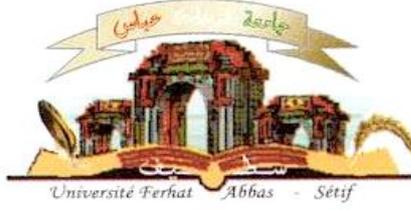


الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Université Ferhat Abbas Sétif 1
Faculté des Sciences de la
Nature et de la Vie



جامعة فرحات عباس، سطيف - 1
كلية علوم الطبيعة و الحياة

DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES N°...../SNV/2015

MÉMOIRE

Présenté par

BEKRAR Younes

Pour obtenir du diplôme de

MAGISTER EN AGRONOMIE

Spécialité : Génétique et Amélioration des Plantes

Thème

**ANALYSE GENETIQUE D'UNE POPULATION F₂ DIALLELE DE BLE DUR
(*triticum durum* DESF.) : APPLICATION DE LA METHODE HAYMAN**

Soutenu publiquement le 30/12/2015

Devant le Jury

PRESIDENT

BENMAHAMMED Amar

Pr. UFA Sétif-1

DERECTEUR

BOUZERZOUR Hamenna

Pr. UFA Sétif-1

EXAMINATEURS

MEKHLOUF Abdelhamid

MCA. UFA Sétif-1

MEBARKIA Abdelkrim

MCA. UFA Sétif-1

REMERCIEMENTS

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 :

J'exprime ma plus profonde reconnaissance et gratitude à Monsieur BOUZERZOUR Hamenna, professeur à l'université de Sétif qui a été à l'origine du choix de ce thème original et intéressant, qui m'a constamment aidé et orienté. Je le remercie de sa disponibilité pour m'éclairer de ses compétences. Je lui remercie pour ses conseils, ses orientations ainsi que sa gentillesse et ses qualités humaines,

Je tiens également à remercier Monsieur BENMAHAMMED Amar, Professeur à l'Université de Ferhat Abbas de Sétif 1 d'avoir accepté d'évaluer ce travail en qualité de président malgré ses préoccupations et la charge de son travail.

Mes vifs remerciements vont également à Monsieur MEBARKIA Abdelkrim, Maître de Conférences 'A' à l'Université de Ferhat Abbas de Sétif 1 et Monsieur MAKHLOUF Abdelhamid, Maître de Conférences A' à l'Université de Ferhat Abbas de Sétif 1 d'avoir accepté de faire partie du jury et d'évaluer ce modeste travail.

Je remercie également Mr HANNACHI A, et Mr FELLAHI Z, INRA de Sétif pour leurs contributions, leur aide et leurs conseils précieux.

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à des êtres qui me sont très chers, et sans les quelles
Je n'aurais jamais atteint le stade où je suis actuellement.*

*A ma précieuse perle, celui qui m'a guidé vers la voie de la réussite, pour ses
Conseils et ses encouragements...*

A mon père.

*A ma précieuse perle, celle qui a fait l'impossible pour me permettre de
Poursuivre mes études jusqu'à ce jours...*

A ma mère.

Je dédie également ce mémoire à ma femme.

*A mon petit garçon : **KHALIL IBRAHIM***

A mes très chers frères et sœurs.

A tout ma grande famille.

A mes superbes et introuvables amies.

A tous mes collègues de magister 2012/2013.

A tous ceux qui j'ai connu et n'ai pu citer.

Younes

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES ABREVIATIONS

RESUME

INTRODUCTION01

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Importance de la culture du blé dur (*Triticum durum*, Desf.)02

2. Sélection du blé dur03

2.1. Création de la variabilité03

2.2. Apport de la sélection06

3. Critères de sélection06

3.1. Sélection pour le rendement grain et l'interaction G x E06

3.2. Sélection pour l'adaptation et la stabilité du rendement08

4. Etude des aptitudes à la combinaison et des actions géniques13

4.1. Méthodes d'analyse13

4.1.1. Griffing (1956)13

4.1.2. Hayman (1954)14

5. Synthèse bibliographique des études des aptitudes à la combinaison et des actions géniques16

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

1. Site expérimental, matériel végétal et dispositif expérimental20

1.1. Site expérimental20

1.2. Matériel végétal20

1.3. Dispositif expérimental21

2. Notions et mesures22

3. Analyse des données25

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

1. Analyse de la variabilité phénotypique	30
1.1. Durée de la phase végétative	30
1.2. Hauteur de la végétation	33
1.3. Biomasse aérienne	34
1.4. Poids des épis	36
1.5. Nombre d'épis par plante	37
1.6. Poids de 1000 grains	38
1.7. Nombre de grains par épi	40
1.8. Rendement en grains	41
1.9. Indice de récolte	42
1.10. Surface de la feuille étendard	43
1.11. Teneur relative en eau	45
1.12. Dommages de la membrane plasmique	46
1.13. Le contenu en chlorophylle	47
2. Liaisons entre les variables mesurées	48
3. Analyse génétique des variables mesurées	54
3.1. Degré de dominance	56
3.2. Distribution des gènes dominants et récessifs chez les parents	63
CONCLUSION	72
REFERENCES	74

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Les valeurs caractéristiques des n parents du diallèle.....	15
Tableau 2 : Listes des géniteurs et des croisements de génération F2 diallèle incomplet suivi au cours de la campagne 2013/14 sur le site expérimental de l'UR-INRAA de Sétif.....	22
Tableau 3 : Squelette de la table de l'analyse de la variance du modèle additif adopté.....	25
Tableau 4 : Carrés moyens (CM) de l'analyse de la variance des variables mesurées chez les parents et la génération F2 du croisement diallèle incomplet.....	30
Tableau 5 : Valeurs moyennes caractéristiques, variances et coefficients de variation phénotypique et génotypiques des variables mesurées chez les parents et la génération F2 du croisement diallèle incomplet.....	31
Tableau 6 : Valeurs moyennes de la durée de la phase végétative (DPV), la hauteur de la plante (PHT), La biomasse aérienne (BIO) et le poids des épis (PNE) mesurées chez les parents et la génération F2 du croisement diallèle incomplet.....	32
Tableau 7 : Valeurs moyennes du nombre d'épis (NE), du poids de 1000 grains (PMG), du nombre de grains par épi (NGE), du rendement (RDT) et de l'indice de récolte (HI) mesurées chez les parents et la génération F2 du croisement diallèle incomplet.....	37
Tableau 8 : Valeurs moyennes de la surface foliaire (SF), de la teneur relative en eau (TRE), du pourcentage de dommages causés à la membrane plasmique (INJ) et du contenu en chlorophylle (CHLO) mesurées chez les parents et la génération F2 du croisement diallèle incomplet.....	44
Tableau 9 : Coefficients de corrélation phénotypiques entre les différentes variables mesurées chez les parents et la génération F2 du croisement diallèle incomplet.....	49
Tableau 10 : Valeurs moyennes caractéristiques des trois groupes formés sur la base des treize variables mesurées chez les parents et la génération F2 du croisement diallèle incomplet.....	53
Tableau 11 : Test d'ajustement des données collectées au modèle d'additivité- dominance.....	56
Tableau 12 : Valeurs des composantes génétiques et environnementales des variables mesurées des parents et des populations F2 du diallèle.....	57

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Ecart (jours) de la durée de la phase végétative des parents et des F2 par rapport à la valeur minimale observée chez le croisement Waha/Ofanto.....	33
Figure 2 : Ecart (cm) de la hauteur de la plante des parents et des F2 par rapport à la hauteur minimale mesurée chez le cultivar Gta durum.....	34
Figure 3 : Ecart (g) de la biomasse aérienne produite par plante des parents et des F2 par rapport à la valeur moyenne minimale mesurée chez le cultivar Ofanto.....	35
Figure 4 : Ecart (g) du poids des épis produits par plante des parents et des F2 par rapport à la valeur moyenne minimale comptée chez le cultivar Gaviota durum.....	36
Figure 5 : Ecart du nombre des épis produits par plante des parents et des F2 par rapport à la valeur moyenne minimale observée chez les cultivars Gaviota durum et Guemgoum Rkhem.....	38
Figure 6 : Ecart (g) du poids de 1000 grains des parents et des F2 par rapport à la valeur moyenne minimale observée chez la F2 Waha/Gaviota durum.....	40
Figure 7 : Ecart du nombre de grains/épi des parents et des F2 par rapport à la valeur moyenne minimale observée chez le cultivar Guemgoum Rkhem.....	41
Figure 8 : Ecart (g) du rendement en grains par plante des parents et des F2 par rapport à la valeur moyenne minimale observée chez le cultivar Guemgoum Rkhem.....	42
Figure 9 : Ecart de l'indice de récolte des parents et des F2 par rapport à la valeur moyenne minimale observée chez le cultivar Guemgoum Rkhem.....	43
Figure 10 : Ecart (cm ²) de la surface de la feuille étendard des parents et des F2 par rapport à la valeur moyenne minimale observée chez le cultivar Waha.....	45
Figure 11 : Ecart (%) de la teneur relative en eau des parents et des F2 par rapport à la valeur moyenne minimale la F2 Waha/Guemgoum Rkhem.....	46
Figure 12 : Ecart (%) des dommages cellulaires des parents et des F2 par rapport à la valeur moyenne minimale le cultivar Ofanto.....	47
Figure 13 : Ecart du contenu en chlorophylle des parents et des F2 par rapport à la valeur moyenne minimale le cultivar Guemgoum Rkhem.....	48
Figure 14 : Relation linéaire entre le poids de 1000 grains (g) et la hauteur de la végétation (cm) chez les parents et les F2 du croisement diallèle.....	50
Figure 15 : Relation linéaire entre le poids des épis (g/plant) et le rendement en grains (g/plant) chez les parents et les F2 du croisement diallèle.....	50

Figure 16 : Groupage des parents et des populations F2 sur la base des treizes variables mesurées.....	53
Figure 17 : Différences relatives entre les trois groupes formés sur la base des treize variables mesurées des parents et des populations F2.....	54
Figure 18 : Graphe des W_r vs V_r de la durée de la phase végétative.....	58
Figure 19 : Graphe des W_r vs V_r du poids de 1000 grains.....	59
Figure 20 : Graphe des W_r vs V_r du contenu en chlorophylle.....	59
Figure 21 : Graphe des W_r vs V_r de la biomasse aérienne.....	60
Figure 22 : Graphe des W_r vs V_r du nombre d'épis par plante.....	61
Figure 23 : Graphe des W_r vs V_r du rendement par plante.....	61
Figure 24 : Graphe des W_r vs V_r du % de dommages cellulaires	62
Figure 25 : Relations entre W_r+V_r vs Y_r' de la durée de la phase végétative.....	64
Figure 26 : Relations entre W_r+V_r vs Y_r' du rendement en grains.....	66
Figure 27 : Relations entre W_r+V_r vs Y_r' du nombre d'épis par plante.....	66
Figure 28 : Relations entre W_r+V_r vs Y_r' du pourcentage de dommages cellulaires.....	67
Figure 29 : Relations entre W_r+V_r vs Y_r' du contenu en chlorophylle.....	68
Figure 30 : Relations entre W_r+V_r vs Y_r' de la biomasse aérienne par plante.....	69
Figure 31 : Relations entre W_r+V_r vs Y_r' du poids de 1000 grains.....	69

LISTE DES ABREVIATIONS

* significatif au seuil de 5 % selon le contraste.

** significatif au seuil 1% selon le contraste.

ITGC : Institut Technique Des Grandes Cultures

INRAA : Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie

ACSAD : Arab center for the Studies of Arid zones and Dry lands

CIMMYT : Centre international pour l'amélioration du maïs et du blé

CNCC : Centre National de contrôle et de Certification Des Semences Et Plants

FAO : Organisation mondiale de l'agriculture et de l'alimentation

cm : centimètre

cm² : centimètre carré

m : Mètre

m² : Mètre carré

mg : Milligramme

C° : Degré Celsius

g : gramme

qx : quintaux

ha : hectare

ssp : Sous espèce

DFV : La durée de la phase végétative (jours)

PHT : La hauteur des plantes (cm)

BIO : La biomasse aérienne (g/plante)

SF : La surface de la feuille étendard (cm²)

NE : Nombre des épis par plante

RDT : Le rendement grain (g/plante)

HI : L'indice de récolte (%)

PMG : Le poids de mille grains

NGE: le nombre de grains par épi

PNE: poids des épis par plante (g/plante)

TRE : teneur relative en eau de la feuille étendard (%)

INJ : dommages causés par le stress à la membrane plasmique (%)

CHL : contenu en chlorophylle, CCI (unité arbitraire)

CCI : Chlorophyll Content Index

Wah : Waha

Zb/Fg : Zenati Bouteille/Flamengo

Mex : Mexicali 75

Ofa : Ofanto

GTA : GTA durum ou Gaviota durum

GRR : Guemgoum Rkhem

MBB : Mohamed Ben Bachir

Ppds5% : La plus petite différence significative, au seuil de 5%

CVp : Le coefficient de la variation phénotypique (%)

CVg : Le coefficient de la variation génotypique (%)

CM : Carré Moyen

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

σ^2g : variance génotypique

σ^2p : variance phénotypique

h²ns : L'héritabilité au sens étroit

ملخص

اجريت هذه الدراسة في الموقع التجريبي التابع للمعهد الوطني للبحث الزراعي وحدة البحث بسطيف (UR-INRA- Sétif) خلال الموسم الفلاحي 2014/2013. والهدف منها هو تحديد التباين الظاهري لدى 13 متغير كمي وتبيان طبيعة الفعل الوراثي الداخل في المراقبة الوراثية لهذه المتغيرات الخاصة بالجيل الثاني بالنسبة لسته أصناف من القمح الصلب (*Triticum turgidum L. var. durum*)

النتائج تدل بان انتخاب سلالات ذات عدد وحجم كبير من السنابل يحسن في آن واحد الكتلة الإحيائية و المردود الحبي. التأثيرات الجينية المضيفة وغير المضيطة تدخل في المراقبة الجينية للمتغيرات المدروسة. التأثيرات الجينية المضيطة هي أكثر أهمية من التأثيرات السيادية بالنسبة لفترة الإنبات , وزن ألف حبة واليخضور التي تبين وجود سيادة جزئية إلى كلية. الكتلة الإحيائية , عدد السنابل, المردود الحبي و الأضرار الخلوية تدل على وجود سيادة متعددة.

درجة التوريث في النطاق الضيق هي متوسطة بالنسبة للأضرار الخلوية و ضعيفة بالنسبة لفترة الإنبات , الكتلة الإحيائية, وزن ألف حبة و اليخضور ومعدومة بالنسبة لعدد السنابل و المردود الحبي . قيم درجة التوريث تدل على أن الانتخاب المبكر بالنسبة لمقاومة الاجهاد الحراري من الممكن النصح به على عكس باقي الصفات التي أظهرت السيادة مع وجود تأثير بيئي مهم.

الكلمات المفتاحية : *Triticum durum* , الانتخاب , التوريث , الفعل الوراثي , سيادة

Résumé

La présente étude a été conduite sur le site expérimental relevant de l'Unité de Recherche de l'INRA de Sétif (UR-INRA- Sétif) au cours de la campagne 2013/14. L'objectif est d'évaluer la variabilité phénotype de treize variables quantitatives et de déterminer la nature des actions géniques impliquées dans le contrôle génétique de ces variables de la génération F₂ d'un diallèle incomplet à six parents de blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*): Waha, Ofanto, Zenati Bouteille/Flamengo, Gaviota durum, Mexicali75 et Guemgoum Rkhem. Les résultats indiquent une variabilité phénotype significative pour les treize variables mesurées, avec des amplitudes élevées pour la phase végétative, la hauteur, la biomasse, le poids de 1000 grains et le nombre de grains/épi et faibles pour le poids des épis, le nombre d'épis et le rendement. La sélection de la précocité au stade épiaison affecte négativement la hauteur, le poids de 1000 grains et la surface de la feuille étendard, et positivement le nombre d'épis, l'indice de récolte et la chlorophylle. Les résultats suggèrent que la sélection d'un nombre élevé d'épis, de grosse taille, améliore simultanément la biomasse et le rendement. Les effets additifs et non additifs sont impliqués dans le contrôle génétique des variables analysées. Les effets additifs sont plus importants que les effets de dominance pour la durée de la phase végétative, le poids de 1000 grains et la chlorophylle qui montrent une dominance partielle à complète. La biomasse, le nombre d'épis, le rendement et les dommages cellulaires montrent de la superdominance. L'héritabilité au sens étroit est moyenne pour le % dommages, faibles pour la durée de la phase végétative, la biomasse, le poids de 1000 grains et la chlorophylle et nulle pour le nombre d'épis et le rendement. Ces valeurs de h²ns indiquent que la sélection précoce de la tolérance au stress thermique peut être préconisée mais elle ne peut l'être pour les autres caractères qui montrent de la dominance et un effet milieu important.

