréales est relativement protégée de l'évaporation par des surfaces protectrices comme une cuticule épaisse qui fait que le statut hydrique des inflorescences est meilleur que celui des feuilles (Shepherd et Griffiths, 2006).

De nombreux travaux, réalisés sur une large gamme de génotypes, semblent confirmer le rôle des barbes dans le remplissage du grain en conditions de déficit hydrique (Ali Dib et *al.*, 1992). En effet, les barbes peuvent améliorer le rendement en conditions de sécheresse par augmentation de la surface photosynthétique de l'épi (Slama et *al.*, 2005). En comparant trois variétés de blé dur, la variété ayant la barbe la plus développée sous contrainte hydrique (Razzak) présente le meilleur rendement (Slama, 2002).

I.5.5.3. Adaptation physiologique

I.5.5.3.1. La régulation stomatique

Lorsque l'évapotranspiration potentielle, déterminée par les caractéristiques de l'atmosphère, devient supérieure à ses possibilités d'alimentation en eau, la plante réagit en fermant ses stomates pour éviter de se dessécher (INRA, 2000).

Cependant, il faut garder à l'esprit que les stomates sont des cellules isolées au milieu de l'épiderme et qui possèdent leurs propres mécanismes de régulation de la turgescence. Aussi leur fonctionnement peut être relativement indépendant de la turgescence du mésophylle. (Laffray et Louguet, 1991). Ils sont constitués de deux cellules affrontées qui peuvent ainsi se déformer sous l'effet de variations de leur pression hydraulique interne et ouvrir plus ou moins l'ostiole à travers lequel s'échappe l'eau transpirée (Durand, 2007).

La fermeture des stomates est déclenchée par une diminution du potentiel hydrique du mésophylle. Une hormone l'acide abscissique (ABA) semble jouer un rôle important de la

fermeture des stomates (Hopkin, 2003). L'accumulation d'ABA dans un organe, chez les plantes en conditions hydriques limitantes, est due d'abord à une augmentation de sa synthèse, mais peut être aussi le résultat d'une diminution de sa dégradation ou d'une augmentation de son importation à partir d'un autre compartiment (Cornic, 2008). D'après Tardieu et Simonneau, (1998) on peut classer les plantes en deux groupes :

- Les plantes dites isohydriques : comme le maïs, ferment rapidement leurs stomates lors d'un déficit hydrique. Ceci conduit à une économie de l'eau du sol disponible, mais entraîne une baisse précoce de la photosynthèse.
- Les plantes dites anisohydriques : comme le tournesol, maintiennent tardivement leurs stomates ouverts. L'état hydrique des tissus de ces plantes tend à suivre celui du sol lorsque ce dernier se dessèche.

La densité stomatique paraît également un autre moyen pour esquiver une sécheresse. En effet, Miskin *et al.*, (1972), en étudiant l'effet de la densité stomatique sur la transpiration, la photosynthèse et la résistance stomatique de 05 variétés d'orge, ont conclu que la sélection des plantes à faible densité stomatique serait un moyen efficace et logique pour trouver des cultivars résistants au stress hydrique.

I.5.5.3.2. La teneur relative en eau de la feuille

La teneur relative en eau correspond à une signification physiologique directe de l'état hydrique du végétal (Collinson *et al.*, 1997). C'est un paramètre physiologique indicateur de la résistance des espèces vis-à-vis d'un stress hydrique (Berka et Aïd, 2009). 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). Les géotypes qui maintiennent leur TRE élevée lors du stress hydrique seront probablement les plus tolérants et seront les plus productifs (Sassi *et al.*, 2012). Benmahammed *et al.*, (2008) notent que la corrélation positive entre la teneur relative en eau et la biomasse accumulée indique, qu'en général, l'accumulation de la biomasse sous stress est dépendante du contenu foliaire en eau.

Les variétés de blé dur semblent présenter une meilleure résistance à la déshydratation foliaire que les variétés de blé tendre, et cette supériorité se manifeste essentiellement au stade de l'épiaison où la diminution de la teneur foliaire en eau chez le blé dur est significativement moins importante que celle enregistrée chez le blé tendre (Alem *et al.*, 2002). Fahmi *et al.*, (2011) rapportent qu'en présence d'un stress hydrique, la teneur en eau relative des feuilles d'*argania spinosa* augmente de 55.09% à 77.82%, cette augmentation est due à une fermeture

graduelle des stomates ; ce qui permet de maintenir la turgescence foliaire de la plante pour tolérer la déshydratation. Clarke et *al.*, (1991) suggèrent que la teneur relative en eau comme critère de criblage pour la sélection de lignées tolérantes à la contrainte hydrique.

I.5.5.3.3. Le maintien de l'intégrité membranaire

D'autres mécanismes encore peuvent intervenir dans le maintien de la turgescence cellulaire, comme l'élasticité membranaire, la réduction de la taille des cellules (Tyree et Jarvis, 1982) et la résistance protoplasmique. Cette dernière dépend de la capacité des cellules à résister à un dommage mécanique et à la dénaturation des protéines au niveau membranaire ou cytoplasmique (Gaff, 1980).

Le mécanisme de tolérance des membranes cellulaires s'exprime lorsque ces dispositifs périphériques de protection des cellules ne sont plus efficaces. Le caractère de tolérance sensu stricto le plus connu est la résistance membranaire ou résistance protoplasmique. Elle est le plus souvent mesurée par la méthode des efflux d'électrolytes après choc osmotique au polyéthylène glycol (Blum et Ebercom, 1981 ; Turner et *al.*, 2001). La tolérance membranaire s'exprime à un niveau particulièrement important chez les plantes dites de résurrection qui peuvent reconstituer leurs membranes après des périodes de plusieurs semaines de déshydratation (Gaff, 1980). Chez le blé dur, la résistance à la sécheresse au sein de la plante entière dépend, du moins en partie, de l'existence de mécanismes opérant au niveau cellulaire (Bajji et *al.*, 2000).

La tolérance des membranes cellulaires face à la contrainte hydrique est l'un des mécanismes de résistance à la sécheresse les plus efficaces chez les plantes. Il a été mis en relation avec la performance au champ des génotypes sur différentes espèces végétales notamment sur des légumineuses (Vasquez-Tello et *al.*, 1990 ; Dhanda et Sethi, 2002). Ces différents résultats montrent bien qu'une appréciation de l'intégrité des membranes en condition de stress constitue une approche indispensable pour l'évaluation de la capacité de tolérance à la sécheresse d'un matériel donné (Annerose, 1990).

Le maintien de l'intégrité membranaire constitue encore le mécanisme de tolérance à la sécheresse le plus évident et probablement le plus efficace chez l'arachide. Les différences variétales mises en évidence permettent de caractériser les variétés les plus tolérantes par leur capacité à conserver l'intégrité de leurs tissus en condition de sécheresse. L'intérêt de ce comportement n'est pas seulement d'améliorer la capacité de la plante à supporter une

déshydratation mais il devrait aussi contribuer à favoriser ses capacités de reprise à l'arrêt de la sécheresse (Annerose, 1990).

La prise en compte des résultats obtenus à la fois aux niveaux cellulaire et de la plante entière apparaît nécessaire pour une meilleure compréhension de la complexité des mécanismes permettant à la plante de résister au stress et constitue à nos yeux une stratégie essentielle dans ce type d'étude (Bajji et *al.*, 2000).

I.5.5.3.4. La température de la canopée

La température de surface du couvert végétal est une caractéristique physique de la plante influencée par la contrainte hydrique. Plusieurs méthodes ont été utilisées pour estimer et mesurer la température d'un couvert végétal, cependant l'utilisation de la télédétection infrarouge thermique est celle qui semble offrir des voies prometteuses. Elle présente l'avantage de la rapidité et de la facilité d'acquisition, nécessaire pour un diagnostic hydrique. Ceci a conduit au développement de plusieurs indicateurs de stress hydrique basés sur la relation qui existe entre la température, les propriétés optiques des végétaux et leur état hydrique. Selon Dakheel et *al.*, (1993), la capacité des plantes à maintenir une température foliaire basse est une indication de leur grande capacité à extraire l'eau du sol et à se rafraîchir par transpiration. Ces variétés maintiennent une activité photosynthétique élevée autorisant un rendement plus élevé, sous stress terminal.

La mesure de la température de la canopée a bénéficié d'un certain intérêt comme technique de criblage pour la résistance au stress, particulièrement avec l'avènement du thermomètre infrarouge portable. Dakheel et *al.*, (1993) trouvent que durant les premiers stades de développement, jusqu'au stade épiaison, quand la température de l'air est relativement basse, la température de la canopée est corrélée positivement avec le rendement en grains. A partir du stade épiaison et durant la période de remplissage du grain, la température foliaire est corrélée négativement avec le rendement en grains. Des températures basses du couvert végétal sont indicatives d'un potentiel hydrique foliaire élevé (Blum et Pnuel, 1990).

I.5.5.4. Adaptation biochimique

I.5.5.4.1. La teneur en chlorophylle

La diminution de la photosynthèse, qui fait suite à la réduction de la teneur relative en eau et du potentiel hydrique foliaire, est causée par la réduction de la pénétration du CO₂. La

diminution de la photosynthèse nette peut être attribuée à la diminution de la concentration interne du CO₂ sans que la capacité photosynthétique des tissus de la feuille ne soit endommagée (El-jaafari et Paul, 1993). Bousba et *al.*, (2009), indiquent qu'une diminution de la teneur en chlorophylle est remarquée chez le blé dur sous stress hydrique. Tahri et *al.*, (1997) montrent que l'augmentation de la teneur en proline foliaire sous l'effet du stress suivie par un abaissement dans les teneurs en pigments chlorophylliens totaux (Chlorophylles a et b). Ainsi la variété qui accumule plus de proline est aussi celle qui connaît la plus forte diminution de ses teneurs en pigments chlorophylliens et vice versa (Tahri et *al.*, 1997).

I.5.5.4.2. Ajustement osmotique

La tolérance est la stratégie qui permet à la plante d'assurer ses fonctions physiologiques malgré une dégradation de son état hydrique (Temagoult, 2009). L'un des principaux caractères physiologiques de tolérance aux contraintes du milieu est l'ajustement osmotique (El Midaoui et *al.*, 2007).

L'ajustement osmotique peut aussi jouer un rôle important en aidant des feuilles partiellement flétries à redevenir turgescentes lorsque l'apport d'eau reprend. En aidant la feuille à maintenir sa turgescence, l'ajustement osmotique permet aux plantes de garder leurs stomates ouverts et de prélever du CO₂ pour effectuer leur photosynthèse dans des conditions de stress hydriques modérés (Hopkins, 2003). Il peut intervenir à tous les stades du développement (Monneveux et This, 1997). Celui-ci est réalisé grâce à une accumulation de composés osmorégulateurs (El Midaoui et *al.*, 2007). Les solutés responsables de la régulation osmotique sont essentiellement des acides organiques, des acides aminés (proline, glycine-bétaine), des sucres solubles et certains constituants inorganiques (Richards et *al.*, 1997). La fonction principale des solutés compatibles est d'empêcher la perte d'eau pour maintenir la turgescence cellulaire et à maintenir le gradient de reprise en eau dans la cellule. Ces accumulations de métabolite dans les cellules conduisent à une augmentation du potentiel osmotique et ont finalement abouti à une plus grande capacité d'absorption d'eau par les racines et l'économie d'eau dans les cellules (Seyed et *al.*, 2012).

L'ajustement osmotique apparaît aujourd'hui comme un mécanisme majeur d'adaptation à la sécheresse (Monneveux et This, 1997).

I.5.5.4.2.1. Accumulation de la proline

Parmi les acides aminés pouvant être accumulés, la proline représente des manifestations les plus remarquables des stress hydriques et osmotiques. Singh et *al.*, (1973) proposent d'utiliser la proline comme critère de sélection pour la tolérance au stress chez l'orge. La proline est l'un des solutés compatibles le plus fréquemment accumulé en réponse à des contraintes environnementales variées et joue un rôle important dans la tolérance des plantes (Ben Rejeb et *al.*, 2012). L'accumulation de proline est l'une des stratégies adaptatives fréquemment observées chez les plantes pour limiter les effets du stress hydrique. Elle est liée à l'osmorégulation cytoplasmique (Acevedo et *al.*, 1989).

Selon Tahri et *al.*, (1997) l'accumulation de la proline, induite par les stress, peut être le résultat de trois processus complémentaires: stimulation de sa synthèse, inhibition de son oxydation et/ou altération de la biosynthèse des protéines. La proline est synthétisée selon deux voies distinctes, via le glutamate et l'ornithine (Neffar, 2013). La chaîne de réaction commence par la réduction du glutamate en glutamyl-5-semialdéhyde. Ce composé se cyclise spontanément et forme l'acide pyrroline-5-carboxylique qui est réduit ensuite en proline. La proline peut être issue aussi de l'ornithine, précurseur de l'acide pyrroline-2-carboxylique, transformé ensuite en proline (Jean-François et Morot-Gaudry, 1997).

Son accumulation dans les feuilles de plantes qui souffrent d'un manque d'eau a été décrite très anciennement (Cornic, 2008). On pense que l'accumulation se fait dans le cytoplasme où sa concentration atteint parfois 230 à 250 mM. Elle peut à cette concentration participer effectivement à l'ajustement osmotique de la plante (Samars et *al.*, 1995). Un déficit hydrique plus grave amplifie davantage l'accumulation de la proline dans les tissus foliaires, atteignant pratiquement le double de celle du témoin (757,15 contre 345,72 $\mu\text{g} / 100 \text{ mg}$ feuilles, soit 119,01 % d'augmentation) (Hireche, 2006).

Outre son rôle osmotique, la proline semble aussi avoir un rôle dans l'enroulement foliaire, constituant un mécanisme de limitation de la transpiration chez les céréales, qui serait lié à l'accumulation d'acide abscissique (ABA) au niveau des feuilles. Elle pourrait en outre jouer plusieurs rôles dans le métabolisme intracellulaire, dans la protection des membranes et des systèmes enzymatiques, et favoriserait la reprise après réhydratation (Lepoivre, 2003). Plusieurs sélectionneurs et physiologistes ont utilisé la capacité de son accumulation dans le criblage de génotypes résistants au déficit hydrique (Benlarabi et Monneveux, 1988) sur le blé dur.

I.5.5.4.2.2. L'accumulation de sucres solubles

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). Le potentiel osmotique peut être maintenu pour un stress hydrique de faible ou moyenne intensité, par ajustement osmotique (Dubos, 2001). Les sucres peuvent servir de composés solubles compatibles pour cet ajustement osmotique (Dubos, 2001). Ils permettent également une préservation de l'intégrité membranaire dans les organes desséchés ainsi qu'une protection des protéines (Darbyshire, 1974).

Généralement, on pense que l'accumulation de sucres solubles peut avoir comme origine l'hydrolyse de réserves (en particulier, d'amidon) mais aussi une modification du métabolisme carboné, la dégradation de polysaccharides et une réduction de l'utilisation de carbohydrates plus importante que la réduction de la photosynthèse en conditions de déficit hydrique (Lepoivre, 2003).

De nombreuses études ont mis en évidence l'accumulation de sucres solubles lors de la dessiccation. Une idée principale en ressort: différents sucres solubles peuvent être présents dans des tissus bien hydratés, mais le saccharose est préférentiellement accumulé dans les tissus en déshydratation (Dubos, 2001). Chez le soja, la teneur foliaire en saccharose contribuerait au maintien d'une pression osmotique élevée limitant les pertes d'eau par transpiration (Bensari et *al.*, 1990). Berka et Aid, (2009) montrent que la teneur en sucres solubles des feuilles des plants stressés augmente régulièrement et d'une manière significative en fonction de la diminution de la teneur relative en eau.

Les sucres sont considérés par plusieurs auteurs comme de bons osmorégulateurs (Kameli et Losel, 1995; Sanchez et *al.*, 1997) qui peuvent jouer un rôle important dans l'ajustement osmotique et l'adaptation des plantes à la sécheresse (Morgan, 1984; Zhang et *al.*, 1999).

I.6. L'amélioration génétique du blé dur

I.6.1. Objectifs et critères de sélection variétale

Le but ultime d'un programme de sélection est la production de variétés ayant un rendement élevé et stable (Hadj Youcef Taibi et *al.*, 2003). L'amélioration de rendement et de la qualité du blé dur passe par la création variétale et le choix de critères fiables pour

l'identification de mécanismes d'adaptation aux contraintes environnementales. Parmi ces critères, la stabilité du rendement, la tolérance aux stress abiotiques, la résistance aux maladies et une bonne qualité technologique restent les plus recherchés (Ben belkacem et *al.*, 1995).

Jusqu'à présent, la sélection du blé dur s'est faite à partir des introductions des centres internationaux de la recherche agronomique : Cimmyt et Icarda. Les variétés sélectionnées réussissent, généralement, bien sur les plaines intérieures et le littoral, mais leurs performances restent très variables sur les hautes plaines. Le progrès génétique réalisé n'est pas valorisé suite aux faibles taux d'adoption des nouvelles variétés (Mekhlouf et *al.*, 2006). La sélection est compliquée par la présence d'interactions génotype \times environnement, dont la variance est deux fois plus élevée que celle d'origine génotypique (Bouzerzour et *al.*, 2002). En présence d'interaction de nature qualitative, les sélectionneurs sont à la recherche de méthodes pour exploiter l'interaction dans le processus de sélection (Benmahammed et *al.*, 2010).

De nombreux chercheurs ont axé leurs travaux notamment sur la sélection des variétés adaptées aux régions à fortes contraintes hydriques, soit par une amélioration génétique qui reste sans doute le moyen le plus efficace, soit par une méthode approfondie des différents mécanismes d'adaptation (Hazmoune, 2000). Un paramètre de sélection doit être simple à mesurer, reproductible d'un stade à l'autre et doit présenter, autant que possible, une corrélation avec la production en grains de la variété (Ben Salem et *al.*, 1997).

En sélection, comme en production, le génotype performant est désirable, il l'est encore mieux si ses performances sont stables. Cette stabilité est importante notamment lorsque le milieu (dans le sens année, site, conduite) est sujet à des variations qui causent un changement de l'ordre de classement des génotypes (Benmahammed et *al.*, 2010). La nature variable du climat des hautes plaines semi-arides, impose que la sélection soit faite pour la performance et l'adaptabilité (Saraoui, 2011).

I.6.1.1. La sélection pour la productivité

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

L'amélioration du rendement est réalisable suite à la sélection directe ou indirecte sur la base des composantes (Canterell et Haro Arias, 1986). La connaissance des liaisons qui existent entre les composantes et le rendement permet d'identifier les composantes à utiliser comme critères de sélection. Ces informations permettent d'orienter le processus de sélection de manière à promouvoir les caractères capables d'engendrer une amélioration du rendement (Mekhlouf et Bouzerzour, 2000). L'expression d'un rendement en grain élevé est associée à une meilleure performance pour le nombre de grain/m², le nombre de grains/épis et l'indice de récolte. Sous conditions contraignantes, lorsque le nombre de grain/m² est faible, les génotypes le compensent par une augmentation du poids moyen afin de minimiser la baisse du rendement en grain (Bahlouli et *al.*, 2009).

L'amélioration génétique des céréales s'est donnée pendant longtemps pour objectif primordial l'augmentation de la productivité (ou aptitude au rendement, ou rendement potentiel), mais le succès de cette stratégie d'amélioration des rendements moyens à travers une augmentation de la productivité est lié à l'existence de conditions environnementales (milieu naturel, techniques) favorables, permettant l'expression des différents facteurs du rendement (Hurd, 1974). Le rendement étant difficile à améliorer directement (faible héritabilité, fortes interactions génotype x environnement...) (Teulat-Merah et *al.*, 2001). Par ailleurs, les sélections pour le seul rendement (ou ses composantes) en conditions de déficit hydrique sont toujours largement pratiquées mais ont montré leurs limites (Turner et *al.*, 2001). De plus, dans ces milieux, la présence d'interaction génotype x environnement réduit de l'efficacité d'utilisation du rendement comme seule critère de sélection (Benmahammed et *al.*, 2008). La sélection sur la seule base du rendement grain n'assure pas la stabilité ni la tolérance aux stress, qui sont conditionnées, en partie, par le degré d'alternativité des nouvelles sélections qui divergent fortement pour cette caractéristique (Bouzerzour et *al.*, 2002).

Une sélection multi-caractères est donc nécessaire. Elle doit tenir compte, en plus du rendement en grain, de la précocité d'épiaison (en vue d'éviter le gel tardif et les hautes températures de fin de cycle) et de la biomasse aérienne, qui est un bon indicateur de l'adaptation au milieu et d'efficacité de l'utilisation de l'eau (Bouzerzour et *al.*, 1998a). Une biomasse qui émerge suite à la contribution concomitante de la hauteur de paille et du nombre d'épis/m² est indicatrice d'une meilleure stabilité de la production. L'indice de récolte, dans ce cas, impose le contrôle sur le degré de répartition de la biomasse ainsi produite. Ces variables sont facilement mesurables et avec une meilleure précision, surtout pour la hauteur et le

nombre d'épis/m² (Benmahammed et *al.*, 2003). La corrélation positive et significative entre la hauteur des plantes et le rendement en grains suggère que la sélection de génotypes hauts améliore la production surtout en conditions limitantes (Benmahammed et *al.*, 2003). La réduction du rendement en grains sous stress abiotiques de nature hydrique est plus importante chez les variétés naines que chez les variétés hautes, ayant le même degré de précocité (Nizam Uddin et Marshall, 1989). Haddad (2010), suggère que la précocité d'épiaison, la capacité de translocation des assimilés, le nombre et le poids des épis/m² sont des caractéristiques désirables à accumuler chez un génotype donné pour avoir un haut rendement en grain.

L'interaction est une importante source de variation des performances. Les sélectionneurs éprouvent des difficultés pour sélectionner des génotypes réguliers. De ce fait, les physiologistes préconisent l'utilisation de plusieurs indices de mesure de la stabilité des performances. Ces indices forment deux groupes, ceux mesurant la stabilité statique et ceux qui représentent la stabilité agronomique. La stabilité statique n'est pas toujours acceptée en sélection, où l'objectif est d'augmenter le potentiel des performances. La stabilité agronomique ou dynamique est plus désirable dans ce cas (Becker et Léon, 1988). Un génotype stable dans ce sens est celui qui contribue le moins à l'interaction (Haddad, 2010).

Dans les zones écologiquement favorables ou à faibles contraintes environnementales, le choix du rendement potentiel comme objectif de sélection s'avère relativement justifié dans la mesure où les conditions de milieu permettent l'expression de cette aptitude génétique (Demarly et Chalbi, 1991).

I.6.1.2. La sélection pour l'adaptabilité

Sur les hauts plateaux algériens, les performances de rendement de la culture du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sont limitées par l'action des stress de nature abiotique. La variation des rendements, d'une année à l'autre et d'un lieu à l'autre, a pour origine la sensibilité du matériel végétal à l'effet combiné des basses températures hivernales, du gel printanier, du stress hydrique et des hautes températures de fin de cycle de la culture (Bahlouli et *al.*, 2005; Chennafi et *al.*, 2006).

L'adaptabilité est définie comme étant la capacité d'un génotype à donner un haut rendement sous diverses conditions, aussi bien favorables que contraignantes (Fordyce, 2006). La sélection pour l'adaptation ou pour la tolérance aux stress abiotiques suit plusieurs voies dont entre l'utilisation de la phénologie, la morphologie, la physiologie, le moléculaire, ainsi

que le comportement global de la plante vis-à-vis de la variation environnementale. (Kadi, 2012).

La régularité du rendement est une caractéristique liée à la capacité d'adaptation d'un cultivar aux variations climatiques. Les agriculteurs adoptent, cependant, les nouvelles variétés sur la base de leur capacité de rendement grain et de la régularité spatio-temporelle de leur production. L'amélioration simultanée du rendement et de sa régularité nécessite que le germoplasme de base soit adapté, et que la sélection soit faite sur la base de caractères liés à ces deux paramètres (Laala, 2010).

Les principales causes de la variation du rendement final entre variétés de la même espèce semble être associées principalement au déficit hydrique (El falah et *al.*, 1991). L'identification de paramètres morpho-physiologiques joue un rôle important dans la sélection de génotypes tolérants aux stress en condition de sécheresse (Acevedo et Ceccarelli, 1990). 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 caractérisation des mécanismes qui contrôlent la tolérance aux stress et leurs liaisons avec l'adaptation au milieu constitue l'axe de recherche le plus d'actualité (Bahlouli et *al.*, 2009). Les génotypes tolérants aux stress abiotiques minimisent la baisse du rendement grain dans les environnements défavorables alors que les génotypes sensibles valorisent nettement mieux les sites et environnements favorables à l'expression de hauts rendements en grains (Fellah et *al.*, 2002). La sélection pour la tolérance induit, certes, une baisse des rendements sous contrainte, mais cette baisse est cependant moins importante chez les génotypes tolérants comparativement à celle notée chez les génotypes sensibles (Fellah et *al.*, 2002 ; Bahlouli et *al.*, 2005).

L'adaptation variétale est liée à la phénologie et à une croissance hivernale permettant de valoriser les eaux de pluie (Canterro-Martinez et *al.*, 1995). On peut donc sélectionner des génotypes valorisants mieux l'eau en début du cycle grâce à une vitesse de croissance élevée et qui sont assez tardifs à la montée pour éviter le gel de printemps (Bouzerzour et *al.*, 2000). Certains travaux ont montré qu'un gain d'un jour dans la précocité se traduit par une augmentation de 3 q/ha dans le rendement du blé, de l'orge ou du triticales (Fischer et Maurer, 1978).

Au cours de la phase de remplissage du grain, l'épi assurerait au minimum, et en conditions favorables, 13 % de la photosynthèse (Biscoe et *al.*, 1975); en conditions de déficit hydrique, le rôle de l'épi devient plus important que celui des dernières feuilles (Johnson et Moss, 1976), du fait de la sénescence de ces dernières ; cela est particulièrement vrai chez le blé dur (Gate et *al.*, 1993). Le nombre d'épis par plante est corrélé positivement au rendement en grains pendant les années défavorables et il est préconisé comme critère de sélection sous des conditions de sécheresse relativement sévères (Melki et Dahmane, 2008). Une meilleure compréhension de la contribution du brin maître et des talles primaires au rendement grain peut aider dans le choix d'une architecture génotypique adaptée et productive (Elhani et *al.*, 2007).

La capacité d'adaptation des variétés au stress hydrique peut être liée à une amélioration du taux de remplissage des grains, la contribution des hydrates de carbones stockés dans les tiges ou la persistance de la chlorophylle par une longue durée de la vie de la feuille étendard. (Bahlouli et *al.*, 2006). le transfert du maximum des substrats stockés peut se faire en améliorant la vitesse de remplissage du grain et/ou la durée de la phase de remplissage sous stress (Fellah et *al.*, 2002).

Parmi les alternatives permettant d'améliorer les rendements en grains, des régions arides et semi arides où les ressources en eau sont rares, figurent le développement et la sélection de variétés plus économes en eau (Richards et *al.*, 2002; Tardieu, 2003; Passioura, 2004). Sassi et *al.*, (2012) mentionnent que la teneur relative en eau est un bon indicateur de tolérance à la sécheresse et peut être utilisé dans un programme de sélection en condition de sécheresse. Dedio (1975), rapporte que l'héritabilité de la rétention d'eau de la feuille excisée est sous contrôle génétique simple. Ce caractère est transmissible entièrement à la descendance, et il est positivement lié au rendement grain en présence de la contrainte hydrique.

L'identification de géotypes capables de maintenir une photosynthèse active sous contrainte hydrique repose sur une réduction des mécanismes d'esquive induits par l'ABA. Cet objectif pourrait être atteint en sélectionnant des plantes qui accumulent moins d'ABA en conditions de déficit hydrique ou qui présentent une moindre réactivité vis-à-vis de l'ABA (El Jaafari et Paul, 1993). La réactivité vis-à-vis de l'ABA, ou l'aptitude à accumuler cette hormone en réponse au stress hydrique, pourraient être utilisées comme critères de sélection pour la résistance à la sécheresse (El Jaafari et *al.*, 1995).

La capacité d'ajustement osmotique des plantes sous conditions limitantes en eau est un caractère présentant une forte variabilité génotypique (Chimenti et *al.*, 1995; Zhang et *al.*,

1999). Bajji et *al.*, (2001) suggèrent que l'ajustement osmotique pourrait être une partie des mécanismes de résistance à la sécheresse développés par le blé dur et pourraient être exploités dans les programmes de sélection pour améliorer la tolérance au stress hydrique. El Jaafari (2000) considère l'ajustement osmotique comme l'un des critères de sélection pour la résistance à la sécheresse les plus utilisés.

Tableau I.2. Intérêt des mesures de capacité d'ajustement osmotique en tant que critère d'évaluation de la tolérance au stress hydrique (Monneveux et This, 1995).

Type d'adaptation	Inductible
Facteurs d'induction	teneur en eau du sol
Rôles	<ul style="list-style-type: none"> - maintien de la turgescence - maintien de la croissance - retardement de l'enroulement et de la sénescence foliaires. - maintien de l'ouverture stomatique.
Facilité de mesure	<ul style="list-style-type: none"> - implique des mesures conjointes de potentiels hydrique, - osmotique et de turgescence et des mesures de teneur en eau relative. - les dosages d'osmolytes sont difficiles à relier aux capacités d'ajustement.
Relations avec le comportement au champ	relations entre capacité d'ajustement et rendement en grains sous stress
Variabilité génétique	élevée
Déterminisme génétique	caractère monogénique récessif.

Il est couramment établi que l'interaction génotype x année x lieu est plus importante que l'interaction génotype x année. Cette dernière est plus importante que l'interaction génotype x lieu (Talbot, 1997). En zones semi-arides Algériennes, l'effet année possède une part importante dans la variation du rendement grain, par contre les différences entre génotypes sont non significatives. La sélection génotypique vis-à-vis du rendement doit se faire par année (Bahlouli et *al.*, 2009). La sélection multi sites et multi années est plus efficace pour identifier les génotypes performants et stables, qui montrent une large adaptation à la variation environnementale (Kirigwi et *al.*, 2004).

L'étude de l'interaction GxE offre, en effet, l'opportunité de sélectionner des génotypes qui montrent une interaction positive dans certaines localités et sous certaines conditions environnementales spécifiques. Comme elle offre aussi l'opportunité de sélectionner des génotypes à large adaptation, caractérisés par un rendement au-dessus de la moyenne et une faible variation inter sites (Ceccarelli et *al.*, 1998). L'adoption d'une stratégie, qui exploite

positivement l'interaction sur les sites à haut potentiel de production et l'adaptation générale sur les sites au potentiel relativement plus faible, permet d'améliorer le rendement grain de 6% (Menad et *al.*, 2011). Lorsque l'interaction est liée à la variation spatiale, la sélection pour l'adaptation spécifique à la région ciblée, est favorisée (Annichiarico, 2002 ; Annichiarico et *al.*, 2005). Par contre, lorsque l'interaction est liée à la variation temporelle, suite au changement d'une année à l'autre des conditions climatiques, la sélection des génotypes à large adaptation, passe-partout, est favorisée (Atlin et *al.*, 2000 ; Yan et Hunt, 2001).

La création de variétés adaptées demeure le souci majeur des sélectionneurs. Plusieurs méthodologies de sélection ont été adoptées dont la sélection pedigree, la sélection massale, la sélection en bulk et le bulk modifié (El falah et *al.*, 1991). La création d'une variété tolérante à une contrainte de l'environnement particulière nécessite de croiser deux variétés judicieusement choisies. L'une fournit le fond génétique, c'est-à-dire l'ensemble des gènes favorables à une bonne productivité, et l'autre apporte des caractères de tolérance à la contrainte ciblée (Gaufichon et *al.*, 2010). Le choix des géniteurs est basé sur la diversité génétique qui est une source de gènes nouveaux nécessaires pour augmenter la variabilité génétique de base (He-Zhong, 1991). Selon Diers et *al.*, (1996) les lignées parentales de bonne aptitude générale à la combinaison et distantes génétiquement produisent une descendance plus performante (Laala et *al.*, 2009). Après un premier croisement, les descendants présentant tous les caractères recherchés sont sélectionnés grâce à l'évaluation de critères phénotypiques, dans des conditions de culture favorisant les plantes tolérantes au stress considéré. Ces descendants sont par la suite croisés, en moyenne de six à huit fois, avec la variété parentale à fort rendement (Gaufichon et *al.*, 2010).

La sélection de la résistance à la sécheresse devrait se concevoir selon une approche synthétique reliant un ensemble de mécanismes dont l'intégration pourrait améliorer le rendement en conditions de déficit hydrique (El Jaafari et *al.*, 1995).

I.6.1.3. La sélection assistée par les marqueurs

Bien que la sélection classique des céréales, ait obtenu des résultats encourageants elle ne parvient plus aujourd'hui à évoluer aussi rapidement. L'amélioration de blé porte maintenant sur des caractères très complexes, présentant en majorité une distribution continue (Maccaferri et *al.*, 2006). Face aux difficultés d'utilisation de «critères physiologiques de prédiction» en sélection, le développement des outils de marquage moléculaire est susceptible d'apporter d'importants éléments de réponse, l'idée de base étant de rechercher des relations entre la

présence de certains marqueurs et certains mécanismes physiologiques liés à la tolérance (Monneveux et This, 1995).

Contrairement aux marqueurs traditionnels (morphologiques et biochimiques), les marqueurs moléculaires ne sont pas influencés par les fluctuations de l'environnement et sont indépendants de l'organe analysé et du stade de développement de la plante. Ces marqueurs moléculaires deviennent aujourd'hui un outil essentiel d'amélioration des plantes et ouvrent de nouvelles perspectives pour le sélectionneur. La recherche de marqueurs moléculaires étroitement liés aux gènes de résistance est une étape importante avant leur exploitation pratique pour accélérer et améliorer l'efficacité des programmes de sélection (Hospital, 2001; Eagles *et al.*, 2001 ; Dekkers et Hospital, 2002).