Mots clés: *Triticum durum*, dominance, action génique, sélection, héritabilité.

Abstract

The present study was conducted at the experimental site of the INRA Research Unit of Setif (RU-INRA- Setif) during the 2013/14 cropping season. The objective was to evaluate the phenotypic variability of thirteen quantitative variables and to determine the nature of gene actions involved in the genetic control of these variables of the F₂ generation of an incomplete diallel cross of 6 parents of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*): Waha, Ofanto, Zenati Bouteille/Flamengo, Gaviota durum, Mexicali75 and Guemgoum Rkhem. The results indicated significant phenotypic variability for the thirteen measured variables, which showed high range for the vegetative phase, height, biomass, 1000-kernel weight and kernels per spike, and low range for spike weight, spike number and grain yield. Selection of early heading affected, negatively, plant height, 1000-kernel weight, and flag leaf area; and positively, spike number, harvest index and chlorophyll content. The results suggested that selection of high number of big size spikes improved simultaneously biomass and grain yield. Additive and nonadditive effects were implicated in the genetic contrôle of the measured variables. Additive effects were more important than the dominance effects for the vegetative phase, 1000-kernel weight, and chlorophyll content which exhibited partial to complete dominance. Biomass, spike number, grain yield and % injury exhibited super-dominance. Medium narrow sense heritability was noted for % injury, low values for the vegetative phase, biomass, 1000-kernel weight, and chlorophyll and nil for spike number of spike and grain yield. Based on narrow sense heritability, early selection for heat stress tolerance is suggested but could not be recommended for the others traits which exhibited dominance and strong environmental effect.

Key words: *Triticum durum*, dominance, gene action, sélection, heritability

INTRODUCTION

Le blé (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) est l'une des principales ressources alimentaires, et la première céréale cultivée en Algérie, en termes de superficies et de production. La production est faible, ce qui justifie le recours aux importations (France Agrimer, 2011). La cause principale de la faiblesse de la production est le faible niveau des rendements réalisés qui ne dépasse pas la moyenne de 1.6 t/ha (Benbelkacem, 2013). L'augmentation des rendements passe nécessairement par l'amélioration de l'itinéraire technique et l'adoption de nouvelles variétés plus performantes et mieux adaptées aux conditions de production de l'environnement ciblé. Cette augmentation est rendue nécessaire suite à la demande de consommation qui est de plus en plus importante, parce qu'elle est soutenue par une population en pleine croissance. L'amélioration génétique des rendements en grains est conditionnée par la disponibilité de la variabilité pour les caractères qui en sont les déterminants (Annichiarico *et al.*, 2005 ; Hannachi *et al.*, 2013 ; Fellahi *et al.*, 2013). Le rendement en grains est un caractère complexe, dépendant de plusieurs caractéristiques, il est sous contrôle polygénique. La connaissance de la nature de l'action génique et de l'importance des effets des gènes contrôlant l'expression des caractères déterminants le rendement en grains est primordial dans un programme de sélection. Ceci permet d'orienter le processus de sélection sur le choix des lignées parentales à croiser et de déterminer la ou les méthodes de sélection qui soient les plus efficaces dans la gestion et le criblage des populations en ségrégations ainsi obtenues (Hannachi *et al.*, 2013 ; Fellahi *et al.*, 2015, Oulmi *et al.*, 2015, Hamli *et al.*, 2015 ; Salmi *et al.*, 2015). L'objectif de cette étude est d'analyser la population F2 selon la procédure de Hayman (1954) pour caractériser les lignées parentales croisées selon un dispositif diallèle incomplet, sous les conditions environnementales du site expérimental de l'Unité de Recherche de l'INRAA de Sétif (UR-INRAA-Sétif).

CHAPITRE I. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1- IMPORTANCE DE LA CULTURE DU BLE DUR (*Triticum durum*, Desf.)

Le blé dur a pour origine géographique le moyen orient ou plus exactement le croissant fertile qui couvre partiellement la Turquie, la Syrie, l'Iraq et l'Iran. C'est une plante allo-tétraploïde de génome AABB, réparti sur 28 chromosomes dont le nombre chromosomique de base est $n=7$. Les blés tétraploïdes sont issus de l'hybridation naturelle entre *Triticum urartu* porteur du génome AA et une espèce sauvage diploïde de la section *Sitopsis*, qui est *Aegilops speltaoides* porteuse du génome B. Cette hybridation a donné naissance à *Triticum turgidum* ssp. *dicoccoides*, *Triticum turgidum* ssp. *paleocolchicum*, *Triticum turgidum* ssp. *polonicum*, *Triticum turgidum* ssp. *turanicum*, *Triticum turgidum* ssp. *carthlicum*, *Triticum turgidum* ssp. *turgidum* et *Triticum turgidum* ssp. *durum*. Parmi ces sous espèces *T. turgidum* ssp. *durum* est de loin le plus cultivé (Feldman et Levy, 2002).

Le blé dur est une culture méditerranéenne. Elle est pratiquée dans les pays du bassin méditerranéen, les Etats-Unis, la Russie, le Canada, et l'Argentine. L'Europe est le grand producteur de blé dur avec une moyenne de production de 8.10 millions de tonnes au cours de la période 1994-2005. L'Italie, la Grèce, la France et l'Espagne contribuent le plus à cette production européenne. La production mondiale de blé dur est de 36 millions de tonnes pour une superficie moyenne emblavée de 15 millions d'hectares (Fao stat, 2013).

En Algérie, Le blé dur occupe près de 1.2 millions d'hectares, avec une production réalisée, de plus de 1.6 millions de tonnes (Benbelkacem, 2013). Les rendements ont connu une augmentation à partir du début des années 2000, de 0,8 t/ha à 1,4 t/ha. Malgré cette augmentation, ils restent inférieurs à la moyenne réalisée par les pays voisins, qui est de 2,5 t/ha. La demande est estimée à près de 4.2 millions de tonnes (France Agrimer, 2011 ; Faostat, 2013). Ce qui incite à

trouver et à mobiliser les moyens pour augmenter plus la production nationale et ainsi réduire les importations.

Les emblavements du blé dur sont réalisés sur les plaines intérieures et surtout sur les hauts plateaux qui ont un climat des plus variables. Cette variabilité engendre des contraintes abiotiques et biotiques de diverses natures qui constituent un frein à l'augmentation des rendements (Nouar *et al.*, 2012). La faiblesse des rendements n'incite pas les agriculteurs à adopter des itinéraires techniques ambitieux, pour limiter les charges financières engagées par unité de surface (Abbas et Abdelguerfi, 2005).

2. SELECTION DU BLE DUR (*Triticum durum* Desf.)

2.1. CREATION DE LA VARIABILITE

La sélection du blé dur (*Triticum durum* Desf.), est conduite conjointement par l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) et l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRAA). Elle repose sur l'utilisation de la descendance provenant des croisements faits à la station centrale sise à Oued Smar (Alger), parfois au niveau des stations régionales de Guelma, Khroub, Sétif, Tiaret, Sidi Bel Abbes et de Saïda, et des introductions venant du centre international de la recherche agronomique des régions arides (Icarda, Syrie), du centre arabe des études des zones arides (Acsad, Syrie), et du centre international d'amélioration du maïs et du blé (Cimmyt, Mexique) en particulier (Benmahammed *et al.*, 2001).

Le cycle de sélection dure plusieurs années. Dès la génération F7, le matériel sous sélection devient de plus en plus homogène, notamment pour les caractères à hérédité simple telles que la hauteur de la paille, la durée du cycle de végétation, la forme ou architecture globale de la plante (capacité de tallage, forme et couleur des épis) et la résistance aux maladies cryptogamiques. A ce stade de la sélection, les lignées pures, prometteuses, passent à l'étape des essais comparatifs de

rendement. Cette étape dure 3 à 4 années, durant lesquelles, le matériel soumis à la sélection est évalué sur plusieurs sites représentés par les stations expérimentales de la recherche agronomique, éparpillée sur tout le territoire, et certaines fermes pilotes (Benmahammed *et al.*, 2001 ; Menad, 2009 ; Meziani *et al.*, 2011 ; Nouar *et al.*, 2012).

Les stations expérimentales sont représentatives des différentes zones agro écologiques de production du blé dur. Les sélections réalisées par chaque station sont, de ce fait, adaptées à sa zone représentative. Les obtenteurs, ITGC et INRA, utilisent cette série d'essais d'évaluation pour identifier les variétés qui sont finalement présentées à l'inscription au catalogue national auprès du centre national de contrôle et de certification des semences et plants (CNCC) et puis, éventuellement, multipliées et commercialisées auprès des agriculteurs pour leur adoption (Benmahammed *et al.*, 2001 ; Hannachi, 2013 ; Fellahi, 2013).

Les variétés de blé dur sélectionnées sont des lignées pures obtenues après une série de cycles répétés d'autofécondation (Benbelkacem et Kellou, 2000). Le processus de création de la variabilité commence par des croisements entre deux parents voire plus. Les parents sont choisis généralement sur la base de leurs performances et leurs caractéristiques agronomiques qu'on cherche à regrouper chez la descendance du croisement réalisé et par conséquent chez les futures variétés. La sélection débute par le criblage de la génération F2, issue de l'autofécondation des F1 produites locales ou des populations en ségrégations (F2 et F3) faisant partie du programme international d'amélioration des céréales mené par l'Icarda et le Cimmyt (Benmahammed *et al.*, 2001).

Le tri est fait par plante, dans le cas de la sélection pedigree, et/ou par croisement (ou famille), dans le cas de la sélection bulk. Ce tri est fait sur la base des caractères à hérédité simple et il est ainsi répété sur les générations F3 à F7, jusqu'à l'obtention d'un matériel végétal plus ou moins homogène où la

ségrégation est très faible à nulle. Le matériel retenu passe aux essais comparatifs de rendement, caractère complexe, et à la fixité. Ces essais qui durent trois à 5 années passent progressivement d'un site à plusieurs sites dans l'espace et sont répétés dans le temps (Benmahammed *et al.*, 2001 ; Nouar *et al.*, 2012).

Dans ce contexte, la sélection est pratiquée sur la seule base des performances de rendement grain, sans tenir compte des autres paramètres, et ils sont nombreux, dont entre autres la résilience vis-à-vis des stress, la valorisation des itinéraires à faibles inputs, qui donnent au rendement une certaine régularité.

En effet la grande diversité des milieux de production et la grande variabilité climatique, même sur de courtes distances, engendrent, le plus souvent, l'interaction génotype x environnements du rendement grain des nouvelles obtentions (Kadi *et al.*, 2010 ; Menad *et al.*, 2011 ; Meziani *et al.*, 2011 ; Nouar *et al.*, 2012). Ainsi Kadi *et al.*, (2010) rapportent, pour l'orge (*Hordeum vulgare* L.), que l'effet dû aux milieux (dans le sens site x années) était plus prépondérant et représentait jusqu'à 80% de la variation totale du rendement grain. Le reste de la variation est partagé entre l'effet génotype (8%) et l'effet de l'interaction (12%).

La réponse différentielle des génotypes aux milieux complique le travail du sélectionneur qui est supposé répondre à la demande des agriculteurs en matière d'augmentation des rendements, en leur fournissant des variétés performantes et de production régulière. La stabilité du comportement des génotypes, face à la variation des milieux, est une caractéristique indispensable pour l'adoption par la grande culture des nouvelles obtentions (Benmahammed *et al.*, 2010). En effet les agriculteurs connaissent le milieu dans lequel ils produisent et n'adoptent que les variétés dont les performances sont stables face à la variabilité interannuelle du climat de leur milieu.

2.2. APPORT DE LA SELECTION

La sélection du blé dur qui s'appuie sur de très nombreux essais variétaux multi locaux et pluriannuels, aussi indispensable que couteuse, a, sur la production nationale de cette espèce, un impact mitigé qui reste loin des objectifs attendus. En effet malgré que la liste des nouvelles obtentions s'allonge à chaque édition du catalogue national, les agriculteurs restent attachés à l'utilisation des variétés anciennes locales. Les nouvelles variétés proposées à la grande culture se montrent le plus souvent très sensibles à la variation du milieu, variation d'ordre climatique : gel, hautes températures, déficit hydrique (Mekhlouf *et al.*, 2006 ; Chennafi *et al.*, 2006 ; Belkharchouche *et al.*, 2009 ; Benmahammed *et al.*, 2010) aussi bien que techniques : fertilisation azotée, désherbage, dates et densités de semis, couverture phytosanitaire, irrigation (Chennafi *et al.*, 2011 ; Benchellali, 2015 ; Haddad, 2015). Nouar *et al.*, (2010) montrent les variétés Waha et Bousselam, ont généré un gain de rendement en grains significatif mais variable selon les campagnes. Dans les cas les plus défavorables, ces variétés présentent un rendement en grains égale à celui de MBB.

3. CRITERES DE SELECTION

3.1. SELECTION POUR LE RENDEMENT GRAIN ET L'INTERACTION G X E

Le but principal de tout programme de sélection est la production de variétés possédant un rendement élevé, stable et de bonne qualité technologique. La productivité est définie comme étant la capacité de produire plus. C'est une notion relative. En sélection, elle désigne souvent le rendement grain. Une variété productive ne l'est, en fait que par rapport à une autre variété qu'elle remplace et à laquelle elle est comparée. Cette dernière est alors utilisée comme témoin de référence. L'environnement dans lequel se fait la sélection joue un rôle important. Tous les milieux n'ont pas la même aptitude à révéler les différences génotypiques (discrimination). L'existence de interaction génotype - environnement complique

les efforts de la sélection (Benmahammed *et al.*, 2010 ; Nouar *et al.*, 2012). Ceci fait que le processus de sélection doit être différent, selon que l'on cherche l'adaptation spécifique ou l'adaptation générale (Annichiarico *et al.*, 2006).

L'amélioration du rendement grain est généralement abordée de manière directe ou indirecte. La sélection directe utilise le rendement lui-même qui est mesuré à la récolte de la plante. La sélection indirecte utilise les composantes du rendement et les caractères morpho-physiologiques qui sont liés au rendement grain (Reynolds *et al.*, 2007 ; Adjabi *et al.*, 2007 ; Bensemane, 2015). La sélection du rendement grain n'est efficace que si les conditions de milieu qui ont permis la réalisation d'un rendement grain donné, se répètent de façon régulière. L'inefficacité de la sélection directe est de ce fait expliquée par la présence des interactions géotypes x lieux (Bouzerzour *et al.*, 1998 ; Annichiarico *et al.*, 2006 ; Kadi *et al.*, 2010 ; Meziani *et al.*, 2011 ; Nouar *et al.*, 2012 ; Adjabi *et al.*, 2014). Cette interaction G x E est engendrée par la sensibilité différentielle des géotypes testés à la variation pédoclimatique des milieux testés.

Nouar (2015) rapporte que Waha se montre sensible au nombre de jours dont la température moyenne est supérieur à 25°C, par contre Bousselam est sensible au déficit hydrique de fin du cycle. Cette sensibilité différentielle à différents facteurs du milieu est la cause, en partie, de l'interaction géotype x milieux. Duggan et Fowler (2006) mentionnent que la compétition entre le nombre de grains par épi et le poids de 1000 grains explique une grande part de l'interaction et permet à certaines variétés d'ajuster leur rendement sous stress. De Vita *et al.*, (2007) mentionnent que le gain génétique obtenu en blé dur est associé à une amélioration du nombre de grains produit par m², à un nombre élevé d'épis et à une réduction de la hauteur du chaume.

Le choix d'un itinéraire technique adéquat permet à la variété adoptée d'exprimer pleinement son potentiel génétique. Ainsi le choix raisonné des dates

et densités de semis, le désherbage précoce et la fertilisation azotée contribuent positivement à l'augmentation du nombre d'épis/m² et du nombre de grains par épi et par conséquent augmentent le nombre de grains par m² et le rendement en grains. De Vita *et al.*, (2007) rapportent que les semis précoces engendrent des augmentations significatives des nombres d'épis m⁻² et de grains par épi, suite à une meilleure utilisation des eaux pluviales.

3.2. SELECTION POUR L'ADAPTATION ET LA STABILITE DU RENDEMENT

Plusieurs caractères, impliqués dans la tolérance aux contraintes hydrique et thermique, sont utilisés pour cribler des lignées en ségrégations. Il est important de connaître ceux qui sont plus ou moins associés à la tolérance, si l'on veut faire un progrès significatif. Ces caractères ne peuvent avoir de valeur pour le sélectionneur que s'ils répondent à certaines conditions. Ils doivent avoir suffisamment de variabilité génétique, à l'intérieur des populations criblées. Ils doivent présenter une corrélation significative avec le rendement en présence comme en absence de la contrainte ciblée. Le criblage sur la base de ces caractères doit être rapide, fiable, et peu coûteux (Richards *et al.*, 2002) .

L'adaptation est définie aussi comme étant la capacité d'une plante à croître et à donner des rendements satisfaisants dans des zones sujettes à des stress de périodicités connues (Rebetzke *et al.*, 2007). L'adaptation est souvent engendrée par la tolérance des stress. Une plante adaptée est donc celle qui tolère ou résiste à un stress donné et réussit à produire à un niveau satisfaisant par rapport à une autre plante qui sera dite non adaptée (Tardieu, 2003). Sous les conditions de productions des hautes plaines orientales, les génotypes trop précoces courent le risque d'être touchés par le gel tardif. Ceux qui sont trop tardifs, courent le risque d'être pénalisés par l'élévation de la température et le déficit hydrique de fin de cycle de la culture (Abbassenne *et al.*, 1997). La durée du cycle prend donc, dans ce contexte, de l'importance pour esquiver ces contraintes climatiques.

Une réduction importante de la hauteur de la végétation, certes améliore le nombre d'épis produit par m², mais elle est indésirable parce qu'elle réduit la longueur du système racinaire (Hurd, 1974) caractéristique important pour éviter les stress de fin de cycle. De plus une hauteur réduite affecte la production de la paille qui est nécessaire au maintien, en zone semi-arides, de l'activité élevage (Abbas et Abdelguerfi, 2008). Le développement et la sélection de variétés performantes et adaptées aux conditions pédoclimatiques des zones semi-arides est une importante préoccupation dans le domaine de la sélection (Fischer et Maurer ; 1978 ; Kadi *et al.*, 2010 ; Benmahammed *et al.*, 2010 ; Adjabi *et al.*, 2014). La complexité des mécanismes qui semblent conditionner la tolérance aux stress et la diversité des caractères qui semblent liés à ces mécanismes, rendent difficile la sélection de cette double caractéristique (Reynolds *et al.*, 2005 ; Bensemane *et al.*, 2011 ; Bensemane, 2015). De plus, c'est, le plus souvent, la réponse à plusieurs contraintes combinées qui est mesurée et non l'effet d'un stress ciblé (Blum, 1988 ; Oulmi *et al.*, 2014). La variation du rendement en grains, en réponse à la contrainte hydrique est rapportée dans de nombreux travaux où les mesures sont réalisées en termes de performances de rendement en grains en présence et en absence de la contrainte hydrique.

Cette approche permet de mesurer simultanément le potentiel de la performance de rendement et le degré de résilience vis-à-vis de la contrainte hydrique (Clarke *et al.*, 1992 ; Benmahammed *et al.*, 2010). De telles techniques, pour quantifier le degré de tolérance à la contrainte, sont élaborées sous forme d'indices. Parmi ces indices on a l'indice de stabilité du rendement qui utilise la régression linéaire pour déterminer les cultivars qui sont adaptés à des environnements ciblés (Finlay et Wilkinson, 1963 ; Eberhart et Russell, 1966). L'indice de supériorité génotypique (P), proposé par Lin et Binns (1988), compare la productivité des génotypes à travers des environnements et qui utilise le

génotype ayant le plus haut rendement dans chaque environnement comme point de référence (Clarke *et al.*, 1992 ; Benmahammed *et al.*, 2010).

L'indice S, de Fischer et Maurer (1978), mesure la sensibilité à la contrainte hydrique. Cet indice mesure l'écart de la performance du rendement du génotype considéré sous stress comparativement à l'écart moyen de l'ensemble des génotypes avec lesquels il est évalué. La teneur relative en eau un indice reproductible et fiable de l'état hydrique de la plante (Clarke *et al.*, 1992 ; Fella *et al.*, 2002). Clarke et McCaig (1982) mentionnent que les cultivars tolérants à la sécheresse conservent une plus grande teneur en eau des feuilles que les cultivars sensibles. Clarke *et al.*, (1989) suggèrent que la teneur relative en eau comme critère de criblage pour la sélection des lignées tolérantes à la contrainte hydrique. Sanchez-Rodriguez *et al.*, (2010) notent que la teneur relative en eau est un des meilleurs indicateurs pour discriminer entre les cultivars tolérants et sensibles chez la tomate. Dedio (1975) rapporte que l'héritabilité de la rétention d'eau de la feuille excisée est sous contrôle génétique simple. Ce caractère est facilement transmissible à la descendance, et il est positivement lié au rendement en grains en présence de la contrainte hydrique.

Le maintien de l'intégrité des membranes cellulaires en cas de stress est une caractéristique impliquée dans la tolérance (Bajji *et al.*, 2001). Teng *et al.*, (2004) mentionnent qu'un contenu en chlorophylle élevé, au cours de la période de remplissage du grain, est une caractéristique désirable indicatrice de la résistance vis-à-vis des stress. Oukaroum (2007) suggère l'utilisation du contenu en chlorophylle comme indicateur de la capacité de tolérer les stress abiotiques. Hannachi *et al.*, (2013) ainsi que Fellahi *et al.*, (2013) mentionnent l'existence d'une grande variabilité phénotypique du contenu de la chlorophylle CCI et SPAD, et une bonne corrélation entre ces deux mesures.

Bensemene (2015) observe une grande variabilité de réponse de la biomasse accumulée au stress hydrique chez les plantules d'orges. Certains génotypes minimisent la réduction de la biomasse sous stress, de l'ordre de 5%, comparativement au témoin non stressé. Par contre d'autres génotypes, au contraire, sont plus sensibles au stress hydrique et présentent des réductions, plus importantes, de l'ordre de 20.0 à 30.0%. Bensemene (2015) note que la quantité d'eau consommée est variable selon les lignées d'orge et le degré de stress hydrique imposé, avec une réduction moyenne de 40.3% sous stress hydrique, variant de 26.0% chez les variétés dépensières à 53.0% chez les variétés économes, induisant une grande variabilité de l'efficacité d'utilisation de l'eau qui est globalement plus élevée sous stress hydrique. Un tel comportement s'explique selon Bensemene (2015) par des différences de conductance stomatique plus faible chez les génotypes économes en eau et plus élevée chez les génotypes dépensiers d'eau. Bensemene (2015) propose la méthode de criblage des plantules du matériel en ségrégation pour identifier les lignées plus aptes à faire une meilleure utilisation de l'eau disponible sous conditions de contrainte hydrique.

Bensemene (2015) rapporte la meilleure adaptation des ogres à 6 rangs comparativement aux ogres à 2 rangs, adaptation qui semble liée à une biomasse aérienne accumulée, un poids des épis et un nombre de grains par m² plus élevés. La sélection indirecte, mono et multi caractères, identifie, à des degrés variés de 30% à 90%, les mêmes lignées issues de la sélection directe. Sur 50 lignées sélectionnées seules trois lignées, deux à 6 rangs et une à 2 rangs, ont répondu positivement à la sélection en maintenant leur performance, comparativement au meilleur témoin, au cours de la seconde année d'étude. Bensemene (2015) suggère que la stratégie à déployer pour améliorer le rendement et l'adaptation, sous conditions semi-arides, doit être basée essentiellement sur l'utilisation, en croisements, des géniteurs à 6 rangs, pour accumuler, chez la descendance, les gènes favorables à l'expression des caractères tels que le nombre d'épis, de grains

par épi et la biomasse aérienne. La combinaison de ces caractères, par croisements suivis de criblage de la descendance, déboucherait, à long terme, à la sélection de génotypes performants et adaptés.

Belkherchouche *et al.*, (2015), étudiant la contribution des assimilats des barbes, de l'épi, et de la feuille étendard au rendement grain de l'épi, rapportent que la limitation de la source induit une baisse de 14.7%, 21.7% et 8.0 % du nombre de grains/épi, du rendement épi et du poids d'un grain. Ces auteurs expliquent ce comportement par la présence/absence de la compensation qui s'instaure différemment entre les organes de la plante. Belkherchouche (2015) rapporte que la quantité totale des assimilats remobilisée, venant de diverses combinaisons d'entre nœuds, varie de 543.5 mg à 1117.0 mg, ce qui représente 26.6 % à 60.9% du rendement grain/épi. Cet auteur suggère que pour maximiser l'appel des assimilats vers le grain, la sélection doit tenir compte de la taille de l'épi, de la durée de vie des glumes, de la longueur et de la densité des barbes, du rendement par m² et par épi, du poids de 1000 grains et du poids spécifique et de la longueur du dernier entre nœud et du col de l'épi. La sélection de tels caractères contribue à cumuler chez les génotypes identifiés potentiel de rendement et adaptation aux conditions sèches méditerranéennes.

Hamli (2015), étudie la capacité de discrimination des tests physiologiques appliqués à des lignes de blé dur soumises au choc thermique au stade plantule et leurs relations avec les indices de tolérance au stress du rendement grain, observe une variabilité appréciable de la réponse des génotypes évalués. Les résultats indiquent que le choc thermique augmente l'expression de nouvelles protéines de choc thermique et réprime l'expression de celles présentes en absence de stress. La proline, les sucres solubles et le dommage de la membrane cellulaire augmentent alors que le rapport Fv/Fm, la teneur relative en eau, la longueur de la coléoptile, la teneur en chlorophylle, et la surface foliaire diminuent sous l'effet du choc thermique.

Hamli *et al.*, (2015a) notent que les génotypes évalués sont classés différemment selon le paramètre de tolérance considéré. Ainsi sur la base de la proline, des sucres solubles et la reprise de la croissance foliaire, Korifla est classé comme tolérant au stress. Bouselam est classé comme tolérant au stress sur la base de la teneur relative en eau, la stabilité de la membrane et la teneur en chlorophylle, alors que Waha est classé comme tolérant sur la base du ratio Fv/Fm. Seul le ratio Fv/Fm est corrélé avec l'indice P suggérant que ce paramètre physiologique pourrait être recommandé pour la discrimination précoce des génotypes tolérants au stress thermique. Hamli *et al.*, (2015b), étudiant le mode de transmission génétique des caractères morpho-physiologiques dont la teneur relative en eau, la déperdition d'eau des feuilles excisées, la surface de la feuille étendard et la stabilité de la membrane plasmique, chez une population F3 de blé dur (*Triticum durum* Desf.), rapportent la présence de la variabilité pour les variables analysées, la présence de transgresseurs dans le sens désiré de la sélection et des valeurs de l'héritabilité moyennes à élevées.

4. ETUDE DES APTITUDES A LA COMBINAISON ET DES ACTIONS GENIQUES

4.1. METHODES D'ANALYSE

4.1.1. GRIFFING (1956)

L'analyse de Griffing (1956) permet d'analyser les effets d'aptitude à la combinaison à partir des générations F1 ou F2 d'un croisement diallèle complet (p^2 combinaisons) ou partiel [$p(p-1)/2$ combinaisons]. L'effet d'aptitude générale à la combinaison (AGC) est basé sur l'action additive des gènes contrôlant le caractère étudié. Il y a additivité lorsque la valeur d'un hétérozygote (Aa), à un locus donné, n'est pas significativement différente de la moyenne des deux homozygotes correspondants : $Aa = (AA + aa)/2$. L'action additive des gènes est la notion la plus importante dans l'étude de l'hérédité, elle est la cause de la ressemblance entre apparentés (Falconer et Mckay, 1996). L'effet d'aptitude spécifique à la combinaison (ASC) est basé sur l'action non additive ou de dominance des gènes

contrôlant le caractère étudié. La dominance représente l'écart par rapport à l'additivité.

La dominance est complète dans le cas où la valeur moyenne de l'hybride F1 est égale à la valeur moyenne du parent possédant l'allèle dominant ($Aa = AA$). La dominance partielle ou incomplète lorsque la valeur de l'hétérozygote (Aa) se situe entre la moyenne des deux homozygotes (valeur m) et la valeur du parent supérieur (AA). Il y a superdominance lorsque la valeur de l'hétérozygote (Aa) est supérieure à celle du parent supérieur (AA). La comparaison des variances de l'AGC et l'ASC permet de déterminer la stratégie de sélection à suivre dans un programme d'amélioration pour améliorer un caractère donné.

4.1.2. HAYMAN (1954)

Hayman (1954) propose une méthode d'analyse graphique pour extraire le maximum d'information sur les actions géniques et les aptitudes à la combinaison contenues dans un croisement diallèle. L'analyse graphique se base sur la relation entre les covariances (W_r) et les variances (V_r) correspondantes. La variance (V_p) des parents croisés est calculée en utilisant les valeurs des autofécondations (X_{ii}). La variance (V_r) pour chacune des n familles est calculée en utilisant les valeurs d'autofécondation du parent constant et des valeurs des croisements auxquels a participé le parent constant. La covariance (W_r) est calculée pour chaque famille à partir des valeurs des croisements (X_{ij}) et de la valeur du parent constant (X_{ii}). Ainsi pour chaque parent on aura à disposition les paramètres ou valeurs indiquées au tableau 1. Les valeurs ($W_r - V_r$) doivent rester constantes pour l'ensemble des n familles, et ceci doit être vérifié par un test d'homogénéité, pour conforter les hypothèses restrictives de départ. Les valeurs ($W_r + V_r$) servent à déterminer le degré de dominance. La parabole détermine la partie du plan à l'intérieur duquel tous les points (V_r, W_r) sont situés. Une famille représente le

parent constant et les croisements où il figure en combinaison avec les autres parents croisés.

Tableau 1. Les valeurs caractéristiques des n parents du diallèle

	Parents croisés				
Paramètres	P1	P2	P3	P4	P5
X_i	X1	X2	X3	X4	X5
V_r	V1	V2	V3	V4	V5
W_r	W1	W2	W3	W4	W5
$W_r - V_r$	W1- V1	W2- V2	W3- V3	W4- V4	W5- V5
$W_r + V_r$	W1+ V1	W2 + V2	W3 + V3	W4 + V4	W5 + V5

Les points de coordonnées (V_r , W_r) sont alignés selon une droite de régression de pente $b= 1$. Le test $b = 1$ vs $b \neq 1$ permet de conclure s'il y a indépendance ou non entre les différents gènes mise en jeu dans le contrôle du caractère étudié et si le système génique est bien additif, comme l'exigent les hypothèses restrictives. Cette droite indique le degré de dominance ainsi que la présence ou l'absence d'interactions géniques. La position relative des points le long de la droite de régression donne une mesure de la fréquence relative des allèles récessifs et dominants chez les parents croisés.

L'intersection de la droite de régression avec l'axe W_r donne une mesure du degré de dominance. Il y a dominance partielle dans le cas où la droite de régression coupe l'axe des W_r au-dessus de l'origine des axes. La dominance est complète si la droite de régression passe par l'origine des axes. Il y a superdominance lorsque la droite de régression coupe l'axe W_r au-dessous de l'origine des axes. L'absence de dominance est indiquée lorsque la droite de régression est tangente à la parabole. L'ordre de distribution des parents ou des couples de valeurs (V_r , W_r) indique la répartition des gènes dominants et des gènes récessifs chez les parents croisés. Les parents qui portent plus de gènes dominants que de gènes récessifs sont situés près de l'origine des axes. Les parents qui portent plus de gènes récessifs que de gènes dominants sont situés à

l'extrémité de l'axe des Vr. Les parents qui portent autant de gènes dominants que de gènes récessifs sont proches du point dont les coordonnées sont $V_{\bar{r}}$ et $W_{\bar{r}}$.

Les hypothèses restrictives qui sont à la base d'une telle analyse sont les suivantes (Hayman, 1954) :

- Ségrégation diploïde
- Pas de différences significatives entre les croisements réciproques
- Action indépendante des gènes non alléliques
- Pas de multi allélisme
- Parents croisés doivent être homozygotes
- Les gènes sont distribués de manière indépendante chez les parents.

5. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE DES ÉTUDES DES APTITUDES A LA COMBINAISON ET DES ACTIONS GÉNIQUES.