La sélection assistée par des marqueurs (SAM) devient de plus en plus un complément nécessaire aux schémas de sélection classique d'amélioration des céréales (Hospital, 2001). Cette technique a été utilisée de manière avantageuse dans l'amélioration de la résistance aux maladies et aux insectes (Langridge *et al.*, 2001). Elle s'appuie sur la variabilité naturelle de l'espèce ciblée et les travaux de détection de QTL, pour accélérer le processus de sélection en orientant de façon raisonnée le choix des génotypes qui combinent le maximum de caractères favorables (Virouvet, 2011). Cette sélection assistée par marqueurs est donc d'un intérêt certain pour le sélectionneur puisqu'elle offre l'avantage d'une sélection efficace, rapide et précoce, et devient alors un complément nécessaire aux méthodes traditionnelles d'amélioration génétique des céréales (Najimi *et al.*, 2003). Dans le cas de la résistance à la sécheresse, un des premiers succès de cette technique a été obtenu par le Cimmyt, centre de recherche international, (Gaufichon *et al.*, 2010). Par ailleurs, pour la sélection de caractéristiques agronomiques à déterminisme génétique complexe, comme le rendement par exemple, gouvernées par un grand nombre de gènes ou de QTL qui interagissent et dont la plupart sont encore inconnus, la SAM est actuellement un outil inefficace (Thabuis *et al.*, 2004).

Pour mieux comprendre les composantes physiologiques, génétiques et moléculaires de la tolérance à la sécheresse, une étude génétique des caractères d'adaptation est néanmoins nécessaire. Par ailleurs, l'identification et l'utilisation de marqueurs moléculaires liés à des caractères complexes constituent un gain de temps pour la sélection. Cette recherche peut être abordée en identifiant les locus impliqués dans la variation quantitative du caractère étudié ou QTL (Quantitative Trait Loci) et en étudiant leur nombre, leur effet et leur stabilité. Pour que ce type d'étude soit efficace, il faut sélectionner les caractères en fonction de leur valeur

adaptative globale par rapport à des stress et des environnements variables, leur impact positif sur le rendement et leur extrapolation possible aux autres céréales (Teulat-Merah *et al.*, 2001).

Un locus de caractères quantitatifs (LCQ ou QTL pour quantitative trait locus) est une région plus ou moins grande d'ADN qui est étroitement associée à un caractère quantitatif, c'est à-dire une région chromosomique où sont localisés un ou plusieurs gènes à l'origine du caractère en question. Un QTL nous aide à relier deux types de données, l'information phénotypique et les données génotypiques. Une analyse QTL permet aux chercheurs dans des domaines aussi variés que l'agriculture, l'évolution et la médecine de relier certains phénotypes complexes à des régions spécifiques des chromosomes. Le but de ce processus consiste à identifier l'action, l'interaction, le nombre et l'emplacement précis de ces régions (Miles et Wayne, 2008). Les QTL peuvent être identifiés grâce à l'analyse génétique d'individus issus de croisements choisis, mais aussi grâce à une approche appelée génétique d'association. La génétique d'association consiste à rechercher des corrélations entre des marqueurs moléculaires et le caractère d'intérêt dans une large collection de plantes représentant au mieux la diversité existant dans l'espèce (Thornsberry *et al.*, 2001). Lorsqu'un QTL a été détecté, l'allèle favorable pour le caractère étudié peut être transféré dans le génome d'une plante élite grâce à une succession de croisements. À chaque étape, les individus ayant hérité de l'allèle favorable sont identifiés et sélectionnés grâce aux marqueurs moléculaires qui lui sont associés. Cette approche permet de réduire le nombre de croisements (de six à huit) à quatre (Gaufichon *et al.*, 2010).

Un marqueur moléculaire est un locus polymorphe qui renseigne sur le génotype de l'individu qui le porte. Un bon marqueur doit être à hérédité simple, multi-allélique et co-dominant. Les marqueurs moléculaires correspondent donc au polymorphisme révélé au niveau de l'ADN. L'analyse de ce polymorphisme par les techniques de biologie moléculaire s'adresse à l'ensemble du génome, qu'il soit ou non traduit en protéines, et est indépendante des conditions de l'environnement (Eagles *et al.*, 2001; Langridge *et al.*, 2001; Dekkers et Hospital, 2002). L'analyse du polymorphisme de l'ADN est menée actuellement sur la base de trois techniques: RFLP (*restriction fragment length polymorphism*), RAPD (*random amplified polymorphic DNA*), ADN satellites (This et This, 1993).

La technique RFLP développée par Botstein *et al.*, (1980) repose sur la mise en évidence de la variabilité de la séquence nucléotidique de l'ADN génomique après digestion par des enzymes de restriction. Une multitude de fragments d'ADN de tailles variables est générée par digestion enzymatique, puis séparée sur gel d'agarose et transférée par capillarité sous forme

dénaturée sur une membrane de nylon. Cette membrane est mise en contact avec une solution contenant un fragment d'ADN ou sonde qui permet de repérer, par hybridation moléculaire, des fragments d'ADN génomique qui lui sont homologues. La différence entre deux génotypes est révélée par autoradiographie si la sonde est marquée par le phosphore radioactif ou par réaction colorée si elle est associée à un conjugué enzymatique (Najimi et *al.*, 2003). L'analyse des RFLP demande du temps, difficile à automatiser, nécessite de grandes quantités d'ADN et elle est peu économique pour l'évaluation des populations en ségrégation de grandes tailles comme celles rencontrées souvent dans les programmes de sélection (Jia et *al.*, 1996).

La méthode RAPD a été simultanément mise au point par deux équipes (Welsh et McClelland 1990 ; Williams et *al.*, 1990). Il s'agit d'une technique moins lourde que la RFLP, mais les allèles sont moins informatifs car ils sont généralement dominants et souvent peu répétables. D'autre part, l'utilisation des marqueurs RAPD est limitée au fond génétique dans lequel ils ont été mis en évidence (Poormohammad Kiani, 2007). Elle consiste en l'amplification par PCR de fragments de l'ADN génomique en utilisant des amorces arbitraires de taille courte (10 pb). Une amorce RAPD permet généralement l'amplification d'une dizaine de fragments correspondant à des locus dominants. Les produits d'amplification sont généralement visualisés par électrophorèse sur gel d'agarose. Le polymorphisme décelé est dû à des mutations soit dans les régions amplifiées soit au niveau des sites de fixation des amorces. Le polymorphisme révélé est un polymorphisme de sites d'hybridation d'amorce. Les amorces constituent donc les marqueurs (Williams et *al.*, 1990).

Les microsatellites sont hautement polymorphes par la variation du nombre de répétitions et de ce fait très informatifs. De plus, ils sont facilement détectables par la technique de réaction de polymérisation en chaîne (PCR) et reproductibles. Cependant, ces marqueurs sont fréquemment utilisés, car plus de 2000 microsatellites hautement polymorphes ont été ordonnés de manière précise (en moyenne, 1 tous les 1.6 cM) (Dib et *al.*, 1996). Ainsi que le degré de polymorphisme élevé des microsatellites est fortement apprécié pour les études d'association génétique ou, pour la cartographie de gènes impliqués dans la tolérance aux stress abiotiques (Bousba et *al.*, 2013).

Dans tous les cas, des marqueurs liés de façon absolue aux gènes seront d'un intérêt bien plus grand que ceux liés de façon statistique. Les progrès dans les connaissances permettent d'espérer ce type de marqueurs (c'est ce qui est recherché à partir des gènes « candidats » - pour des QTLs - ou des sondes cDNA). Cela donnera encore plus de puissance au généticien

et au sélectionneur pour l'analyse, la gestion et l'utilisation de la variabilité génétique. C'est vraiment une ère nouvelle qui s'ouvre pour la génétique des caractères complexes et donc pour le sélectionneur (Gallais, 1994). Grâce aux marqueurs génétiques, il devient possible d'une part d'établir l'empreinte génétique d'un individu, et de suivre les gènes impliqués dans l'expression de caractères d'intérêt agronomique ou technologique (Langridge et *al.*, 2006).

MATERIEL ET METHODES

CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES

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

L'expérimentation a été conduite sur le site expérimental de la station expérimentale de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) de Sétif, situé dans l'étage bioclimatique semi-aride, à 1080 m d'altitude (36° 5' N et 5° 21' E) (Bouzerzour et *al.*, 2002).

Le site expérimental est pratiquement soumis au climat des hautes plaines orientales algériennes, qui se caractérise par des hivers froids, un régime pluviométrique irrégulier, des gelées printanières très fréquentes et des vents chauds et desséchants en fin de cycle de la céréale (Baldy et *al.*, 1993).

Le sol de la parcelle expérimentale est de texture limono-argileuse, la teneur en calcaire total dépasse 35% (Chennafi et *al.*, 2008b), le taux de la matière organique est de 1.87%. La densité apparente est de 1.35 g cm⁻³. La capacité au champ est de 25% et le point de flétrissement se situe à 12% (Chennafi et *al.*, 2006).

Le précédent cultural est une jachère travaillée. Les techniques culturales adoptées sont un labour profond réalisé au mois d'avril 2013, avec une charrue à soc réversible, suivi de deux passages du cover-crop, pour reprendre le labour et détruire les adventices installées. Au mois de novembre, l'engrais de fond mono ammonium phosphate (MAP) est épandu à raison de 80 kg ha⁻¹. Cette opération est suivie par un cultivateur et une barre désherbeuse pour niveler le sol et préparer le lit de semence. Au stade tallage (mois de février), l'engrais azoté est apporté à raison de 80 kg ha⁻¹ sous forme d'urée à 46%. Le désherbage a été effectué manuellement, juste après l'apport de l'engrais azoté.

II.2. Le matériel végétal

L'expérimentation porte sur le suivi de la génération F₂ des différents croisements réalisés au cours de la campagne 2011/2012, le suivi des hybrides F₁ au cours de la campagne 2012/2013, celui des parents et de la génération F₂, en 2013/2014. Parmi les croisements réalisés, ceux qui ont été retenus sont Megress/Bousselam, Gtadur/MBB, Ofanto/Beni mestina, MBB/Mexicali//Boussellem/Adnan-1, Jordan collection86/Ahlal/3/Massara 01//Lahn /Ch12003 et Beliouni/3/Ter-1//Mrf1/Stj2.

La génération F₂ et les parents ont été mise en place le 11 du mois de décembre 2013. La parcelle élémentaire, est d'un rang de 5 m de long, avec 20 cm d'écartement entre rangs successifs et un espace de 10 cm entre graines pour les parents et de deux rangs de même dimensions pour les générations F₂, la plante est prise comme répétition, avec 10 plantes retenues par parent et population F₂.

Les graines des lignées parentales Megress, Bousselam, GTAdur, Mohamed Ben Bachir, Benimestina, Ofanto et de leurs hybrides F₁ retenus pour ce travail proviennent de l'ITGC Sétif, alors que les grains de MBB/Mexicali, Bousselam/Adnan-1, Jordan collection86/Ahlal, Massara-01//Lahn/Ch12003, Beliouni, Ter-1//Mrf1/Stj2 et de leurs hybrides F₁ proviennent de l'INRA khroub Constantine (Tableau II.1).

Tableau II.1. Listes des géotypes de blé dur retenus pour ce travail au cours de la campagne 2013/2014 sur le site expérimental de l'ITGC Sétif.

Code	Géotypes	Pedigree	Origine
	Parents		
1	Megress	Ofanto/Waha/MBB	Algérie
3	Bousselam	Heïder/Martes// Huevo de Oro	ICARDA/Algérie
4	GTAdur	Gaviota/durum	CIMMYT
6	MBB	Variété locale	Algérie
7	Benimestina	Variété locale	Algérie
9	Ofanto	Adamello/Appulo	Italie
10	MBB/Mexicali	MBB/Mexicali	INRA Constantine
12	Bousselam/Adnan-1	Bousselam/Adnan-1	INRA Constantine
13	Jordan collection86/Ahlal	Jordan collection86/Ahlal	INRA Constantine
15	Massara- 01//Lahn/Ch12003	Massara-01//Lahn/Ch12003	INRA Constantine
16	Beliouni	Variété locale	Algérie
18	Ter-1//Mrf1/Stj2	Ter-1//Mrf1/Stj2	INRA Constantine
	F ₂		ITGC Sétif
2		Megress/Bousselam	ITGC Sétif
5		GTAdur/MBB	ITGC Sétif
8		Benimestina/ Ofanto	INRA
11		MBB/Mexicali//Bousselam/Adnan-1	Constantine
14		Jordan collection86/Ahlal/3/Massara- 01//Lahn/Ch12003	INRA Constantine
17		Beliouni/3/Ter-1//Mrf1/Stj2	INRA Constantine

II.3. Caractères mesurés

Les notations et les mesures ont portés sur la détermination de :

II.3.1. Caractères phéno-morphologiques

- La durée de la phase végétative (DHE, j)

La durée de la phase végétative est déterminée en nombre de jours calendaires comptés à partir du 1^{ier} janvier à la date de réalisation de 50% de l'épiaison. La date d'épiaison est indiquée par la sortie des barbes de la gaine de la dernière feuille complètement développée.

- La surface foliaire (SF, cm²)

La surface foliaire est estimée à partir d'un échantillon de 10 feuilles, dont on mesure la longueur (L) et la plus grande largeur de la feuille étendard.

La surface foliaire est déduite par la formule :

$$SF \text{ (cm}^2\text{)} = 0.607 \text{ (L x l)}$$

Où :

SF = surface moyenne de la feuille étendard (cm²)

L = longueur moyenne de la feuille étendard (cm)

l = largeur moyenne de la feuille étendard (cm)

0,607 = coefficient de régression de la surface estimée à partir du papier grammage sur celle déduite par le produit (L x l) (Spagnoletti-Zeuli et Qualset, 1990).

- La hauteur de la plante, la longueur de l'épi, la biomasse aérienne, le poids des épis et l'indice de récolte

La récolte de chaque génotype est faite par plante, pour les lignées parentales et les populations F₂.

La hauteur de la plante (H, cm), est prise à maturité, du niveau du sol au sommet de la strate moyenne des épis par plante, barbes non incluses. La longueur de l'épi (LE, cm) est mesurée à partir de la base de l'épi jusqu'à son extrémité hormis les barbes. On détermine également la biomasse aérienne (BIO, g) et le poids des épis (PE, g) pour chaque plante

récoltée. Le rendement en grains (RDT, g) et la biomasse aérienne par plante ont servi à déterminer l'indice de récolte (HI, %) :

$$\text{HI}(\%) = \left(\frac{\text{RDT grains}}{\text{Biomasse aérienne}} \right) \times 100$$

II.3.2. Caractères physiologiques

- La teneur relative en eau (TRE, %)

La mesure de TRE a été réalisée au stade épiaison sur un échantillon de trois feuilles échantillonnées pour déterminer l'état hydrique des plantes. Selon la méthode de Barrs, (1968) les feuilles échantillonnées sont coupées à la base du limbe, elles sont pesées immédiatement pour obtenir leur poids frais (PF). Ces feuilles sont mises par la suite dans des tubes à essai remplis d'eau distillée et placés à l'obscurité dans un endroit frais, après 24h les feuilles sont retirées, passées dans un papier buvard pour absorber l'eau de la surface, pesées de nouveau pour obtenir le poids de la pleine turgescence (PT). Les échantillons sont enfin mis à l'étuve régler à 80°C pendant 48h et pesés pour avoir leur poids sec (PS). La teneur relative en eau est calculée par la formule suivante (la formule de Clarke et McCaig, 1982) :

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

Où :

TRE = teneur relative en eau foliaire (%)

PF = poids de la matière fraîche foliaire (mg)

PS = poids de la matière sèche foliaire (mg)

PT = poids de la matière turgide foliaire (mg)

- L'intégrité cellulaire (IC, %)

Le test de l'intégrité cellulaire (IC) est effectué sur les deux dernières feuilles entièrement développées, prises au hasard par génotype et traitement. Ces échantillons sont lavés à l'eau courante. Les feuilles sont découpées en segments de 1 cm de long. Un échantillon de 10 segments du limbe foliaire est mis dans un tube à essai et lavé par trois avec de l'eau distillée pour enlever les poussières adhérentes qui influent sur les résultats du test. A Chaque tube on ajoute 10 ml d'eau distillée déminéralisée. Les tubes, ainsi traités, sont périodiquement agités manuellement et laissés à la température ambiante du laboratoire. Une première lecture est faite (EC1) avec le conductimètre 24 heures après. Les tubes sont ensuite mis au bain marie,

dont la température est portée à 100°C, pendant 60 minutes. Une deuxième lecture de la conductivité est faite 24 heures après le passage des échantillons dans le bain marie (EC2). Le pourcentage de cellules endommagées par le stress hydrique est estimée, selon la procédure décrite par Bajji et *al.*, (2001), comme suit :

$$\% \text{ IC} = 100 (\text{EC1} / \text{EC2})$$

Où % IC est le % de cellules endommagées par le déficit hydrique, EC1, et EC2 sont respectivement les conductivités du traitement avant et après passage au bain marie.

- La température de la canopée (TCV, °C)

La température de la canopée est mesurée au stade début remplissage, à raison de trois lectures par génotype et répétition. Le thermomètre portable, à infrarouge, utilisé est de marque Teletemp (Modèle AG-42, Teletemp Corp., Fullerton, CA).

II.3.3. Caractères biochimiques

- Mesure du taux de chlorophylle totale (CHL, CCI)

Le taux de chlorophylle au niveau des feuilles a été mesuré à l'épiaison à l'aide d'un chlorophylle-mètre portable CCM-200 (Opti-Sciences, 8 Winn Avenue. Hudson, NH03051. USA). Cet appareil portable fonctionne sur pile et est conçu pour faire des mesures rapides et non destructives sur des échantillons de feuilles intactes. Le CCM-200 utilise l'absorbance pour estimer la teneur en chlorophylle. Deux longueurs d'onde (655 et 940 nm) sont utilisées pour la détermination de l'absorbance, l'une se trouve dans la gamme d'absorption de la chlorophylle et l'autre sert à compenser les différences mécaniques comme les épaisseurs des tissus. L'appareil mesure l'absorption sur ces 2 longueurs d'onde et calcule un indice noté CCI (Chlorophyll Content Index) qui est proportionnel à la quantité de chlorophylle présente dans l'échantillon mesuré. Trois prises de lecture sont effectuées sur le milieu de la feuille étandard à raison de dix plants par génotype, dont la moyenne est retenue pour l'analyse.

- Dosage de la proline (PROL, µg)

La proline est dosée selon la méthode de Troll et Lindsley, (1955) simplifiée et mise au point par Dreir et Gorring, (1974) citée par Monneveux et Nemmar, (1986).

Le principe est la quantification de la réaction proline-ninhydrine par mesure spectrophotométrique. La proline se couple avec la ninhydrine en formant un complexe coloré. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de proline dans l'échantillon.

La méthode consiste à mettre 100 mg de matière fraîche (pour chaque génotype), prélevée à l'épiaison sur le tiers médian de la dernière feuille dans un tube à essai. Un volume de 2 ml de méthanol à 40% est ajouté à l'échantillon et l'ensemble est porté à 85 C° dans un bain-marie pendant 1 heure.

Après refroidissement, 1 ml de la solution d'extraction est prélevé auquel est ajouté 1 ml d'acide acétique (CH₃COOH), 25 ml de ninhydrine (H₉H₆O₄) et 1 ml de mélange: eau distillée-acide acétique-acide orthophosphorique de densité 1.7 (120, 300, 80 : v/ v / v). L'ensemble est porté à ébullition pendant 30 mn au bain marie, puis refroidi et additionné de 5 ml de toluène lui sont ajoutés pour séparer les deux phases. Après agitation, une pincée de Na₂SO₄ anhydre est ajoutée dans chaque tube. La mesure de la coloration est effectuée à l'aide d'un spectrophotomètre à 528 nm.

Les valeurs obtenues sont converties en taux de proline par le biais d'une « courbe étalon » (Figure II.2), préalablement établie à partir d'une série de solution de concentration en proline connue. Cette courbe est utilisée pour déterminer les teneurs en proline dans les feuilles des plantes.

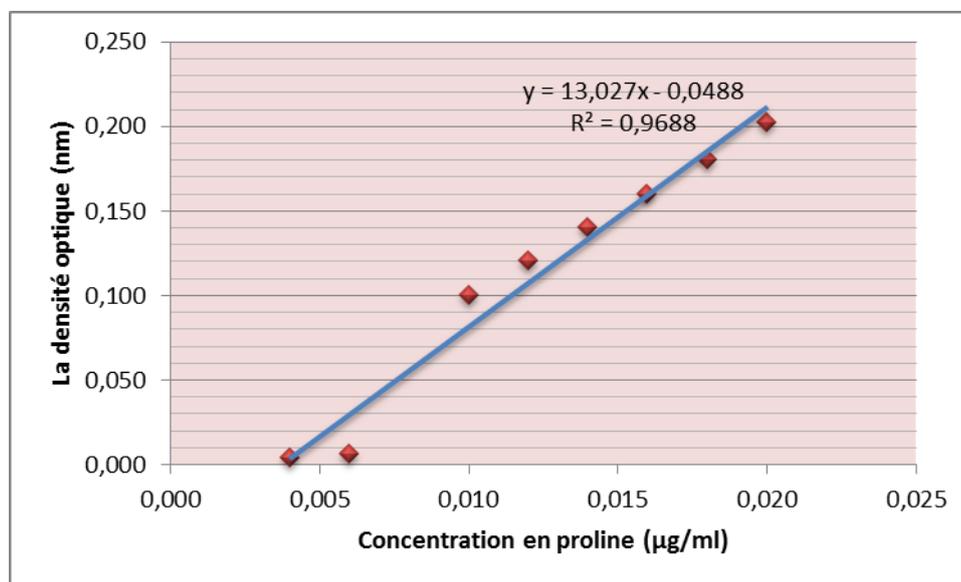


Figure II.1. Courbe étalon du dosage de la proline.

II.3.4. Le rendement et ses composantes

- Le nombre d'épis, de grains par épi, le rendement grain et le poids de 1000 grains

Les épis par plante sont comptés (NE), ils sont décortiqués, pour déterminer le rendement par plante (RDT, g). Le nombre de grains produit par plante est compté et utilisé pour estimer le poids de 1000 grains (PMG, g).

Le nombre de grains par épi (NGE) est estimé par le rapport entre le nombre de grains sur le nombre d'épis produit par plante.

$$\text{NGE} = \text{NGP} / \text{NE}$$

NGE= nombre moyen de grains par épi

NGP= nombre de grains comptés par plante

NE= nombre d'épis produits par plante

II.4. Analyses des données

II.4.1. Analyse de la variance

Les données collectées ont été soumises à une analyse de la variance par le logiciel CoStat 6. 400, selon un plan aléatoire complet à randomisation totale avec un seul facteur.

II.4.2. Analyse des corrélations

Les corrélations phénotypiques entre les différentes variables chez les parents et chez les populations F₂ sont calculées par le logiciel Exel (2007), selon la méthode décrite par Quinn et Keough (2002). Ces corrélations donnent une idée sur les caractères susceptibles d'être utilisés comme critères de sélection.

II.4.3. Estimation des coefficients de variation génotypique et phénotypique

Les composantes de la variation sont déduites pour estimer le degré d'héritabilité des caractères mesurés ainsi que les coefficients de la variabilité phénotypique (CV_P) et génotypique (CV_G). Ces coefficients sont calculés par caractère par le rapport des écarts types des variances phénotypique et génotypique sur la moyenne du caractère considéré :

$$\text{CV}_P (\%) = 100 (\sqrt{\sigma^2_P} / \text{moyenne})$$

$$\text{CV}_G (\%) = 100 (\sqrt{\sigma^2_G} / \text{moyenne})$$

Où σ^2_P et σ^2_G sont la variance phénotypique totale et sa composante génétique. Les composantes de la variance sont estimées sur la base du calcul des variances de la F₂, prise comme étant égale à la variance phénotypique totale (σ^2_P), la variance des parents est prise comme étant égale à la variance résiduelle (σ^2_e), et la composante génétique de cette variance qui est déduite par différence (Falconer, 1982):

$$\sigma^2_G = \sigma^2_p - \sigma^2_e$$

II.4.4. Estimation de l'héritabilité

D'après Falconer et Mackey (1996), l'héritabilité au sens large (h^2_{sl}) est déterminée comme suit :

$$h^2_{sl} = \sigma^2_G / \sigma^2_p$$

Où :

σ^2_G = variance génotypique

σ^2_p = variance phénotypique

II.4.5. Estimation du gain génétique en termes de pourcentage de moyenne

Le gain génétique en termes de pourcentage de moyenne est déterminé comme suit :

$$GAM = (GA/GM) \times 100$$

Avec :

GM = moyenne de la population F_2

GA = Le gain génétique (GA) attendu dans la prochaine génération en réponse à la sélection, il est calculé comme suit :

$$GA = k \times \sqrt{\sigma^2_p} \times h^2_{sl}$$

Où:

k = intensité de sélection à 0.05 = 2.06

$\sqrt{\sigma^2_p}$ = écart type de la variance phénotypique sous sélection

h^2_{sl} = l'héritabilité au sens large

Le gain génétique attendu en termes de pourcentage de moyenne a été classé selon Falconer et Mackey (1996) en trois catégories : faible (< 10%), modéré (10 –20%) et élevé (> 20%).

II.4.6. Analyse en composantes principales

L'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode exploratoire et descriptive (Dagnelie, 1986). Elle est utilisée pour mieux visualiser les liaisons complexes qui existent entre les variables mesurées et les différents génotypes étudiés.

RESULTATS ET DISCUSSION

CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSION

III.1. Conditions climatiques

Le cumul pluviométrique enregistré entre septembre et juin, de la campagne agricole 2013/2014 était de 383.40 mm. Il est légèrement supérieur à celui de la moyenne des vingt ans 1993/2013 qui est de 356.32 mm (Figure III.1).

La distribution des précipitations au cours de la campagne moyenne 1993/2013 est relativement plus homogène, avec une moyenne supérieure à 30 mm pour la plupart des mois, mis à part les mois de mars et juin.

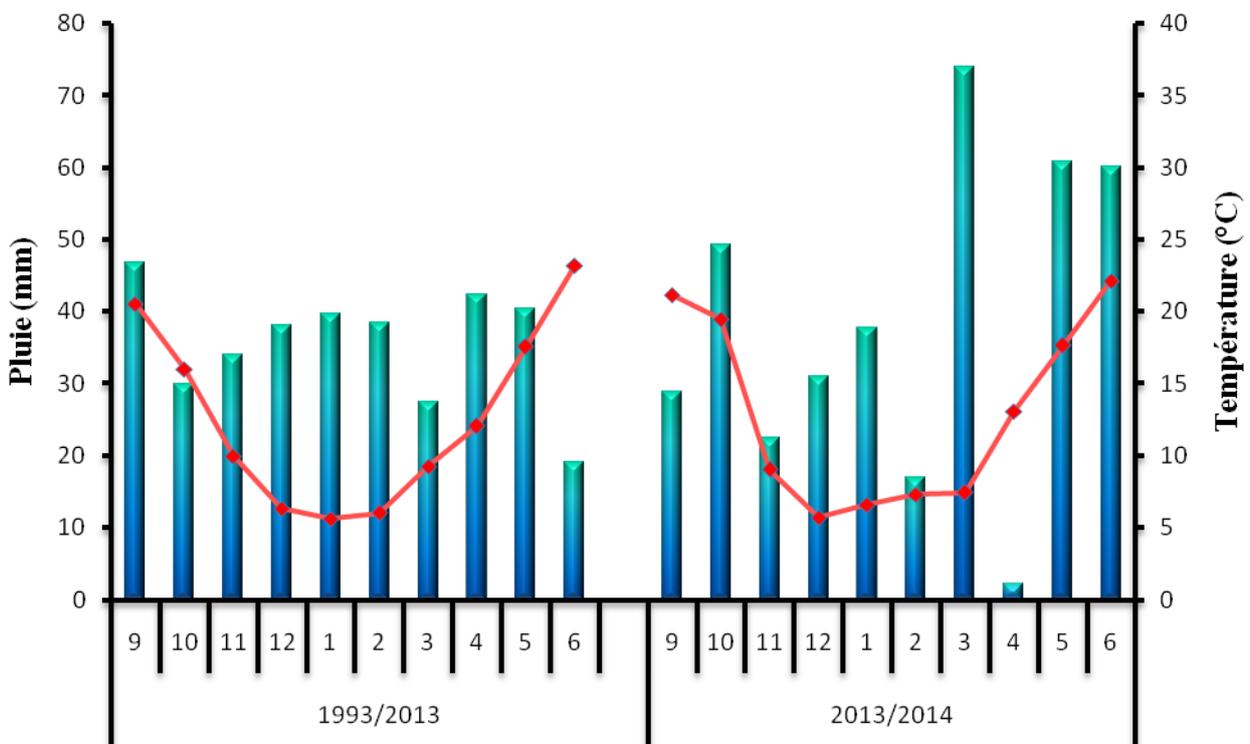


Figure III.1 : Pluviométrie et températures moyennes des 20 dernières années et celles de la dernière campagne enregistrées sur le site ITGC de Sétif.

La campagne 2013/2014 se caractérise par une répartition inter mensuelle hétérogène des pluies. Cette forte variation est une des caractéristiques des régions semi-aride (Figure III.1). Cette dernière campagne se démarque de la période 1993/2013 par une concentration des précipitations en mois de mars et en fin de cycle de la culture. En effet, le mois d'avril 2014 enregistre le cumul le plus faible avec 2.2 mm, alors que c'est l'inverse pour le mois de mars qui a reçu une quantité de pluie maximale de 74 mm. Cette campagne se distingue par un hiver

sec notamment au cours du mois de février (16.9 mm) et par une fin de cycle pluvieuse avec 60.2 mm pour le mois de juin. Durant la période maturité de la culture (mois de juin 2014), nous avons enregistré une tombée de la grêle avec une quantité de 10 cm, ce qui a provoqué une perte importante des rendements.

En analysant le régime thermique, nous constatons qu'au cours de cette campagne, les mois de novembre à mars enregistrent des températures moyennes mensuelles inférieure à 10°C avec une température moyenne minimale de 5.7°C notée au cours du mois de décembre, La température moyenne s'élève rapidement à partir du mois d'avril, passant du dessous de 10°C à plus de 20°C puis elle s'élève rapidement atteignant une valeur maximale de 22.1°C enregistrée au cours du mois de juin, cette augmentation de la température coïncide avec la phase de remplissage des grains.

III.2. Etude de la variabilité phénotypique

III.2.1. Les caractères phéno-morphologiques, le rendement et ses composantes

L'analyse de la variance révèle un effet génotype significatif pour l'ensemble des caractères morphologiques mesurés. Ces résultats indiquent la présence d'une variabilité assez importante entre les génotypes étudiés, ce qui justifie l'analyse génétique pour la sélection à fin d'améliorer la productivité et l'adaptation du blé dur en zones semi-arides (Tableau III.1 ; Tableau III.2).

Tableau III.1. Carrés moyens de l'analyse de la variance des caractères phéno-morphologiques

Source de variation	ddl	SF	DHE	HT	BIO	HI	LE	PE
Génotypes	17	63.60**	100.29**	451.55**	70.06**	354.97**	3.73**	13.16**
Parents	11	68.77**	133.64 ^{ns}	360.37**	50.63**	424.15**	3.44**	10.41**
F ₂	05	46.31*	39**	175.68**	30.27 ^{ns}	134.78 ^{ns}	2.92**	1.62 ^{ns}
Parent vs F ₂	1	93.21**	40.00**	2833.83**	482.81**	694.86**	10.92**	101.11**
Erreur	153	5.73	1.77	17.52	7.85	64.79	0.26	1.77
CV%		17.61	1.08	6.99	24.71	25.62	7.90	36.66

SF = Surface foliaire de la feuille étandard, DHE = Durée de la phase végétative, HT = Hauteur de la plante, BIO = Biomasse aérienne, HI = Indice de récolte, LE = Longueur de l'épi, PE = Poids des épis, ns. * = effet non significatif et significatif au seuil de 5%, respectivement.

Cette analyse révèle également un effet parent significatif pour l'ensemble des caractères, hormis la durée de la phase végétative qui présente un effet non significatif. Chez la génération F₂ un effet significatif est noté uniquement pour la surface foliaire, la durée de la phase végétative, la hauteur, la longueur de l'épi, le nombre de grains par épi et le poids de mille

grains. Le contraste entre les parents et les F₂ montre un effet significatif pour tous les caractères étudiés, suggérant que les F₂ diffèrent significativement de leurs parents (Tableau III.1 ; Tableau III.2).

Tableau III.2. Carrés moyens de l'analyse de la variance du rendement et ses composantes.

Source de variation	ddl	NE	NGE	PMG	RDT
Génotypes	17	2.21 ^{**}	175.92 ^{**}	244.14 ^{**}	5.97 ^{**}
Parents	11	1.83 ^{**}	130.76 ^{**}	282.54 ^{**}	4.24 ^{**}
Génération F ₂	05	1.98 ^{ns}	119.12 ^{**}	126.27 ^{**}	1.08 ^{ns}
Parent vs F ₂	1	8.73 [*]	956.65 ^{**}	411.08 ^{**}	49.37 ^{**}
Erreur	153	1.03	14.16	36.51	0.67
CV%		26.24	24.42	16.54	37.51

NE = Nombre d'épis par plante, NGE = Nombre de grains par épi, RDT = Rendement grain par plante, PMG = Poids de mille grains, ns, * = effet non significatif et significatif au seuil de 5%, respectivement

L'étude des valeurs moyennes des caractères phéno-morphologiques et celle du rendement et ses composantes indique que les F₂ présentent des moyennes supérieures à celles des parents mis à part la surface foliaire et la durée de la phase végétative pour lesquelles les parents s'expriment mieux. Les résultats obtenus concordent avec ceux de Fellahi (2013) qui trouve que les meilleures valeurs moyennes sont variables, selon le caractère, d'un génotype à un autre et qu'aucun génotype ne se distingue par des valeurs élevées pour un grand ensemble de variables mesurées.