Singh et Chaudhary (2006) analysent une F2 diallèle de 10 x 10 parents de blé tendre évaluée dans trois environnements ; ils rapportent que le coefficient de régression des covariances-variances indique que le modèle d'additivité-dominance est significatif pour la durée de la phase végétative dans deux environnements sur les trois étudiés. Pour le reste des caractères analysés, il y a présence d'épistasie. L'analyse des composantes de la variation indique que la composante additive (D) ainsi que la composante de dominance (H1 et H2) étaient significatives. Cependant la composante de dominance était plus élevée en valeur, suggérant la prépondérance de la dominance dans le contrôle des caractères étudiés. Les valeurs prises par la composante F indiquent un excès d'allèles dominants chez les parents croisés. Le degré de dominance mesuré par le ratio $(H1/D)^{1/2}$, indique la superdominance et le ratio $H1/4H1$ indique une distribution symétrique des gènes contrôlant la durée de la phase végétative chez les parents croisés. Les valeurs prises par le degré de l'héritabilité étaient moyennes à élevées.

Ces auteurs suggèrent, sur la base de ces résultats, d'utiliser des croisements de type biparental ou de type diallèle pour créer la variabilité pour la durée de la phase végétative et cribler le matériel ainsi générer au cours des premières générations en ségrégations, pour développer des lignées précoces qui esquivent les stress de fin de cycle de la culture, notamment dans les régions où les hautes températures et la sécheresse terminales sont fréquentes (Singh et Chaudhary, 2006).

Hannachi (2013), analysant le potentiel génétique de six parents et de leurs quinze hybrides F1 selon le modèle de Griffing (1956), observe une variabilité appréciable entre les parents pour les caractères mesurés, avec des effets d'aptitude générale (AGC) et d'aptitude spécifique à la combinaison (ASC) significatifs. Le rapport AGC/ ASC montre la prédominance des effets non additifs dans l'expression de la biomasse, le rendement en grains, le poids des épis et le nombre d'épis, dont les valeurs de l'héritabilité sont faibles. Hannachi (2013) suggère que la sélection de ces caractères doit être envisagée sur les générations plus tardives où l'effet de la dominance devient moins important en valeur comparativement à l'effet additif des gènes contrôlant ces caractères.

Joshi *et al.* (2004), étudiant le mode d'hérédité du rendement en grains, des composantes du rendement et des caractéristiques liées à la qualité technologique du grain de 10 parents et leurs F2, rapportent la prépondérance d'effet de nature additive pour la plupart des caractères analysés. Kashif et Khaliq (2003), analysant l'action des gènes contrôlant les caractères polygéniques d'un croisement diallèle à 5 parents, notent la prépondérance des effets additifs avec des effets de dominance pour le nombre d'épis par plant, les dimensions de l'épi et le nombre de grains par épi. Kashif et Khaliq (2003) rapportent que la dominance agissait dans le sens de l'augmentation de la hauteur des plantes, du poids de 1000 grains et du rendement en grains par plante. Ces auteurs proposent que la sélection puisse débiter tôt, dès la génération F2, pour améliorer les caractères à hérédité simple et

doit être retardée pour les caractères plus complexes comme le rendement en grains par plante.

A partir des résultats de l'analyse graphique, Khan et Habib, (2003) mentionnent que la super dominance est impliquée dans l'hérédité du tallage épis par plante et du rendement en grains par épi, par contre le poids de 1000 grains était sous contrôle génétique de type dominance partielle et la hauteur de la plante sous contrôle de nature additive. Mahmood *et al.* (2003), conduisant l'analyse génétique d'un diallèle à 6 parents, rapportent que le rendement par épi, le poids de 1000 grains et le rendement par plante sont sous contrôle de type additif, alors que la super dominance est impliquée dans le contrôle génétique de la surface de la feuille étandard. Rahman *et al.* (2003) rapportent la présence de l'épistasie dans le contrôle génétique de la hauteur de la plante, le nombre d'épis/plant, le rendement par épi et le poids de 1000 grains, alors que la dominance partielle était observée dans l'expression du nombre de jours semis-maturité. Akram *et al.* (2004) observent la dominance partielle dans l'expression du nombre de jours semis – épiaison.

Golparvar *et al.* (2006) notent la présence de la superdominance dans l'expression des caractères mesurés sous stress hydrique chez le blé tendre, et proposent d'utiliser la durée du remplissage du grain et l'indice de récolte comme critères de sélection pour améliorer indirectement le rendement en grains sous contrainte hydrique. Rathod *et al.*, (2008) rapportent, au sujet du contrôle génétique des caractères qualitatifs, que les effets additifs étaient plus importants que les effets de dominance. Ils suggèrent que la réalisation de simples croisements entre parents de bonne aptitude à la combinaison, suivie de la sélection directe précoce, déboucherait sur l'identification de lignées de bonne valeur pour les caractères ciblés.

Sur la base de l'analyse graphique de la relation entre les covariances (W_r) et les variances (V_r), Rabbani *et al.* (2009) rapportent que la nature des actions géniques varie du type additif à la super dominance, selon le caractère analysé. Fellahi (2013) analysant un croisement diallèle de type 'line x tester' entre cinq lignées avancées et quatre cultivars de blé tendre, rapporte que des effets géniques additifs et non additifs étaient présents dans l'expression des caractères mesurés. Des résultats similaires sont aussi rapportés par Farooq *et al.* (2010) dont l'analyse graphique suggère la présence de la superdominance dans l'expression du nombre de grains par épi et la dominance dans celle de la hauteur et du poids de 1000 grains.

CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES

1. SITE EXPERIMENTAL, MATERIEL VEGETAL ET DISPOSITIF EXPERIMENTAL

1.1. SITE EXPERIMENTAL

L'étude a été menée au cours de la campagne agricole 2013/14 sur le site expérimental de l'unité de recherche de l'Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA), de Sétif. Le site expérimental est situé aux coordonnées géographiques 36° 15' N et 05° 37' E, à une altitude de 981 m au-dessus du niveau de la mer. Le climat de la région du site expérimental est de type méditerranéen, continental, semi-aride, caractérisé par un été chaud et sec, et un hiver froid et humide.

1.2. MATERIEL VEGETAL

L'expérimentation comporte le matériel végétal de la génération F2 issu d'un croisement diallèle réalisé au cours de l'année 2010, entre les lignées parentales Waha, Ofanto, Guemgoum Rkhem, Zenati Bouteille/Flamengo, Gaviota durum et Mexicali75 (Hannachi, 2013).

Waha est une variété dont le pédigrée est Plc/Ruff//Gta's/3/Rolette provenant du croisement CM.17904, réalisé par Cimmyt (Mexique). Elle fut sélectionnée et proposée à l'inscription par l'ITGC, en 1985. C'est une variété à paille relativement courte, précoce d'épiaison et très productive (Nouar *et al.*, 2010). Waha valorise nettement la fertilité des milieux mieux que Bousselam et Mohamed Ben Bachir. Elle présente, cependant, une forte sensibilité au gel tardif (Mekhlouf *et al.*, 2006). Elle occupe une large proportion des emblavements de blé dur au niveau national. Waha est plus productive, apportant un gain de rendement de 16.6% au-dessus du rendement de MBB (Nouar *et al.*, 2010).

Ofanto est issue du croisement italien Adamelo /Appulo. Elle fut introduite dans le cadre du projet de coopération ITGC- IAO, en 1985/86. C'est une variété très productive, mais sensible à la variation des milieux (Annichiarico *et al.*, 2005). Selon Riza *et al.*, (2004), c'est une variété dépensière en eau.

Mexicali75 est une variété dont le pédigrée est Gdo.vz 469/3/Jo's//61.130/Lds/4/Stk', provenant du croisement de Cimmyt CM 470. Cette variété est très précoce, de taille moyenne elle est très productive, mais craint le gel tardif.

Gaviota durum est une variété issue du croisement réalisé en 1972 par le Cimmyt, dont le pédigrée est Crane /4/ *Triticum polonicum* PI 185309//*Triticum glutinosum enano* /2*Tehuacan 60 /3/ Grulla. C'est une variété qui présente, avec le cultivar Chen's, une large adaptation à la région de production de blé dur couvrant les plaines intérieures et une grande partie des hauts plateaux (Annichirico *et al.*, 2005). Elle a été proposée comme variété par l'ITGC de Guelma en 1989. Gta dur est une variété de type printemps, demi-naine, portant les gènes Rht1 et Rht2, elle a pour synonyme D31725 (HRN-0Y-3M-0Y), adaptée au méga environnement M4A (Annichirico *et al.*, 2005).

Guengoum Rkhem est une variété locale de la région de Tiaret qui se distingue par un grain très long. **Zenati Bouteille/Flamengo** est une lignée issue du croisement de Cimmyt et sélectionnée par l'ITGC de Sétif, en 1982.

1.3. *DISPOSITIF EXPERIMENTAL*

Le matériel végétal (Tableau 2) est mis en place dans un dispositif en blocs complètement randomisés avec trois répétitions. La parcelle élémentaire a 2 rangs espacés de 20 cm et long de 10 m, soit une surface parcellaire de 4 m². Le précédent cultural est une légumineuse (lentille). L'essai est fertilisé avec 100 kg ha⁻¹ de superphosphate avant le semis et 70 kg ha⁻¹ d'urée à 35% au stade tallage. Le désherbage chimique est effectué, juste après l'apport de l'engrais azoté, avec le

Sekator (herbicide anti-dicotylédones) [100 g/l Amidosulfuron + 25 g/l Iodosulfuron + 250 g/l Mefenpyr-diéthyl] à raison de 0.15 l ha⁻¹, et le Dopler plus (herbicide anti-graminées) [20 g/l de Fenoxaprop-P-ethyl + 250 g/l de Diclofop-methyl + 40 g/l Mefenpyr-diéthyl] à raison de 2 l ha⁻¹.

2. NOTATIONS ET MESURES

Les différentes notations et mesures faites ont porté sur la durée de la phase végétative (DPV, j) qui est déterminée en nombre de jours calendaires comptés à partir du 1^{er} janvier à la date de réalisation de 50% de l'épiaison. La durée de cette phase végétative est un indicateur du degré de précocité. La hauteur de la végétation (PHT, cm) est prise, en cm, de la surface du sol au sommet de l'épi, barbes incluses. La biomasse aérienne (BIO, g) accumulée à maturité est déterminée à partir du poids sec de la plante. Le nombre de plantes échantillonnées est de 10 par répétition.

Tableau 2. Listes des géniteurs et des croisements de génération F2 diallèle incomplet suivi au cours de la campagne 2013/14 sur le site expérimental de l'UR-INRAA de Sétif.

Ordre	Parent/croisement	RI	RII	RIII
1	Waha	1	31	60
2	Waha//Zb/Fg	2	39	49
3	Waha/Mexicali ₇₅	3	42	59
4	Waha/Ofanto	4	30	50
5	Waha/Gta durum	5	32	58
6	Waha/Guemgoum Rkhem	6	22	48
7	Zb/Fg	7	40	57
8	Zb/Fg//Mexicali ₇₅	8	33	51
9	Zb/Fg//Ofanto	9	29	56
10	Zb/Fg//Gta durum	10	38	43
11	Zb/Fg//Guemgoum Rkhem	11	34	55
12	Mexicali ₇₅	12	23	47
13	Mexicali ₇₅ /Ofanto	13	35	62
14	Mexicali ₇₅ /Gta durum	14	28	52
15	Mexicali ₇₅ /Guemgoum Rkhem	15	36	44
16	Ofanto	16	24	61
17	Ofanto/Gta durum	17	37	53
18	Ofanto/Guemgoum Rkhem	18	27	63
19	Gta durum	19	25	45

20	Gta durum/Guemgoum Rkhem	20	41	54
21	Guemgoum Rkhem	21	26	46

Le nombre d'épis (NE) et le poids des épis (PNE, g) sont déterminés par comptage et pesage des épis produits par plante. Les épis comptés sont battus, les graines obtenues sont pesés pour déterminer le rendement grain (RDT) par plante. Un échantillon de 50 graines déterminé puis pesé pour dériver les poids de 1000 grains (PMG, g). Les nombre de grains produit par plante (NGP) et par épi (NGE) sont déduits par calcul en utilisant les moyennes du rendement grain, du poids de 1000 grains et du nombre d'épis par plante :

$$NGP = 1000 \left(\frac{RDT}{PMG} \right)$$

et

$$NGE = \frac{NGP}{NE}$$

L'indice de récolte est déterminé par le rapport du rendement grain sur la biomasse aérienne, déterminés par plante :

$$HI (\%) = 100 \left(\frac{RDT}{BIO} \right)$$

La teneur relative en eau (TRE, %) a été mesurée sur la dernière feuille entièrement développée pour déterminer l'état hydrique des plantes selon la méthode de Barrs et Weartherly (1962). La feuille échantillonnée par traitement est coupée au niveau de la base du limbe et directement pesée pour avoir le poids de la matière fraîche (PF, mg). Elle est ensuite placée dans un tube à essai contenant de l'eau, mise à l'abri de la lumière et à la température ambiante du laboratoire pendant 4 heures, pour atteindre l'état turgide. On détermine le poids turgide (PT, mg), puis on sèche l'échantillon dans une étuve, à 65°C pendant 12 heures pour

obtenir le poids sec (PS, mg). La teneur relative en eau est déduite par la formule suivante:

$$TRE (\%) = \left(\frac{PF - PS}{PT - PS} \right)$$

La longueur (L, cm) et la plus grande largeur (l, cm) de la feuille étandard sont mesurées sur un échantillon de 3 feuilles prises par plante au stade épiaison. La surface moyenne de la feuille étandard (SF, cm²) est estimée d'après Spagnoletti-Zeuli et Qualset, (1990) :

$$SF (cm^2) = 0.607(L \times l)$$

0,607 est le coefficient de régression de la surface estimée à partir du papier grammage sur celle déduite par le produit (L x l). La teneur en chlorophylle est déterminée au stade épiaison à l'aide du CCM-200 (Opti-Sciences, Tyngsboro, Massachusetts, USA). Trois lectures sont réalisées par plante et par répétition.

Le test de l'intégrité cellulaire est effectué sur les deux dernières feuilles entièrement développées qui sont lavés à l'eau courante. Les feuilles sont découpées en morceaux de 1cm de long. Un échantillon de 10 morceaux 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 peuvent influencer sur les résultats du test. Trois tubes sont utilisés par traitement. 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 estimé, selon la procédure décrite par Bajji *et al.*, (2001), comme suit:

$$Inj (\%) = 100 \left(\frac{EC1}{EC2} \right)$$

3. ANALYSE DES DONNEES

Les données prises des trois répétitions sont traitées par l'analyse de la variance d'un dispositif en blocs, utilisant le logiciel Crop Stat 7.2.3 (2007), selon le modèle additif suivant : $Y_{ijk} = \mu + g_i + b_j + (g \times b)_{ij}$ Où :

Y_{ij} = valeur mesurée du génotype ou croisement i dans le bloc j ,

μ = Moyenne générale du diallèle,

g_i = effet du génotype ou croisement i ,

b_j = effet du bloc j ,

$(g \times b)$ = interaction bloc \times génotype qui est la résiduelle. La forme de la table de la variance d'un tel dispositif est indiquée au tableau 3 (Steel et Torrie, 1982).

Tableau 3. Squelette de la table de l'analyse de la variance du modèle additif adopté.

Source de variation	ddl	CME	Test F	EM
Bloc	b-1	M1	M1/M3	-----
Croisement	C-1	M2	M2/M3	$\sigma^2e + b\sigma^2g$
Résiduelle	$(C-1)(b-1)$	M3	-----	σ^2e
Totale	$(r \times C) - 1$	-----	-----	-----

Lorsque le test F , calculé par le rapport du carré moyen génotype sur le carré moyen résiduel, est significatif, il indique des différences significatives entre croisements pour la variable mesurée. La différence significative entre deux croisements est comparée à la plus petite différence significative au seuil de 5% ($P_{pds5\%}$) qui est calculée, selon Steel et Torrie, (1982), comme suit :

$$P_{pds5\%} = t_{5\%} \sqrt{\frac{2\sigma^2e}{b}}$$

$t_{5\%}$ est la valeur du t de table au seuil de 5% pour (C-1)(b-1) degrés de liberté de la résiduelle.

$\sigma^2 e$: est la résiduelle de l'analyse de la variance de la variable considérée, b : est le nombre de blocs.

Les variances génétique ($\sigma^2 g$) et phénotypique ($\sigma^2 p$) sont déduites des espérances moyennes (EM) portées au tableau 6, comme suit :

$$\sigma^2 g = \frac{M2 - M3}{3} = \frac{[(\sigma^2 e + b\sigma^2 g) - \sigma^2 e]}{b}$$

et

$$\sigma^2 p = \sigma^2 g + \sigma^2 e$$

Les coefficients de la variabilité phénotypique ($CV_p, \%$) et génotypique ($CV_g, \%$) sont calculés par caractère par :

$$CV_p(\%) = 100 \left(\frac{\sqrt{\sigma^2 p}}{\bar{Y}_{bar}} \right)$$

et

$$CV_g(\%) = 100 \left(\frac{\sqrt{\sigma^2 g}}{\bar{Y}_{bar}} \right)$$

Où \bar{Y}_{bar} est moyenne du caractère considéré

Les composantes génétiques de la variation ont été calculées d'après Hayman (1954) et Singh et Chaudhary (2006). On adopte la nomenclature décrite par Hayman (1954) et reprise par Singh et Chaudhary (2006).

- V_r = variance de la descendance à parent constant
- W_r = Covariance entre les valeurs parentale et la descendance

- V_p = variance des valeurs parentales
 - W_r^2 = équation de la parabole
 - b_{w_r/v_r} = coefficient de régression des W_r sur les V_r
 - a = Ordonnée à l'origine où la droite de régression coupe l'axe des W_r
 - $V_{L1} = \bar{V}_r$ = Moyenne de toutes les variances V_r
 - $W_{L01} = \bar{W}_r$ = Moyenne de toutes les covariances W_r
 - Y_r = valeur propre parentale
 - $r_{Y_r/(W_r+V_r)}$ = corrélation entre l'ordre de dominance parentale ($W_r + V_r$) et les valeurs propres parentales (Y_r)
 - $(M_{L1} - M_{L0})^2$ = relation de dominance
- ✓ La variance additive (D) :

$$D = V_{L0} - E$$

avec V_{L0} = variance des parents et E = variance environnementale.

- ✓ La variance des effets dominants des gènes (H1) :

$$H1 = V_p - 4\bar{W}_r + 4\bar{V}_r - \frac{3(n-2)}{n}E$$

avec \bar{W}_r = moyenne des W_r , \bar{V}_r = moyenne des V_r , n = nombre de parents croisés et E = variance environnementale.

- ✓ La variance des effets dominants des gènes corrigée pour la distribution des gènes (H2) :

$$H2 = 4\bar{V}_r - 4V_r - 2E.$$

- ✓ La fréquence relative des allèles dominants et récessifs (F) :

$$F = 2V_p - 4\bar{W}_r - \frac{2(n-2)}{n}E$$

F est positif si les allèles dominants sont plus nombreux que les allèles récessifs

- ✓ L'effet de la dominance globale des loci hétérozygotes (h^2) :

$$H^2 = 4(M_{L1} - M_{L0})^2 - \frac{4(n-2)}{n^2} E, \text{ avec}$$

$M_{L1} - M_{L0} = \{(1/n) \times [(G.T/n) - \Sigma \text{ valeurs parentales}]\}^2$, et G.T = Grand total de toutes les observations du diallèle pour le caractère analysé.

- ✓ La variance environnementale (E) :

$$E = \{[(SCE \text{ erreur} + SCE \text{ blocs}) / (Ddl \text{ erreur} + ddl \text{ blocs})]\}.$$

- ✓ Le degré moyen de dominance en F2 :

$$\sqrt{\frac{1}{4} \frac{H1}{D}}$$

- ✓ La proportion des gènes avec effets positifs et négatifs chez les parents :

$$\frac{H2}{4H1}$$

- ✓ La proportion des gènes dominants et récessifs chez les parents en F2 :

$$\frac{\frac{1}{4} \sqrt{4DH1 + \frac{1}{2}F}}{\frac{1}{4} \sqrt{4DH1 - \frac{1}{2}F}}$$

- ✓ Le nombre de gènes qui contrôlent le caractère et qui montrent de la dominance

$$\frac{h^2}{H2}$$

✓ Le coefficient de l'héritabilité au sens large (h^2_{bs}) :

$$h^2_{bs} = \frac{0.5D + 0.5H1 - 0.25H2 - 0.5F}{0.5D + 0.5H1 - 0.25H2 - 0.5F + E}$$

✓ Le coefficient de l'héritabilité au sens étroit (h^2_{ns}), en F2 :

$$h^2_{ns} = \frac{\frac{1}{4}D}{\frac{1}{4}D + \frac{1}{16}H1 - 0.25H2 - 0.5F + E}$$

CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSION

1. ANALYSE DE LA VARIABILITE PHENOTYPIQUE

1.1. DUREE DE LA PHASE VEGETATIVE

Avant d'entamer l'analyse génétique, il est nécessaire d'identifier les variables qui présente de la variation et qui, de ce fait, méritent une étude génétique, de ceux qui ne présentent pas de variabilité phénotypique et dont l'analyse génétique n'a pas de sens. Pour ce faire, les variables mesurées sont d'abord soumises à une analyse de la variance classique. L'analyse génétique n'est réalisée que pour les caractères qui présentent une variabilité statistiquement significative. Les résultats de l'analyse de la variance, réalisée avec les moyennes de 10 plantes par répétition pour les parents et les F2, sur les trois répétitions du dispositif sont indiqués au tableau 4. Les valeurs moyennes caractéristiques des variables mesurées sont données aux tableaux 5, 6, 7, 8.

Tableau 4. Carrés moyens (CM) de l'analyse de la variance des variables mesurées chez les parents et la génération F2 du croisement diallèle incomplet.

Variables	Source de variation		
	CM. Répétition (2)	CM. Génotype (20)	CM. Résiduelle (40)
DFV (j)	14.4	32.3**	1.17
PHT (cm)	18.6	319.4**	11.9
BIO (g/plant)	2.6	40.72**	4.6
PNE (g/plant)	4.5	9.2**	3.1
NE (/plant)	2.5	1.7**	0.6
PMG (g)	3.3	165.8**	10.1
NGE (/épi)	21.2	124.6**	28.9
RDT (g/plant)	4.9	4.3*	1.9
HI (%)	15.6	28.5**	9.7
SF (cm ²)	5.2	30.4**	3.5
TRE (%)	3.8	5.1**	2.9
INJ (%)	12	79.5**	5.8
CHL	15.1	56.7**	7

DFV (j) = Durée de la phase végétative en jours, SF (cm²) = surface de la feuille étendard en cm², TRE (%) = teneur relative en eau de la feuille étendard en %, INJ (%) = dommages causés par le stress à la membrane plasmique, en % ; PHT (cm) = hauteur de la plante, en cm; NE (/plante) = nombre d'épis par plante ; PMG (g) = poids de 1000 grains, en g ; PNE (g/plante) = poids des épis par plante, en g ; NGE (/épi) = nombre de grains par épi ; RDT (g/plante) = rendement en grains de la plante, en g ; BIO (g/plante) = Biomasse aérienne de la plante, en g ; HI (%) = indice de récolte, en % ; CHL = contenu en chlorophylle, unité arbitraire

L'ensemble des treize variables mesurées présentent de la variabilité phénotypique significative au seuil au moins de 5%. Ceci est indiqué par le carré moyen génotypique de l'analyse de la variance (Tableau 4). La durée de la phase végétative présente une amplitude de 15.3 jours avec une valeur moyenne minimale de 135.7 jours et une moyenne de l'ensemble de la population de 138.3 jours. Les coefficients de variation de cette variable sont faibles et inférieurs à 10%.

Tableau 5. Valeurs moyennes caractéristiques, variances et coefficients de variation phénotypique et génotypiques des variables mesurées chez les parents et la génération F2 du croisement diallèle incomplet.

Variables	Moyenne	Ampli	Mini	σ^2_p	σ^2_g	CVp	CVg
DFV (j)	138.32	15.3	135.7	11.55	10.38	2.46	2.33
PHT (cm)	71.93	34.3	62.5	114.40	102.50	14.87	14.07
BIO (g/plante)	25.33	13.8	19.2	16.64	12.04	16.11	13.70
PNE (g/plante)	15.07	6.3	11.6	5.13	2.03	15.04	9.46
NE (/plant)	5.09	2.4	4.0	0.97	0.37	19.33	11.90
PMG (g)	43.72	25.8	35.8	62.00	51.90	18.01	16.48
NGE (/épi)	47.23	28.5	31.6	60.80	31.90	16.51	11.96
RDT (g/plante)	10.17	4.5	7.7	2.70	0.80	16.16	8.80
HI (%)	39.93	13.2	30.4	15.97	6.27	10.01	6.27
SF (cm ²)	21.81	10.9	16.8	12.47	8.97	16.19	13.73
TRE (%)	92.62	4.8	90.5	3.63	0.73	2.06	0.92
INJ (%)	18.68	22.6	9.7	30.37	24.57	29.50	26.54
CHL	35.41	16.3	26.7	23.57	16.57	13.71	11.50

DFV (j) = Durée de la phase végétative en jours, SF (cm²) = surface de la feuille étandard en cm², TRE (%) = teneur relative en eau de la feuille étandard en %, INJ (%) = dommages causés par le stress à la membrane plasmique, en % ; PHT (cm) = hauteur de la plante, en cm; NE (/plante) = nombre d'épis par plante ; PMG (g) = poids de 1000 grains, en g ; PNE (g/plante) = poids des épis par plante, en g ; NGE (/épi) = nombre de grains par épi ; RDT (g/plante) = rendement en grains de la plante, en g; BIO (g/plante) = Biomasse aérienne de la plante, en g; HI (%) = indice de récolte, en %; CHL = contenu en chlorophylle, unité arbitraire

Dans ce contexte, Deshmukh *et al.*, (1997) mentionnent que les coefficients de la variabilité phénotypique (CVp) et génotypique (CVg) dont la valeur est supérieure à 20% sont élevés, ceux dont la valeur est située entre 10 et 20%, sont moyens et ceux dont la valeur est inférieure à 10% sont faibles. Les caractères qui présentent des CVp et CVg élevés sont plus intéressants pour la sélection, car ils présentent une variabilité plus importante susceptible d'être valorisée en sélection (Singh *et al.*, 2009). L'analyse des écarts entre les moyennes des parents et des F2

relativement à la durée minimale notée chez Waha/Ofanto, confirme le peu de variabilité présente pour cette variable, à l'intérieur du matériel végétal crée par croisements (Tableau 5, Figure 1). En effet le plus grand écart, de 15.3 jours, (vs Ppds5% =1.8 jours) est causé par la tardiveté de la variété locale Guemgoum Rkhem et à degré moindre les croisements où cette variété est intégrée (Tableau 5, Figure 1).

Tableau 6. Valeurs moyennes de la durée de la phase végétative (DPV), la hauteur de la plante (PHT), La biomasse aérienne (BIO) et le poids des épis (PNE) mesurées chez les parents et la génération F2 du croisement diallèle incomplet.

Par/Xss	DPV	PHT	BIO	PNE
Waha	136.7	65.4	21.1	15.8
Waha//Zb/Fg	137.0	70.1	25.3	14.8
Waha/Mexicali ₇₅	136.3	67.5	28.6	17.8
Waha/Ofanto	135.7	66.3	30.5	15.7
Waha/Gta durum	136.7	67.2	27.5	15.9
Waha/Guemgoum Rkhem	138.3	85.8	25.1	14.7
Zb/Fg	136.7	66.3	21.4	12.6
Zb/Fg//Mexicali ₇₅	138.7	63.4	22.7	12.7
Zb/Fg//Ofanto	136.7	67.4	23.1	14.7
Zb/Fg//Gta durum	136.7	67.7	28.3	17.9
Zb/Fg//Guemgoum Rkhem	140.7	87.2	29.1	16.2
Mexicali ₇₅	138.7	63.4	26.8	14.9
Mexicali ₇₅ /Ofanto	136.0	66.5	23.6	16.7
Mexicali ₇₅ /Gta durum	139.7	63.3	21.6	14.5
Mexicali ₇₅ /Guemgoum Rkhem	141.0	86.2	27.1	15.1
Ofanto	136.0	64.2	19.2	13.7
Ofanto/Gta durum	137.0	67.0	23.8	15.3
Ofanto/Guemgoum Rkhem	138.0	85.4	33.0	17.6
Gta durum	138.0	62.5	19.7	11.6
Gta durum/Guemgoum Rkhem	139.3	81.3	27.0	15.5
Guemgoum Rkhem	151.0	96.8	27.4	12.4
Ppds5%	1.8	5.7	3.2	2.9

DFV (j) = Durée de la phase végétative en jours ; PHT (cm) = hauteur de la plante, en cm; PNE (g/plante) = poids des épis par plante, en g ; BIO (g/plante)= Biomasse aérienne de la plante, en g.

Ces résultats suggèrent que dans le cas où la sélection pour augmenter la durée de la phase végétative est désirable, il est intéressant de retenir les croisements où Guemgoum Rkhem figure comme parent. Ce matériel allonge la durée de la phase végétative de 3.7 jours en moyenne. De manière générale, la

sélection est faite dans le sens de l'augmentation de la durée de cette phase associée à une réduction de la durée de la phase de remplissage du grain pour minimiser les effets du déficit hydrique et des hautes températures de fin de cycle (Abbassenne *et al.*, 1997, Hannachi *et al.*, 2013 ; Fellahi *et al.*, 2013).

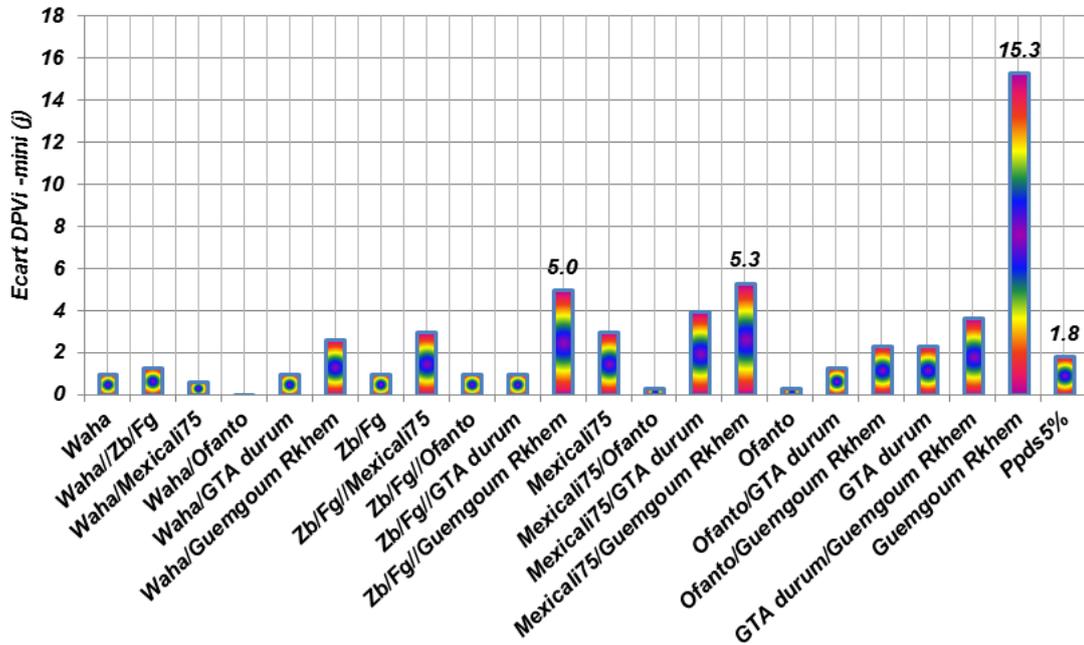


Figure 1. Ecart (jours) de la durée de la phase végétative des parents et des F2 par rapport à la valeur minimale observée chez le croisement Waha/Ofanto.

1.2. HAUTEUR DE LA VEGETATION

La moyenne générale prise par la hauteur de la végétation est de 71.9 cm, avec une amplitude de 34.3 cm et des coefficients de variation phénotypique et génotypique moyens, prenant une valeur supérieure à 10% et inférieure à 20% (14.87 et 14.07%, respectivement, Tableaux 5 et 6). Les écarts de la hauteur de la plante, les plus importants en valeurs, sont notés chez Guemgoum et les croisements où cette variété figure comme parent (Figure 2, Tableau 6).