Tableau III.3. Valeurs moyennes des caractères morphologiques mesurés chez les parents et chez les F₂.

Code	Génotypes	SF	DHE	HT	BIO	LE	HI	NE	NGE	PMG	PE	RDT
	Parents											
1	Megress	19.23	119.00	54.70	9.71	5.98	34.21	4.40	12.94	35.71	3.32	1.86
3	Bousselam	11.57	122.00	55.98	7.71	5.68	26.80	3.20	9.90	40.31	1.94	1.30
4	GTAdur	14.15	122.00	54.95	10.07	6.55	25.02	3.40	12.73	33.66	2.52	1.43
6	MBB	10.77	125.00	54.66	13.02	5.87	35.65	4.40	13.81	40.77	4.61	2.49
7	Benimestina	11.55	123.00	54.85	8.98	6.12	25.96	3.60	9.83	29.70	2.29	1.20
9	Ofanto	16.33	122.00	58.25	12.02	6.14	40.46	3.20	20.52	43.91	4.89	3.26
10	MBB/Mexicali	15.80	120.00	56.58	7.56	5.50	24.94	3.40	9.35	34.11	1.83	1.06
12	Bousselam/Adnan-1	14.07	132.00	45.78	11.28	6.18	24.41	3.40	13.47	32.03	2.73	1.46
13	Jordan collection86/Ahlal	15.71	123.00	52.23	9.27	6.95	31.97	4.00	16.40	24.55	2.96	1.59
15	Massara-01//Lahn/Ch12003	16.44	122.00	63.80	7.82	7.63	41.67	3.80	15.60	36.04	3.23	1.97
16	Beliouni	11.85	129.00	63.45	10.01	6.63	25.44	4.00	11.45	39.71	2.63	1.58
18	Ter-1//Mrf1/Stj2	12.01	123.00	68.73	14.81	6.08	23.80	3.75	19.31	35.18	4.36	2.53
	Génération F₂											
2	Megress/Bousselam	12.49	121.00	61.13	11.90	6.24	35.78	3.90	17.03	43.98	4.26	2.93
5	GTAdur/MBB	11.95	125.00	67.90	14.51	6.59	31.75	4.40	17.71	36.12	4.54	2.76
8	Benimestina/Ofanto	12.02	121.00	59.30	11.95	6.74	36.21	3.60	19.53	41.31	4.29	2.86
11	MBB/Mexicali//Bousselam/Adnan-1	12.54	122.00	68.42	13.88	6.93	35.66	4.20	21.66	39.44	4.99	3.38
14	Jordan collection86/Ahlal/3/Massara-01//Lahn/Ch12003	16.56	121.00	66.29	13.19	7.79	37.85	4.10	22.81	34.57	5.27	3.17
17	Beliouni/3/Ter-1//Mrf1/Stj2	10.01	125.00	69.43	16.51	6.48	27.92	4.90	13.27	36.66	4.84	2.43
	Moyennes Parents	14.12	123.50	56.99	10.18	6.27	30.03	3.72	13.78	35.47	3.11	1.81
	Moyennes F ₂	12.60	122.50	65.41	13.65	6.80	34.20	4.18	18.67	38.68	4.70	2.92
	Ppds _{5%}	2.11	1.18	3.70	2.47	0.45	7.11	0.90	3.32	5.34	1.18	0.72

SF = Surface foliaire de la feuille étendard, DHE = Durée de la phase végétative, HT = Hauteur de la plante, BIO = Biomasse aérienne, HI = Indice de récolte, LE = Longueur de l'épi, NE = Nombre d'épis par plante, NGE = Nombre de grains par épi, RDT = Rendement grain par plante, PMG = Poids de mille grains, PE = Poids des épis, ns. * = effet non significatif et significatif au seuil de 5%, respectivement.

III.2.1.1. La durée de la phase végétative

La valeur moyenne de la durée de la phase végétative la plus élevée est enregistrée chez le parent N° 12 (Bousselam/Adnan-1) avec une durée moyenne de 132 jours (plus tardif), alors que N°1 (Megress) est le plus précoce avec une moyenne de 119 jours. La comparaison des valeurs moyennes prises par les F₂ montre que N°2 (Megress/Bousselam), N°8 (Benimestina/Ofanto) et N°14 (Jordan collection86/Ahlal/3/Massara-01//Lahn/Ch12003) sont les plus précoces avec une moyenne de 121 jours, alors que N°5 (GTAdur/MBB) et N°17 (Beliouni/3/Ter-1//Mrf1/Stj2) présentent la durée de la phase végétative la plus longue avec une moyenne de 125 jours. Tandis que la F₂ N°11 (MBB/Mexicali//Bousselam/Adnan-1) prend une valeur intermédiaire de 122 jours (Tableau III.3 ; Figure III.2). Les F₂ des six croisements étudiés présentent peu de différence pour cette variable, vu que les valeurs moyennes sont très proches. Ces résultats concordent avec ceux de Laala (2010) qui a trouvé que les trois populations F₃ de blé dur offrent peu de différence de ce point de vue. Cependant d'autres caractères liés à la durée de la phase végétative doivent être prises en compte dans le processus de sélection pour pouvoir privilégier une population par rapport à l'autre.

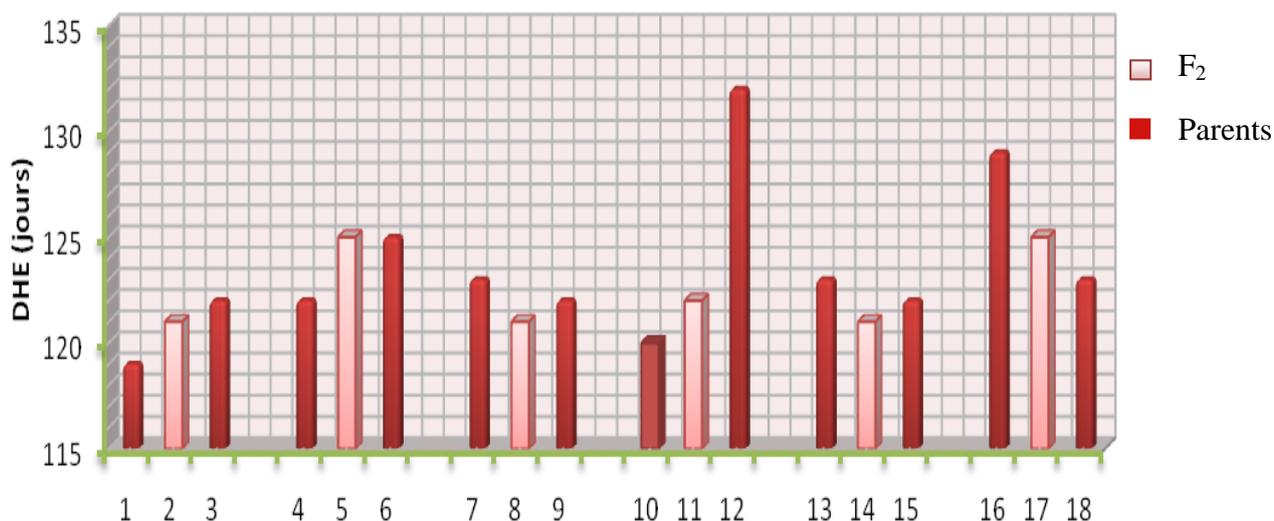


Figure III.2. Transgressions de la durée de la phase végétative des F₂ et leurs parents

1= Megress, 3= Bousselam, 4= GTAdur, 6= MBB, 7= Benimestina, 9= Ofanto, 10= MBB/Mexicali, 12= Bousselam/Adnan-1, 13= Jordan collection86/Ahlal, 15= Massara-01//Lahn/Ch12003, 16= Beliouni, 18= Ter-1//Mrf1/Stj2. 2= Megress/Bousselam, 5= GTAdur/MBB, 8= Benimestina/Ofanto, 11= MBB/Mexicali//Bousselam/Adnan-1, 14= Jordan collection86/Ahlal/3/Massara-01//Lahn/Ch12003, 17= Beliouni/3/Ter-1//Mrf1/Stj2, DHE = Durée de la phase végétative.

Le choix du cycle de végétation est donc très important pour que la plante puisse faire une bonne utilisation des disponibilités du milieu tout en s'harmonisant aux conditions climatiques de l'environnement de production (Bouzerzour et *al.*, 2002). La précocité apparaît comme un

caractère dont il faut tenir compte dans la recherche d'une plus grande stabilité de la production dans la mesure où il conditionne la stabilité d'une des composantes du rendement (Bouzerzour et *al.*, 1998a). Ali Dib, (1992) ; Ben Salem et *al.*, (1997); Bouzerzour et *al.*, (1998a) indiquent que le sens de sélection est dirigé vers une plus grande précocité d'épiaison pour améliorer les productions des zones sèches. Ce mécanisme biologique pourrait être quantifié d'esquive puisque les géotypes précoces peuvent accomplir leur cycle en évitant ainsi la sécheresse terminale (Megherbi et *al.*, 2012). Toutefois, la précocité est un mécanisme important de résistance dans ces conditions, mais il ne suffit pas, étant donné la possibilité d'avoir des stress au début ou au milieu de saison (Hayek et *al.*, 2005), et ça c'est le cas de la présente campagne. Oosterom et *al.*, (1993) et Abbassenne et *al.*, (1997) affirment qu'une précocité excessive au stade épiaison fait courir les risques de destruction des organes floraux par le gel tardif en zones d'altitude. L'utilité de la sélection sur la base de la précocité au stade épiaison est justifiée aussi par le souci de donner à la plante un cycle de développement qui lui permet d'éviter les contraintes climatiques tels que le froid tardif (Bouzerzour et Benmahammed, 1994), la sécheresse et les hautes températures de fin de cycle (Oosterom et *al.*, 1993).

III.2.1.2. La surface de la feuille étendard

La valeur moyenne de la surface de la feuille étendard est significativement plus importante chez le parent N° 1 (Megress) avec 19.23cm², alors que la plus réduite est présente chez le parent N° 6 (MBB) avec une valeur de 10.77 cm². Chez la F₂, N° 17 (Beliouni/3/Ter-1//Mrf1/Stj2) mesure la surface foliaire la plus faible avec 10.01 cm² par contre la F₂ N°14 (Jordan collection86/Ahlal/3/Massara-01//Lahn/Ch12003) développe la surface foliaire la plus large avec une valeur de 16.56 cm² (Tableau III.3 ; Figure III.3). Ces résultats montrent que la surface foliaire exprimée par les F₂ est relativement plus réduite que celle des parents.

La surface foliaire conditionne la résistance à la sécheresse, vu qu'une surface foliaire élevée perdra plus d'eau qu'une faible surface foliaire (Belkharchouche et *al.*, 2009). De ce fait, une surface foliaire réduite comme celle de la F₂ N°17 (Beliouni/3/Ter-1//Mrf1/Stj2) perdra moins d'eau, donc cette dernière adopte une stratégie d'évitement, qui permet le maintien d'un potentiel hydrique élevé dans la plante (Belhassen et *al.*, 1995). Cependant, Benmahammed et *al.*, (2008) indiquent que suite à la variabilité climatique des hauts plateaux et à l'intensité des stress de fin de cycle, la stratégie d'évitement est théoriquement la plus intéressante, car la plante évite le stress au lieu de le contrer. En effet la réduction de la surface foliaire lorsque le

stress hydrique s'installe est une stratégie développée par les plantes pour réduire de leurs besoins et pertes en eau (O'Toole et Cruz, 1980). La meilleure F₂ pour cette caractéristique est N° 17 (Beliouni/3/Ter-1//Mrf1/Stj2).

D'autre part, Cherfia, (2010) trouve une corrélation positive entre le rendement et la surface foliaire de la feuille étandard. Ainsi, les variétés de blé étudiées qui se distinguent par les surfaces les plus élevées donnent un rendement en grains très important. Toute fois une diminution de la surface foliaire peut affecter le rendement à cause de la réduction de la capacité photosynthétique (Lefi et *al.*, 2004). D'après Araus et *al.*, (1998) la sélection pour une surface foliaire large contribue à des améliorations du rendement grain. De ce fait, la sélection pour cette caractéristique privilégie la F₂ N°14 (Jordan collection86/Ahlal/3/Massara-01//Lahn/Ch12003).

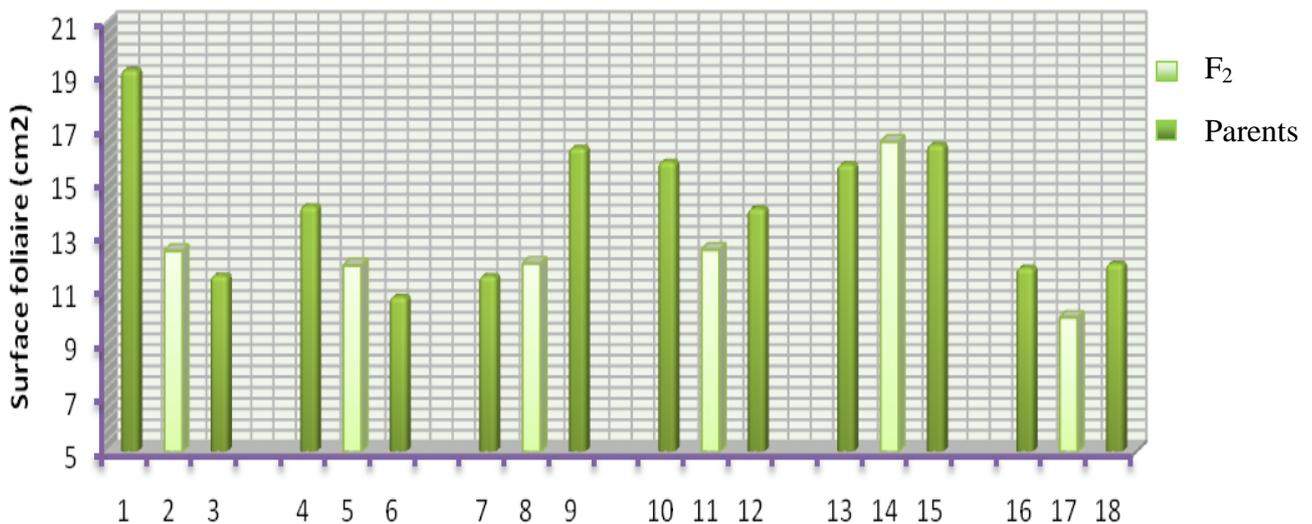


Figure III.3. Transgressions de la surface foliaire des F₂ et leurs parents

1= Megress, 3= Bousselam, 4= GTAdur, 6= MBB, 7= Benimestina, 9= Ofanto, 10= MBB/Mexicali, 12= Bousselam/Adnan-1, 13= Jordan collection86/Ahlal, 15= Massara-01//Lahn/Ch12003, 16= Beliouni, 18= Ter-1//Mrf1/Stj2. 2= Megress/Bousselam, 5= GTAdur/MBB, 8= Benimestina/Ofanto, 11= MBB/Mexicali//Bousselam/Adnan-1, 14=Jordan collection86/Ahlal/3/Massara-01//Lahn/Ch12003, 17= Beliouni/3/Ter-1//Mrf1/Stj2.

III.2.1.3. La hauteur de la plante

La valeur moyenne de la hauteur de la plante la plus élevée est notée chez le parent N° 18 (Ter-1//Mrf1/Stj2), en revanche le parent N°12 (Bousselam/Adnan-1) enregistre la plus faible valeur pour cette caractéristique avec des valeurs de 68.73cm et 45.78 cm respectivement (Tableau III.3 ; Figure III.4). En Comparaison avec les résultats de Belkharchouche et *al.*,

(2009) ; Laala (2010) ; Haddad (2010) ; Saraoui (2011) qui ont obtenu des valeurs moyennes élevées de la hauteur de la variété MBB avec 147.5 cm, 118cm, 118.1 cm et 125.4cm respectivement. Tandis que la hauteur de cette variété (54.66cm) a subi une baisse considérable, cette réduction pourrait s'expliquer par les conditions climatiques défavorables survenues durant cette campagne. En effet, l'avènement des hautes températures dès le printemps, le plus souvent associé au déficit hydrique, accélère le développement de la plante au détriment de la croissance (Bahlouli et *al.*, 2006). Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Abbassenne et *al.*, (1997) qui montrent que la sécheresse qui a été observée au mois d'avril 1993 où la pluviométrie enregistrée est de 12,5 mm, a engendré une stagnation de la croissance végétative. Il faut signaler, que la hauteur des autres variétés concernées par cette étude a été réduite également mais cette réduction est moins importante que celle enregistrée chez MBB, suggérant que la hauteur finale de ces variétés est moins sensible aux effets des stress précoces.

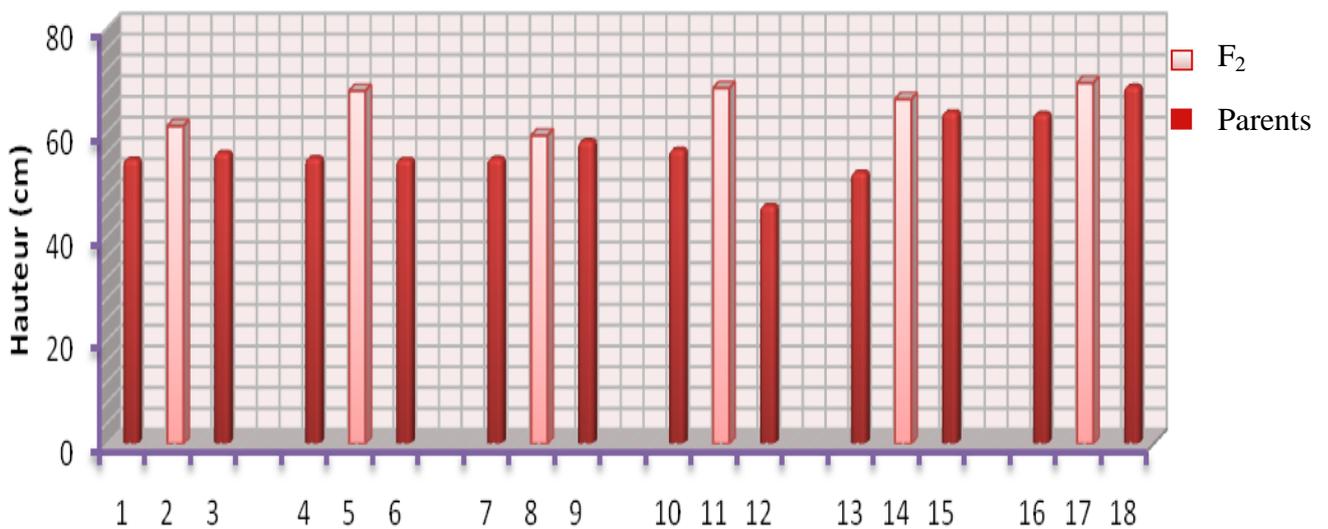


Figure III.4. Transgressions de la hauteur de la plante des F₂ et leurs parents

1= Megress, 3= Bousselam, 4= GTAdur, 6= MBB, 7= Benimestina, 9= Ofanto, 10= MBB/Mexicali, 12= Bousselam/Adnan-1, 13= Jordan collection86/Ahlal, 15= Massara-01//Lahn/Ch12003, 16= Beliouni, 18= Ter-1//Mrf1/Stj2. 2= Megress/Bousselam, 5= GTAdur/MBB, 8= Benimestina/Ofanto, 11= MBB/Mexicali//Bousselam/Adnan-1, 14= Jordan collection86/Ahlal/3/Massara-01//Lahn/Ch12003, 17= Beliouni/3/Ter-1//Mrf1/Stj2.

Chez les générations F₂, la lignée N°17 (Beliouni/3/Ter-1//Mrf1/Stj2) mesure la hauteur la plus élevée avec une valeur de 69.43 cm, tandis que la lignée N°8 (Benimestina/Ofanto) est la plus courte enregistrant une hauteur de 59.30 cm (Tableau III.3 ; Figure III.4). Ces résultats indiquent que la hauteur chez les lignées F₂ s'exprime mieux que chez les parents. Blum et *al.*,

(1991) ; Bahlouli et al., (2005) ; Annichiarico et al., (2005) ; Ehdaie et al., (2006) et Menad, (2009) trouvent qu'une hauteur de paille importante est une caractéristique désirable en zone semi-aride, suite à ses effets bénéfiques lors des années sèches. Ces effets sont attribués à la capacité de stockage et de transfert des substrats glucidiques pour la finition du grain. Bouzerzour et Monneveux (1992) observent que les variétés, les plus hautes, produisent un grain plus gros et elles sont plus tardives à l'épiaison. Rebetzke et al., (2002) trouvent que l'importance de la hauteur sous stress est liée à la capacité de croissance du système racinaire en profondeur. De ce fait, une paille haute est souvent associée d'un système racinaire profond ce qui conférerait à la plante une meilleure capacité d'extraction de l'eau du sol. Sur cette base, les résultats des six croisements réalisés montrent que la meilleure F₂ pour cette caractéristique est N°17 (Beliouni/3/Ter-1//Mrf1/Stj2) générée du plus haut parent.

III.2.1.4. La biomasse aérienne à maturité

Chez les parents, la biomasse aérienne mesurée en fin de cycle enregistre une valeur moyenne maximale de 14,81 g/plante, chez le parent N° 18 (Ter-1//Mrf1/Stj2), et une valeur moyenne minimale de 7.56 g/plante chez le parent N°10 (MBB/Mexicali). La valeur moyenne de la biomasse aérienne accumulée à maturité la plus faible est exprimée par la F₂ N° 2 (Megress/Bousselam) avec 11.90 g/ plante alors que la F₂ N°17 (Beliouni/3/Ter-1//Mrf1/Stj2) qui accumule le plus de biomasse aérienne avec 16.51 g/plante (Tableau III.3 ; Figure III.5).

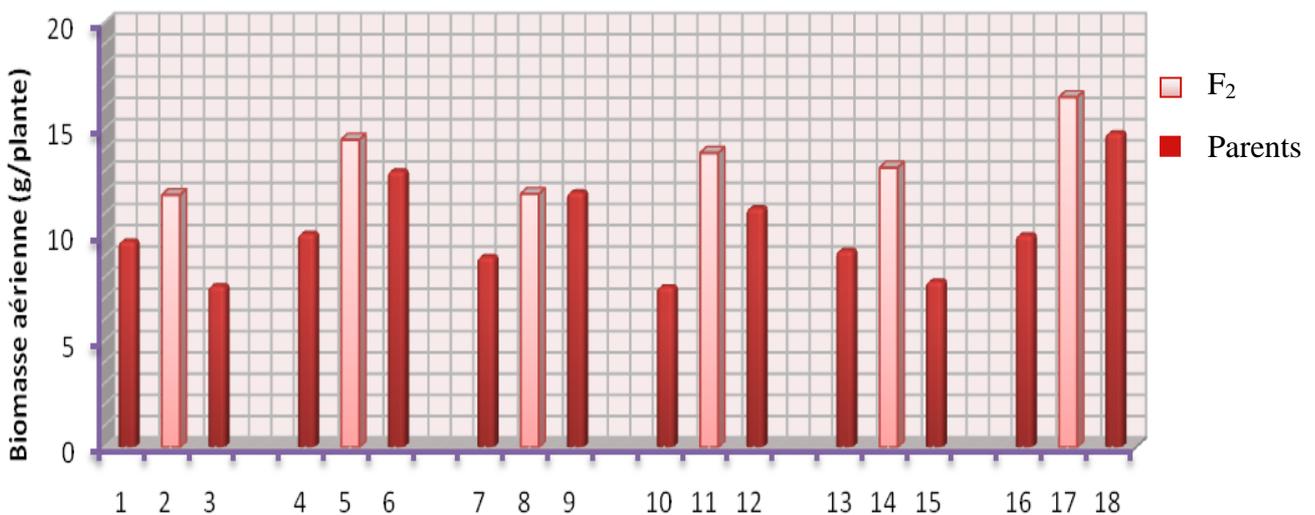


Figure III.5. Transgressions de la biomasse aérienne à maturité des F₂ et leurs parents

1= Megress, 3= Bousselam, 4= GTAdur, 6= MBB, 7= Benimestina, 9= Ofanto, 10= MBB/Mexicali, 12= Bousselam/Adnan-1, 13= Jordan collection86/Ahlal, 15= Massara-01//Lahn/Ch12003, 16= Beliouni, 18= Ter-1//Mrf1/Stj2. 2= Megress/Bousselam,

La capacité de produire une biomasse aérienne acceptable à maturité est une caractéristique désirable dans les zones semi-arides vu la variabilité du climat (Bouzerzour et *al.*, 2000 ; Benmahammed et *al.*, 2010). Siddique et *al.*. (1989) soulignent que la biomasse élevée est la cause principale des rendements élevés enregistrés chez les variétés récentes. A ce sujet, les travaux de Boukerou et Rasmusson, (1990) ; sharma et *al.*, (1991) ; Benmahammed (1995) ; Bouzerzour et *al.*, (1998a) ; Laala (2010) rapportent une forte corrélation entre le rendement en grain et la biomasse aérienne ce qui montre que la sélection sur la base de la biomasse amène un gain appréciable dans le rendement. La F₂ N°17 (Beliouni/3/Ter-1//Mrf1/Stj2) est tout indiqué pour la sélection sur la base de la biomasse aérienne à maturité.

III.2.1.5. L'indice de récolte

Selon Benmahammed et *al.*, (2003) et Bousba (2012) l'indice de récolte représente le rapport du rendement en grains sur le rendement total (grains+ paille) : c'est un indicateur de la capacité du génotype à produire des grains sous les contraintes hydrique auxquelles il est soumis, une valeur élevée de ce rapport signifie que la translocation de photosynthétats vers les sites est bonne et qu'une part importante de ces derniers a contribué au remplissage des grains.

L'indice de récolte des lignées parentales varie de 23.80 % pour N°18 (Ter-1//Mrf1/Stj2) à 41.67 % pour N°15 (Massara-01//Lahn/Ch12003). Tandis que chez les générations F₂, la F₂ N°14 (Jordan collection86/Ahlal/3/Massara-01//Lahn/Ch12003), enregistre l'indice de récolte le plus important avec 37.85% et la valeur moyenne la plus faible est exprimée par N°17 (Beliouni/3/Ter-1//Mrf1/Stj2) avec 27.92% (Tableau III.3 ; Figure III.6).

L'indice de récolte explique clairement la liaison entre la biomasse aérienne et le rendement en grain, car il représente la part de la biomasse produite qui est valorisée sous forme de grain (Bousba, 2012). Dakheel et *al.*, (1993) notent que l'indice de récolte est positivement corrélé avec le rendement en grain sous tous types d'environnements. Richards et *al.*, (1997) remarquent que l'indice de récolte sous les conditions de croissance non limitantes, est de 50 %, il chute à des valeurs de 35% dans les régions arides. L'indice de récolte est apparu particulièrement sensible au défaut d'alimentation hydrique, alors que d'autres auteurs concluent à une relative stabilité d'IR (Hochman, 1982 ; Hanks et Sorensen, 1985). Ainsi, une réduction d'indice de récolte traduira, selon les phases, soit une limitation par la source ou le

puits soit une limitation du transfert des assimilats de la source vers le puits (Debaeke et *al.*, 1996). L'indice de récolte est une caractéristique importante pour améliorer le rendement grain. (Ullah, 2004 ; Joshi et *al.*, 2004). Au vu des valeurs maximales exprimées, pour sélectionner sur la base de l'indice de récolte, le croisement N°14 (Jordan collection86/Ahlal/3/Massara-01//Lahn/Ch12003) est le plus indiqué.

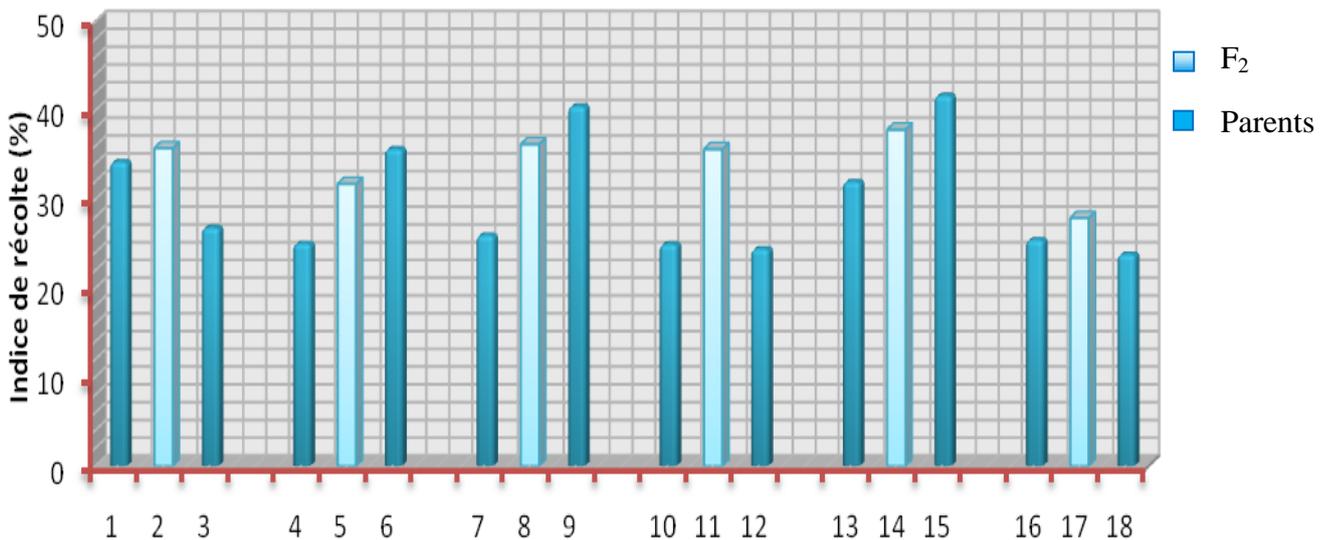


Figure III.6. Transgressions de l'indice de récolte des F₂ et leurs parents

1= Megress, 3= Bousselam, 4= GTAdur, 6= MBB, 7= Benimestina, 9= Ofanto, 10= MBB/Mexicali, 12= Bousselam/Adnan-1, 13= Jordan collection86/Ahlal, 15= Massara-01//Lahn/Ch12003, 16= Beliouni, 18= Ter-1//Mrf1/Stj2. 2= Megress/Bousselam, 5= GTAdur/MBB, 8= Benimestina/Ofanto, 11= MBB/Mexicali//Bousselam/Adnan-1, 14= Jordan collection86/Ahlal/3/Massara-01//Lahn/Ch12003, 17= Beliouni/3/Ter-1//Mrf1/Stj2.

III.2.1.6. Le poids et la longueur des épis

La moyenne du poids des épis par plante varie entre 1.83 g/plante valeur minimale enregistrée chez la lignée parentale N°10 (MBB/Mexicali) et 3.26 g/plante valeur maximale mesurée chez le parent N°9 (Ofanto). Alors que chez les F₂, il n'existe pas de différence significative pour cette variable. Les valeurs varient entre 4.26 g/plante notée chez la F₂ N°2 (Megress/Bousselam) et 5.27 g/plante enregistrée chez la F₂ N°14 (Jordan collection 86/Ahlal/3/Massara-01//Lahn/Ch12003), (Tableau III.3 ; Figure III.7). Le poids des épis comme celui de la biomasse arienne sont des indicateurs précieux de la capacité de production de l'hybride et de sa descendance (Saraoui, 2011). Golabadi et *al.*, (2005) mentionnent cependant que le sélection sur la base de la biomasse doit être faite sous conditions favorables, alors que

sous conditions défavorables, la sélection doit être conduite sur la base du poids de l'épi et du poids de 1000 grains. Les six générations F_2 offrent peu de différence pour ce caractère.

Pour la longueur de l'épi, la lignée parentale N°15 (Massara-01//Lahn/Ch12003) mesure la valeur moyenne la plus élevée pour cette variable avec 7.63 cm, par contre la valeur moyenne la plus faible est exprimée par le parent N°10 (MBB/Mexicali) avec 5.50cm. Tandis que chez les générations F_2 , la F_2 N°14 (Jordan collection86/Ahlal/3/Massara-01//Lahn/Ch12003) présente la valeur moyenne la plus élevée avec 7.79 cm et la F_2 N°2 (Megress/Bousselam) mesure le plus court épi avec une moyenne de 6.24 cm. (Tableau III.3 ; Figure III.7). D'après Blum, (1985), l'épi joue un rôle dans la photosynthèse et la production d'assimilats nécessaires au remplissage du grain, quand la dernière feuille devient sénescente, et sa contribution à la photosynthèse de la plante entière serait comprise entre 13% et 76% (Biscoe et *al.*, 1976). En cas de déficit hydrique, la photosynthèse de l'épi participe relativement plus au remplissage que la feuille étendard (Bammoun, 1997). De ce fait, une augmentation de la longueur de l'épi contribue à une augmentation de la capacité photosynthétique. Sur cette base, les résultats des six générations F_2 étudiées montrent que la meilleure F_2 pour cette caractéristique est N°14 (Jordan collection86 /Ahlal/3/Massara-01//Lahn/Ch12003).

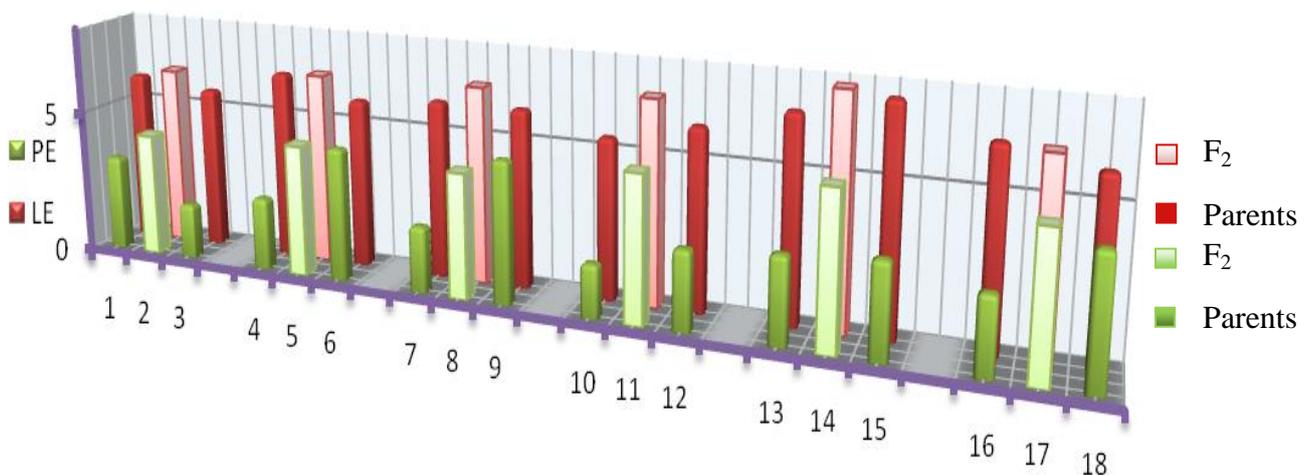


Figure III.7. Transgressions du poids et de la longueur des épis des F_2 et leurs parents

1= Megress, 3= Bousselam, 4= GTAdur, 6= MBB, 7= Benimestina, 9= Ofanto, 10= MBB/Mexicali, 12= Bousselam/Adnan-1, 13= Jordan collection86/Ahlal, 15= Massara-01//Lahn/Ch12003, 16= Beliouni, 18= Ter-1//Mrf1/Stj2. 2= Megress/Bousselam, 5= GTAdur/MBB, 8= Benimestina/Ofanto, 11= MBB/Mexicali//Bousselam/Adnan-1, 14=Jordan collection86/Ahlal/3/Massara-01//Lahn/Ch12003, 17= Beliouni/3/Ter-1//Mrf1/Stj2, LE = Longueur de l'épi, PE = Poids des épis.

III.2.1.7. Le rendement et ses composantes

Le rendement est déterminé par trois composantes principales : le nombre d'épis, de grains par épi et le poids de 1000 grains. Simane et *al.*, (1993) notent que l'une des raisons principales de la lenteur de l'amélioration des rendements dans les environnements stressants est le peu de connaissances sur les relations entre le rendement en grains et ses composantes et sur les effets de compensation qui s'instaurent entre ces dernières en fonction des effets des stress. L'effet de compensation entre les composantes du rendement est un mécanisme de développement important qui est à même de maintenir le rendement en grains lors de la reprise après l'effet du stress (Blum, 1996).

Le gain génétique du rendement grain est associé à l'augmentation du nombre de grains par m² et celui du poids de 1000 grains (Cox et *al.*, 1988). L'amélioration de la fertilité seule ou combinée avec le nombre d'épis par m² sont aussi rapportés comme étant une cause de l'augmentation du rendement grain des nouvelles variétés (Slafer et Andrade, 1989 ; Austin et Ford, 1989). En effet, Bouzerzour et Oudina, (1989), confirment que la composante la plus étroitement liée au rendement en grain en cas de déficit hydrique est le tallage épi.

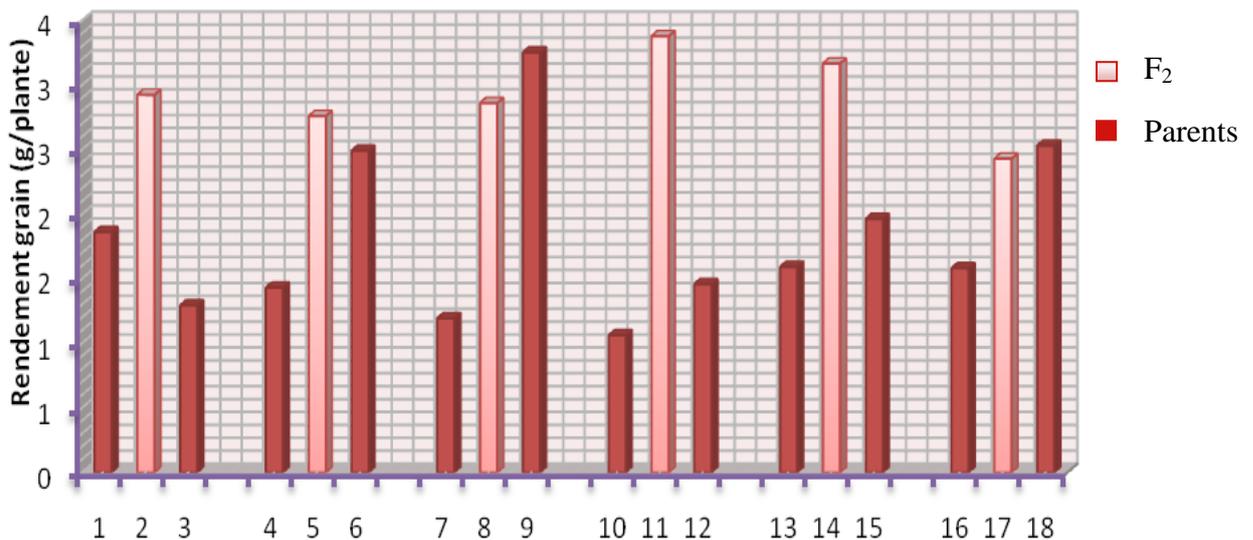


Figure III.8. Transgressions du rendement grain des F₂ et leurs parents

1= Megress, 3= Bousselam, 4= GTAdur, 6= MBB, 7= Benimestina, 9= Ofanto, 10= MBB/Mexicali, 12= Bousselam/Adnan-1, 13= Jordan collection86/Ahlal, 15= Massara-01//Lahn/Ch12003, 16= Beliouni, 18= Ter-1//Mrf1/Stj2. 2= Megress/Bousselam, 5= GTAdur/MBB, 8= Benimestina/Ofanto, 11= MBB/Mexicali//Bousselam/Adnan-1, 14=Jordan collection86/Ahlal/3/Massara-01//Lahn/Ch12003, 17= Beliouni/3/Ter-1//Mrf1/Stj2.

Chez les parents, c'est N° 9 (Ofanto) qui possède les valeurs les plus élevées pour le nombre de grains par épi, le poids de mille grains et le rendement grain par plante avec les valeurs moyennes de 20.52 grains/épi, 43.91g/plante et 3.26 g/plante respectivement. Par contre les lignées parentales N°1 (Megress) et N°6 (MBB) possèdent le même nombre d'épis par plante le plus élevé avec une valeur de 4.40 épis /plante.

Selon les résultats obtenus, il est observé que le parent N° 10 (MBB/Mexicali), présente les plus faibles valeurs moyennes pour le nombre de grains par épi et le rendement grain par plante avec des valeurs de 9.35 grains/épi et 1.06 g/plante respectivement. Le plus faible nombre d'épis est noté chez N° 9 (Ofanto) et N°3 (Bousselam) qui donnent 3.20 épis/plante, alors que N°13 (Jordan collection86/Ahlal) enregistre la plus faible valeur moyenne pour le poids de mille grains avec 24.55 g/plante (Tableau III.3 ; Figure III.8).

Parmi les 6 générations F₂ étudiées, la F₂, N°14 (Jordan collection86/Ahlal/3/ Massara-01//Lahn/Ch12003) enregistre la meilleure valeur moyenne pour le nombre de grains par épi avec 22.81 grains/épi. En revanche la F₂ N°17 (Beliouni/3/Ter-1//Mrf1/Stj2) donne la plus faible valeur moyenne pour cette caractéristique avec 13.27grains/épi. Le meilleur poids de mille grains est exprimé par la F₂ N°2 (Megress/Bousselam) avec un poids de 43.98 g/plante. La lignée F₂ N°14 (Jordan collection86/Ahlal/3/Massara-01//Lahn/Ch12003) donne le poids de 1000 grains le plus faible avec 34.57g/plante. La F₂ N°17(Beliouni/3/Ter-1//Mrf1/Stj2) possède le nombre d'épis par plante le plus élevé 4.90 épis/plante alors que la plus faible moyenne pour ce caractère qui est 3.60 épis/plante est noté chez N°8 (Benimestina/Ofanto). La F₂, N°11 (MBB/Mexicali//Bousselam/Adnan-1) présente le rendement grains par plante le plus élevé avec une valeur de 3.38g/plante, tandis que la valeur moyenne la plus faible est enregistrée chez la F₂ N°17 (Beliouni/3/Ter-1//Mrf1/Stj2) avec 2.43g/plante (Tableau III.3 ; Figure III.8). Ces résultats montrent les difficultés d'avoir une lignée en ségrégation qui se distingue par les meilleures valeurs pour un grand nombre de caractères étudiés.

Durant cette campagne, le manque d'eau survenu à un stade précoce associé à des hautes températures sont responsables de la diminution des rendements. Ben naceur et *al.*, (1999) constatent que le stade gonflement est le plus sensible à la sécheresse. Durant ce stade, une sécheresse peut réduire les rendements de 73% environ.

En plus de ces contraintes climatiques, la tombée de la grêle en fin de cycle de la culture a occasionnée des dégâts considérables au niveau des épis, ce qui a provoqué l'égrenage,

réduisant ainsi, le nombre de grains par épi donc le rendement grain. Les dégâts ont été remarquables beaucoup plus chez les génotypes précoces que tardifs, suggérant qu'un épillet non mature résiste mieux à l'égrenage par le fait de la grêle qu'un épillet sec.

III.2.2. Caractères physiologiques et biochimiques

L'analyse de la variance indique un effet génotype significatif pour l'ensemble des caractères physiologiques et biochimiques. Cette analyse montre aussi un effet significatif entre les lignées parentales pour tous les caractères mesurés, alors que chez les générations F₂, l'analyse de la variance n'est significative que pour la teneur en proline, l'intégrité cellulaire et la température du couvert végétal. Le contraste parent vs F₂ révèle un effet significatif pour l'ensemble des caractères mesurés mis à part la température du couvert végétal (tableau III.4).

Tableau III.4. Carrés moyens de l'analyse de la variance des caractères physiologiques et biochimiques.

Source de variation	ddl	TRE	CHL	PROL	IC	TCV
Génotypes	17	196.88 ^{**}	127.04 ^{**}	534.25 ^{**}	593.95 ^{**}	27.51 ^{**}
Parents	11	241.61 ^{**}	150.91 ^{**}	576.40 ^{**}	587.09 ^{**}	33.49 ^{**}
F ₂	05	56.20 ^{ns}	43.32 ^{ns}	447.63 ^{**}	554.14 [*]	18.05 [*]
Parents vs F ₂	1	408.28 ^{**}	283.11 ^{**}	503.66 ^{**}	868.58 [*]	9.03 ^{ns}
Erreur	153	20.71	10.11	34.94	88.75	3.67
CV%		5.50	10.22	33.89	15.45	5.84

TRE= Teneur relative en eau (%), CHL= Contenu en chlorophylle (CCI), PROL= Teneur en proline (µg), IC= Intégrité cellulaire (%), TCV=Température du couvert végétal (°C), ns, * = effet non significatif et significatif au seuil de 5%, respectivement.

Tableau III.5. Valeurs moyennes des caractères physiologiques et biochimiques mesurés chez les parents et chez les F₂ des six croisements.

Code	Génotypes	TRE	CHL	PRO	IC	TCV
	Parents					
1	Megress	85.38	36.89	14.06	66.13	31.88
3	Bousselam	81.68	27.15	19.39	64.16	31.28
4	GTAdur	84.51	33.18	24.19	58.24	31.02
6	MBB	73.32	27.98	11.87	70.44	34.70
7	Benimestina	82.62	28.50	9.03	50.31	34.76
9	Ofanto	84.97	30.81	3.94	72.49	31.86
10	MBB/Mexicali	83.33	29.80	28.72	56.44	33.86
12	Bousselam/Adnan-1	85.87	34.64	22.10	69.54	31.88
13	Jordan collection86/Ahlal	78.54	28.79	24.55	56.77	36.16
15	Massara-01//Lahn/Ch12003	81.40	31.73	16.17	56.28	30.44
16	Beliouni	86.30	39.63	12.73	56.50	34.70
18	Ter-1//Mrf1/Stj2	71.15	34.65	8.34	72.81	32.82
	Génération F₂					
2	Megress/Bousselam	86.54	29.81	17.25	56.89	30.94
5	GTAdur/MBB	84.34	29.26	29.61	45.63	33.62
8	Benimestina/Ofanto	85.92	31.33	11.75	66.03	34.37
11	MBB/Mexicali//Bousselam/Adnan-1	86.18	25.30	24.64	53.70	31.54
14	Jordan collection86/Ahlal/3/Massara01//Lahn/Ch12003	80.20	30.10	21.31	63.10	31.58
17	Beliouni/3/Ter-1//Mrf1/Stj2	85.53	30.11	14.28	61.73	32.78
	Moy Parents	81,59	31,98	16,26	62,51	32,95
	Moy F ₂	84,79	29,32	19,81	57,85	32,47
	Ppds _{5%}	4.02	2.81	5.22	8.32	1.69

TRE= Teneur relative en eau (%), CHL= Contenu en chlorophylle (CCI), PROL= Teneur en proline (µg), IC= Intégrité cellulaire (%), TCV=Température du couvert végétal (°C).

III.2.2.1. La teneur relative en eau

Les données du Tableau III.5 et de la Figure III.9, indiquent que le parent N°16 (Beliouni) enregistre la teneur relative en eau la plus importante avec 86.30%, alors que la plus faible valeur pour cette caractéristique est mesurée chez le parent N°18 (Ter-1//Mrf1/Stj2) avec 71.15%.

Chez les F₂, le croisement N°2 (Megress/Bousselam) renferme la teneur relative en eau la plus importante avec 86.54% alors que la teneur la plus faible est notée chez la lignée N°14 (Jordan collection86/Ahlal/3/Massara-01//Lahn/Ch12003) avec 80.20% (Tableau III.5 ; Figure III.9). Ceci indique que pour cette caractéristique les F₂ s'expriment mieux que les parents. Ces résultats concordent avec ceux de Oulmi, (2010) qui observe que les trois populations F₃ de blé dur présentent une teneur relative en eau supérieure à celle des parents. Rascio (1985), mentionne que les génotypes qui maintiennent une teneur relative en eau élevée sont les plus résistants à la sécheresse.

La teneur relative en eau, c'est un paramètre physiologique indicateur de la résistance des espèces vis-à-vis d'un stress hydrique. Les espèces végétales qui maintiennent des teneurs foliaires relatives en eau élevées sont considérées comme étant des espèces résistantes à la sécheresse (Berka et Aïd, 2009). Scofield et *al.*, (1988) notent que la diminution de la TRE est plus rapide chez les variétés sensibles que chez les variétés résistantes. D'après Oulmi, (2010) la sélection pour une teneur relative en eau élevée a contribué à des améliorations du rendement grain et économique chez les populations F₃ Ofanto/Waha et Ofanto/MBB. En termes de sélection, la recherche d'une teneur relative en eau élevée est désirable. La F₂ N°2 (Megress/Bousselam) est tout indiqué pour la sélection sur la base de la teneur relative en eau.

III.2.2.2. Le contenu en chlorophylle

Les valeurs moyennes du contenu en chlorophylle varient de 27.15 CCI valeur minimale mesurée chez le parent N°3 (Bousselam), à 39.63 CCI valeur maximale enregistré chez le parent N°16 (Beliouni). Ces résultats sont similaires à ceux de Bousba (2012) qui a observé que la variété Beliouni reste la plus productive de chlorophylle comparée aux autres variétés locales. Alors que Hannachi (2013) montre que les variétés locales se caractérisent par un contenu en chlorophylle relativement faible (Tableau III.5 ; Figure III.9).

Les résultats du Tableau III.5 et de la Figure III.9, révèlent que chez la F₂, le croisement N°8 (Benimestina/Ofanto) enregistre la valeur moyenne la plus élevée pour la chlorophylle avec 31.33 CCI alors que la F₂ N°11 (MBB/Mexicali//Bousselam/Adnan-1) produit la quantité la plus faible en chlorophylle avec 25.30 CCI. Ceci indique que les générations F₂, renferment un faible contenu en chlorophylle suggérant qu'une faible teneur en chlorophylle serait un facteur d'adaptation aux stress qui caractérisent les milieux semi-arides (Mahdadi et bouzidi, 2013). Les plantes de blé sous stress hydrique réagissent par une baisse de leur teneur en chlorophylle totale qui peut être dû à une dilution suite au maintien d'une teneur relative en eau élevée. Cette baisse est d'autant plus importante que l'intensité du stress est plus accentuée (Bousba. 2012). Mekliche et *al.*, (2003) rapportent que les différences de chlorophylle observées chez les génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sont en fonction de la tolérance au stress, la stabilité de la chlorophylle est une autre caractéristique qui est utilisée en sélection pour la tolérance et l'adaptation au stress thermique (Acevedo et *al.*, 1999 ; Bahlouli et *al.*, 2005).

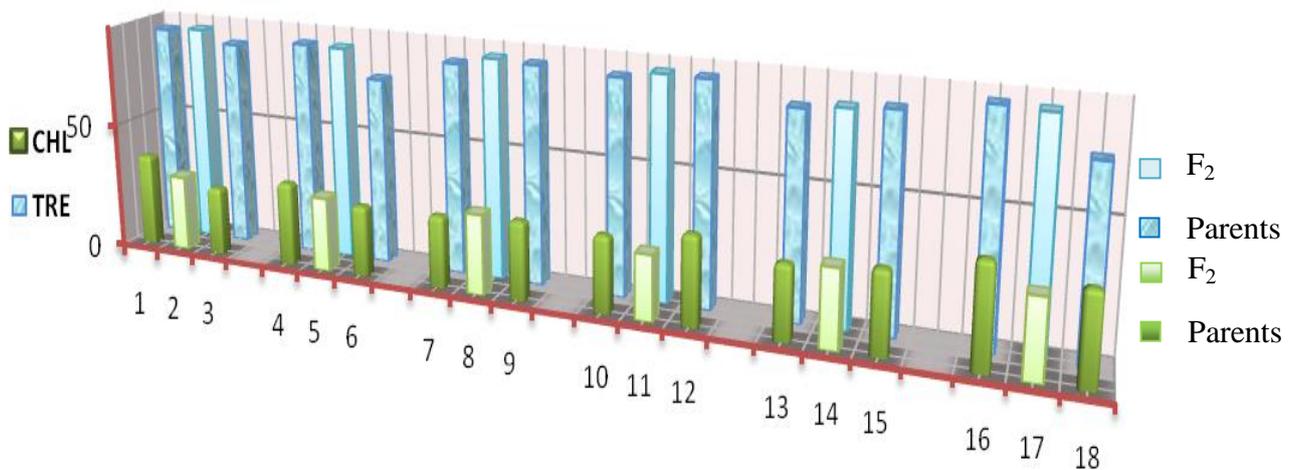


Figure III.9. Transgressions de la teneur relative en eau et de la chlorophylle chez les F₂ et leurs parents

1= Megress, 3= Bousselam, 4= GTAdur, 6= MBB, 7= Benimestina, 9= Ofanto, 10= MBB/Mexicali, 12= Bousselam/Adnan-1, 13= Jordan collection86/Ahlal, 15= Massara-01//Lahn/Ch12003, 16= Beliouni, 18= Ter-1//Mrf1/Stj2. 2= Megress/Bousselam, 5= GTAdur/MBB, 8= Benimestina/Ofanto, 11= MBB/Mexicali//Bousselam/Adnan-1, 14= Jordan collection86/Ahlal/3/Massara-01//Lahn/Ch12003, 17= Beliouni/3/Ter-1//Mrf1/Stj2, TRE= Teneur relative en eau (%), CHL= Contenu en chlorophylle (CCI).

III.2.2.3. La teneur en proline

L'accumulation de la proline libre est le cadre du processus d'ajustement osmotique qui est important pour l'adaptation au stress cellulaire de nombreuses espèces végétales telles que le

blé (Morgan, 1984). En effet, la teneur en proline est plus élevée en cas de déficit hydrique et, en particulier, chez les génotypes les plus résistants à la sécheresse (Slama, 2002).

Les résultats du Tableau III.5 et de la Figure III.10, révèlent que le parent N°10 (MBB/Mexicali) accumule la quantité en proline la plus importante avec une valeur de 28.72 µg par contre le parent N°9 (Ofanto) accumule la plus petite quantité en cet osmo-régulateur avec 3.94 µg. Chez les générations F₂, la plus grande quantité de proline est synthétisée par la F₂ N°5 (GTAdur/MBB) avec une valeur de 29.61 µg. Tandis que la F₂ N°8 (Benimestina/Ofanto) accumule la plus petite quantité de proline avec 11.75 µg. Ces résultats montrent qu'il existe une différence significative pour cette variable entre les parents et les générations F₂.

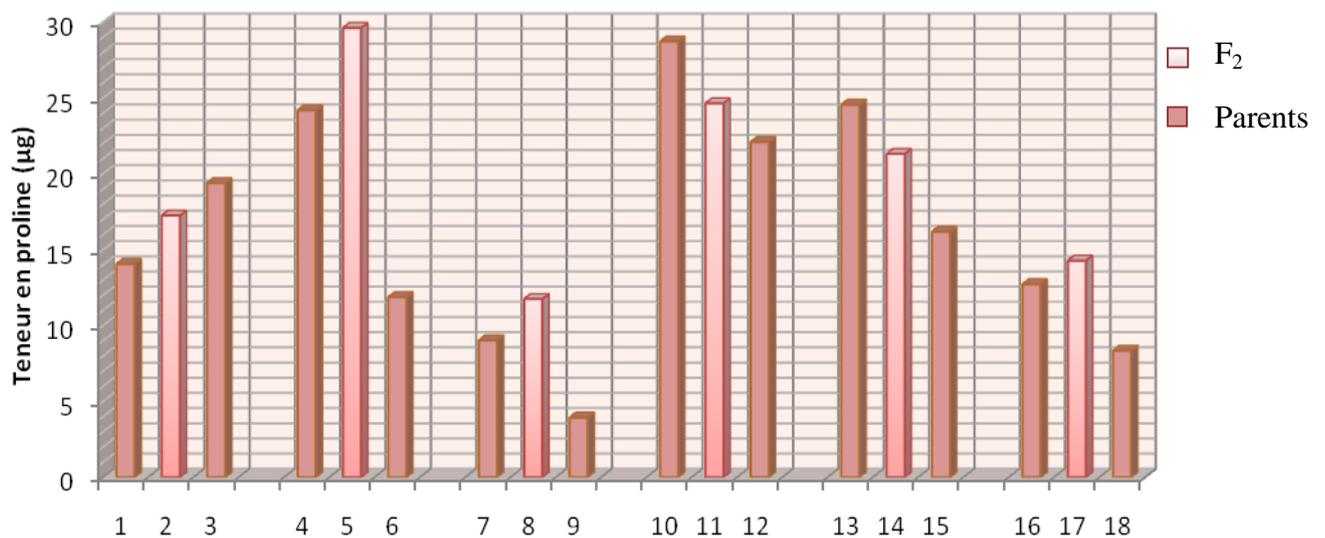


Figure III.10. Transgressions de la teneur en proline chez les F₂ et leurs parents

1= Megress, 3= Bouselam, 4= GTAdur, 6= MBB, 7= Benimestina, 9= Ofanto, 10= MBB/Mexicali, 12= Bouselam/Adnan-1, 13= Jordan collection86/Ahlal, 15= Massara-01//Lahn/Ch12003, 16= Beliouni, 18= Ter-1//Mrf1/Stj2. 2= Megress/Bouselam, 5= GTAdur/MBB, 8= Benimestina/Ofanto, 11= MBB/Mexicali//Bouselam/Adnan-1, 14=Jordan collection86/Ahlal/3/Massara-01//Lahn/Ch12003, 17= Beliouni/3/Ter-1//Mrf1/Stj2.

Selon Wilfred (2005), la capacité d'accumuler la proline chez les plantes est un facteur variétal et un signe de tolérance au stress hydrique, permettant de garder la turgescence et le volume cytosolique aussi élevé que possible (Monneveux et Nemmar, 1986 ; Wang et al., 2003). L'existence chez les céréales d'une variation intra-spécifique pour l'accumulation de la proline sous l'effet du déficit hydrique suggère la possibilité d'une sélection, sur la base de ce caractère, des génotypes qui auront une bonne capacité à survivre et un rendement en grains

stable en conditions hydriques limitantes (Bergareche et *al.*, 1993). Pour la sélection sur la base de l'accumulation de la proline la F₂ N°5 (GTAdur/MBB) est tout indiquée.

III.2.2.4. L'intégrité cellulaire

La valeur moyenne du dommage cellulaire la plus élevée est notée chez le parent N°18 (Ter-1//Mrf1/Stj2) avec un taux de 72.81%, la plus faible est exprimée par le N°7 (Benimestina) avec 50.31%. Parmi les 6 croisements étudiés, la F₂ N°5 (GTAdur/MBB) semble la moins affectée sous l'effet du stress hydrique enregistrant une valeur de dommage cellulaire la plus faible avec 45.63% alors que la valeur moyenne la plus importante de cette variable est présente chez la F₂ N°8 (Benimestina/Ofanto) avec 66.03% (Tableau III.5 ; Figure III.11). Ces valeurs représentent le pourcentage des cellules endommagées sous l'effet du stress. Elles sont relativement élevées et variables d'un génotype à un autre. Les populations F₂ apparaissent moins sensibles au dommage cellulaire que les parents.

Le maintien de l'intégrité des membranes cellulaires en cas de stress hydrique est un des caractères universellement reconnus dans l'explication de la tolérance des plantes à la sécheresse. Selon Cornaire et *al.*, (1995) et Lefebvre et *al.*, (2009), parmi les mécanismes qui peuvent intervenir dans le maintien de la turgescence cellulaire figure la résistance protoplasmique qui dépende de la capacité des cellules à résister à un dommage mécanique et à la dénaturation des protéines au niveau membranaire ou cytoplasmique. Reynolds et *al.*, (1994) trouvent une forte corrélation entre le pourcentage de dégâts cellulaires causés par le choc thermique et la réduction de la productivité des génotypes testés. Ceci suggère que la sélection sur la base d'un faible dommage cellulaire améliore significativement le rendement grain. De ce fait, la sélection pour cette caractéristique privilégie la F₂ N°5 (GTAdur/MBB).

III.2.2.5. La température du couvert végétal

La température du couvert végétal figure au rang des paramètres biophysiques les plus utilisés pour la connaissance du statut hydrique de la plante (Kotchi, 2004). La température du couvert (Tc. Canopy temperature) a été définie comme la température radiométrique mesurée dans l'infrarouge thermique (IRT) et pour laquelle la végétation est dominante dans le champ de vue du capteur, l'effet du sol étant minime (Moran, 2000).

Chez les lignées parentales, la température du couvert végétal varie de 30.44°C valeur minimale mesurée chez le parent N°15 (Massara-01//Lahn/Ch12003) à 36.16°C valeur

maximale mesurée chez le parent N°13 (Jordan collection86/Ahlal). Alors que chez les générations F₂, c'est la génération N°8 (Benimestina/Ofanto) qui présente la valeur moyenne la plus élevée pour cette variable avec 34.37°C. Alors que la F₂ N°2 (Megress/Bousselam) enregistre la valeur la plus faible avec 30.94°C (Tableau III.5 ; Figure III.11).

Les résultats du Tableau III.5 et de la Figure III.11 montrent que les valeurs obtenues sont relativement élevées et que des différences significatives apparaissent clairement entre les génotypes étudiés suggérant la présence d'une variabilité assez importante entre les génotypes étudiés pour cette caractéristique.

L'enregistrement de hautes températures du couvert végétal chez les différents génotypes pourrait être expliqué par Steinmetz et *al.*, (1989) qui montre qu'au niveau des parcelles non arrosées, la fermeture stomatique provoque l'élévation de la température du couvert végétale par manque d'échanges gazeux ainsi qu'une baisse de l'évapotranspiration. D'après Berliner et *al.*, (1984) et Moran et *al.*, (2000), la température du couvert (*Canopy Temperature (CT)*) est l'un des premiers indices spectraux IRT utilisé pour l'évaluation de l'état hydrique de la plante. Selon Dakheel et *al.*, (1993) la capacité des plantes à maintenir une température foliaire basse est une indication de leur grande capacité à extraire l'eau du sol et à se rafraîchir par transpiration. Ces variétés maintiennent une activité photosynthétique élevée autorisant un rendement plus élevé, sous stress terminal. En effet, Wardlaw et Moncor, (1995) trouvent une corrélation négative entre la température du couvert végétal et le rendement grain chez le blé dur. Reynolds et *al.*, (1994) suggèrent que la température du couvert végétal peut être un excellent outil de sélection pour la résistance et à l'adaptation au stress thermique. Sur cette base la F₂ N°2 (Megress/Bousselam) est indiquée pour la sélection.

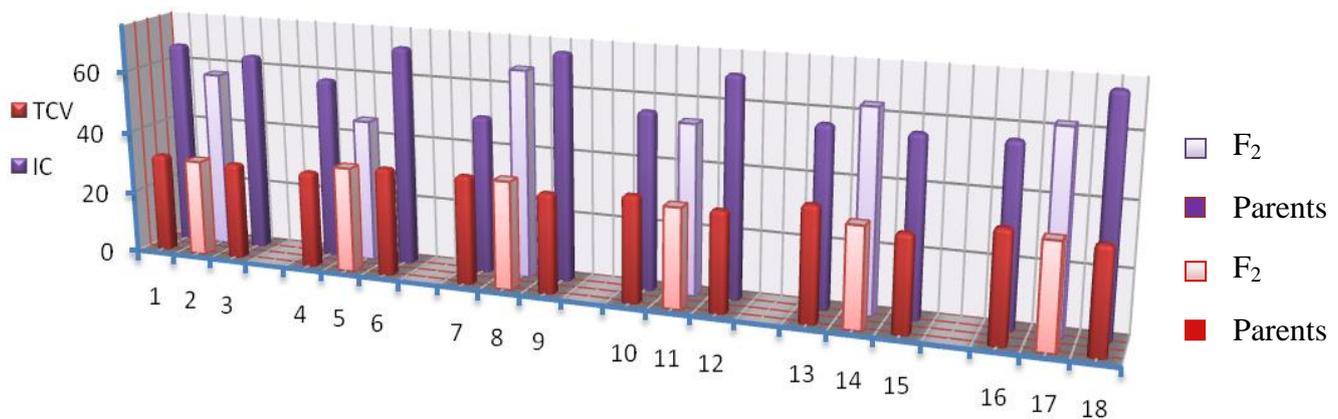


Figure III.11. Transgressions de l'intégrité cellulaire et de la température du couvert végétal chez les F₂ et leurs parents

1= Megress, 3= Bousselam, 4= GTAdur, 6= MBB, 7= Benimestina, 9= Ofanto, 10= MBB/Mexicali, 12= Bousselam/Adnan-1, 13= Jordan collection86/Ahlal, 15= Massara-01/Lahn/Ch12003, 16= Beliouni, 18= Ter-1//Mrf1/Stj2. 2= Megress/Bousselam, 5= GTAdur/MBB, 8= Benimestina/Ofanto, 11= MBB/Mexicali//Bousselam/Adnan-1, 14=Jordan collection86/Ahlal/3/Massara-01//Lahn/Ch12003, 17= Beliouni/3/Ter-1//Mrf1/Stj2, IC= Intégrité cellulaire (%), TCV=Température du couvert végétal (°C).

III.3. Analyse des liaisons inter- caractères

L'étude des corrélations entre les différentes variables mesurées indique que chez les parents la surface foliaire, la durée de la phase végétative, la hauteur de la plante, la longueur de l'épi, le nombre d'épis par plante et la teneur relative en eau ne présentent pas de liaisons significatives avec les autres variables mesurées. Tandis que chez les F₂, la surface foliaire est positivement liée avec la longueur de l'épi ($r=0.855^*$) et le nombre de grains par épis ($r=0.821^*$) et négativement liée avec la teneur relative en eau ($r=-0.813^*$). (Tableau III.6, Figure III.12). Cela signifie qu'une augmentation de la surface foliaire induit une augmentation de la capacité photosynthétique pour la synthèse des composés carbonés organiques, et par conséquent une augmentation du nombre de grain par épi. Puisque le nombre de grains que produit une plante est lié à ses capacités de croissance, en cas de stress provoquant une diminution de la surface foliaire donc de la photosynthèse, la priorité de la plante est de préserver sa capacité à produire au moins une graine viable. Elle met donc en œuvre un processus d'avortement des graines qui ne pourront pas être remplies faute de ressources suffisantes. D'autre part, la réduction de la surface foliaire est accompagnée par une augmentation de la teneur relative en eau de la feuille. Ces résultats sont en accord avec ceux de Bouzerzour et *al.*, (1998b) ; Hioun et *al.*, (2002) et

Oulmi (2010). En effet, les espèces végétales qui maintiennent des teneurs foliaires relatives en eau élevées sont considérées comme étant des espèces résistantes à la sécheresse (Berka et Aïd, 2009). Mais cette stratégie d'évitement d'après Bidinger et Witcombe, (1989) peut aussi diminuer le rendement à cause de la réduction de la capacité photosynthétique.

La teneur relative en eau présente une liaison négative avec la longueur de l'épi ($r = -0.866^*$). Cette corrélation est rapportée par Ali Dib et *al.*, (1992) qui suggèrent que les caractéristiques d'un épi court contribuent à une limitation des pertes en eau, et que la présence sur les glumes et les barbes non seulement de stomates, mais également de lenticelles lui confèrent en effet une conductance épidermique élevée, 4 fois plus importante environ que celle de la feuille étendard. (Tableau III.6).