En effet la sélection à l'intérieur des croisements ayant comme parent constant Guemgoum Rkhem, apporte, en moyenne, un gain de la hauteur de la paille de 22.7 cm pour une Ppds_{5%} de 5.7 cm (Figure 2, Tableau 6).

La sélection des plantes hautes, produisant plus de paille, est désirable dans les régions semi-arides et arides. Ces régions pratiquent l'élevage et tentent d'adopter la technologie du semis direct. Ces deux pratiques font une utilisation appréciable de la paille (Chennafi *et al.*, 2011). Un apport supplémentaire de paille apporté par les nouvelles variétés est toujours acceptable, car il favorise la durabilité des systèmes de production qui caractérisent ces régions dont le climat est variable et qui risque de le devenir plus, avec les changements climatiques attendus (Lahmar et Bouzerzour, 2011).

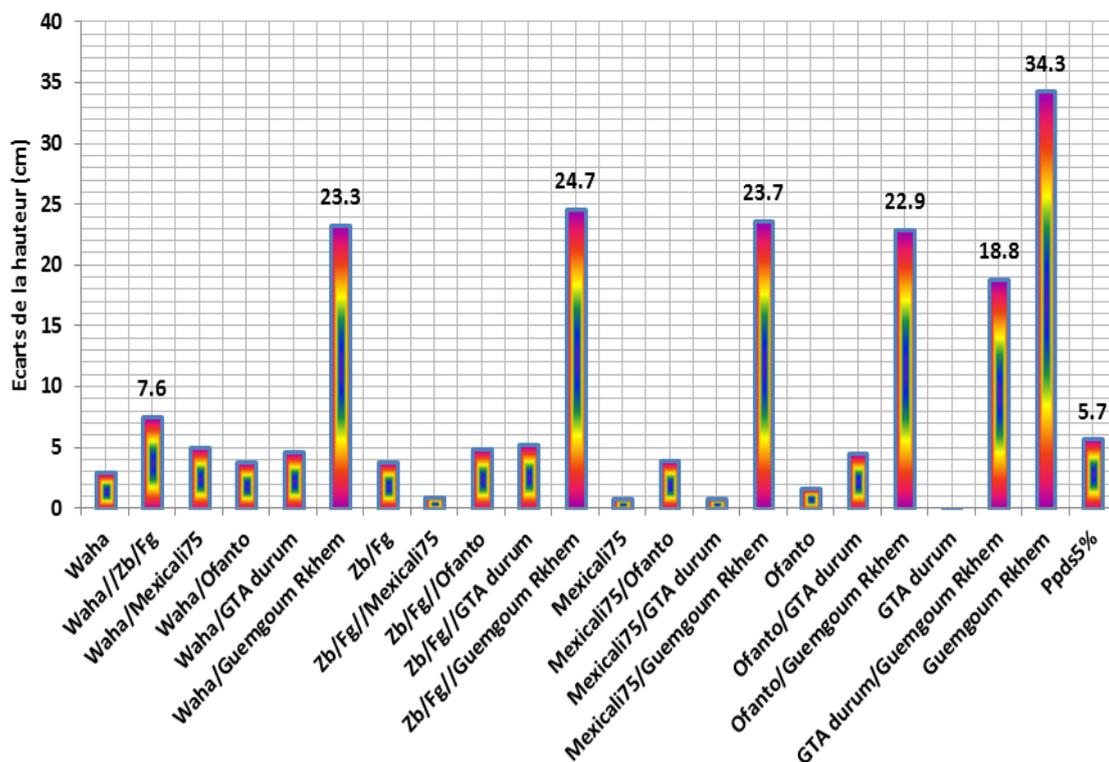


Figure 2. Ecart (cm) de la hauteur de la plante des parents et des F2 par rapport à la hauteur minimale mesurée chez le cultivar Gta durum.

1.3. BIOMASSE AERIENNE

La moyenne de la biomasse aérienne du diallèle incomplet est de 25.3 g par plante. La valeur moyenne minimale est de 19.2 g, valeur observée chez Ofanto, alors que l'amplitude est de 13.8 g. Les coefficients de variation phénotypique et génotypique sont moyens, prenant des valeurs de 16.1 et 13.7%, respectivement

(Tableaux 5 et 6). La variabilité de la biomasse aérienne est plus présente et se répartie sur l'ensemble du diallèle. Les écarts significatifs sont notés chez Ofanto/Guemgoum (13.8 g), Waha/Ofanto (11.3 g) et Zb/Fg//Guemgoum (9.9 g), entre autres, pour une ppds5% de 3.2 g (Figure 3).

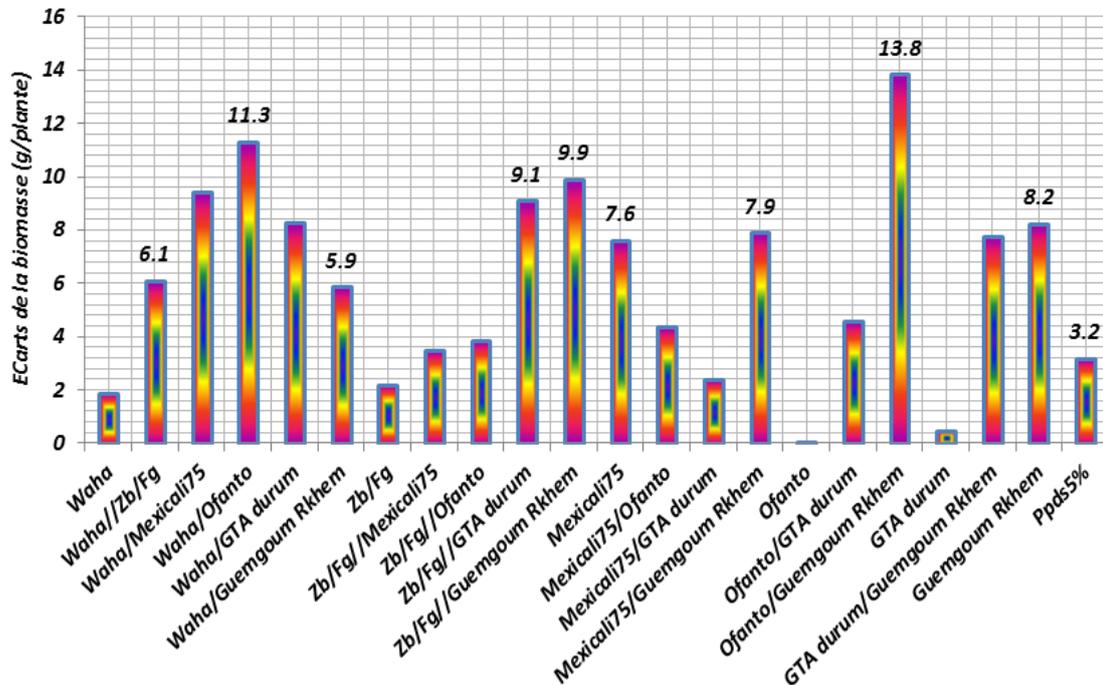


Figure 3. Ecart (g) de la biomasse aérienne produite par plante des parents et des F2 par rapport à la valeur moyenne minimale mesurée chez le cultivar Ofanto.

Certaines combinaisons hybrides produisent une biomasse plus élevée que les parents croisés. Ceci est le cas de Waha, Zb/Fg, Ofanto et Gta durum qui produisent une biomasse plus faible que celle qu'ils produisent en combinaisons hybrides (Figure 3). Ceci s'explique par un meilleur équilibre génétique chez les combinaisons hybrides que chez les parents.

L'augmentation de la biomasse par plante ou par unité de surface emblavée est désirable. La biomasse aérienne affecte la production de paille et de grains. Sous contraintes environnementales, il est souhaitable de sélectionner des lignées qui produisent plus de biomasse aérienne et convertissent une grande partie de cette biomasse sous forme de grains (Kadi *et al.*, 2010).

1.4. POIDS DES EPIS

Le poids des épis par plante présente une moyenne du diallèle de 15.1 g avec une amplitude 6.3 g/plante, la valeur moyenne minimale est de 11.6 g avec une ppds5% de 2.9 g par plante. Le coefficient de la variation phénotypique est juste moyen alors que le coefficient de la variation génotypique est faible, ayant des valeurs de 15.1 et 9.5%, respectivement (Tableau 5). Comparativement à la capacité de production d'épis par plante de la variété Waha, seuls les F2 Waha/Mexicali75, Zb/Fg//Gaviota durum et Ofanto/Guemgoum Rkhem présentent une variabilité qui mérite toute l'attention du sélectionneur. En effet ces croisements présentent des écarts supérieurs à 6.0 g par plante (Figure 4).

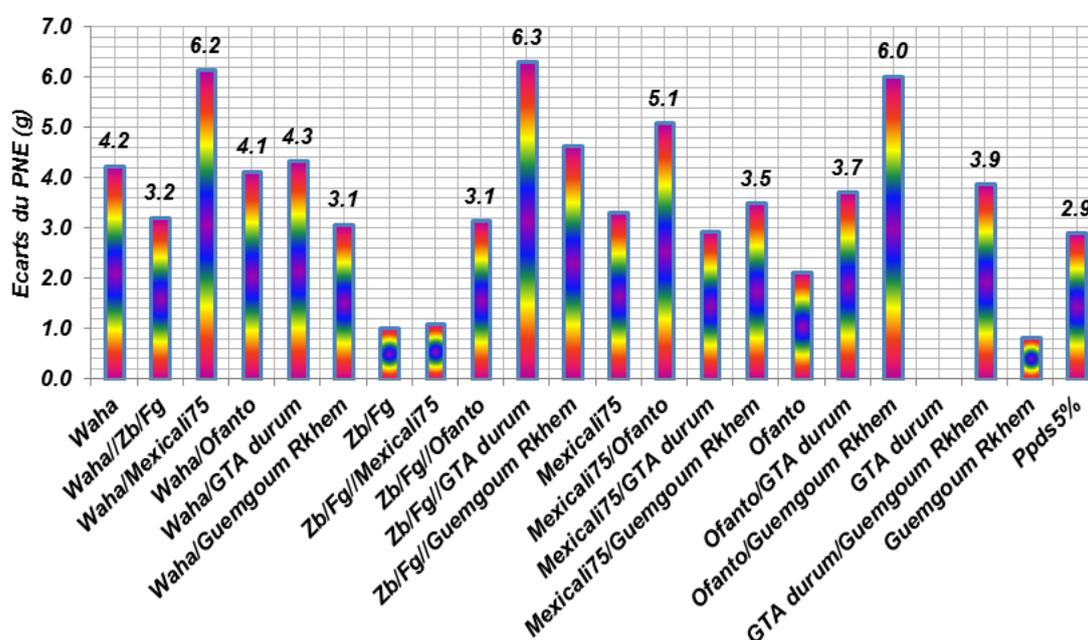


Figure 4. Ecart (g) du poids des épis produits par plante des parents et des F2 par rapport à la valeur moyenne minimale comptée chez le cultivar Gaviota durum.

Les cultivars Guemgoum Rkhem, Gaviota durum, Ofanto et Zb/Fg et la population F2, Zb/Fg//Mexicali75 ne présentent aucun intérêt pour ce caractère. Le poids des épis est un caractère lié étroitement à la biomasse aérienne et au rendement en grains. Belkharouché *et al.*, (2015) préconisent d'utiliser la

grosseur des épis comme critère de sélection, pour améliorer le rendement en grains et la capacité de remobilisation des assimilats vers le grain, sous conditions semi-arides des hautes plaines orientales.

1.5. NOMBRE D'ÉPIS PAR PLANTE

Le nombre d'épis par plante du diallèle varie 4.0 à 6.4 épis avec une moyenne de 5.1 épis par plante, une amplitude de 2.4 épis et une plus petite différence significative de 1.3 épis (Tableau 7).

Tableau 7. Valeurs moyennes du nombre d'épis par plante (NE), du poids de 1000 grains (PMG), du nombre de grains par épi (NGE), du rendement (RDT) et de l'indice de récolte (HI) mesurées chez les parents et la génération F2 du croisement diallèle incomplet.

Par/Xsses	NE	PMG	NGE	RDT	HI
Waha	6.4	37.3	41.6	9.3	41.2
Waha//Zb/Fg	6.1	37.2	42.4	9.6	37.8
Waha/Mexicali ₇₅	6.3	38.9	50.3	12.2	41.7
Waha/Ofanto	5.6	40.2	50.0	11.1	41.7
Waha/GTA durum	6.0	35.8	48.7	10.4	41.4
Waha/Guemgoum Rkhem	5.3	48.6	41.2	10.7	38.5
Zb/Fg	5.3	40.5	38.8	8.3	38.7
Zb/Fg//Mexicali ₇₅	5.1	38.4	45.5	8.9	39.1
Zb/Fg//Ofanto	4.7	45.6	47.2	10.0	43.2
Zb/Fg//GTA durum	5.9	38.7	50.6	11.5	39.4
Zb/Fg//Guemgoum Rkhem	4.4	54.2	45.4	10.7	36.7
Mexicali ₇₅	4.6	37.1	55.9	9.6	36.2
Mexicali ₇₅ /Ofanto	5.6	42.5	47.7	11.2	41.7
Mexicali ₇₅ /GTA durum	4.9	36.7	60.1	10.8	43.1
Mexicali ₇₅ /Guemgoum Rkhem	4.5	51.2	49.6	11.1	40.9
Ofanto	4.4	49.4	45.6	9.9	43.6
Ofanto/GTA durum	4.6	41.4	54.3	10.4	43.6
Ofanto/Guemgoum Rkhem	5.0	55.1	42.1	11.6	39.3
GTA durum	4.0	37.3	55.2	8.2	41.5
GTA durum/Guemgoum Rkhem	4.3	50.4	48.0	10.4	38.6
Guemgoum Rkhem	4.0	61.6	31.6	7.7	30.4
Ppds5%	1.3	5.2	8.9	2.3	5.2

NE (/plante) = nombre d'épis par plante ; PMG (g) = poids de 1000 grains, en g ; NGE (/épi) = nombre de grains par épi ; RDT (g/plante) = rendement en grains de la plante, en g ; HI (%) = indice de récolte, en %.

Les coefficients de variation phénotypique et génotypique prennent des valeurs moyennes de 19.33% et 11.90%, respectivement (Tableau 5). Le nombre d'épis est la composante qui est la plus déterminante dans l'expression du rendement en grains et de la biomasse aérienne auxquels il est généralement toujours positivement corrélé. La sélection d'un nombre d'épis par unité de surface est de ce fait désirable, suite à ses effets positifs sur le rendement en grains. Au sein du diallèle étudié, la variété Waha et les croisements où cette variété figure comme parent, présentent un nombre d'épis élevé avec des écarts significatifs comparativement aux moyennes du nombre d'épis des variétés Guemgoum et Gta qui sont les plus faibles (Tableau 7, Figure 5).

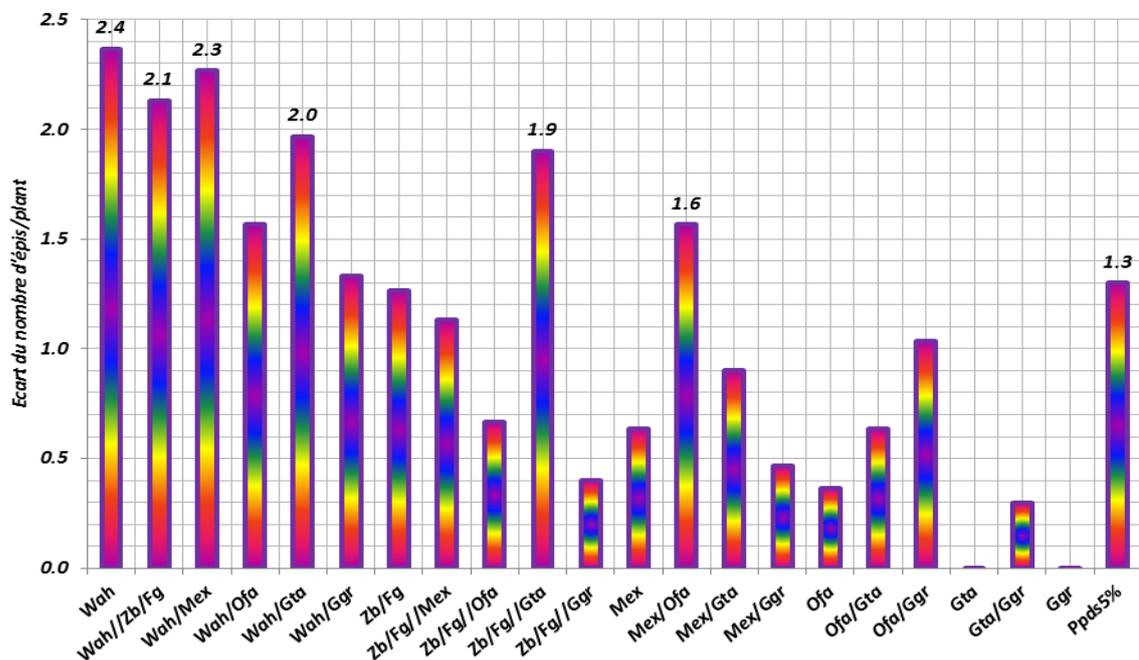


Figure 5. Ecart du nombre des épis produits par plante des parents et des F2 par rapport à la valeur moyenne minimale observée chez les cultivars Gaviota durum et Guemgoum Rkhem.