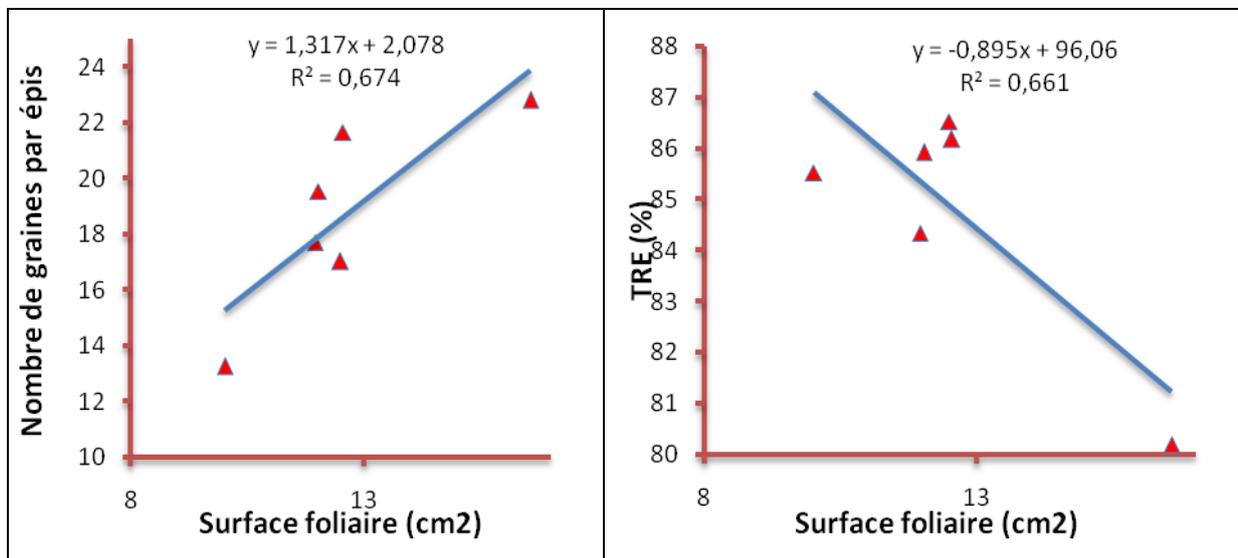


Figure III.12. Liaisons entre la surface foliaire et le nombre de grains par épi d'une part et entre la surface foliaire et la teneur relative en eau de la population F_2 , d'autre part.

Tableau III.6. Corrélations inter-caractères mesurées chez les générations F₂ (au-dessus de la diagonale, n-2=4. r_{5%}=0.811 r_{1%}=0.917) et chez les parents (au dessous de la diagonale, n-2= 10, r_{5%}=0.576, r_{1%}=0.708).

Trait	SF	DHE	HT	BIO	LE	HI	NE	NGE	PMG	PE	RDT	TRE	PROL	CHL	IC	TCV
SF	1.000	-0.611 ^{ns}	-0.105 ^{ns}	-0.461 ^{ns}	0.855 [*]	0.782 ^{ns}	-0.410 ^{ns}	0.821 [*]	-0.302 ^{ns}	0.522 ^{ns}	0.666 ^{ns}	-0.813 [*]	0.258 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.178 ^{ns}	-0.411 ^{ns}
DHE	-0.458 ^{ns}	1.000	0.701 ^{ns}	0.876 [*]	-0.365 ^{ns}	-0.921 ^{**}	0.854 [*]	-0.658 ^{ns}	-0.500 ^{ns}	0.053 ^{ns}	-0.661 ^{ns}	0.111 ^{ns}	0.332 ^{ns}	-0.053 ^{ns}	-0.510 ^{ns}	0.369 ^{ns}
HT	-0.141 ^{ns}	-0.255 ^{ns}	1.000	0.872 [*]	0.197 ^{ns}	-0.555 ^{ns}	0.877 [*]	-0.134 ^{ns}	-0.733 ^{ns}	0.699 ^{ns}	-0.063 ^{ns}	-0.249 ^{ns}	0.558 ^{ns}	-0.522 ^{ns}	-0.440 ^{ns}	-0.161 ^{ns}
BIO	-0.292 ^{ns}	0.303 ^{ns}	0.219 ^{ns}	1.000	-0.094 ^{ns}	-0.864 [*]	0.974 ^{**}	-0.536 ^{ns}	-0.635 ^{ns}	0.434 ^{ns}	-0.510 ^{ns}	-0.039 ^{ns}	0.192 ^{ns}	-0.185 ^{ns}	-0.231 ^{ns}	0.130 ^{ns}
LE	0.237 ^{ns}	0.128 ^{ns}	0.237 ^{ns}	-0.167 ^{ns}	1.000	0.537 ^{ns}	-0.134 ^{ns}	0.781 ^{ns}	-0.615 ^{ns}	0.789 ^{ns}	0.559 ^{ns}	-0.866 [*]	0.208 ^{ns}	-0.070 ^{ns}	0.299 ^{ns}	-0.166 ^{ns}
HI	0.476 ^{ns}	-0.314 ^{ns}	0.105 ^{ns}	-0.019 ^{ns}	0.414 ^{ns}	1.000	-0.849 [*]	0.866 [*]	0.286 ^{ns}	0.070 ^{ns}	0.817 [*]	-0.305 ^{ns}	0.024 ^{ns}	-0.079 ^{ns}	0.246 ^{ns}	-0.323 ^{ns}
NE	0.076 ^{ns}	-0.012 ^{ns}	0.093 ^{ns}	0.230 ^{ns}	0.175 ^{ns}	0.284 ^{ns}	1.000	-0.575 ^{ns}	-0.593 ^{ns}	0.430 ^{ns}	-0.501 ^{ns}	-0.060 ^{ns}	0.238 ^{ns}	-0.193 ^{ns}	-0.294 ^{ns}	-0.048 ^{ns}
NGE	0.241 ^{ns}	-0.025 ^{ns}	0.335 ^{ns}	0.652 [*]	0.332 ^{ns}	0.492 ^{ns}	0.040 ^{ns}	1.000	-0.127 ^{ns}	0.429 ^{ns}	0.905 [*]	-0.496 ^{ns}	0.332 ^{ns}	-0.335 ^{ns}	0.068 ^{ns}	-0.220 ^{ns}
PMG	-0.147 ^{ns}	-0.018 ^{ns}	0.365 ^{ns}	0.240 ^{ns}	-0.278 ^{ns}	0.341 ^{ns}	-0.077 ^{ns}	0.145 ^{ns}	1.000	-0.749 ^{ns}	0.104 ^{ns}	0.756 ^{ns}	-0.431 ^{ns}	0.004 ^{ns}	0.115 ^{ns}	-0.156 ^{ns}
PE	0.049 ^{ns}	-0.011 ^{ns}	0.300 ^{ns}	0.798 ^{**}	0.064 ^{ns}	0.576 ^{ns}	0.334 ^{ns}	0.835 ^{**}	0.426 ^{ns}	1.000	0.382 ^{ns}	-0.681 ^{ns}	0.319 ^{ns}	-0.391 ^{ns}	0.092 ^{ns}	-0.383 ^{ns}
RDT	0.097 ^{ns}	-0.070 ^{ns}	0.373 ^{ns}	0.712 ^{**}	0.063 ^{ns}	0.619 [*]	0.164 ^{ns}	0.856 ^{**}	0.554 ^{ns}	0.969 ^{**}	1.000	-0.217 ^{ns}	0.380 ^{ns}	-0.626 ^{ns}	-0.085 ^{ns}	-0.498 ^{ns}
TRE	0.427 ^{ns}	0.120 ^{ns}	-0.373 ^{ns}	-0.548 ^{ns}	0.064 ^{ns}	-0.035 ^{ns}	-0.349 ^{ns}	-0.380 ^{ns}	0.048 ^{ns}	-0.489 ^{ns}	-0.373 ^{ns}	1.000	-0.281 ^{ns}	-0.220 ^{ns}	-0.157 ^{ns}	0.125 ^{ns}
PROL	0.207 ^{ns}	-0.015 ^{ns}	-0.460 ^{ns}	-0.554 ^{ns}	0.023 ^{ns}	-0.365 ^{ns}	-0.177 ^{ns}	-0.477 ^{ns}	-0.509 ^{ns}	-0.692 [*]	-0.720 ^{**}	0.219 ^{ns}	1.000	-0.583 ^{ns}	-0.871 [*]	-0.170
CHL	0.221 ^{ns}	0.344 ^{ns}	0.280 ^{ns}	0.247 ^{ns}	0.206 ^{ns}	-0.198 ^{ns}	0.259 ^{ns}	0.104 ^{ns}	0.110 ^{ns}	0.060 ^{ns}	0.056 ^{ns}	0.347 ^{ns}	-0.140 ^{ns}	1.000	0.523 ^{ns}	0.450 ^{ns}
IC	-0.006 ^{ns}	0.148 ^{ns}	0.019 ^{ns}	0.751 ^{**}	-0.372 ^{ns}	0.183 ^{ns}	0.033 ^{ns}	0.590 [*]	0.509 ^{ns}	0.720 ^{**}	0.719 ^{**}	-0.340 ^{ns}	-0.388 ^{ns}	0.113 ^{ns}	1.000	0.067 ^{ns}
TCV	-0.322 ^{ns}	0.179 ^{ns}	-0.101 ^{ns}	0.095 ^{ns}	-0.105 ^{ns}	-0.207 ^{ns}	0.419 ^{ns}	-0.133 ^{ns}	-0.391 ^{ns}	-0.021 ^{ns}	-0.141 ^{ns}	-0.292 ^{ns}	0.008 ^{ns}	-0.165 ^{ns}	-0.293 ^{ns}	1.000

SF = Surface foliaire de la feuille étendard, DHE = Durée de la phase végétative, HT = Hauteur de la plante, BIO = Biomasse aérienne, HI = Indice de récolte, LE = Longueur de l'épi, NE = Nombre d'épis par plante, NGE = Nombre de grains par épi, RDT = Rendement grain par plante, PMG = Poids de mille grains, PE = Poids des épis, TRE = Teneur relative en eau (%), CHL = Contenu en chlorophylle (CCI), PROL = Teneur en proline (µg), IC = Intégrité cellulaire (%), TCV = Température du couvert végétal (°C), ns, *, **: corrélation non significative, significative au seuil de 5% et 1% respectivement.

On trouve en F₂ que la hauteur est positivement corrélée avec le nombre d'épis par plante ($r=0.877^*$) ce qui indique que les génotypes courts sont les moins productifs d'épis. En effet, un génotype relativement haut émet plus d'épis. Toutefois, une paille relativement haute devient une caractéristique désirable sous stress hydrique. Ces résultats différents de ceux obtenus par Bouzerzour et Hafsi, (1993) et Hamada (2002) qui ont montré que les variétés à paille courte produisent mieux que celles à paille haute en zone semi-aride (Tableau III.6).

La durée de la phase végétative ($r=0.876^*$) affiche une liaison positive avec la biomasse. Ces résultats indiquent que les F₂ relativement tardives sont les plus productives de matière sèche à maturité, suggérant que durant cette campagne difficile les génotypes précoces qui se caractérisent par une croissance élevée en début de cycle n'ont pas reçu en hiver les quantités d'eau nécessaire pour produire une biomasse aérienne appréciable. Blum (1996) souligne qu'une longue durée de croissance est associée avec une biomasse élevée et que les génotypes tardifs ont une productivité potentielle supérieure. Cette variable est liée positivement au nombre d'épis par plante ($r=0.854^*$), ce qui confirme que les lignées tardives réussissent à produire plus d'épis que les lignées précoces (Tableau III.6).

Chez les parents la biomasse aérienne est positivement corrélée avec le nombre de grains par épi ($r=0.652^*$), le poids des épis par plante ($r=0.798^{**}$) et le rendement grain ($r=0.712^{**}$) (Tableau III.6 ; Figure III.13). Cela suggère que la sélection sur la base de la biomasse et du poids des épis améliore significativement le rendement grain, ceci corrobore avec l'étude de Fellahi (2013) qui trouve que ces liaisons indiquent qu'un haut rendement est la résultante d'une répartition équilibrée de la matière sèche accumulée entre les parties grain et paille, débouchant sur la production d'un nombre élevé de grains par plante qui se manifeste surtout chez les génotypes réussissant une bonne fertilité épi. Laala et *al.*, (2009) montrent que la sélection sur la base de la biomasse, du poids des épis et de leur combinaison sous forme d'un indice aboutit à des effets positifs sur le rendement grain de la descendance.

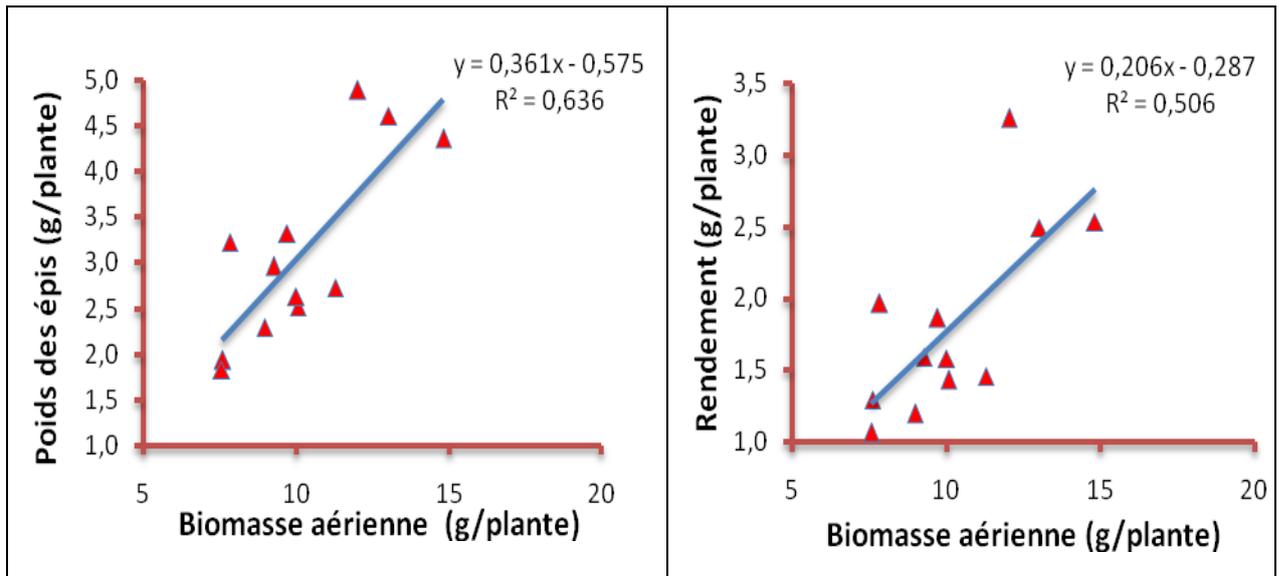


Figure III.13. Liaisons entre la biomasse et le poids des épis d'une part et entre la biomasse et le rendement grain des parents, d'autre part.

Cependant, la biomasse aérienne est positivement corrélée chez les F₂ avec le nombre d'épis par plante ($r=0.974^{**}$) et la hauteur de la plante ($r=0.872^*$) (Tableau III.6 ; Figure III.14), il apparait clairement que la biomasse aérienne est largement déterminée par le nombre d'épis et la hauteur, suggérant que plus la plante est haute plus elle offre des compartiments pour emmagasiner de la matière sèche et donc une biomasse importante. Bouzerzour et *al.*, (1996) mentionnent que la biomasse est conditionnée par la hauteur de la paille en année sèche. Benmahammed (2005), montre qu'une biomasse aérienne élevée est donc issue d'une contribution importante du nombre d'épis/m². Cette contribution explique, en partie, la contribution de la biomasse aérienne au rendement en grains. En effet une biomasse qui émerge suite à la contribution concomitante de la hauteur de paille et du nombre d'épis/m² est indicatrice d'une meilleure stabilité de la production (Benmahammed et *al.*, 2003). Hannachi (2013) suggère aussi que la sélection sur la base du nombre d'épis devrait être efficace dans l'identification des lignées possédant la capacité de produire une biomasse aérienne élevée.

Les résultats de la présente étude diffèrent de ceux obtenus par ces auteurs, par ce qu'il est remarquable que la F₂ N°17 (Beliouni/3/Ter-1//Mrf1/Stj2) qui accumule le plus de la matière sèche et possède le nombre d'épis par plante le plus élevé, a obtenu le rendement grain le plus faible, donc dans ce cas, le choix de la biomasse comme critère de sélection ne permet pas d'engendrer des améliorations du rendement.

La biomasse est négativement corrélée avec l'indice de récolte ($r=-0.864^*$), (Tableau III.6). Ces résultats corroborent avec ceux de Mazouz (2006) et Laala (2010) qui mentionnent

qu'une biomasse aérienne élevée est souvent associée négativement avec l'indice de récolte, d'où la contribution négative de ce caractère via l'indice de récolte. Chez les génotypes d'orge étudiés par Bouzerzour et *al.*, (1998a), l'augmentation de l'indice de récolte se fait, en général, au détriment de la biomasse aérienne. Ces auteurs mentionnent aussi que l'utilisation de l'indice de récolte risque donc de réduire la biomasse aérienne chez les génotypes sélectionnés. De ce fait les génotypes qui possèdent la capacité de produire moins de paille et de biomasse réussissent à faire une bonne répartition de la biomasse produite entre le grain et la paille.

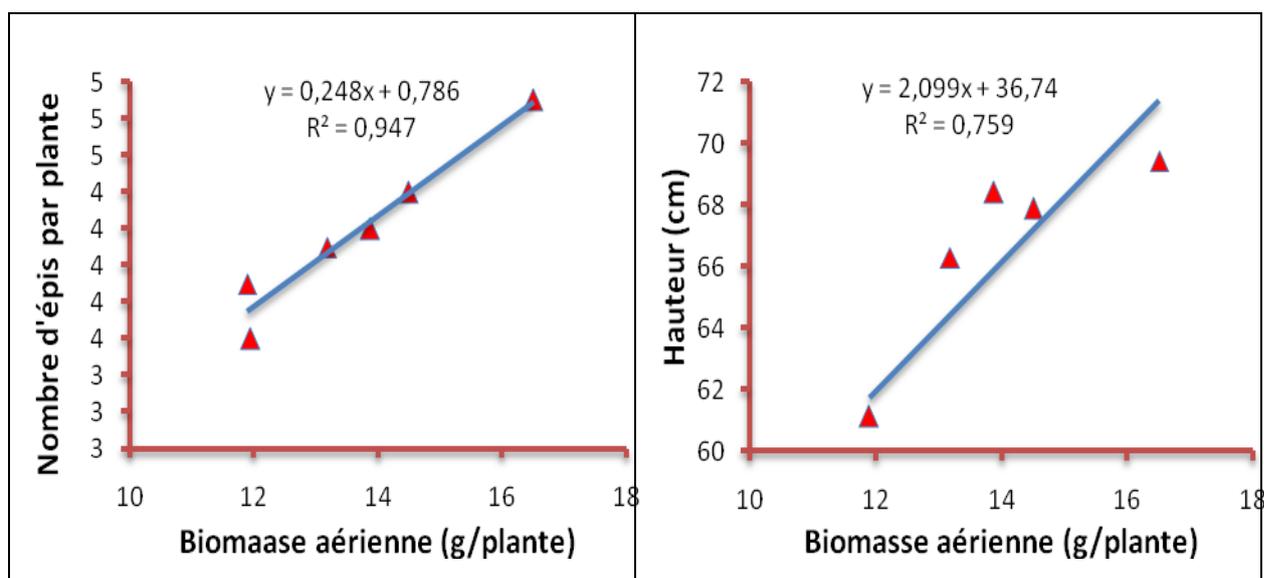


Figure III.14. Liaisons entre la biomasse et le nombre d'épis par plante d'une part et entre la biomasse et la hauteur des F₂, d'autre part.

Chez les F₂ comme chez les parents le rendement est corrélée positivement à l'indice de récolte ($r=0.817^*$, $r=0.619^*$ respectivement) et au nombre de grains par épi ($r=0.905^*$, $r=0.856^{**}$ respectivement) (Tableau III.6 ; Figure III.15 ; Figure III.16), suggérant qu'une bonne fertilité épi contribue à un haut rendement et que chez les parents le rendement grain est largement déterminé par le nombre de grains par épi et le poids des épis ($r=0.969^{**}$). Grignac (1981), note que les valeurs optimales de grains par épi permettant l'obtention des rendements les plus élevés, en zone méditerranéenne. Plusieurs travaux ont rapporté une forte corrélation entre le rendement grain et le nombre de grain par épi (Bouzerzour et Benmahammed, 1991 ; Amin et *al.*, 1992 ; Bouzerzour et Benmahammed, 1995 ; Benmahammed, 1995).

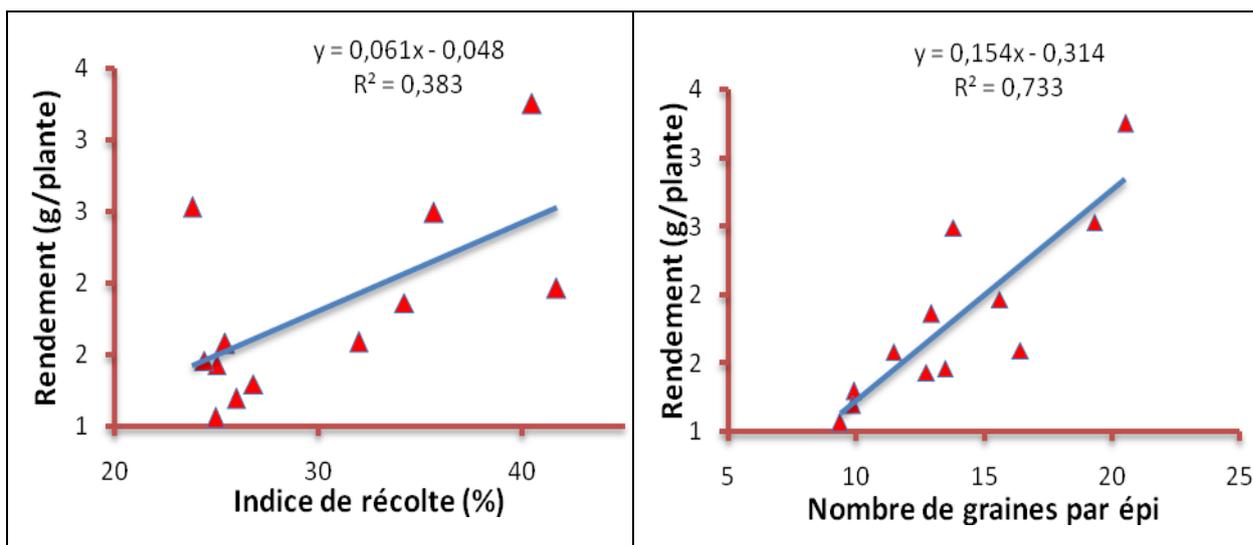


Figure III.15. Liaisons entre le rendement grain et l'indice de récolte d'une part et entre le rendement grain et le nombre de grains par épi des parents, d'autre part.

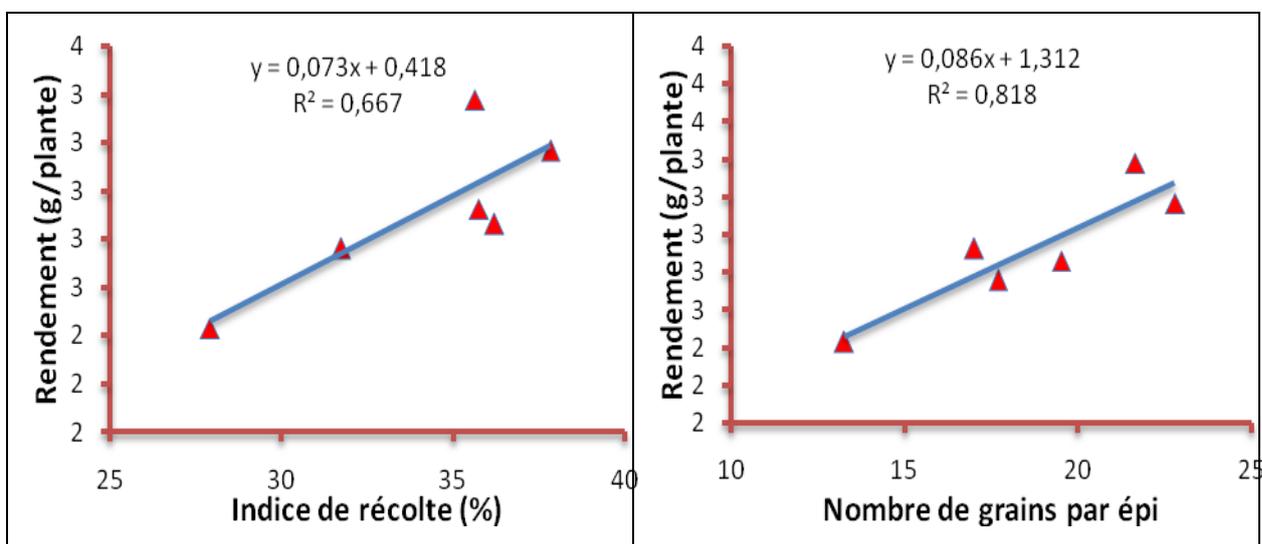


Figure III.16. Liaisons entre le rendement grain et l'indice de récolte d'une part et entre le rendement grain et le nombre de grains par épi des F_2 , d'autre part.

Cependant le poids de mille grains n'affiche pas de liaison significative avec le rendement. Ces résultats sont en accord avec ceux de Erchidi *et al.*, (2000) qui trouvent que le poids du grain n'a pas eu un effet significatif sur le rendement grain ($r = 0.11$) chez le blé dur. Ainsi, le rendement grain du blé est plus lié à la fertilité de l'épi qu'à la taille du grain (Blum et Pnuel, 1990 ; Debaeke *et al.*, 1996).

La présence d'une corrélation négative entre l'accumulation de la proline et le dommage cellulaire en F_2 ($r = -0.871^*$) pourrait s'expliquer par le rôle de la proline dans la protection des membranes cellulaires. Alors que chez les parents cette variable est liée négativement avec le poids de l'épi ($r = -0.692^*$) et le rendement grain ($r = -0.720^{**}$) (Tableau III.6). Ce résultat

indique qu'une lignée qui renferme une grande quantité de proline ne donne nécessairement pas un rendement élevé. En effet, l'accumulation de la proline semble beaucoup plus destinée à la tolérance au stress mais elle n'est pas en mesure d'avoir un apport avec l'expression du rendement dans les zones semi-arides. D'autre part, Slama (2002) a trouvé que la variété qui accumule plus de proline dans ses différents organes et en particulier au niveau de la barbe et de la feuille drapeau en conditions de déficit hydrique, donne le rendement le plus élevé et présente la capacité de remplissage de grains la plus importante.

L'intégrité cellulaire chez les parents est corrélée positivement avec la biomasse aérienne ($r=0.751^{**}$), le nombre de grains par épi ($r=0.590^*$), le poids des épis ($r=0.720^{**}$) et le rendement grain ($r=0.719^{**}$) (Tableau III.6). Cette liaison indique que les génotypes fortement endommagés par le stress thermique sont ceux qui sous-valorisent la biomasse produite sous forme de grains et que l'intégrité cellulaire est souvent associée à la réduction du rendement grain sous stress. Ces résultats concordent avec ceux réalisés par Fellah et *al.*, (2002) qui trouvent une relation négative entre l'adaptation, mesurée par la tolérance au stress calorique et le rendement en grains. Les variétés sensibles produisent plus en présence de stress comparativement aux variétés tolérantes. Les génotypes très productifs souffrent une plus grande réduction du rendement sous stress hydrique comparativement aux génotypes au rendement modéré (Menad et *al.*, 2011). L'étude des corrélations réalisée par Oulmi (2010) indique le peu de liaisons entre la tolérance des stress et les performances de rendements grain et économique.

La température du couvert végétal et le contenu en chlorophylle restent indépendantes des variables mesurées que se soit chez les F_2 que chez les parents ceci n'exclue pas leurs intérêts, qui semblent être le plus lié à la résistance aux stress abiotiques.

III.4. Caractérisation des génotypes

L'étude des valeurs moyennes, en pourcent de la valeur maximale permet de faire une caractérisation des six générations F_2 étudiées. Ces résultats montrent que le croisement le plus intéressant est Jordan collection86/Ahlal/3/Massara-01//Lahn/Ch12003 qui se distingue par des valeurs moyennes élevées pour plusieurs caractères, dont la surface foliaire, la longueur de l'épi, l'indice de récolte, le nombre de grains par épi et le poids des épis par plante (Tableau III.3 ; Tableau III.5 ; Figure III.17). Les résultats de cette figure confirment les difficultés de

trouver une population F₂ qui se distingue par des valeurs élevées pour l'ensemble des variables mesurées.

Peu de différences apparaissent, en moyenne, entre les six croisements étudiés pour la durée de la phase végétative, la teneur relative en eau, le nombre d'épis par plante, la chlorophylle et la température du couvert végétal. Tandis que la proline montre la plus grande variabilité entre les différentes générations F₂ suivie par le nombre de grain par épi et la surface de la feuille étendard (Figure III.17). Cette variabilité mérite d'être exploitée en sélection pour améliorer le rendement du blé dur dans les zones à forte variabilité climatique.

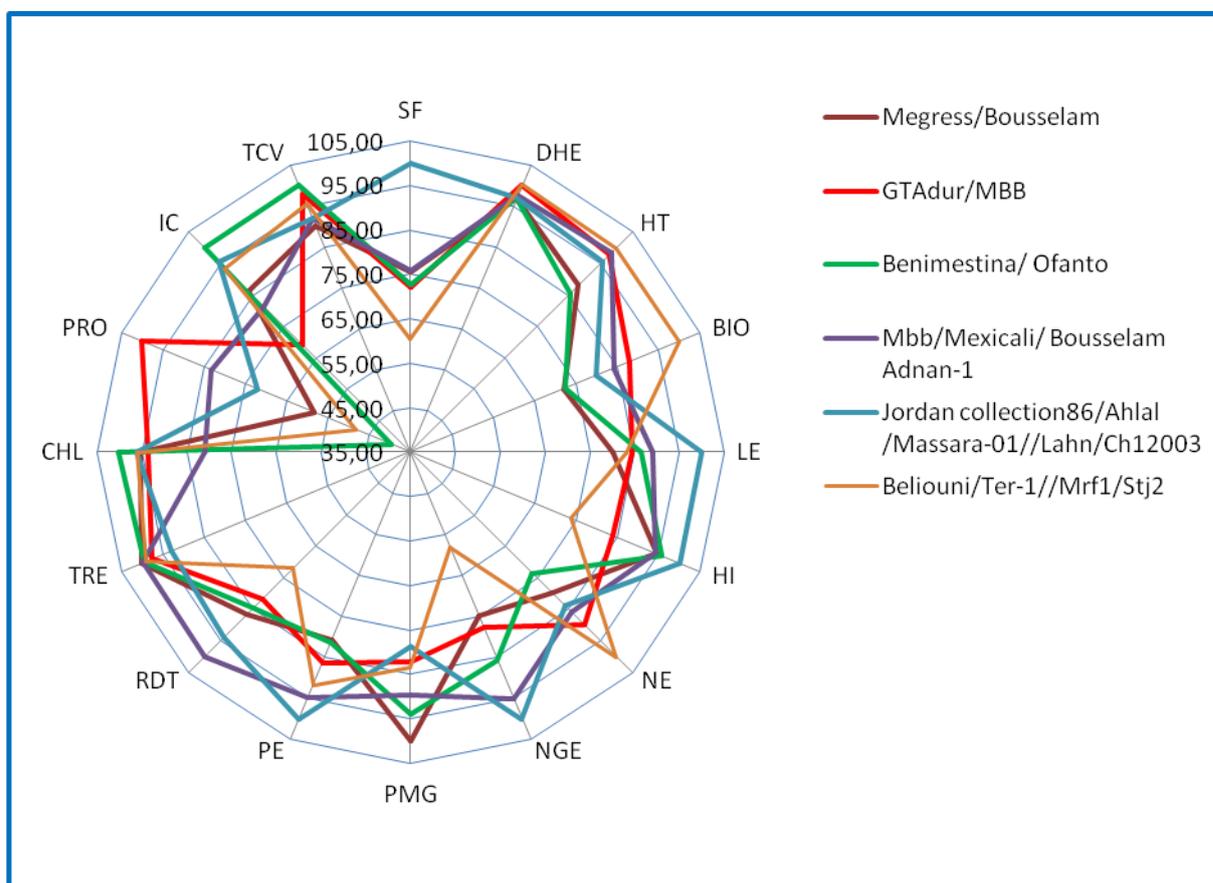


Figure III.17. Valeurs moyennes, en pourcent de la valeur maximale, des variables mesurées chez les six croisements.

SF = Surface foliaire de la feuille étendard, DHE = Durée de la phase végétative, HT = Hauteur de la plante, BIO = Biomasse aérienne, HI = Indice de récolte, LE = Longueur de l'épi, NE = Nombre d'épis par plante, NGE = Nombre de grains par épi, RDT = Rendement grain par plante, PMG = Poids de mille grains, PE = Poids des épis, TRE= Teneur relative en eau (%), CHL= Contenu en chlorophylle (CCI), PROL= Teneur en proline (µg), IC= Intégrité cellulaire (%), TCV=Température du couvert végétal (°C).

III.5. L'analyse en composantes principales

Pour mieux visualiser les relations existantes entre les réponses génotypiques pour les différentes variables mesurées, nous avons eu recours à l'analyse en composantes principales. L'analyse en composantes principales (ACP) présente l'avantage de caractériser un génotype donné par une valeur numérique, liée à un axe donné, représentant un ensemble de caractères qui sont spécifiques à ce génotype. Ces valeurs numériques peuvent être prises comme étant un indice intégrateur de plusieurs caractéristiques des génotypes étudiés (Oosterom et al., 1993). Les corrélations des valeurs des variables mesurées avec les premiers axes principaux (axe 1 et 2) et (axe 1 et 3) de l'analyse en composantes principales sont représentées en Figure III.18 et III.19 respectivement (Tableau III.7).

Les trois premiers axes (axe 1, 2 et 3) de l'ACP expliquent 31.74%, 14.74% et 13.94% respectivement, soit 60,42% de la variation incluse dans les données soumises à l'analyse.

L'étude des corrélations avec les axes principaux montre que la hauteur de la plante, le nombre de grains par épi, le poids des épis et le rendement grain par plante sont liés positivement à l'axe 1. Le long de cet axe s'opposent les génotypes N°2 (Megress/Bousselam), N°8 (Benimestina/Ofanto), N°11 (MBB/Mexicali//Bousselam/Adnan-1) et N°14 (Jordan collection86/Ahlal/3/Massara-01//Lahn/Ch12003) aux génotypes N°3 (Bousselam), N°4 (GTA dur), N°7 (Benimestina), N°10 (MBB/Mexicali) et N°12 (Bousselam/Adnan-1). (Figure III.18 ; Tableau III.7).

L'axe 2 présente une corrélation positive avec la durée de la phase végétative, la biomasse aérienne à maturité et la température du couvert végétal. Alors que la surface foliaire, l'indice de récolte et la teneur relative en eau sont négativement corrélés à cet axe. Les génotypes N°6 (MBB), N°16 (Beliouni), N°17 (Beliouni/Ter-1//Mrf1/Stj2) et N°18 (Ter-1//Mrf1/Stj2) sont bien représentés par l'axe 2 et qui s'opposent aux génotypes N°1 (Megress) et N°15 (Massara-01//Lahn/Ch12003), (Figure III.18 ; Tableau III.7).

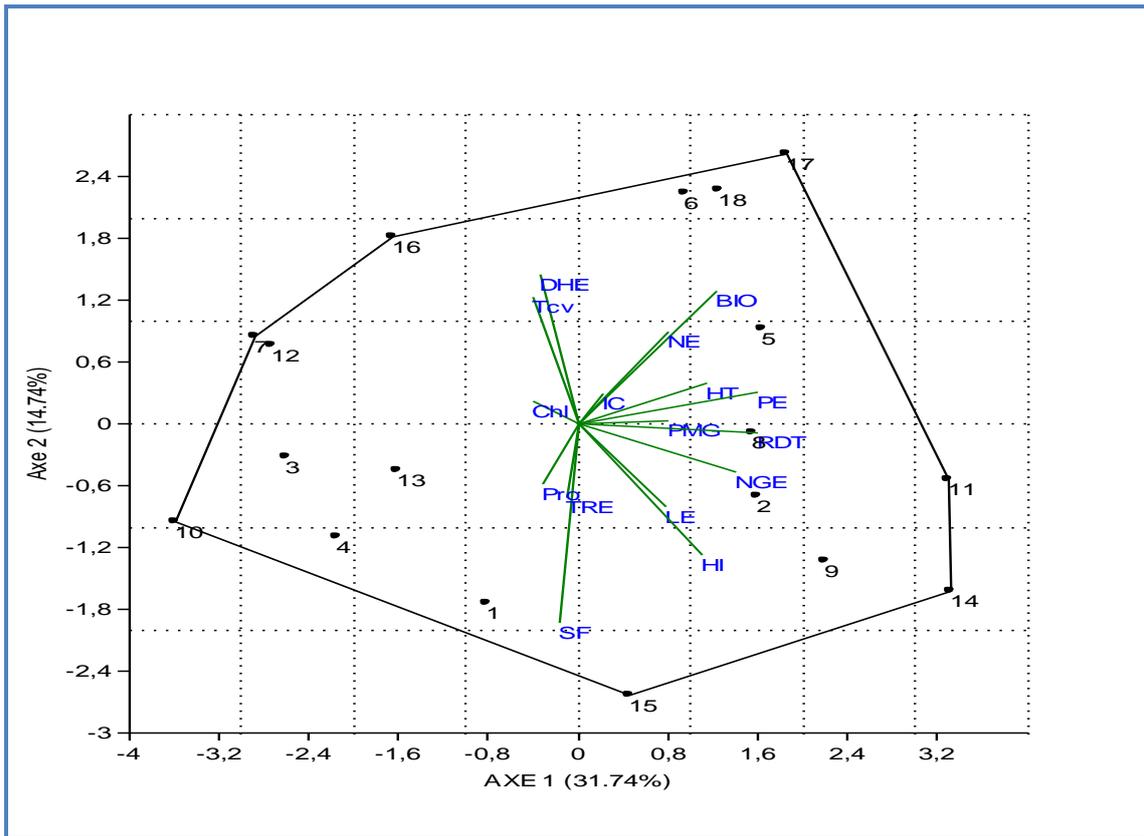


Figure III.18. Corrélation des caractères mesurés et des génotypes avec les axes principaux 1 et 2.

SF = Surface foliaire de la feuille étendard, DHE = Durée de la phase végétative, HT = Hauteur de la plante, BIO = Biomasse aérienne, HI = Indice de récolte, LE = Longueur de l'épi, NE = Nombre d'épis par plante, NGE = Nombre de grains par épi, RDT = Rendement grain par plante, PMG = Poids de mille grains, PE = Poids des épis, TRE= Teneur relative en eau (%), CHL= Contenu en chlorophylle (CCI), PROL= Teneur en proline (μg), IC= Intégrité cellulaire (%), TCV=Température du couvert végétal ($^{\circ}\text{C}$). 1= Megress, 3= Bouselam, 4= GTAdur, 6= MBB, 7= Benimestina, 9= Ofanto, 10= MBB/Mexicali, 12= Bouselam/Adnan-1, 13= Jordan collection86/Ahlal, 15= Massara-01//Lahn/Ch12003, 16= Belioni, 18= Ter-1//Mrf1/Stj2. 2= Megress/Bouselam, 5= GTAdur/MBB, 8= Benimestina/ Ofanto, 11= MBB/Mexicali//Bouselam/Adnan-1, 14=Jordan collection86/Ahlal/3/Massara-01//Lahn/Ch12003, 17= Belioni/3/Ter-1//Mrf1/Stj2

La longueur de l'épi, le nombre d'épis par plante et la proline sont représentés positivement par l'axe 3, à ce même axe sont négativement corrélés le poids de 1000 grains, la chlorophylle et l'intégrité cellulaire. N°13 (Jordan collection86/Ahlal) et N°5 (GTAdur/MBB) s'opposent le long de l'axe 3 au génotype N°9 (Ofanto). (Figure III.19 ; Tableau III.7)

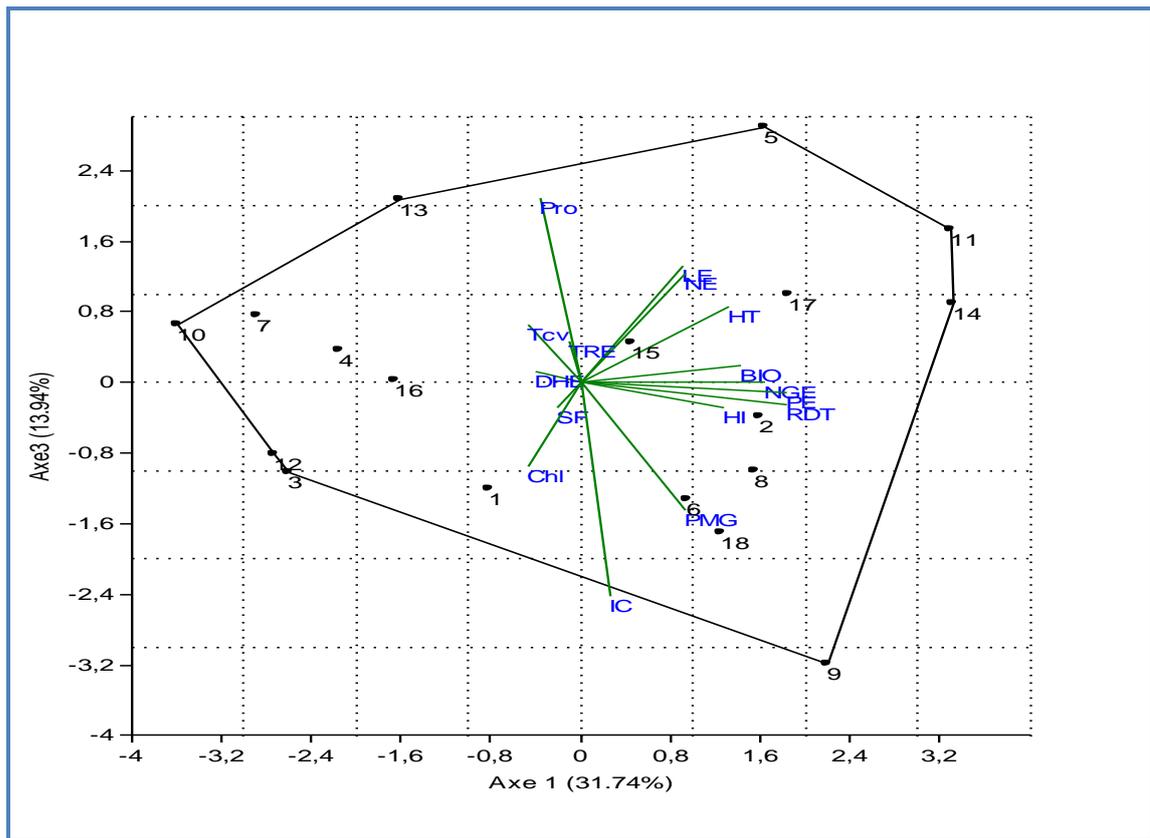


Figure III.19. Corrélation des caractères mesurés et des génotypes avec les axes principaux 1 et 3.

SF = Surface foliaire de la feuille étandard. DHE = Durée de la phase végétative. HT = Hauteur de la plante. BIO = Biomasse aérienne. HI = Indice de récolte. LE = Longueur de l'épi. NE = Nombre d'épis par plante. NGE = Nombre de grains par épi. RDT = Rendement grain par plante. PMG = Poids de mille grains. PE = Poids des épis, TRE= Teneur relative en eau (%), CHL= Contenu en chlorophylle (CCI), PROL= Teneur en proline (μg), IC= Intégrité cellulaire (%), TCV=Température du couvert végétal ($^{\circ}\text{C}$). 1= Megress, 3= Bousselam, 4= GTAdur, 6= MBB, 7= Benimestina, 9= Ofanto, 10= MBB/Mexicali, 12= Bousselam/Adnan-1, 13= Jordan collection86/Ahlal, 15= Massara-01//Lahn/Ch12003, 16= Belioni, 18= Ter-1//Mrf1/Stj2. 2= Megress/Bousselam, 5= GTAdur/MBB, 8= Benimestina/ Ofanto, 11= MBB/Mexicali//Bousselam/Adnan-1, 14=Jordan collection86/Ahlal/3/Massara-01//Lahn/Ch12003, 17= Belioni/3/Ter-1//Mrf1/Stj2

Cette répartition des variables selon les trois axes permet de caractériser les génotypes étudiés et de faire des groupages des individus qui se ressemblent plus au moins sur la base d'une ou de plusieurs des variables mesurées. L'information apportée par l'axe 1 indique que N°2 (Megress/Bousselam), N°8 (Benimestina/Ofanto), N°11 (MBB/Mexicali//Bousselam/Adnan-1) et N°14 (Jordan collection86/Ahlal/3/Massara-01//Lahn/Ch12003) se caractérisent par des valeurs élevées pour la hauteur de la plante, le nombre de grains par épi, le poids des épis par plante et le rendement grain par plante.

Tableau III.7. Coefficients de corrélation des variables et coordonnées des géotypes sur les axes principaux de l'analyse en composantes principales.

Coefficients de corrélation entre les variables et les axes principaux de l'analyse en composantes principales			
Variables	Axe 1	Axe 2	Axe 3
SF	-0.049	-0.525	-0.071
DHE	-0.094	0.392	0.028
HT	0.310	0.107	0.199
BIO	0.335	0.350	0.045
LE	0.211	-0.219	0.308
HI	0.298	-0.348	-0.068
NE	0.215	0.242	0.286
NGE	0.383	-0.127	-0.003
PMG	0.216	0.009	-0.343
PE	0.430	0.084	-0.029
RDT	0.430	-0.026	-0.059
TRE	-0.026	-0.197	0.108
Chl	-0.112	0.059	-0.224
Pro	-0.087	-0.159	0.489
IC	0.059	0.078	-0.571
Tcv	-0.110	0.334	0.150
Coordonnées des géotypes sur les axes principaux de l'analyse en composantes principales			
Géotypes	Axe1	Axe2	Axe3
1	-0.814	-1.737	-1.213
2	1.586	-0.699	-0.394
3	-2.612	-0.316	-1.028
4	-2.144	-1.104	0.355
5	1.643	0.924	2.881
6	0.940	2.246	-1.332
7	-2.885	0.851	0.747
8	1.555	-0.089	-1.013
9	2.200	-1.335	-3.201
10	-3.590	-0.945	0.650
11	3.281	-0.538	1.718
12	-2.740	0.757	-0.831
13	-1.608	-0.457	2.066
14	3.302	-1.626	0.878
15	0.445	-2.635	0.436
16	-1.658	1.814	0.007
17	1.841	2.614	0.988
18	1.257	2.273	-1.714

SF = Surface foliaire de la feuille étendard. DHE = Durée de la phase végétative. HT = Hauteur de la plante. BIO = Biomasse aérienne. HI = Indice de récolte. LE = Longueur de l'épi. NE = Nombre d'épis par plante. NGE = Nombre de grains par épi. RDT = Rendement grain par plante. PMG = Poids de mille grains. PE = Poids des épis, TRE= Teneur relative en eau (%), CHL= Contenu en chlorophylle (CCI), PROL= Teneur en proline (µg), IC= Intégrité cellulaire (%), TCV=Température du couvert végétal (°C). 1= Megress, 3= Bousselam, 4= GTAdur, 6= MBB, 7= Benimestina, 9= Ofanto, 10= MBB/Mexicali, 12= Bousselam/Adnan-1, 13= Jordan collection86/Ahlal, 15= Massara-01/Lahn/Ch12003, 16= Beliouni, 18= Ter-1//Mrf1/Stj2. 2= Megress/Bousselam, 5= GTAdur/MBB, 8= Benimestina/Ofanto, 11= MBB/Mexicali/Bousselam/Adnan-1, 14=Jordan collection86/Ahlal/3/Massara-01/Lahn/Ch12003, 17= Beliouni/3/Ter-1//Mrf1/Stj2.

L'axe 1 est donc indicateur de la productivité des génotypes. Sur les axes 1 et 2 la capacité de production des génotypes N°2 (Megress/Bousselam), N°8 (Benimestina/Ofanto), N°11 (MBB/Mexicali//Bousselam/Adnan-1) et N°14 (Jordan collection86/Ahlal/3/Massara-01//Lahn/Ch12003) est due à une courte phase végétative associée à une bonne fertilité épi, un poids des épis élevé, une paille haute, une biomasse aérienne relativement importante, un meilleur indice de récolte, des épis longs, nombre d'épis élevé, poids de 1000 grains important, une surface foliaire large, avec une faible teneur en eau, en proline et en chlorophylle, ces génotypes présentent un dommage cellulaire élevé mais ils gardent des basses températures de leur couvert végétal. Par contre les génotypes N°3 (Bousselam), N°4 (GTAdur), N°7(Benimestina), N°10 (MBB/Mexicali) et N°12 (Bousselam/Adnan-1) s'opposent au comportement des génotypes précédents. (Figure III.18 ; Tableau III.7)

L'axe 2 représente les caractères d'adaptation, les génotypes N°6 (MBB), N°16 (Beliouni), N°17 (Beliouni/3/Ter-1//Mrf1/Stj2) et N°18 (Ter-1//Mrf1/Stj2) se caractérisent par une longue durée végétative, une biomasse aérienne importante, un faible indice de récolte, une surface foliaire réduite, une température du couvert végétal élevée et une faible teneur relative en eau, ces caractéristiques ont conduit à une faible productivité. Alors que, les génotypes N°1(Megress) et N°15 (Massara-01//Lahn/Ch12003) se caractérisent par des valeurs opposées. (Figure III.18 ; Tableau III.7)

L'axe 3 est indicateur de la tolérance des génotypes aux stress abiotiques. Les génotypes N°13 (Jordan collection86/Ahlal) et N°5 (GTAdur/MBB) présentent une teneur élevée en proline, un faible contenu en chlorophylle, des épis longs, un nombre important d'épis, peu de dommage cellulaire, ces caractéristiques font diminuer le poids de 1000 grains et la productivité. A l'inverse, le génotype N°9 (Ofanto) se caractérise par des valeurs opposées, ceci lui confère la capacité d'avoir une bonne productivité comparativement aux autres parents qui ont tendance à donner un faible rendement grain (Figure III.19 ; Tableau III.7).

Ces résultats suggèrent que le comportement des générations F₂ et leurs parents est complètement différent. La sélection pour la productivité privilégie les F₂ N°2 (Megress/Bousselam), N°8 (Benimestina/Ofanto), N°11(MBB/Mexicali//Bousselam/Adnan-1) et N°14 (Jordan collection86/Ahlal/3/Massara-01//Lahn/Ch12003), celle pour la tolérance privilégie la F₂ N°5 (GTAdur/MBB). Par contre, la F₂ N°17 (Beliouni/3/Ter-1//Mrf1/Stj2) présente un comportement identique à celui de ses deux parents, et il est privilégié par la sélection pour l'adaptation.

En sélection, le génotype performant est désirable, il l'est encore mieux s'il tolère les stress abiotiques. En revanche, la présente étude montre que la productivité, l'adaptation et la tolérance aux stress abiotiques ne sont pas corrélées entre elles. Donc, la sélection sur la base de l'une de ces caractéristiques ne conduit pas à l'identification de génotypes qui se caractérisent par des valeurs désirables pour les autres caractéristiques.

III.6. Analyse génétique

III.6.1. Estimation des coefficients de la variabilité phénotypique et génotypique, de l'héritabilité et le gain génétique en termes de pourcentage de moyenne

Avant de passer à l'acte de sélection, on se pose souvent la question de savoir quelle est la part, dans les différences observées entre individus soumis à la sélection, dite variabilité phénotypique, qui revient au génotype et celle qui est due à la variation environnementale ?

Le concept d'héritabilité a été introduit pour répondre à cette question. L'héritabilité au sens large représente la part de la variabilité génétique (σ^2_G) par rapport à la variabilité phénotypique totale (σ^2_p). Bhatia et al., (2006) mentionnent que le degré de l'héritabilité dont les valeurs sont supérieures à 0.5 est classé comme élevé ; il est moyen pour des valeurs situées entre 0.30 et 0.50 et il est faible pour des valeurs inférieures à 0.30. La sélection simple par plant au cours des générations précoces est plus efficace pour les caractères à héritabilité élevée.

Tableau III.8. Estimation des coefficients de la variabilité phénotypique et génotypique, de l'héritabilité et le gain génétique en termes de pourcentages de moyenne.

Variabes	CV _P	CV _G	h ² _{sl}	GAM
SF	31.92	30.36	90.47	59.49
DHE	1.47	00.00	-14.77	-0.45
HT	10.95	10.37	89.71	20.24
LE	11.78	9.99	71.90	17.45
NGE	30.69	25.77	70.53	44.58
PMG	15.72	00.00	-10.16	-3.29
PROL	53.08	50.09	89.04	97.36
IC	24.69	21.88	78.53	39.94
TCV	8.18	6.55	64.01	10.79

SF = Surface foliaire de la feuille étandard, DHE = Durée de la phase végétative, HT = Hauteur de la plante, LE = Longueur de l'épi, NGE = Nombre de grains par épi, PMG = Poids de mille grains, PROL= Teneur en proline (µg), IC= Intégrité cellulaire (%), TCV=Température du couvert végétal (°C).

Le coefficient de la variation phénotypique varie selon les caractères, entre 1.47% pour la durée de la phase végétative et 53.08% pour la proline. Les autres caractères présentent des coefficients de variation phénotypiques moyens mis à part la durée de la phase végétative et la température du couvert végétal qui enregistrent une variabilité faible (Tableau III.8).

Les coefficients de variation génotypiques sont légèrement inférieurs aux coefficients de variation phénotypiques pour l'ensemble de caractères mesurés. Ceci s'explique par le fait que la variance phénotypique ne diffère, dans ce cas, de la variance génotypique que par la résiduelle. Le CV_G de la durée de la phase végétative et le poids de 1000 grains est nulle, mettant en évidence que toute la variabilité de ces deux caractères est d'origine environnementale. Pour les autres caractères, les coefficients de variation génotypiques sont faibles à élevés, la proline présente un coefficient de variation génotypique le plus élevé (50.09%), la surface foliaire (30.36%), le nombre de grain par épi (25.77%), l'intégrité cellulaire (21.88%), la hauteur (10.37%), la longueur de l'épi (9.99%), la température du couvert végétal (6.55%). (Tableau III.8).

La décomposition des coefficients de variation génotypique et phénotypique entre les générations F_2 (Tableau III.9 et III.10) montre qu'il existe une différence significative entre ces deux coefficients pour l'ensemble des caractères étudiés hormis la surface foliaire pour laquelle la $F_2 N^{\circ}2$ (Megress/Bousselam) présente la meilleure valeur avec 30,86% de variation génotypique, et la hauteur pour laquelle la $F_2 N^{\circ}5$ (GTAdur/MBB) enregistre la variation la plus importante avec 12,54% mettant en relief la faible influence de l'environnement sur l'expression de ces deux variables chez les différents croisements F_2 .

L'héritabilité de la durée de la phase végétative et le poids de 1000 grains est nulle comparée à celle d'autres caractères comme la surface foliaire (90.47%), la hauteur (89.71%), la proline (89.04%), l'intégrité cellulaire (78.53%), la longueur de l'épi (71.90%), le nombre de grain par épi (70.53%) et la température du couvert végétal (64.01%). Ces fortes valeurs de l'héritabilité au sens large montrent qu'une grande partie de la variabilité observée chez les caractères concernés est d'origine génétique. Si un caractère est fortement héritable, cela veut dire qu'il est stable dans différents environnements, et qu'il constitue donc un caractère intéressant pour la sélection. L'héritabilité est un indicateur pour prédire la réponse à la sélection : plus un caractère est héritable et plus la sélection est efficace et rapide pour faire évoluer la moyenne de la population (Benmahammed, 1995 ; Nouri, 2011). Cependant, le nombre de grains par épis qui présente une corrélation significative avec le rendement grain et

une forte héritabilité pourrait être utilisée en sélection à fin d'améliorer le rendement (Tableau III.8).

La décomposition de l'héritabilité aux sens large entre les F₂ des six croisements (Tableau II.11) indique que l'héritabilité de la surface foliaire est élevée chez toutes les F₂ prenant une valeur maximale chez la F₂ N°14 (Jordan collection86/Ahlal/3/Massara-01//Lahn/Ch12003) avec 94.39%. En est de même pour la hauteur et la proline dont la meilleure valeur de l'héritabilité au sens large pour la hauteur est enregistrée par la F₂ N°5 (GTAdur/MBB) avec une valeur de 93,21%, celle de la proline est notée chez la F₂ N°11 (MBB/Mexicali//Bousselam /Adnan-1) avec une valeur de 89,52%. Ces fortes valeurs de l'héritabilité au sens large confirment que ces caractères dépendent en grande partie du facteur génétique.

L'héritabilité de la température du couvert végétal est moyenne à élevée avec une valeur maximale chez la F₂ N°11 (MBB/Mexicali//Bousselam/Adnan-1) avec 67,17%. Ces résultats concordent avec ceux de Oulmi (2010) qui a enregistré des valeurs élevées de l'héritabilité au sens large chez deux populations F₃ de blé dur. Alors que celle du nombre de grain par épi et de l'intégrité cellulaire est faible à élevée prenant une valeur maximale chez N°8 (Benimestina/Ofanto) pour le NGE avec 76,57%, et chez N°5 (GTAdur/MBB) pour l'intégrité cellulaire avec 85,96% (Tableau III.8).

Une héritabilité nulle a été observée pour la durée de la phase végétative chez l'ensemble des F₂. De même, pour le poids de 1000 grains à l'exception de la F₂ N° 11(MBB /Mexicali//Bousselam/Adnan-1) qui présente une héritabilité moyenne de 47,43%. Plus les géotypes sont sensibles à la variation du milieu, plus le coefficient d'héritabilité est surestimé, par ce que la variance génétique contient une grande part de la variance d'interaction qui est purement environnementale et ne renseigne en rien sur les possibilités génétiques des lignées sous sélection (Benmahammed et *al.*, 2003).

Le gain génétique en termes de pourcentage de moyenne est élevé pour la proline (97.36%), la surface foliaire (59.49%), le nombre de grain par épi (44.58%), l'intégrité cellulaire (39.94%), la hauteur (20.24%), il est modéré pour la longueur de l'épi (17.45%) et la température du couvert végétal (10.79%) et il est nulle pour la durée de la phase végétative et le poids de 1000 grains (Tableau III.8).

La décomposition des valeurs du gain génétique en termes de pourcentage de moyenne entre les F₂ des six croisements (tableau III.12) montre que la meilleure valeur pour la surface foliaire est donnée par la F₂ du croisement N°14 (Jordan collection86/Ahlal/3/Massara-01//Lahn/Ch12003) avec 61,50%, celle de la proline et de la longueur de l'épi sont notées chez N°17 (Beliouni/3/Ter-1//Mrf1/Stj2) avec 102,78% et 19,46 % respectivement, celle du nombre de grains par épi est enregistré chez N° 8 (Benimestina/Ofanto) avec 51,89%. Tandis que la F₂ du croisement N°11(MBB/Mexicali//Bousselam/Adnan-1) prend les meilleures valeurs pour le poids de 1000 grains avec 21,80% et la température du couvert végétal avec 12,20%. Le gain génétique de l'intégrité cellulaire et de la hauteur est important chez la F₂ du croisement N°5 (GTAdur/MBB) avec des valeurs de 68,54% et 24,93% respectivement. Un gain génétique nulle a été observé pour la durée de la phase végétative chez toutes les F₂ des six croisements étudiés.

Tableau III.9. Valeurs du coefficient de variation phénotypique des différents caractères mesurés chez les F₂.

Croisement	SF	DHE	HT	LE	NGE	PMG	PROL	IC	TCV
2	32.42	0.00	5.65	7.89	17.68	6.00	51.66	25.76	6.46
5	22.40	0.00	12.99	9.56	27.46	11.44	22.53	38.71	6.88
8	28.05	0.00	8.64	7.00	32.89	12.84	45.32	8.01	6.01
11	20.62	0.00	9.33	4.52	20.22	22.31	43.62	27.72	8.82
14	31.63	0.00	8.72	11.00	26.88	7.35	46.59	10.90	8.04
17	21.83	0.00	7.89	12.80	19.30	12.95	59.83	17.96	7.16

SF = Surface foliaire de la feuille étendard. DHE = Durée de la phase végétative. HT = Hauteur de la plante. LE = Longueur de l'épi. NGE = Nombre de grains par épi. PMG = Poids de mille grains. PROL= Teneur en proline (µg). IC= Intégrité cellulaire (%). TCV=Température du couvert végétal (°C). 2= Megress/Bousselam. 5= GTAdur/MBB. 8= Benimestina/ Ofanto. 11= MBB/Mexicali//Bousselam/Adnan-1, 14= Jordan collection86/Ahlal/3/Massara-01//Lahn/Ch12003, 17= Beliouni/3/Ter-1//Mrf1/ Stj 2.

Tableau III.10. Valeurs du coefficient de variation génotypique des différents caractères mesurés chez les F₂ des six croisements.

Croisement	SF	DHE	HT	LE	NGE	PMG	PROL	IC	TCV
2	30,86	0.00	4,21	4,00	0.00	0.00	47,56	22,98	3,90
5	19,85	0.00	12,54	7,07	21,11	0.00	19,23	35,89	4,99
8	26,08	0.00	7,72	3,06	28,78	0.00	34,31	0,00	3,82
11	18,09	0.00	8,71	0,00	14,23	15,36	41,27	24,83	7,23
14	30,73	0.00	8,00	9,56	23,17	0.00	43,63	2,97	6,26
17	17,96	0.00	7,16	10,99	0.00	0.00	54,63	14,42	5,26

SF = Surface foliaire de la feuille étendard, DHE = Durée de la phase végétative, HT = Hauteur de la plante, LE = Longueur de l'épi, NGE = Nombre de grains par épi, PMG = Poids de mille grains, PROL= Teneur en proline (µg), IC= Intégrité cellulaire (%), TCV=Température du couvert végétal (°C), 2= Megress/Bousselam, 5= GTAdur/MBB, 8= Benimestina/Ofanto, 11= MBB/Mexicali//Bousselam/Adnan-1, 14= Jordan collection86/Ahlal/3/Massara-01//Lahn/Ch12003, 17= Beliouni/3/Ter-1//Mrf1/ Stj2.

Tableau III.11. Valeurs de l'héritabilité au sens large des différents caractères mesurés chez les F₂ des six croisements.

Croisement	SF	DHE	HT	LE	NGE	PMG	PROL	IC	TCV
2	90,61	0.00	55,69	25,74	-6,70	-484,08	84,75	79,61	36,38
5	78,52	0.00	93,21	54,65	59,10	-138,64	72,80	85,96	52,57
8	86,46	0.00	79,90	19,06	76,57	-44,57	57,30	-56,53	40,43
11	76,97	0.00	87,05	-83,67	49,55	47,43	89,52	80,25	67,17
14	94,39	0.00	84,19	75,51	74,28	-531,25	87,71	7,43	60,63
17	67,74	0.00	82,39	73,82	-47,38	-80,70	83,40	64,40	53,95

SF = Surface foliaire de la feuille étandard, DHE = Durée de la phase végétative, HT = Hauteur de la plante, LE = Longueur de l'épi, NGE = Nombre de grains par épi, PMG = Poids de mille grains, PROL= Teneur en proline (µg), IC= Intégrité cellulaire (%), TCV=Température du couvert végétal (°C), 2= Megress/Bousselam, 5= GTAdur/MBB, 8= Benimestina/Ofanto, 11= MBB/Mexicali/3/Bousselam/Adnan-1, 14= Jordan collection86/Ahlal/3/Massara-01//Lahn/Ch12003, 17= Beliouni/3/Ter-1//Mrf1/ Stj2.

Tableau III.12. Valeurs du gain génétique en termes de pourcentage de moyenne de la sélection sur la base des différents caractères mesurés chez les F₂ des six croisements.

Croisement	SF	DHE	HT	LE	NGE	PMG	PROL	IC	TCV
2	60,51	0.00	6,48	4,18	-2,44	-59,87	90,19	42,24	4,84
5	36,24	0.00	24,93	10,76	33,43	-32,66	33,80	68,54	7,45
8	49,95	0.00	14,22	2,75	51,89	-11,79	53,50	-9,33	5,00
11	32,70	0.00	16,74	-7,78	20,64	21,80	80,44	45,83	12,20
14	61,50	0.00	15,12	17,12	41,14	-80,40	84,18	1,67	10,05
17	30,46	0.00	13,39	19,46	-18,84	-21,52	102,78	23,83	7,96

SF = Surface foliaire de la feuille étandard, DHE = Durée de la phase végétative, HT = Hauteur de la plante, LE = Longueur de l'épi, NGE = Nombre de grains par épi, PMG = Poids de mille grains, PROL= Teneur en proline (µg), IC= Intégrité cellulaire (%), TCV=Température du couvert végétal (°C), 2= Megress/Bousselam, 5= GTAdur/MBB, 8= Benimestina/ Ofanto, 11= MBB/Mexicali//Bousselam/Adnan-1, 14= Jordan collection86/Ahlal/3/Massara-01//Lahn/Ch12003, 17= Beliouni/3/Ter-1//Mrf1/ Stj2.

Conclusion

Les résultats de ce travail montrent que les F_2 diffèrent significativement de leurs parents pour l'ensemble de caractères étudiés mis à part la température du couvert végétal. Les F_2 présentent des moyennes supérieures à celles des parents hormis la surface foliaire, la durée de la phase végétative, le contenu en chlorophylle et le dommage cellulaire pour lesquelles les parents s'expriment mieux.

Les résultats indiquent la présence d'une variabilité assez importante entre les F_2 des six croisements étudiés, pour la majorité des caractères mesurés. Ceci justifie l'analyse génétique pour la sélection à fin d'améliorer la productivité et l'adaptation du blé dur en zones semi-aride. L'absence de la variabilité génétique pour le rendement grain chez les F_2 , semble être associée principalement au déficit hydrique survenu à un stade précoce et notamment à la tombée de la grêle en fin de cycle. De ce fait, il ne peut pas être retenu comme seule critère de sélection. Dans ce cas une sélection multi-caractères devient nécessaire, d'où l'utilité de conduire l'étude des liaisons entre les variables mesurées et le rendement surtout chez les F_2 qui sont une source de sélection.

L'analyse des liaisons entre les variables mesurées chez la F_2 indique que la surface foliaire est liée positivement avec la longueur de l'épi et le nombre de grains par épis, chez Jordan collection86/Ahlal/3/Massara-01//Lahn/Ch12003. Alors que la biomasse aérienne est positivement corrélée avec le nombre d'épis par plante et la hauteur, chez Belioni/3/Ter-1//Mrf1/Stj2. Cela signifie le choix d'une surface foliaire relativement large comme critère de sélection, et une biomasse aérienne élevée est donc issue d'une contribution importante du nombre d'épis et de la hauteur du chaume. Cependant, cette variable ne constitue pas un caractère qui intervient dans l'élaboration du rendement dans cette campagne parce que la quantité de biomasse accumulée n'est pas totalement valorisée sous forme de grain.