1.6. POIDS DE 1000 GRAINS

La moyenne du poids de 1000 grains (PMG) du diallèle incomplet est de 43.7 g. La valeur moyenne minimale est de 35.8 g, valeur observée chez le croisement

Waha/Gta durum, alors que la valeur moyenne maximale de 61.6 g, est notée chez le cultivar Guemgoum. L'amplitude est de 25.8 g. Les coefficients de variation phénotypique et génotypique sont moyens, prenant des valeurs de 18.01% et 16.48 %, respectivement (Tableaux 5). En zones semi-arides, le poids de 1000 grains se réalise sous conditions contraignantes et de ce fait il prend rarement une valeur élevée.

Cependant selon Bahlouli *et al.*, (2005) ainsi que Belkharchouche *et al.*, (2015), la réalisation d'un poids de 1000 grains élevé se fait souvent suite à l'effet de compensation qui s'instaure entre les composantes du rendement en grains. Donc un poids de 1000 grains élevé est concomitant à une réduction du nombre de grains par unité de surface, induit par la réduction du nombre de grains par épi ou des épis par unité de surface emblavée.

Selon Haddad (2015) la compensation entre composantes du rendement contribue à la stabilité spatiotemporelle des performances de rendement en grains. Au sein du diallèle étudié, Guemgoum a le meilleur poids de 1000 grains et elle transmet cette caractéristique aux croisements où elle figure comme parent. Ainsi la moyenne du poids de 1000 grains de Waha et des croisements où elle figure comme parent constant est de 39.7 g, alors que la moyenne de Guemgoum et des croisements où elle figure comme parent constant est de 53.5 g.

Les moyennes du nombre d'épis par plante de ces variétés et leurs croisements sont de 4.6 et 5.9 épis/plante, respectivement, ce qui confirme l'effet de compensation qui s'instaure entre le poids de 1000 grains et le nombre d'épis, chez la descendance de Waha et celle de Guemgoum. De ce fait, les écarts du poids de 1000 grains, les plus importants en valeurs, sont notés chez Guemgoum et les croisements où cette variété figure comme parent constant : 19.3 g chez Ofanto/Guemgoum, 18.4 g chez Zb/Fg//Guemgoum et 15.4 g chez Mèxicali₇₅/Guemgoum. La Ppds_{5%} est de 5.2 g (Figure 6, Tableau 7).

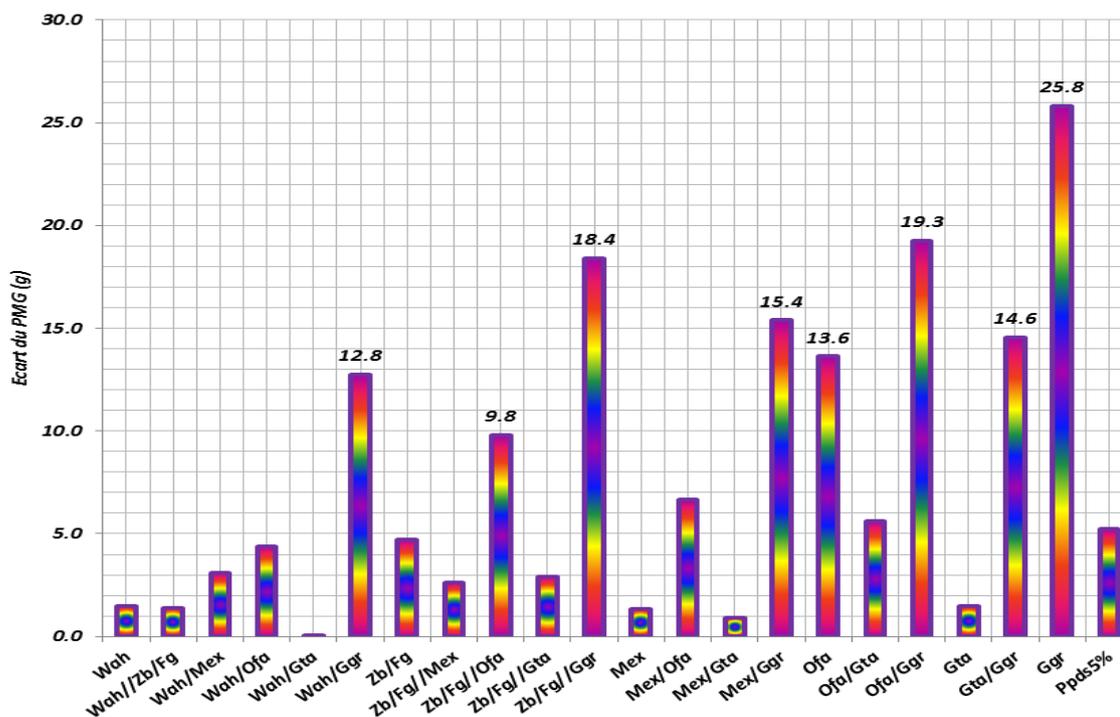


Figure 6. Ecart (g) du poids de 1000 grains des parents et des F2 par rapport à la valeur moyenne minimale observée chez la F2 Waha/Gaviota durum.

1.7. NOMBRE DE GRAINS PAR EPI

Les moyennes caractéristiques du nombre de grains par épi sont 31.6, 47.2 et 60.1, respectivement pour les valeurs minimale, moyenne et maximale. L'amplitude est de 28.5 grains/épi et la ppds5% de 8.9 grains/épi. Les coefficients de variation phénotypique et génotypique sont moyens, ayant des valeurs de 16.51 et 11.96 % (Tableau 5). Gta durum et Mexicali présentent des valeurs élevées pour le nombre de grains par épi alors que les valeurs les plus faibles sont observées chez Guemgoum et à degré moindre chez Zb/Fg et Waha.

Les moyennes du nombre de grains par épi de Gta durum et sa descendance et celle de Guemgoum et sa descendance sont de 52.8 g et 43.0 g, respectivement. Les écarts significatifs du nombre de grains par épi sont notés chez Mexicali₇₅ (+24.3 grains) et Gta durum, (+23.6 grains). L'hybride Mexicali₇₅/Gta durum entre

ces deux variétés présente une valeur plus élevée (+28.5 grains), ce qui attire l'attention du sélectionneur pour des suivis futurs (Figure 7, Tableau 7).

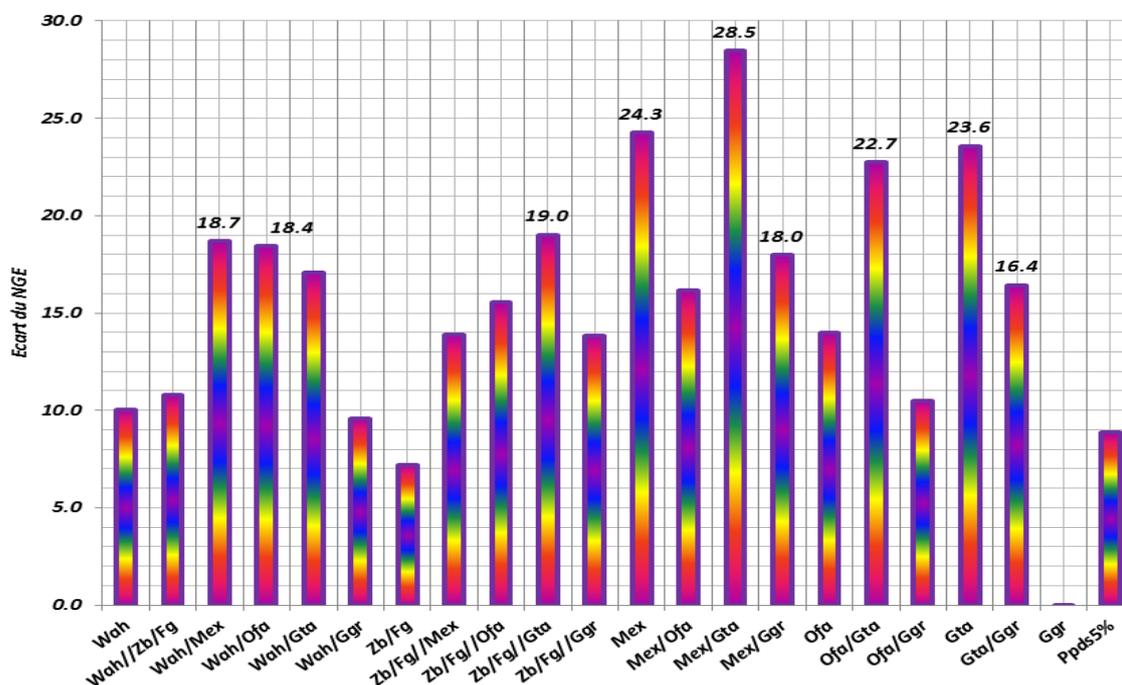


Figure 7. Ecart du nombre de grains/épi des parents et des F2 par rapport à la valeur moyenne minimale observée chez le cultivar Guemgoum Rkhem.

1.8. RENDEMENT EN GRAINS

La moyenne du rendement en grains par plante du diallèle incomplet est de 10.2 g. La valeur moyenne minimale est de 7.7 g, valeur observée chez le parent Guemgoum Rkhem, alors que le croisement Waha/Méxicali₇₅ présente la valeur moyenne maximale 12.2 g, avec une amplitude de 4.5 g. Le coefficient de variation phénotypique est moyen (16.16 %), par contre le coefficient de variation génotypique est faible (8.80 %), suggérant un effet important de l'environnement sur l'expression de cette caractéristique (Tableau 5). Les écarts significatifs du rendement en grains par plante sont notés chez Waha/Méxicali₇₅, (+ 4.5 g), Ofanto/Gta durum (+ 3.9 g), Zb/Fg//Gta durum (+ 3.8 g) (Figure 8, Tableau 7).

Il est intéressant de noter qu'un hybride de bonne valeur propre pour le rendement en grains comme Waha/Méxicali₇₅, n'est pas nécessairement le produit

du croisement entre deux parents de bonnes valeurs propres (Figure 8, Tableau 7). Un génotype comme Guemgoum qui présente le meilleur poids de 1000 grains, affiche un faible rendement en grains, caractéristique pour laquelle il s'exprime nettement mieux sous forme de combinaisons hybrides avec des cultivars comme Ofanto, Mexicali₇₅, Zb/Fg ou Waha (Figure 8).

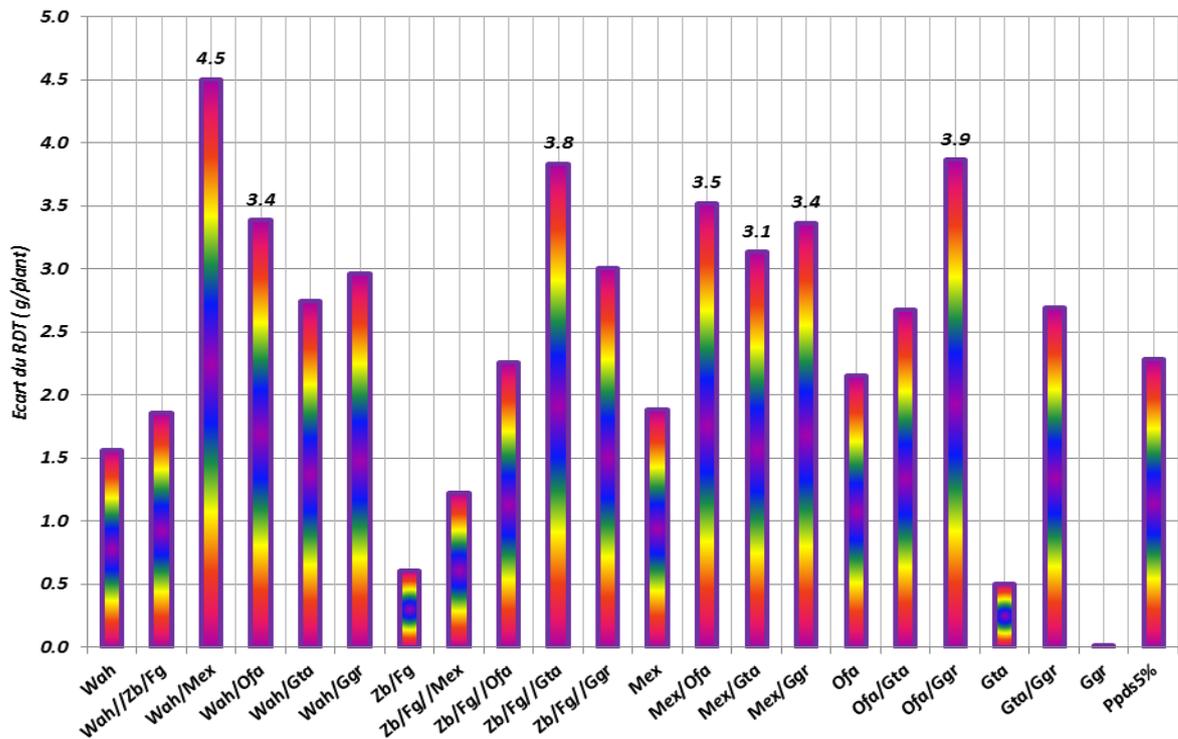


Figure 8. Ecarts (g) du rendement en grains par plante des parents et des F2 par rapport à la valeur moyenne minimale observée chez le cultivar Guemgoum Rkhem.

1.9. INDICE DE RECOLTE

La moyenne générale prise par l'indice de récolte est de 39.93%, avec une amplitude de 13.2% et des coefficients de variation phénotypique moyens supérieure à 10% et génotypique faible, inférieur à 10% (10.01 et 6.27%, respectivement, Tableaux 5). Le croisement Ofanto/Gta durum et le parent Ofanto possèdent l'indice de récolte le plus élevé avec un écart de (+13.2%) et le plus faible indice est celui de la variété Guemgoum Rkhem. Un écart supérieur à 11% est présenté par les croisements Mexicali₇₅/Gta durum, Zb/Fg/Ofanto, Waha/

Ofanto et Waha/ Mexicali⁷⁵ (Tableau 7, Figure 9). Dakheel *et al.*, (1993) mentionnent qu'un indice de récolte élevé est indicateur d'un rendement en grains appréciable. Une production de paille élevée est suggestive d'un faible indice de récolte, selon Hannachi (2013). Ceci semble particulièrement applicable au cas du cultivar Guemgoum qui présente le plus faible indice de récolte parmi les parents du diallèle étudiés (Figure 9).