La liaison positive et significative entre le nombre de grain par épis et l'indice de récolte avec le rendement grain suggère qu'une bonne fertilité épi contribue à un haut rendement, et que l'indice de récolte est une caractéristique importante pour améliorer le rendement grain. Les meilleures F_2 pour ces caractéristiques sont MBB/Mexicali//Bousselam/Adnan-1 suivie par Jordan collection86/Ahlal/3/Massara-01//Lahn/Ch12003. Les caractères physiologiques et biochimiques restent indépendants de l'expression du rendement chez la F_2 , ceci n'exclue pas leurs intérêts, qui semblent être le plus lié à l'adaptation et à la tolérance aux stress abiotiques.

L'analyse en composantes principales (ACP) montre que la productivité est liée à des valeurs élevées pour le rendement grain par plante, le nombre de grains par épi, le poids des épis et la hauteur de la plante, la sélection pour la productivité privilégie les croisements Jordan collection86/Ahlal/3/Massara-01//Lahn/Ch12003, MBB/Mexicali//Bousselam/Adnan1,Megress/ Bousselam et Benimestina/Ofanto. Alors que les caractères d'adaptation sont une longue durée végétative, une biomasse aérienne importante, un faible indice de récolte, une surface foliaire réduite, une température du couvert végétal élevée et une faible teneur relative en eau, pour lesquelles le meilleur croisement est Beliouni/3/Ter-1//Mrf1/Stj2. Tandis que, la tolérance aux stress est la résultante d'une teneur élevée en proline, un faible contenu en chlorophylle, des épis longs, un nombre important d'épis, peu de dommage cellulaire pour lesquelles le meilleur croisement est GTAdur/MBB. Ces résultats montrent que la productivité, l'adaptation et la tolérance aux stress abiotiques ne sont pas corrélées entre elles. Donc, la sélection sur la base de l'une de ces caractéristiques ne conduit pas à l'identification de géotypes qui se caractérisent par des valeurs désirables pour les autres caractéristiques. Cette sélection apparaît difficile à réaliser dans des milieux similaires à celui dans lequel la présente étude a été conduite.

Les fortes valeurs de l'héritabilité au sens large prises par la surface foliaire, la hauteur, la teneur en proline, le dommage cellulaire, la longueur de l'épi, le nombre de grain par épi et la température du couvert végétal confirment qu'une grande partie de la variabilité observée chez les caractères concernés dépendent du facteur génétique. Cependant, le nombre de grains par épis qui présente une corrélation significative avec le rendement grain et une forte héritabilité pourrait être utilisée en sélection à fin d'améliorer le rendement.

Perspectives

Le choix d'une surface foliaire relativement large, un nombre de grains par épi important comme critère de sélection est efficace pour engendrer des améliorations du rendement sous les conditions environnementales erratiques. Il serait donc plus judicieux de pratiquer la sélection à l'intérieur des populations Jordan collection86/ Ahlal /3/Massara-01//Lahn/Ch12003, MBB/ Mexicali//Bousselam/Adnan-1 et Benimestina/Ofanto.

Bien que la sélection classique de blé dur, ait obtenu des résultats encourageants dans le développement des variétés à haut rendement, elle ne parvient plus aujourd'hui à évoluer aussi rapidement suite à la présence des interactions génotypes \times environnement. En termes de perspective, il serait souhaitable d'incorporer les outils de la biotechnologie et du génie génétique dans les stratégies conventionnelles d'amélioration. Ces techniques réduiraient grandement les effets de l'interaction génotypes \times environnement et elles offrent l'avantage d'une sélection efficace, rapide et précoce. L'étude génétique par la recherche de marqueurs moléculaires du mode de transmission et de l'héritabilité des caractères repérés, comme bons indicateurs de la tolérance au stress hydrique est nécessaire pour faciliter l'utilisation de ces caractères dans les programmes de sélection pour l'amélioration génétique.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abbassenne, F., Bouzerzour, H., & Hachemi, L. (1997).** Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride. *Ann. Agron. INA*, El Harrach, 18 :24-36.
- Acevedo, E., Conesa, A. P., Monneveux, P., & Srivastava, J. P. (1989).** Physiology breeding of winter cereals for stressed mediterranean environments, *INRA Stat. Bioclimatologie*, 50-66.
- Acevedo, E., & Ceccarelli, S. (1990).** Role of physiologist breeder for drought resistant conditions. *Field crops research*, 39: 48–56.
- Acevedo, E., Silva, P. C., Silva, H. R., & Solar, B. R. (1999).** Wheat production in Mediterranean environments. In: Satorre, E. H., Slafer, G. A (Eds.) Wheat ecology and physiology in yield determination. *Food products press, an imprint of the Hayworth press, Binghamton, N. Y.*: 141-159.
- Acevedo, E., Silva, P., & Silva, H. (2002).** Wheat growth and physiology, In: Curtis, B. C., Rajaram, S., and Macpherson, G. H., Bread wheat. Improvement and Production, Eds. *Food and Agriculture Organization*, Rome, 30: 34 - 70.
- Alem, C., Labhilili, M., Brahmi, K., Jlibene, M., Nasrallah, N., & Filali-Maltouf, A. (2002).** Adaptations hydrique et photosynthétique du blé dur et du blé tendre au stress salin, *C. R. Biologies* 325 : 1097–1109.
- Ali Dib, T. (1992).** Contribution à l'étude de la tolérance à la sécheresse de blé dur. Etude de la diversité de caractères physiologiques d'adaptation. Thèse de doctorat, Montpellier, 196p.
- Ali Dib, T., Monneveux, P., & Araus, J.L. (1992).** Adaptation à la sécheresse et notion d'idéotype chez le blé dur. II : caractères physiologiques d'adaptation. *Agronomie*, 12 :381-393.
- Amin, M. R., Barma, N. C. D., & Razzaque, M.A. (1992).** Variability, heritability, genetic advance and correlation study in some quantitative characters in durum wheat. *Rachis*, 11: 30-32.
- Annerose, D. J. M. (1990).** Recherches sur les mécanismes physiologiques d'adaptation à la sécheresse. Application au cas de l'arachide (*Arachis hypogea L.*) cultivée au Sénégal. Thèse de doctorat es Sciences Naturelles, Université Paris VII, 282p.
- Annicchiarico, P. (2002).** Genotype by environment interactions: Challenges and opportunities for plant breeding and cultivar recommendations. FAO Plant Production and Protection Paper, N° 174, FAO, Rome, 159 p.
- Annicchiarico, P., Bellah, F., & Chiari, T. (2005).** Defining sub regions and estimating benefits for a specific adaptation strategy by breeding programs: a case study. *Crop Sci*, 45: 1741-1749.
- Araus, J. L., Amaro, T., Voltas, J., Nakkoul, H., & Nachit, M. M. (1998).** Chlorophyll fluorescence as a selection criterion for grain yield in durum wheat under Mediterranean conditions. *Field Crop Research*, 55: 209-223.

- Assem, N., El Hafid, L., Haloui, B., & El Atmani, k. (2006).** Effets du stress hydrique appliqué au stade trois feuilles sur le rendement en grains de dix variétés de blé cultivées au Maroc oriental. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 17 (4) : 499-505.
- Atlin, G. N., McRaem, K. B., & Lu, X. (2000).** Genotype x Region interaction for two– row barley yield in Canada. *Crop Sci.*, 40: 1-6.
- Austin, R. B., & Ford, M. A. (1989).** Effects of nitrogen fertilizer on the performance of old and new varieties of winter wheat. In: *Proceedings XII Eucarpia Congress, February 1989. Goettingen, Germany, Vortr. Pflanzenzuechtug*, 16: 307-318.
- Bagga, A. K., Ruwal, K. N., & Asana, R. D. (1970).** Comparison of some Indian and semi-dwarf Mexican wheat to unirrigated cultivation. *Indian J. agric.Sci.* 40: 421- 427.
- Bahlouli, F., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., & Hassous, K. L. (2005).** Selection of high yielding of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under semi arid conditions. *Journal of Agronomy*, 4 (4): 360-365.
- Bahlouli, F., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., & Hassous, A. (2006).** Etude des liaisons entre le rendement, la durée de vie de la feuille étandard, la vitesse de remplissage et la remobilisation des assimilés de la tige du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous climat méditerranéen. *Annales INA*, 27: 15-36.
- Bahlouli, F., Bouzerzour, H., & 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*, 1 : 1-11.
- Bajji, M., Almansouri, M., Bouharmont, J., Kinet, J. M., & Lutts, S. (1997).** 6èmes J. Scientifiques du Réseau Biotechnologies Végétales AUFELF.UREF, Orsay.
- Bajji, M., Lutts, S., & Kinet, J. M. (2000).** La résistance au stress hydrique chez le blé dur : Comparaison des comportements au niveau cellulaire et au niveau de la plante entière. Zaragoza : ciheam. Options Méditerranéennes : série A. séminaires méditerranéens, 40 : 227- 231.
- Bajji, M., Lutts, S., & Kinet, J. M. (2001).** Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf aging in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. *Plant Sci.*, (160): 669- 681.
- Baldy, C. (1984).** Utilisation efficace de l'eau par la végétation en climats méditerranéens. *Bull. Soc. Botan. Fr* 131 (2, 3, 4) (*Actual. Botan.*) 491-499.
- Baldy, C., Ruelle, P., & Fernandes, A. (1993).** Résistance à la sécheresse du sorgho-grain en climat méditerranéen. *Sécheresse*, 4: 85-93.
- 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 water deficit in plant tissues. In: *Water Deficit and Plant Growth*. Koslowski T. *Academy Press*. New York. 235 -368 .

- Becker, H. C., & Leon, J. (1988).** Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding*, 101: 1-23.
- Belaid, D. (1987).** Etude de la fertilisation azotée et phosphatée d'une variété de blé dur (Hedba3) en conditions de déficit hydrique, Mémoire de magister. INA - El Harrach, Alger, 108p.
- Belaid, D. (2000).** The economics of durum wheat production in WANA: Past trends and future prospects. In: Proceedings of the symposium blé 2000, enjeux et strategies, 49-70.
- Belhassen, E., This, D., & Monneveux, P. (1995).** L'adaptation génétique face aux contraintes de sécheresse. *Cahier d'Agriculture*, 1 : 251-261.
- Belkharouch, H., Fellah, S., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., & chellal, N. (2009).** vigueur de croissance, translocation et rendement En grains du blé dur (*Triticum durum* desf.) Sous conditions semi arides. *Courrier du Savoir*, (09):17-24.
- Benlarabi, M., & 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. France.*, 74 (5): 73-83.
- Benbelkacem, A., Sadli, F., & Brinis, L. (1995).** La recherche pour la qualité des blés durs en Algérie. zaragoza: ciheam, Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens, 22 : 61-65.
- Benbelkacem, A., & Kellou, K. (2001).** Évaluation du progrès génétique chez quelques variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var. durum) cultivées en Algérie. Options méditerranéennes, 6: 105-10.
- Benmahammed, A. (1995).** Associations et héritabilités de quelques caractères à variation continue chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.). Thèse de Magister. INA - El Harrach, Alger, 80p.
- Benmahammed, A., Bouzerzour, H., & Benbelkacem, A. (1999).** Synthèse des activités de sélection des céréales des stations de Sétif, Khroub, Tiaret et Sidi Bel Abbes. Document interne, Institut Technique des Grandes Cultures, Sétif.
- Benmahammed, A., Kermiche, A., Hassous, K. L., Djekoun, A., & Bouzerzour, H. (2003).** Sélection multi-caractères pour améliorer le niveau de stabilité du rendement de l'orge (*Hordeum vulgare* –L.) en zone semi-aride, *revue sciences et technologies*, 19: 98-103.
- Benmahammed, A. (2005).** Hétérosis, transgressions et efficacité de la sélection précoce et retardée de la biomasse, du nombre d'épis et utilisation des indices chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.). Thèse de Doctorat d'Etat en Biologie végétale, option, Génétique et Amélioration des plantes. Université de Constantine. 125p.
- Benmahammed, A., Bouzerzour, H., Mekhlouf, A., & Benbelkacem, A. (2008).** Variation de la teneur relative en eau, l'intégrité cellulaire, la biomasse et l'efficacité d'utilisation de l'eau des variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var durum) conduites sous contraintes hydrique. *Recherche Agronomique, INRA*, 21: 37-47.
- Benmahammed, A., Nouar, H., Haddad, L., Laala, Z., Oulmi, A., & Bouzerzour, H. (2010).** Analyse de la stabilité des performances de rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 14: 177-186.

- Ben Naceur, M., Gharbi, M. S., & Paul, R. (1999).** L'amélioration variétale et les autres actions contribuant à la sécurité alimentaire en Tunisie en matière de céréales. *Sécheresse*, 10 : 27-33.
- Ben Naceur, M., Nailly, M., & 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*, 2 : 53-60.
- Ben Rejeb, K., Abdelly, C., & Savouré, A. (2012).** La proline, un acide aminé multifonctionnel impliqué dans l'adaptation des plantes aux contraintes environnementales. *Biologie Aujourd'hui*, 206 (4) : 291-299.
- Ben Salem, M., Boussen, H., & Slama, A. (1997).** Évaluation de la résistance à la contrainte hydrique et calorique d'une collection de blé dur : recherche de paramètres précoces de sélection. Sixièmes Journées scientifiques du réseau Biotech.-Génie Génétique des plantes, Agence francophone pour l'enseignement supérieur et la recherche (AUPELF/UREF), Orsay. *Sécheresse*, 2 : 75- 83.
- Bensari, M., Camés, J., & Viala, G. (1990).** Répartition du carbone fixé par photosynthèse entre l'amidon et le saccharose dans la feuille de soja. Influence d'un déficit hydrique. *Plant Physiol. Biochem*, 28: 17-26.
- Bergareche, C., Llusia, J., Febrero, A., Bort, J., & Araus, J. L. (1993).** Effect of water stress on proline and nitrate content of barley relationships with osmotical potential, carbon isotope ratio and grain yield. Colloque Diversité génétique et amélioration variétale, Montpellier (France), 15-17 décembre 1992. Les colloques, n°64. Paris : *Inra éditions*.
- Berka, S., & Aïd, F. (2009).** Réponses physiologiques des plants d'Argania spinosa (L.) Skeels soumis à un déficit hydrique édaphique. *Sécheresse*, 20 (3) : 296-302.
- Berliner, P., Oosterhuis, D. M., & Green, G. C. (1984).** Evaluation of the infrared thermometer as a crop stress detector. *Agricultural and Forest Meteorology*, 31 (3-4): 219-230.
- Bhateria, S., Sood, S. P., & Panthania, A. (2006).** Genetic analysis of quantitative traits across environments in lin seed (*Linum usitatissimum* L.). *Euphytica*, 150: 185-194.
- Bidinger, F. R., & Witcombe, J. R. (1989).** Evaluation of specific deshydration tolerance traits improvement of drought resistance. In drought resistance in cereals F.W.G. *Baker of CAB international*, 151-164.
- Biscoe, P. V., Gallagher, J., Littleton, E. J., Monteith, J. L., & Scott, R. K. (1975).** Barley and its environment. Sources of assimilates. *J Appl Ecol*, 12: 295-302.
- Blum, A., Ebercom, A. (1981).** Cell membrane stability as a mesure of drought and heat tolerance in wheat. *Crop Sci*, 21 : 43-7.
- Blum, A. (1985).** Photosynthesis and transpiration in leaves and ears of wheat and barley varieties. *J. exp. Bot*, 36: 432-440.
- Blum, A., & Pnuel, Y. (1990).** Physiological attributes associated with drought resistance of wheat cultivars in a mediterranean environment. *Aust. J. Agric. Res*, 41: 799-810.
- Blum, A., Ramaiah, S., Kanemasu, E. T., & Paulsen, G. M. (1990).** Recovery of wheat from drought stress at the tillering developmental stage. *Field Crop Res*, 24 : 67-85.

- Blum, A., Shpiler, L., Golan, G., Mayer, J., & Sinmena, B. (1991).** Mass selection of wheat for grain filling without transient photosynthesis. *Euphytica*, 54: 111-116.
- Blum, A. (1996).** Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. *Plant Growth Regulation*, 20:135-148.
- Bonjean, A. (2001).** Histoire de la culture des céréales et en particulier celle de blé tendre (*Triticum aestivum* L.). *Dossier de l'environnement de l'INRA*, 21: 29-37.
- Boukerou, L., & Rasmusson, D. C. (1990).** Breeding for high biomass yield in spring barley. *Crop Sci*, 30: 31-35.
- Bousba, R., Ykhlef, N., & Djekoun, A. (2009).** Water use efficiency and flag leaf photosynthetic in response to water deficit of durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *World Journal of Agricultural Sciences* 5. 5: 609 -616.
- Bousba, R. (2012).** Caractérisation de la tolérance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) : Analyse de la physiologie et de la capacité en production. Thèse de doctorat Es Science en biologie végétale, option, Bases génétique de la production végétale. Université Constantine. 1226 p.
- Bousba, R., Djekoun, A., Duraa, S., & Ykhlef, N. (2013).** Caractérisation moléculaire et association marqueur SSR phénotype pour la tolérance au stress hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). *European Scientific Journal*, 09 (12) : 1857-7881.
- Bouzerzour, H., & Oudina, M. (1989).** Variabilité du rendement de l'orge sous l'influence du climat des hauts plateaux. In séminaire W.O.M.Eds. ICARDA. 110-119.
- Bouzerzour, H., & Benmahammed, A. (1991).** Correlation and regression studies of barley in Eastern Algeria. *Rachis*, 10: 35-36.
- Bouzerzour, H., & Monneveux, P. (1992).** Analyses des facteurs de stabilité du rendement de l'orge dans les conditions des hauts plateaux algériens. A l'occasion des colloques n°64 : Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne : Diversité génétique et amélioration des variétés, (Montpellier, France, 15-17 décembre 1992). Eds. Ben Salem M et Monneveux P. Ed. INRA, Paris 1993. pp 205-15.
- Bouzerzour, H., & Hafsi, M. (1993).** Diagnostic du comportement variétal du blé dur dans les hautes plaines sétifiennes. In : Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne. Diversité génétique et amélioration variétale. Montpellier, France. Ed. INRA. Paris. 64: 205-215.
- Bouzerzour, H., & Benmahammed, A. (1994).** Environmental factors limiting barley grain yield in the high plateau of eastern Algeria. *Rachis*, 7: 11-14.
- Bouzerzour, H., & Benmahammed, A. (1995).** Analyse graphique d'un croisement diallèle en orge ; *Céréaliculture*, 28 : 9-12.
- Bouzerzour, H., Djekoune, A., & Benmahammed, A. (1996).** Genotypic similarity of performances and stability of environmental responses of barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.). *Actes Inst. Agro. Vet.* (Maroc), 16: 33-38.

- Bouzerzour, H., Djekoune, A., Benmahammed, A., & Hassous, L. (1998a).** Contribution de la biomasse aérienne, de l'indice de récolte et de la précocité au rendement de l'orge (*H. vulgare* L.) en zone semi-aride d'altitude, Méthodes et techniques, *Cahiers Agricultures*, 07 : 307-17.
- Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Makhlouf, D., & Harzallah, D. (1998b).** Evaluation de quelques techniques de sélection pour la tolérance aux stress chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride d'altitude. *Céréaliculture*, 33: 27-33.
- Bouzerzour, H., Bahlouli, F., Benmahammed, A., & Djekoun, A. (2000).** Cinétique d'accumulation et de répartition de la biomasse chez des génotypes contrastés d'orge (*Hordeum vulgare* L.). *Sciences et Technologie*, 13: 59-64.
- Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Benkharbache, N., & Hassous, K. L. (2002).** Contribution de la sélection à l'amélioration et à la stabilité des rendements de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) dans l'étage bioclimatique semi-aride, *Revue Recherche Agronomique de l'INRA*, 10 : 45-58.
- Botstein, D., White, R. L., Skolnick, M., & Dvies, R. W. (1980).** Construction of genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphism. *Am. J. Hum. Genet.* 32, p. 314–331.
- Brink, M., & Belay, G. (2006).** Ressources végétales de l'Afrique tropicale 1. Céréales et légumes secs. Fondation PROTA, Wageningen, Pays-Bas/Backhys Publishers, Leiden, Pays/Bas/CTA, Wageningen, Pays-Bas, 328pp.
- Canterll, R. G., & Haro Arias, E. S. (1986).** Selection for spikelet fertility in a semidwarf durum wheat populations. *Crop Sci.*, 26 : 691-693.
- Canterro-Martinez, C., Villar, J. M., Romagosa, I., & Fereres, E. (1995).** Growth and yield responses of two contrasting barley cultivars in a Mediterranean environment. *Eur. J. Agron.*, 4: 317-323.
- 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.
- Ceccarelli, S., Grando, S., & Impiglia, A. (1998).** Choice of selection strategy in breeding barley for stress environments. *Euphytica*, 103: 307-318.
- Chellali, B. (2007).** Marché mondial des céréales : L'Algérie assure sa sécurité alimentaire. <http://www.lemaghreb.dz.com/admin/folder01/une.pdf>. (31.05.2008).
- Chennafi, H., Aïdaoui, A., Bouzerzour, H., & Saci, A. (2006).** Yield response of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivar Waha to deficit irrigation under semiarid growth conditions. *Asian J. Plant Sci.*, (5): 854-860.
- Chennafi, H., Bouzerzour, H., & Saci, A. (2008b).** Amélioration de l'agriculture pluviale en environnement semi-aride. In: *Proceedings du séminaire national sur les contraintes à la production du blé dur en Algérie*. Université Chlef, le 29 et 30 novembre 2008, p: 62-68.
- Cherfia, R. (2010).** Etude de la variabilité morpho-physiologique et moléculaire d'une collection de blé dur algérien (*Triticum durum* Desf.). Mémoire de Magister, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Biologie et Ecologie. Université Mentouri, Constantine. 77p.

- Chimenti, C., Cantagallo, J., & Guevara, E. (1995).** Osmotic adjustment in Maize: Genetic variations in association with water uptake. *INRA, Inter drought*, VIII-30.
- CIC. (2007).** International Grains Council; World Grains Statistics, pp 13-17.
- Clarke, J. M., & McCaig, T. N. (1982).** Excised leaf water relation capability as an indicator of drought resistance of *Triticum* genotypes. *Can.J. Plant Sci.* V. 62: 571-577.
- Clarke, J. M. (1986).** Effect of leaf rolling in leaf water loss in *Triticum* spp. *Can J Plant Sci* 66: 885-891.
- Clarke, J. M., Romagosa, I., & DePauw, R. M. (1991).** Screening durum wheat germplasm for dry growings conditions. Morphological and physiological criteria, *Crop Sci*, 3(1): 770-775.
- Collinson, S., Clawson, E., Azam-Ali, S., & Black, C. (1997).** Effects of moisture deficits on the water relations of bambara groundnut (*Vigna subterranean* L. Verdc.). *J Exp Bo* ; 48 : 877-84.
- Cooper, P. J. M., Keating, J. D. H., & Hughes, G. (1983).** Crop evapotranspiration - technique for calculation of its components by field measurements. *Field Crops Res*, 7: 299-312.
- Cornaire, B., Phamthi, A. T., Zuily-Fodil, Y., Daniel, C., & Vieira Da Silva, J. B. (1995).** Contribution to study on oil palm drought tolerance: Protoplasmic resistance. *INRA, Inter drought*, VI-7.
- Cornic, G. (2008).** Effet de la contrainte hydrique sur la photosynthèse foliaire: De l'utilisation expérimental des relations A/Ci et ACc, article, 36 p.
- Cox, M. C., Qualls, C. O., & Rains, D. W. (1988).** Genetic variation for nitrogen assimilation and translocation in wheat.III.Nitrogen translocation in relation to grain yield and protein. *crop sci*, 26:737-740.
- Dagnélie, P. (1986).** Analyse statistique à plusieurs variables Gembloux, Presses agronomiques. 362 p.
- Dakheel, A. J., Naji, I., Mahalazkshmi, V., & Peacock, J. M. (1993).** Morphological traits associated with adaptation of durum wheat to harsh Mediterranean environments. *Aspects of Applied Biology*, 34: 297-307.
- Darbyshire, B. (1974).** The function of the carbohydrate units of tree fungal enzymes in their resistance to dehydration. *Plant Physiol.*, 54: 717-721.
- Davidson, D. J., & Chevalier, P. M. (1990).** Pre-anthesis tiller mortality in spring wheat. *Crop Sci*; 30 : 832-6.
- Debaeke, P., Puech, J., & Casals, M. L. (1996).** Elaboration du rendement du blé d'hiver en conditions de déficit hydrique. I. Etude en lysimètres. *Agronomie*, 16 : 3-23.
- Dedio, W. (1975).** Water relations in wheat leaves as screening tests for drought resistance. *Can. J. Plant Sci.* 55: 369-378.
- Dekkaki, M., Amssa, M., & Qariani, L. (2000).** Identification des critères agro-physiologiques d'adaptation du blé dur aux basses températures et à la sécheresse. CIHEAM. Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens, 40 : 245-249.

- Dekkers, J. C. M., & Hospital, F. (2002).** The use of molecular genetics in the improvement of agricultural populations [Review]. *Natl. Rev. Genet.* 3 (1) : 22–32.
- Demarly, Y., & Chalbi, N. (1991).** L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Paris: John Libbey Eurotext/Aupelf-Uref, pp 165-86.
- Dhanda, S., & Sethi, G. (2002).** Tolerance to drought stress among selected Indian wheat cultivars. *J Agric Res (Camb)*, 139: 319-26.
- Dib, C., Faure, S., Fizames, C., Samson, D., Drouot, N., Vignal, A., Millasseau, P., Marc, S., Hazan, J., Seboun, E., Lathrop, M., Gyapay, G., Morissette, J., & Weissenbach, J. (1996).** A comprehensive genetic map of the human genome based on 5,264 microsatellites. *Nature*, 380:152-154.
- Dreir, W., & Görring, M. (1974).** “Der Einfluss hoher Salz Konzentrationen auf verschiedenen physiologische Parameter von Maisurzeln”, *DER hu; Berlin, Nath. Naturwiss. R.*, 23: 641 - 644.
- Diers, B. W., McVetty, P. B. E., & Osborn, T. C. (1996).** Relationships between heterosis and genetic distance based on RFLP markers in oilseed rape. *Crop Sci*, 36: 79-83.
- Doré, T., Le Bail, M., Martin, P., Ney, B., & Roger-Estrade, J. (2006).** L'agronomie aujourd'hui. Quae, Versailles Cedex. 114-118.
- Dubcovsky, J., & Dvorak, J. (2007).** Genome plasticity a key factor in the success of polyploid wheat under domestication. *Science*, 316 (5833) :1862.
- Dubos, C. (2001).** Réponse moléculaire de jeunes plants de pin maritime soumis à un stress hydrique en milieu hydroponique. Thèse de doctorat en biologie Forestière, Université Henri Poincaré, Nancy I: 225p.
- Durand, J. L. (2007).** Les effets du déficit hydrique sur la plante : aspects physiologiques. *Fourrages*. 190, 181-195.
- Eagles, H. A., Bariana, H. S., Ogonnaya, F. C., Rebetzke, G. J., Hollamby, G. J., Henry, R. J., Henschke, P. H., & Carter, M. (2001).** Implementation of markers in Australian wheat breeding. *Aust. J. Agric. Res.* 52 (11–12): 1349–1356.
- Ehdaie, B., Alloush, G. A., Madore, M. A., & Waines, J. G. (2006).** “Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat. I. Postanthesis changes in internode dry matter”, *Crop Sci.*, 46: 735 - 746.
- El fakhri, M., Mahboub, S., Benchekroun, M., & Nsarellah, N. (2011).** Effet du stress hydrique sur la répartition ionique dans les feuilles et les racines du blé dur (*Triticum Durum*). *Nature & Technologie*, 05: 66-71.
- El falah, M., Chalbi, N., & El Guazzah, M. (1991).** L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Ed. Aupelf-Uref. John Libbey Eurotext. Paris, 211-226.
- Elhani, S., Martos, V., Rharrabti, Y., Royo, C., & Garcia del Moral, L. F. (2007).** Contribution of main stem and tillers to durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) grain yield and its components grown in Mediterranean environments, *Field Crops Research*, 103: 25–35.

- El Jaafari, S., & Paul, R. (1993).** Accumulation foliaire de proline et résistance à la sécheresse chez le blé (*Triticum aestivum* L.). *Arch Int Physiol Biochem Biophys* 101 : B8.
- El Jaafari, S., Le Poivre, Ph., & Semal, J. (1995).** Implication de l'acide abscissique dans la résistance du blé à la sécheresse. ED. Auplf-Uref. John Libbey Eurotext. Paris, 141-148.
- El Jaafari, S. (2000).** Durum wheat breeding for abiotic stresses resistance: Defining physiological traits and criteria. *Option méditerranéenne*, N°40 ; 251-256.
- El Midaoui, M., Benbella, M., Aït Houssa, A., Ibriz, M., & Talouizte, A. (2007).** Contribution à l'étude de quelques mécanismes d'adaptation à la salinité chez le tournesol cultivé (*Helianthus annuus* L.), *Revue HTE*, N°136 : 29-34.
- Erchidi, A. E., Talouizte, A., & Benbella, M. (2000).** Croissance du grain chez neuf cultivars de blé dur. *CIHEAM, Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens*, N°40 : 137-140.
- Fahmi, F., Tahrouch, S., Bouzoubâa, Z., & Hatimi, A. (2011).** Effet de l'aridité sur la biochimie et la physiologie d'*argania spinosa*. *Actes du Premier Congrès International de l'Arganier*, Agadir, pp. 299-308.
- Falconer, D. S. (1982).** *Introduction to Quantitative Genetics*, third edition. Longman, Harlow, UK.
- Falconer, D. S., & Mackey, F. C. (1996).** *Introduction to quantitative genetics*, 4th ed., Longman, New York, 464 p.
- Faostat. (2005).** Statistical database of the food and agriculture organization of the United Nations.
- Feillet, P. (2000).** *Le grain de blé : composition et utilisation*. INRA. Paris.
- Feldman, M., & Sears, E. R. (1981).** The wild gene resources of wheat. *Sci. Am*, 244 : 98–109.
- Feldman, M., Lupton, F. G. H., & Miller, T. E. (1995).** Wheats. In J. Smartt, N.W. Simmonds : *Evolution of crop plants*. Longman Group Ltd., London, 184-192.
- Fellah, A., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Djekoun, A. (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.
- Fellahi, Z. E. (2013).** Aptitude à la combinaison et héritabilité de quelques caractères agronomiques du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) Mémoire de Magister, Faculté des Sciences Agrovétérinaires et biologiques, Département des Sciences Agronomiques. Université Saad Dahlab de Blida, 124 p.
- Fischer, R. A., & Maurer, R. (1978).** Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Aust. J. Agric. Res.*, 29: 897-912.
- Fordyce, J. A. (2006).** The evolutionary consequences of ecological interactions mediated through phenotypic plasticity. *J. Exp. Biol.*, 209: 2377-2383.
- Gaff, D. F. (1980).** Protoplasmic tolerance of extreme water stress. In : Turner N. C., & Kramer P. J eds. *Adaptation of plants to water and high temperature stress*. Wiley, NY, 207-230.
- Gallais, A., & Bannerot, H. (1992).** Amélioration des espèces végétales cultivées : objectifs et critères de sélection. *INRA éditions*. 759 p.

Gallais, A. (1994). La sélection assistée par marqueurs. Quel avenir pour l'amélioration des plantes. Ed. AUPELF-UREF. *John Libbey Eurotext*. Paris. pp: 387-397.

Gate, P., Bouthier, A., Casabianca, H., & Deleens, E. (1993). Caractères physiologiques décrivant la tolérance à la sécheresse des blés cultivés en France : interprétation des corrélations entre le rendement et la composition isotopique des grains. In : *Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne. Diversité génétique et amélioration variétale*. Colloque INRA-ENS A-AGROPOLIS, Montpellier (France), à paraître (Colloque INRA n°64).

Gate, P. H. (1995). Ecophysiologie du blé ; Technique et documentation : Lavoisier, Paris, 429 p.

Gaufichon, L., Prioul, J. L., & Bachelier, B. (2010). Quelles sont les perspectives d'amélioration génétique de plantes cultivées tolérantes à la sécheresse? In. *Etude de la foundation FARM*.

Gharti-Chhetri, G. B., & Lales, S. (1990). Biochemical and physiological responses of nine spring wheat (*Triticum aestivum*) cultivars to drought stress at reproductive stage in the tropic. *Belg. Bot.* 123 (2): 27-35.

Granier, C., Inzé, D., & Tardieu, F. (2000). Spatial distribution cell division rate can be deduced from that of P34cdc2 kinase activity in maize leaves grown in contrasting conditions of temperature and water status. *Plant Physiol.* 124:1393-1402 p.

Grignac, P. (1981). Rendement et composantes du rendement du blé d'hiver dans l'environnement méditerranéen. Séminaire scientifique. Bari (Italie), pp. 185-194.

Grignac, P. (1986). Contraintes de l'environnement et élaboration du rendement dans la zone méditerranéenne française. In : l'élaboration du rendement des cultures céréalières. Colloque Franco-Romain, Clermont-Ferrant, 17-19 Mars, 196-207.

Haddad, L. (2010). Contribution à l'étude de la stabilité des rendements du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous climat méditerranéen. Mémoire de magister, Département Agronomie, Faculté des Sciences. Université Ferhat Abbas, Sétif, 70 p.

Hadj Youcef Taibi, H., Khaldoun, A., & Mekliche, A. (2003). Etude comparative de la tolérance à la sécheresse de 08 variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) est de 04 variétés d'orge (*Hordeum vulgare* L.) Analyse de la stabilité du rendement avec étude multilocale. *Céréaliculture*, N°38 : 26-30.

Hamada, Y. (2002). Evaluation de la variabilité génétique et utilisation des espèces tétraploïdes du genre *Triticum* pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Thèse Magister. Université Mentouri Constantine. 167p.

Hamadache, A. (2002). Evolution récente des principales ressources fourragères et possibilités d'amélioration en Algérie. *Céréaliculture*, 35 : 13-20.

Hamadache, A. (2013). Eléments de phytotechnie générale : Grandes Culture- Tom I : Le blé. 1^{ère} édition. Mohamed Amrani. 49-69.

Hanks, R. J., & Sorensen, R. B. (1985). Harvest index of spring wheat as influenced by water stress. In: Wheat growth and modeling (W day, RK Atkin, eds), NATOASI Series, Plenum Press, New York, 205-209.

- Hannachi, A. (2013).** Analyse diallèle de quelques caractères associés à l'adaptation du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. Mémoire de Magister, Faculté des Sciences Agronomiques et biologiques, Département des Sciences Agronomiques. Université Saad Dahlab de Blida, 106 p.
- Hayden, B., (1990).** Nimrods, Piscators, Pluckers and Planters : The Emergence of Food Production. *J. Anthropol. Archaeol.*, 9(1), 31.
- Hayek, T., Ben Salem, M., & Zid, E. (2000).** Mécanisme ou stratégie de résistance à la sécheresse: Cas du blé, de l'orge et du triticale. CIHEAM-IAMZ, Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens, 40: 287-290.
- Hazmoune, T. (2000).** Erosion des variétés de blé dur cultivées en Algérie : perspectives. Zaragoza : Ciheam, Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens, 40 : 291-294.
- Hegarty, T. W., & Ross, H. A. (1978).** Differential sensitivity to moisture stress of seed germination and seedling radicle growth in calabrese (*Brassica oleracea* var. *italica*) and cress (*Lepidium sativum*). *Annals of Botany*, 42:1003–1005.
- Henchi, B. (1987).** Effets des contraintes hydriques sur l'écologie et l'écophysologie de *Plantago albicans*. L. Thèse de doctorat d'État, univ Tunis.
- Henry, Y., & De Buyser, J. (2000).** L'origine du blé. *Pour la Science*, 26 :60-62.
- Henry, Y., & De Buyser, J. (2001).** L'origine des blés. In : Belin. Pour la science (Ed.). De la graine à la plante. Ed. Belin, Paris, pp. 69-72.
- Herbek, J., & Lee, C. (2009).** Growth and development. In: A comprehensive guide to wheat management in Kentucky. The Univ. of Kentucky. <http://www.uky.edu/Ag/GrainCrops/ID125Section2.html> (accessed 29 Nov. 2012).
- He-Zhong, H. (1991).** An investigation of the relationship between F1-potence and the measure of genetic distance among wheat lines. *Euphytica*, 58: 165-170.
- Hioun, S., Dekak, A., & Khamar, L. (2002).** Effet des dates de semis et le traitement hydrique sur 12 variétés de blé dur en zone semi-aride. *Céréaliculture*, 37: 17-23.
- Hireche, Y. (2006).** Réponse de la luzerne (*Medicago sativa* L) au stress hydrique et à la profondeur de semis. Mémoire de magister, Département d'Agronomie. Université EL-Hadj Lakhdar, Batna. 83p.
- Hochman, Z. (1982).** Effect of water stress with phasic development on yield of wheat grown in a semi-arid environment. *Field Crops Res*, 5, 55-67.
- Hopkins, W. G. (2003).** Physiologie végétale. 2ème édition. De Boeck, Bruscelles: 61-476.
- Hospital, F. (2001).** Size of donor chromosome segments around introgressed loci and reduction of linkage drag in marker-assisted backcross programs. *Genetics*, 158 (3) : 1363–1379.
- Hsissou, D. (1994).** Sélection *In vitro* et caractérisation de mutants de blé dur tolérants à la sécheresse. Thèse de doctorat. Univ. Catholique de Louvain.
- Hurd, E. A. (1974).** Phenotype and drought tolerance in wheat. *Agrie Meteorol*, 14 : 39-55.

- INRA. (2000).** La résistance des plantes à la sécheresse. Centre de Montpellier.
- Jean-François., & Morot-Gaudry. (1997).** Assimilation de l'azote chez les plantes: aspects physiologique, biochimique et moléculaire. *INRA, Paris*, 119-235.
- Jia, J., Devos, K. M., Chao, S., Miller, T. E., Reader, S. M., & Gale, M. D. (1996).** “RFLP based maps of the homoeologous group 6 chromosomes of wheat and their application in the tagging of *Pm12*, a powdery mildew resistance gene transferred from *Aegilops speltoides* to wheat”, *Theor. Appl. Genet*, V. 92, 559 - 565.
- Johnson, R. R., & Moss, D. N. (1976).** Effect of water stress on ¹⁴CO₂ fixation and translocation in wheat during grain filling. *Crop Sci*, 14 : 728-731.
- Joshi, S. K., Sharma, S. N., Sighania, D. L., & Sain, R. S. (2004).** Combining ability in the F1 and F2 generations of diallel cross in hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.), *Hereditas*, 141 (2): 115 - 121.
- Kadi, Z., Adjel, F., & Bouzerzour, H. (2010).** Analysis of the genotype X environment interaction of barley grain yield (*Hordeul vulgare* L.) cultivars. *Adv. Environ. Biol*, 4: 34-40.
- Kadi, Z. (2012).** Selection de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) pour la tolerance aux stress abiotiques. Thèse de Doctorat en Science. Département d'Ecologie et Biologie végétale. Université Sétif. 126p.
- Kaiser, W. M. (1987).** Effect of water deficit on photosynthetic capacity. *Physiol. Plant*, 71, 142-149.
- Kameli, A., & Losel, D. M. (1995).** Contribution of carbohydrates and other solutes to osmotic ajustement in wheat leaves under water stress. *J. Plant Physiol*, 145: 363-366.
- 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 de Doctorat. Université de Constantine.
- Kara, Y., & Bellkhiri, C. (2011).** Etude des caractères d'adaptation au déficit hydrique de quelques variétés de blé dur et d'espèces sauvages apparentées: intérêt potentiel de ces variétés pour l'amélioration de la production. *Courrier du Savoir*, N°11, 119-126.
- Karou, M., Haffid, R., Smith, D. N., & Samir, K. (1998).** Roots and growth water use and water use efficiency of spring durum wheat under early-season drought. *Agronomy*, 18: 181-186.
- Kirigwi, F. M., Van Ginkel, M., Trethowan, R., Sears, R. G., Rajaram, S., & Paulsen, G. M. (2004).** Evaluation of selection strategies for wheat adaptation across water regimes. *Euphytica*, 135: 361–371.
- Kotchi, S. O. (2004).** Détection du stress hydrique par thermographie infrarouge : Application à la culture de la pomme de terre. Mémoire présenté le cadre du programme de maîtrise en sciences géomatiques pour l'obtention du grade de Maître ès Sciences (M.Sc.), Faculté de Foresterie et Géomatique, Université Laval Québec. 115 p.
- Laala, Z., Oulmi, A., Saraoui, T., Haddad, L., Nouar, H., Benmahammed, A., & Bouzerzour, H. (2009).** Effet de la sélection de la biomasse et des épis sur le rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides. *Annale de la Faculté des sciences et Sciences de l'Ingénieur* (Univ Ouargla), 4 : 56-69.

- 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 de magister, Faculté des Sciences, Département d'Agronomie. Université Ferhat Abbas, Sétif. 97p.
- Laffray, D., & Louguet, P. (1991).** L'appareil stomatique et la résistance à la sécheresse chez les végétaux ligneux. In Riedacker, A., Dreyer, E., Pafadnam, C. Joly, H., & Bory, G. (1993). Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi arides. Groupe d'Etude de l'Arbre Observation DU Sahara et du sahel. John Libbey Eurotext. 21-46.
- Lamaze, T., Tusch, D., Sarda, X., Grignon, C., Depigny-This, D., Monneveux, P., & Belhassen, E. (1994).** Résistance de plantes a la sécheresse : mécanismes physiologiques. *Le sélectionneur Français*, 45: 75-85.
- Langridge, P., Lagudah, E. S., Holton, T. A., Appels, R., Sharp, P. J., & Chalmers, K. J. (2001).** Trends in genetic and genome analyses in wheat: a review. *Aust. J. Agric. Res*, 52: 1043-1077.
- Langridge, P., Paltridge, N., & Fincher, G. (2006).** Functional genomics of abiotic stress tolerance in cereals. *Briefing in functional genomics and proteomics*, 4 :343- 354.
- Laumont, P., & Erroux, J. (1961).** Inventaire des blés durs rencontrés et cultivés en Algérie. Mémoire de la société d'histoire naturelle de l'Afrique du Nord, 5 : 94p.
- Lefebvre, V., Poormohammad Kiani, S., & Durant-Tardif, M. (2009).** A focus on natural variation for abiotic constraints response in a model species *Arabidopsis thaliana*. *International Journal of molecular sciences*, 10: 3547-3582.
- Lefi, E., Gulias, J., Cifre, J., Ben Yones, M., & Medrano, H. (2004).** Drought effects on the dynamics of leaf production and senescence in field-grown *Medicago arborea* and *Medicago citrina*. *Ann.Appl. Biol*, 144: 176 -196.
- Lepoivre, P. (2003).** Phytopathologie: Bases moléculaires et biologiques des pathosystèmes et fondements des stratégies de lutte. De Boeck Supérieur, 27-28.
- Levitt, J. (1982).** Responses of plants to environmental stress. *Acad. Press, N.Y., USA*, 607 p.
- Levy, A. A., & Feldman, M. (2002).** The impact of polyploidy on grass genome evolution. *Plant Physiol*, 130: 1587-1593.
- Longnecker, N., Kirby, E. J. M., & Robson, A. (1993).** Leaf emergence, tiller growth, and apical development of nitrogen-deficient spring wheat. *Crop Sci*, 33: 154- 160.
- Mac Key, J. (2005).** Wheat: Its concept, evolution, and taxonomy. In: Conxita
- Maccaferri, M., Sanguineti, M. C., Natoli, E., Araus-Ortega, J. L., & Bensalem, M. (2006).** A panel of elite accessions of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) suitable for association mapping studies. *Plant Genet. Resour*, 4: 79–85.
- MADR. (2012).** Annuaire statistiques du Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural. Série B.

- Mahdadi, M., & Bouzidi, A. (2013).** Etude du comportement des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides. Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Sciences Agronomiques, Option : Amélioration et Production Végétales, Université de Sétif. 65p.
- Mazouz, L. (2006).** Etude de la contribution des paramètres phéno morphologiques dans l'adaptation du blé dur dans l'étage bioclimatique semi aride. Thèse de magister. Département d'agronomie. Université EL-Hadj Lakhdar Batna. 81 p.
- Megherbi, A., Mehdadi, Z., Toumi, F., Moueddene, K., & Bouadjra, S. E. B. (2012).** Tolérance à la sécheresse du blé dur (*Triticum durum* Desf.) et identification des paramètres morphophysologiques d'adaptation dans la région de Sidi Bel-Abbès (Algérie occidentale), *Acta Botanica Gallica*, 159 (1) : 137-143.
- Mekhlouf, A., & Bouzerzour, H., (2000).** Déterminisme génétique et associations entre le rendement et quelques caractères à variation continue chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Recherche Agronomique* (INRAA), 7 : 37-49.
- Mekhlouf, A., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., & Hadj Sahraoui, A. (2006).** Adaptation de variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride ; *Sécheresse*, 17, 507-513.
- Mekliche, A., Boukecha, D., & Hanifi-Mekliche, L. (2003).** Etude de la tolérance à la sécheresse de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) .I. Effet de l'irrigation de complément sur les caractères phénologiques, morphologiques et physiologiques, 24 (1, 2): 97-110.
- Melki, M., & Dahmane, A. (2008).** Identification de quelques mutants de blé dur performants en conditions de sécheresse naturelle; *Sécheresse*, 19 (1) : 47-53.
- Menad, A. (2009).** Contribution à l'étude de l'interaction Génotype x milieu de l'orge. Mémoire magister, INA El Harrach, 70 p.
- Menad, A., Meziani, N., Bouzerzour, H., & Benmahammed, A. (2011).** Analyse de l'interaction génotype x milieux du rendement de l'orge (*Hordeum vulgare* L.): application des modèles AMMI et la régression conjointe. *Nature & Technologie*, 05 : 99-106.
- Miles, C., & Wayne, M. (2008).** Quantitative trait locus (QTL) analysis. *Nature Education*, 1 (1).
- Miskin, K. E., Rasmusson, O. C., & Moss, D. N. (1972).** Inheritance and physiological effects of stomatal frequency in barley crop. *Science*. 12: 780- 783.
- Monneveux, P., & 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.): Etude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement, *Agronomie*, 06 (6) : 583 - 590.
- Monneveux, D., & Depigny-This. (1995).** Intégration des approches physiologiques, génétiques et moléculaires pour l'amélioration de la tolérance à la sécheresse chez les céréales. In : Quel avenir pour l'amélioration des plantes ? Ed. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris. pp: 149-163.
- Monneveux, P., & This, D. (1997).** La génétique face au problème de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse : espoirs et difficultés. *Sécheresse*, 8 : 29-37.
- Moran, M. S. (2000).** Thermal infrared measurement as an indicator of plant ecosystem health. USDA-ARS Southwest Watershed Research Center. Tucson, Arizona.

- Moran, S. M., Hymer, D. C., Qi, J., & Sano, E. E. (2000).** Soil moisture evaluation using multi-temporal synthetic aperture radar (sar) in semiarid rangeland. *Agricultural and Forest Meteorology*, 105(1-3): 69-80.
- Morgan, J. M. (1984).** Osmoregulation and water stress in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 35: 299–319.
- Mouellef, A. (2010).** Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au stress hydrique. Mémoire magister, Faculté de biologie. Département de Biologie Végétale et Écologie, Université Constantine, 82 p.
- Nachit, M. M., Picard, E., Monneveux, P., Labhili, M., Baum, M., & Rivoal, R. (1998).** Présentation d'un programme international d'amélioration du blé dur pour le bassin méditerranéen. *Cahiers Agric*, 7 : 510-515.
- Najimi, B., El Jaafari, S., Jlibène, M., & Jacquemin, J. (2003).** “Applications des marqueurs moléculaires dans l'amélioration du blé tendre pour la résistance aux maladies et aux insectes”, *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 7(1) : 17 - 35.
- Neffar, F. (2013).** Analyse de l'expression des gènes impliqués dans la réponse au stress abiotiques dans différents génotypes de blé dur (*Triticum durum*) et d'orge (*Hordeum vulgare*) soumis à la sécheresse. Thèse doctorat en Sciences, Université Sétif. 86p.
- Nizam Uddin, M., & Marshall, D. R. (1989).** Effects of dwarfing genes on yield and yield components under irrigated and rainfed conditions in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Euphytica*, 42: 127-134.
- Nouri, L. (2011).** Identification de marqueurs physiologiques de la tolérance à la sécheresse chez le tournesol. Thèse de Doctorat es Science, spécialité, Biologie et Physiologie végétales, option, Génétique et Amélioration des plantes, Université Constantine. 131 p.
- Oosterom, V. E., Ceccarelli, S., & Peacock, J. M. (1993).** Yield response of barley to rainfall and temperature in Mediterranean environments, *J. Agri. Sci*, 121: 307-313.
- O'toole, J. C., & Cruz, R. C. (1980).** response of leaf water potential ,stomatal resistance, and leaf rolling to water stress . *Plant physiology*, 51: 993- 997.
- Oulmi, (2010).** Contribution à l'étude de la variation de la teneur relative en eau, la température de la canopée et la structure foliaire chez des populations de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mémoire de magister en Biologie végétale. Université Sétif. 92p
- Passioura, J. (2004).** Increasing crop productivity when water is scarce : From breeding to field management In : Proceedings of the 4th International Crop Science Congress “New directions for a diverse planet” Brisbane, Australia. 12p. www.regional.org-au/au/cs.
- Pfeiffer, W. H., Sayre, K. D., & Reynolds, M. P. (2000).** Enhancing genetic grain yield potential and yield stability in durum wheat. *Options méditerranéennes* .40: 83-93.
- Plaut, Z., & Federman, E. (1991).** Acclimation of CO₂ assimilation in cotton leaves to water stress and salinity. *Plant Physiol.*, 97 : 515-522.

- Poormohammad Kiani, S. (2007).** Analyse génétique des réponses physiologiques du tournesol (*Helianthus annuus* L.) soumis à la sécheresse. Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Toulouse. 214p.
- Quinn, G. P., & Keough, M. J. (2002).** Experimental Design and Data Analysis for Biologists. Cambridge University Press, 557 pp.
- Radhouane, L. (2009).** La photosynthèse du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.) en présence de contrainte hydrique et saline. *Journal of Agriculture and Environment for International Development*, 103 (3): 185-200.
- Rascio, A. (1985).** Water retention capacity of triticum durum cultivars receiving two different water regions. *Gent, Agro*, 39: 409 – 416.
- Rebetzke, G. J., Condon, R. A., Richards, R. A., & Farquhar, G. D. (2002).** “Selection for reduced carbon isotope discrimination increases aerial biomass and grain yield of rain-fed bread wheat”, *Crop Sci.*, 42: 739 -745.
- Reynolds, M. P., Balota, M., Delgato, M. I. B., Amani, I., & Fischer, R. A. (1994).** Physiological and morphological traits associated with spring wheat yield under hot, irrigated conditions. *Aust. J. Plant. Physiology*, 21: 717-730.
- Reynolds, M., Dreccer, F., & Trethowan, R. (2007).** Drought adaptive traits derived from wheat wild relatives and landraces. *J. Exp. Bot.*, 58: 177- 186.
- Richards, R. A., Rebtzke, G. J., Van Herwaarden, A. F., Dugganb, B. L., & Condon, A. (1997).** Improving yield in rainfed environments through physiological plant breeding. *Dryland Agriculture*, 36: 254-66.
- Richards, R. A., Rebetzke, G. J., Condon, A. G., & Van Herwaar-Den, A. F. (2002).** Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. *Crop Sci.* 42 :111-121.
- Robert, D., Gate, P., & Couvreur, F. (1993).** Les stades du blé. *Editions ITCF*. 28 p.
- Ruel, T. (2006).** Document sur la culture du blé, *édition Educagri*.
- Salamé, N. (2012).** Evolution : accompagnement pédagogique. Caryotypes des 3 mêmes espèces de blé. www.acces.ens-lyon.fr.
- Samars, Y., Bressan, R. A., Csonka, L. N., Garcia-Rios, M. G., Paino D’Urzo, M., & Rhodes, D. (1995).** Proline accumulation during drought and salinity. In : Environment and plant metabolism, Smirnoff N, ed. Bios scientific publisher, Oxford.
- Sanchez, F. J., Manzanares, M. D. E., Andres, E. F., Tenorio, J. L., Schellenbaum, L., Sprenger, N., Schuepp, H., Wiemken, A., & Boller, T. (1999).** Effects of drought, transgenic expression of a fructan synthesizing enzyme and of mycorrhizal symbiosis on growth and soluble carbohydrate pools in tobacco plants. *New phytol.* 142: 67-77.
- Saraoui, T. (2011).** Etude de la variabilité morphologique de populations F2 de blé dur (*Triticum durum* Desf.) : utilisation d’un indice de sélection. Mémoire de magister, Faculté des Sciences, Département d’Agronomie. Université El-Hadj Lakhdar, Batna. 75 p.

- Sassi, K., Abid, G., Jemni, L., Dridi-Al Mohandes, B., & Boubaker, M. (2012).** Étude comparative de six variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) vis-à-vis du stress hydrique. *Journal of Animal & Plant Sciences*. Vol.15, Issue 2:2157-2170.
- Seyed, Y. S. L., Rouhollah, M., Mosharraf, M. H., & Ismail, M. M. R. (2012).** Water Stress in Plants: Causes, Effects and Responses, Water Stress, Prof. Ismail Md. Mofizur Rahman (Ed.), ISBN: 978-953-307-963-9, In Tech, <http://www.intechopen.com/books/water-stress/water-stress-inplants-causes-effects-and-responses>.
- Sharma, R. C., Smith, E. L., & McNeal, R. W. (1991).** Combining ability analysis for harvest index in winter wheat. *Euphytica*, 55: 229- 234.
- Shepherd, T., & Griffiths, D. W. (2006).** The effects of stress on plant cuticular waxes. *New Phytol*, 171: 469–499.
- Shewry, P. (2009).** Wheat. *Journal of experimental botany*, 60 (6): 1537.
- Siddique, K. H. M., Kerby, E. J. M., & Perry, M. W. (1989).** Ear/straw ratio in old and wheat varieties. *Field Crop Research*, 21: 59-78.
- Simane, B., Peacock, J. M., & Strick, P. C. (1993).** Differences in development plasticity growth rate among drought. Resistant and susceptible cultivars of durum wheat (*Triticum turgidum* L.Var . *durum*). *Plant and soil*, 157: 155- 166.
- Singh, T. N., Paleg, L. G., & Aspinall, D. (1973).** Nitrogen metabolism and growth in barley plant during water stress. *Aust. J. Biol. Sci.*, 26: 45-56.
- Slafer, G. A., & Andrade, F. H. (1989).** Genetic improvement in bread wheat (*Triticum aestivum*) yield in Argentina. *Field Crop Res*, 21: 289-296.
- Slama, A. (2002).** Étude comparative de la contribution des différentes parties du plant du blé dur dans la contribution du rendement en grains en irrigué et en conditions de déficit hydrique. Thèse de doctorat en biologie, faculté des sciences de Tunis.
- Slama, A., Ben Salem, M., Ben Naceur, M., & Zid, E., (2005).** Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance (*Inrat*),16 (3) : 225-229
- Spagnoletti-Zeuli, T. L., & Qualset, P. O. (1990).** “Flag leaf variation and the analysis of diversity in durum wheat”, *Plant Breeding*, 105: 189 -202.
- Stark, J. C., & Longley, T. S. (1986).** Changes in spring wheat tillering patterns in response to delayed irrigation. *Agron J*, 78 : 892-6.
- Steinmetz, L. J. P., Delecolle, R., Guerif, M., & Seguin, B. (1989).** Evapotranspiration and water stress using thermal infrared measurement. A general review and a case study on winter durum wheat in southern France physiology, selection des céréales d’hiver en condition méditerranéennes, colloque n°55, Ed. *INRA*. Montpellier. 89-114.
- Tahri, E., Belabed, A., & Sadki, K. (1997).** Effet d’un stress osmotique sur l’accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Bulletin de l’Institut Scientifique*. Rebat, 21: 81-89 .

Talbot. (1997). Resource allocation for selection systems. In: KEMPTON RA, FOX PN, eds. Statistical methods for plant variety evaluation. London: Chapman & Hall, 162-74.

Tardieu, F., & Simonneau, T. (1998). Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: Modeling isohydric and anisohydric behaviors, *J. Exp. Bot.*, 49: 419-432.

Tardieu, F. (2003). Virtual plants: modeling as a tool for the genomics of tolerance to water deficit. *Trends in Plant Science*, 8 : 9-14.

Temagout, M. (2009). Analyse de la variabilité de la réponse au stress hydrique chez des lignées recombinantes de Tournesol (*Helianthus annuus L.*). Mémoire de magistère. Univ. Mentouri. Constantine. 106p.

Teulat-Merah, B., Zoumarou, W., Douimi, R., Ben Salem, M., Bahri, H., & This, D. (2001). Etude de la tolérance à la sécheresse chez les céréales : l'orge comme modèle biologique, approche QTL. In HAMON SERGE (ED.). *Des modèles biologiques à l'amélioration des plantes*. Paris (FRA) ; Montréal : IRD ; AUF, p. 493-516. (Colloques et Séminaires). Journées Scientifiques du Réseau AUF : Biotechnologies Végétales : Amélioration des plantes et Sécurité Alimentaire, 7., Montpellier (FRA), 2000/07/03-05. ISBN 2-7099-1472-7.

Thabuis, A., Palloix, A., Servin, B., Daubeze, A. M., & Signoret, P. (2004). Marker-assisted introgression of 4 *Phytophthora capsici* resistance QTL alleles into a bell pepper line: validation of additive and epistatic effects. *Molecular Breeding*, 14: 9-20.

This, D., & This, P. (1993). Les principaux types de marqueurs moléculaires applicables à la sélection pour la tolérance à la sécheresse. Avantages et limites. In : *Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne. Diversité génétique et amélioration variétale*. Colloque INRA-ENSA-AGROPOLIS, Montpellier (France), à paraître (Colloque INRA n° 64).

Thornsberry, J. M., Goodman, M. M., Doebley, J., Kresovich, S., Nielsen, D., & Buckler, E. S. (2001). Dwarf polymorphisms associate with variation in flowering time. *Nature Genetics*, 28: 286-289.

Triboï, E. (1990). Modèle d'élaboration du poids du grain chez le blé tendre. *Agronomie*, 10 : 191-200.

Trinchant, J. C., Boscari, A., Spennato, G., Van de Sype, G., & Le Rudulier, D. (2004). Proline Betaine Accumulation and Metabolism in Alfalfa Plants under NaCl Stress. Exploring Its Compartmentalization in Nodules. *Plant Physiology*, 135: 1583-1594.

Troll, W., & Lindsley, J. (1955). A photometric method for the determination of proline, *J. Biochem.*, 215: 655 - 660.

Turk, L. (1978). Sècheresse du sol. Index physique des réserves d'eau et signification agronomique des déficits d'humidité dans le sol. *Bulletin du BRGM*: 197-202.

Turner, N. C. (1979). Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plant. In: "stress physiology in crop plants", (H.W. Musseland et, R.C Staples, ed, Wiley,(interscience) New York, 343-372.

- Turner, N. C. (1986).** Adaptation to water deficits: A changing perspective. *Aust J Plant Physiol*, 13: 175-190.
- Turner, N. C. (1997).** Further progress in crop water relations. *Adv Agron*, 58 : 293-338.
- Turner, N. C., Wright, G. C., & Siddique, K. H. M. (2001).** Adaptation of grain legume to water-limited environments. *Adv Agron*, 71: 193-231.
- Tyree, M. T., & Jarvis, P. G. (1982).** Water in tissues and cells. In : Lange OL, Nobel PS, Osmond CB, Ziegler H, eds. *Encyclopedia of plant physiology*. New Series, Vol. 12B Physiological plant ecology II., Water relations and carbon assimilation. Springer-Verlag, Berlin : 36-77.
- Ullah, I. (2004).** “Inheritance of important traits in bread wheat using diallel analysis”, PhD, Thesis, NWFP Agri. Univ., Peshawar, Pakistan.
- Vasquez-Tello, A., Zuily-Fodil, Y., Pham Thi, A. T., & Vieira Da Silva, J. B. (1990).** Electrolyte and Pi leakages and soluble sugar content as physiological tests for screening resistance to water stress in *Phaseolus* and *Vigna* species. *J Exp Bot*, 41 : 827-32.
- Virlouvet, L. (2011).** Identification et caractérisation de gènes impliqués dans la variation de caractères quantitatifs affectés par la sécheresse chez le maïs, Thèse doctorat en Sciences Université Paris-sud 11 U.F.R. Scientifique d’Orsay. 247 p.
- Wadley, G., & Martin, A. (1993).** The origins of agriculture – a biological perspective and new hypothesis. *Australian Biologist*, 6: 96-105.
- Wang, W., Vinocur, B., & Altman, A. (2003).** Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta*, 218: 1-14.
- Wardlaw, J. F., & Moncor, L. (1995).** The response of wheat to high temperature following anthesis. I : the rate and duration of grain filling. *Aust J., Plant Physiol*, 22: 391-397.
- Wardlaw, I. F. (2002).** Interaction between drought and chronic high temperature during kernel filling in wheat in a controlled environment. *Annals of Botany*, 90: 469-476.
- Welsh, J., & McClellad, M. (1990).** Fingerprinting genomes using PCR with arbitrary primers. *Nucl Acids Res*, 19: 861-866.
- Wilfried, C. (2005).** Proline as a measure of stress in tomato plants. *Plant Sci*, 168: 241-248.
- Williams, J. G. K., Kubelik, A. R., Livak, K. J., Rafalski, J. A., & Tingey, S. V. (1990).** DNA Polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers, *Nucleic Acids Research*, 18: 6531 - 6535.
- Witcombe, J. R., Hollington, P. A., Howarth, C. J., Reader, S., & Steele, K. A. (2008).** Breeding for abiotic stresses for sustainable agriculture, *Phil. Trans. R. Soc*, 363 (B): 703-716.
- Yan, W., & Hunt, L. A. (2001).** Interpretation of genotype x environment interaction for winter wheat yield in Ontario. *Crop Sci*, 41: 19-25.
- Yokota, A., Takahara, K., & Akashi, K. (2006).** Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants. *Springer*, 15–39.

Zhang, J., Nguyen, H. T., & Blum, A. (1999). Genetic analysis of osmotic adjustment in crop plants. *J. Exp. Bot.* 50: 291-302.

أجريت هذه الدراسة على مستوى محطة التجارب الزراعية للمعهد التقني للمحاصيل الكبرى (ITGC) بسطيف خلال الموسم الزراعي 2013/2014، بهدف دراسة التباين الوراثي لستة عشائر F_2 من القمح الصلب (*Triticum durum* Desf.) من خلال توصيف مرفو-فسيولوجي وبيوكيميائي. تبين النتائج أن عشائر الـ F_2 تختلف كثيرا عن آباؤهم لجميع الصفات المدروسة باستثناء درجة حرارة الغطاء النباتي. أجيال الـ F_2 لهم معدلات أعلى من معدلات الآباء لمعظم المتغيرات. القيم العالية لمعامل درجة التوريث للنطاق الواسع التي اتخذتها بعض الصفات تؤكد أن هذه المتغيرات مستقرة في مختلف الظروف. وهذا يظهر أن المردود لا يمكن استخدامه كمعيار وحيد للانتخاب، في هذه الحالة يصبح الانتخاب عن طريق مجموعة متعددة من الصفات ضروري. ومن هذا جاءت الحاجة لإجراء دراسة الارتباطات بين المتغيرات المقاسة و المردود خاصة عند عشائر الـ F_2 التي هي مصدر للانتخاب. هذا التحليل يشير إلى أن المتغيرات الأكثر ارتباطا بالمردود الحبي هو عدد الحبوب في السنبل و المساحة الورقية. يمكن استخدام هذين المتغيرين في الانتخاب لتحسين المردود نظرا لأنهما تميزان بدرجة توريث عالية. تبقى الخصائص الفسيولوجية و البيوكيميائية مستقلة عن تعبير المردود لدى العشائر F_2 و هذا لا يستبعد فوائدهم التي تبدو أكثر ارتباطا بالتأقلم و التحمل للإجهادات اللاحيوية. تظهر هذه الدراسة أن الانتخاب على أساس الانتاجية ، التأقلم و تحمل الاجهادات اللاحيوية في وقت واحد، من الصعب تحقيقه في بيئات مماثلة لتلك التي أجريت فيها هذه الدراسة.

الكلمات المفتاحية: القمح الصلب - الإجهاد المائي - الانتخاب - الصفات - العشائر.

Résumé - La présente étude a été conduite au niveau de la Station Expérimentale Agricole de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) de Sétif au cours de la campagne agricole 2013/2014, avec comme objectif l'étude de la variabilité génétique des populations F_2 de blé dur (*Triticum durum* Desf.) à travers une caractérisation morpho-physio-biochimique. Les résultats montrent que les F_2 diffèrent significativement de leurs parents pour l'ensemble de caractères étudiés mis à part la température du couvert végétal. Les F_2 présentent des moyennes supérieures à celles des parents pour la plupart des variables. Les valeurs élevées de l'héritabilité au sens large prises par certains caractères confirment que ces caractères sont stables dans différents conditions, et qu'ils sont intéressants pour la sélection. L'absence de la variabilité génétique pour le rendement grain chez les F_2 suggère que ce caractère est fortement influencé par les conditions du milieu. Ceci indique que le rendement ne peut pas être retenu comme seule critère de sélection, dans ce cas une sélection multi-caractères devient nécessaire, d'où l'utilité de conduire l'étude des liaisons entre les variables mesurées et le rendement surtout chez les F_2 qui sont une source de sélection. Cette analyse indique que les variables liées au rendement en grain dans le cas de cette étude sont le nombre de grains par épi et la surface foliaire. Ces deux caractères peuvent être utilisées en sélection à fin d'améliorer le rendement, vue qu'ils se caractérisent par une héritabilité élevée. Les caractères physiologiques et biochimiques restent indépendants de l'expression du rendement chez la F_2 , ceci n'exclue pas leurs intérêts, qui semblent être le plus lié à l'adaptation et à la tolérance aux stress abiotiques. La présente étude montre que la sélection simultanée pour la productivité, l'adaptation et la tolérance aux stress abiotiques apparaît difficile à réaliser dans des milieux similaires à celui dans lequel la présente étude a été conduite.

Mots clés : Blé dur-déficit hydrique-sélection-caractères-populations.

Abstract - The present study was conducted at the experimental site of ITGC (Technical Institute of Field Crops) station of Setif during 2013/2014 cropping season, with the objective of studying the genetic variability in F_2 populations of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) through a morpho-physiological and biochemical characterization. The results show that the F_2 are significantly different from their parents for all characters studied except for the canopy temperature. F_2 have average higher than those of parents for most variables measured. The high values of broad sense heritability taken by some characters confirm that these characters are stable in different conditions and they are interesting for selection. The lack of genetic variability for grain yield in F_2 suggests that this character is strongly influenced by environmental conditions. This indicates that the yield can not be used as the only selection criterion, in this case a multi-character selection becomes necessary, where the usefulness of studying the lead connections between the measured variables and grain yield especially in F_2 which are a source of selection. This analysis indicates that the components related to grain yield in the case of this study are the number of grains per spike and the leaf area. These variables could be used in selection in order to improve the yield, view it is characterized by a high heritability. Physiological and biochemical characteristics remain independent of the expression yield in the F_2 , this does not exclude their interests, which seem to be more related to the adaptation and tolerance to abiotic stress. The present study shows that simultaneous selection for productivity, adaptation and stress tolerance appears difficult to achieve in similar environments to that in which this study was conducted.

Keywords: Durum wheat- water deficit- selection- characters- populations.