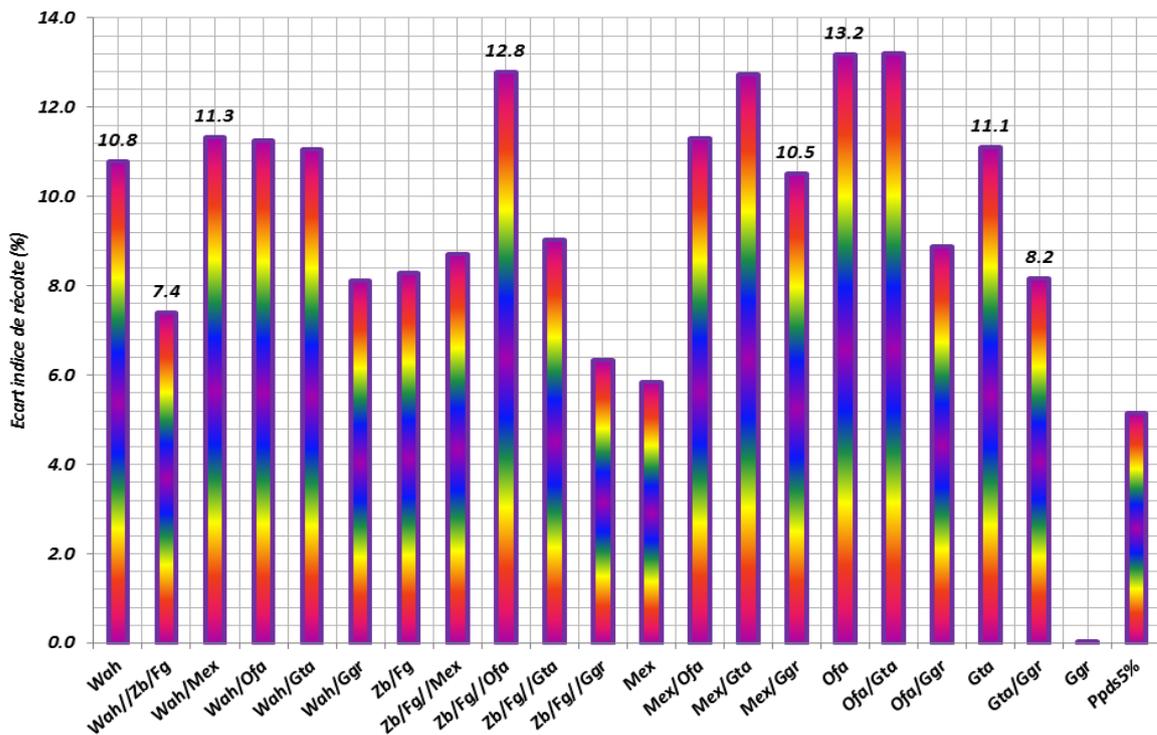


Figure 9. Ecarts (%) de l'indice de récolte des parents et des F2 par rapport à la valeur moyenne minimale observée chez le cultivar Guemgoum Rkhem.

1.10. SURFACE DE LA FEUILLE ETENDARD

La moyenne de la surface de la feuille étendard du diallèle incomplet est de 21.81 cm². La valeur moyenne minimale est de 16.8 cm², valeur observée chez Waha, alors que l'amplitude est de 10.9 cm². Les coefficients de variation phénotypique et génotypique sont moyens, prenant des valeurs de 16.19% et 13.73%, respectivement (Tableaux 5 et 8). Les écarts significatifs sont notés chez la

variété Guemgoum et les croisements Mexicali₇₅/Guemgoum (+10.9 cm²), Zb/Fg//Guemgoum (+9.7 cm²), et Gta durum/Guemgoum (+ 9.3 cm²) (Figure 10, Tableau 8).

Tableau 8. Valeurs moyennes de la surface foliaire (SF), de la teneur relative en eau (TRE), du pourcentage de dommages causés à la membrane plasmique (INJ) et du contenu en chlorophylle (CHLO) mesurées chez les parents et la génération F2 du croisement diallèle incomplet.

Par/Xss	SF	TRE	INJ	CHLO
Waha	16.8	95.3	22.6	36.8
Waha//Zb/Fg	19.4	92.5	19.1	37.3
Waha/Mexicali ₇₅	19.2	91.2	22.5	37.6
Waha/Ofanto	19.8	92.5	19.1	39.9
Waha/GTA durum	18.4	94.0	32.3	36.2
Waha/Guemgoum Rkhem	21.7	90.5	14.9	32.0
Zb/Fg	17.9	93.6	24.8	37.3
Zb/Fg//Mexicali ₇₅	22.7	94.0	25.5	34.1
Zb/Fg//Ofanto	19.6	94.5	20.7	40.4
Zb/Fg//GTA durum	20.6	91.3	19.3	32.9
Zb/Fg//Guemgoum Rkhem	26.5	90.6	16.1	28.2
Mexicali ₇₅	25.7	93.8	19.8	36.3
Mexicali ₇₅ /Ofanto	20.6	93.4	20.2	42.0
Mexicali ₇₅ /GTA durum	23.4	92.4	18.5	34.0
Mexicali ₇₅ /Guemgoum Rkhem	27.7	92.2	14.3	30.6
Ofanto	19.1	92.8	9.7	43.0
Ofanto/GTA durum	21.7	93.6	12.6	39.8
Ofanto/Guemgoum Rkhem	25.2	92.4	14.7	34.9
GTA durum	20.7	91.6	17.2	32.1
GTA durum/Guemgoum Rkhem	26.1	91.2	15.1	31.5
Guemgoum Rkhem	25.3	91.9	13.1	26.7
Ppds5%	3.1	2.8	4.0	4.4

SF (cm²) = surface de la feuille étendard en cm², TRE (%) = teneur relative en eau de la feuille étendard en %, INJ (%) = dommages causés par le stress à la membrane plasmique, en % ; CHLO = contenu en chlorophylle, unité arbitraire

La surface foliaire détermine progressivement à la fois les quantités d'eau utilisées par la plante sous forme de transpiration. Elle conditionne la résistance à la sécheresse, vu qu'une surface foliaire élevée perdra plus d'eau qu'une faible surface foliaire. La diminution de la surface foliaire peut avoir des effets bénéfiques en réduisant de la surface soumise à la radiation solaire (Belkharchouche et *al.*, 2009). En effet selon Abbassenne (1997), une variété avec

une faible surface foliaire est capable de faire un bon rendement grâce à une meilleure efficacité d'utilisation de l'énergie lumineuse par unité de surface foliaire.

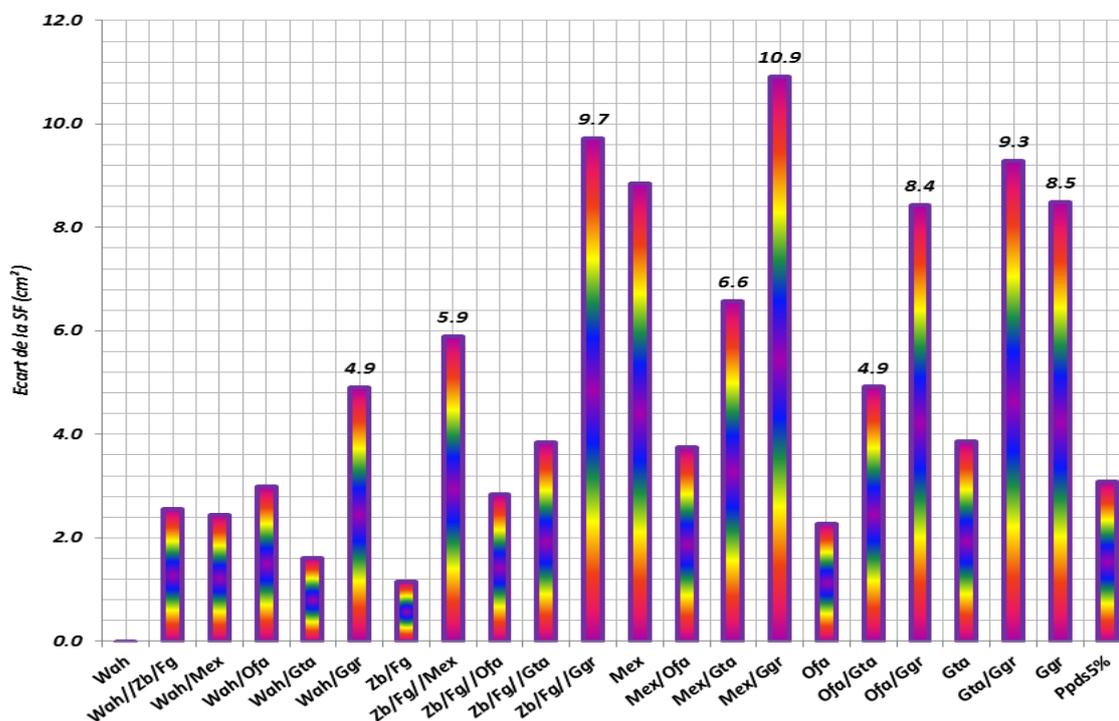


Figure 10. Ecarts (cm²) de la surface de la feuille étandard des parents et des F2 par rapport à la valeur moyenne minimale observée chez le cultivar Waha.

1.11. TENEUR RELATIVE EN EAU

Les valeurs moyennes prises par la teneur relative en eau varient de 90.5 à 95.3 % au tour d'une moyenne de 92.6%, suggérant peu de variabilité pour cette variable. En effet les coefficients de variation phénotypique et génotypique prennent des valeurs de 2.06 et 0.92%, respectivement (Tableau 5 et 8).

Une faible variabilité phénotypique est suggestive que la sélection sur la base d'une telle caractéristique serait peu efficace. Dans l'écart des 4.8 % qui séparent les génotypes extrêmes, les croisements qui accusent une faible teneur relative en eau sont Waha/Guemgoum et Zb/Fg//Guemgoum. Le cultivar Waha présente une teneur relative en eau la plus élevée (Tableau 8, Figure 11).

Dans ce contexte Fellah *et al.*, (2002) mentionnent que la teneur relative en eau un indice reproductible et fiable de l'état hydrique de la plante ; alors que Clarke et McCaig (1982) mentionnent que les cultivars tolérants à la sécheresse conservent une plus grande teneur en eau des feuilles que les cultivars sensibles. Sanchez-Rodriguez *et al.*, (2010) notent que la teneur relative en eau est un des meilleurs indicateurs pour discriminer entre les cultivars tolérants et sensibles chez la tomate.

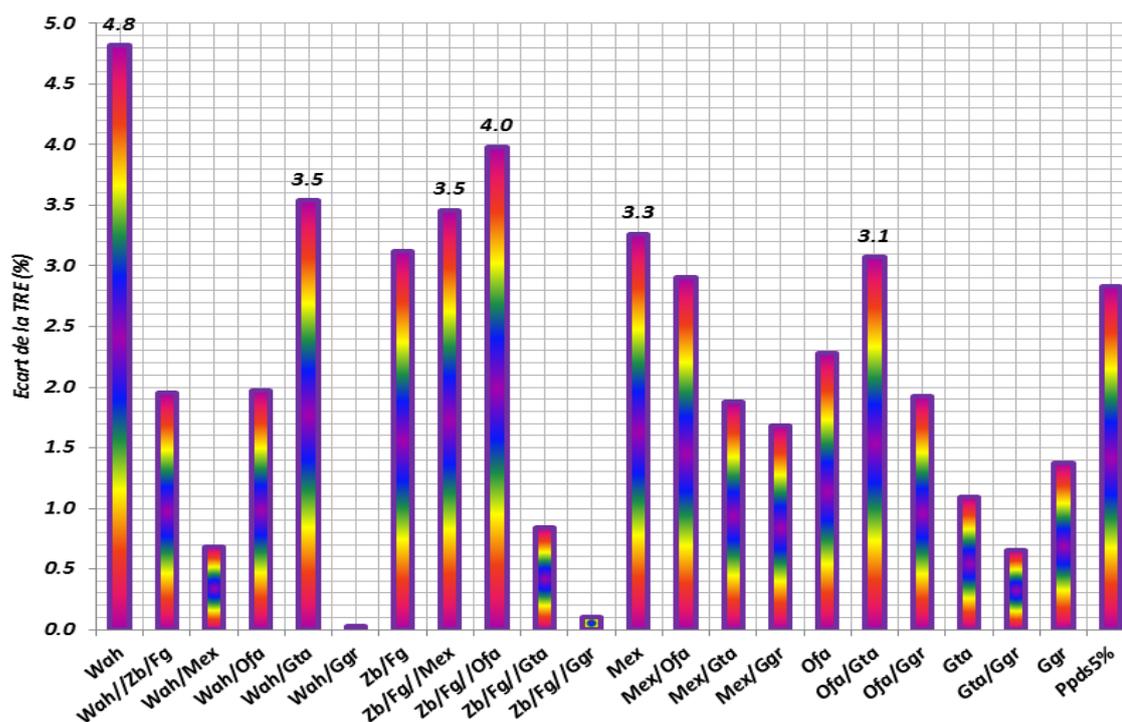


Figure 11. Ecarts (%) de la teneur relative en eau des parents et des F2 par rapport à la valeur moyenne minimale la F2 Waha/Guemgoum Rkhem.

1.12. DOMMAGES DE LA MEMBRANE PLASMIQUE

La moyenne générale des dommages de la membrane plasmique est de 18.68%, avec une amplitude de 22.6% et des coefficients de variation phénotypique et génotypique, élevés, de 29.50 et 26.54%, respectivement (Tableau 5). Les cultivars Ofanto et Guemgoum présentent les dommages les plus faibles, donc se montrent tolérant vis à vis du stress thermique. La combinaison hybride entre les

cultivars Waha et Gta durum présente les dommages les plus élevés, avec un écart de 22.6%, en plus de la valeur moyenne des dommages enregistrée par le cultivar Ofanto (Tableau 8, Figure 12). Un faible % de dommages cellulaires est indicateur d'une stabilité membranaire élevée selon (Bajji *et al.*, 2001).

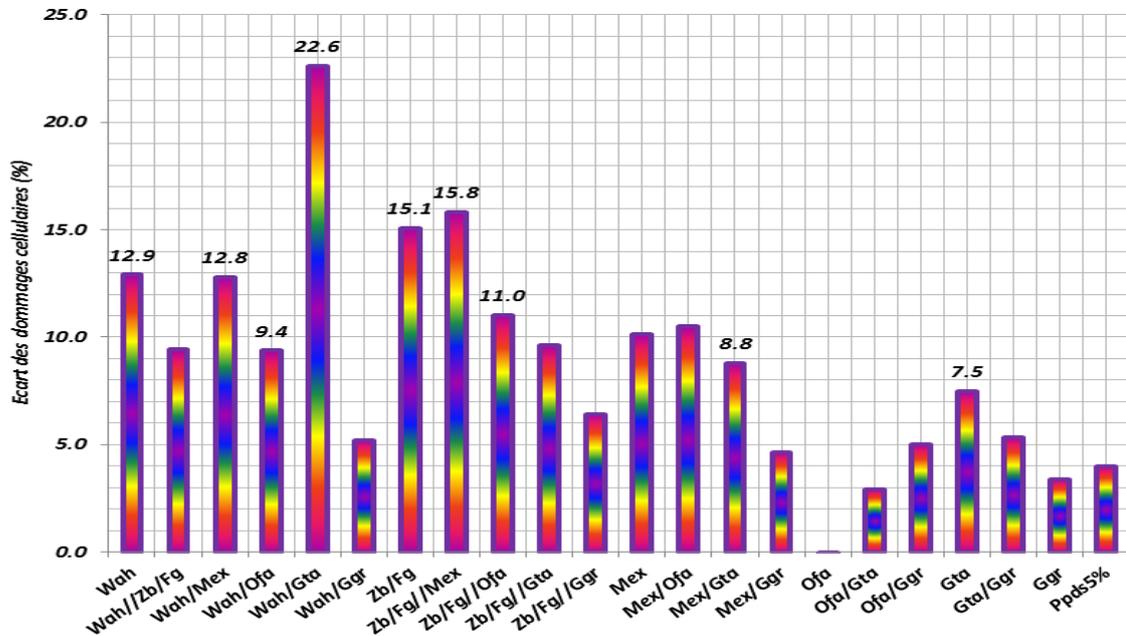


Figure 12. Ecart(%) des dommages cellulaires des parents et des F2 par rapport à la valeur moyenne minimale le cultivar Ofanto.

1.13. CONTENU EN CHLOROPHYLLE

Le contenu en chlorophylle présente une moyenne de 35.4 avec une amplitude de 16.3, et la valeur moyenne minimale 26.7. La ppds5% est de 4.4. Les coefficients de variation phénotypique et génotypique sont moyens, prenant des valeurs de 13.71 et 11.50 % (Tableau 5). L'analyse des écarts de la teneur en chlorophylle entre les moyennes des parents et des F2 relativement à la teneur minimale notée chez la variété Guemgoum indique que le plus grand écart, de 16.3, est observé chez la variété Ofanto et à degré moindre chez la descendance de cette variété (Tableau 8, Figure 13). Teng *et al.*, (2004) mentionnent qu'un contenu en chlorophylle élevé, au cours de la période de remplissage du grain, est une

caractéristique désirable indicatrice de la résistance vis-à-vis des stress. Oukaroum (2007) suggère l'utilisation du contenu en chlorophylle comme indicateur de la capacité de tolérer les stress abiotiques. Hannachi *et al.*, (2013) ainsi que Fellahi *et al.*, (2013) mentionnent l'existence d'une grande variabilité phénotypique du contenu de la chlorophylle CCI et SPAD, et une bonne corrélation entre ces deux mesures.

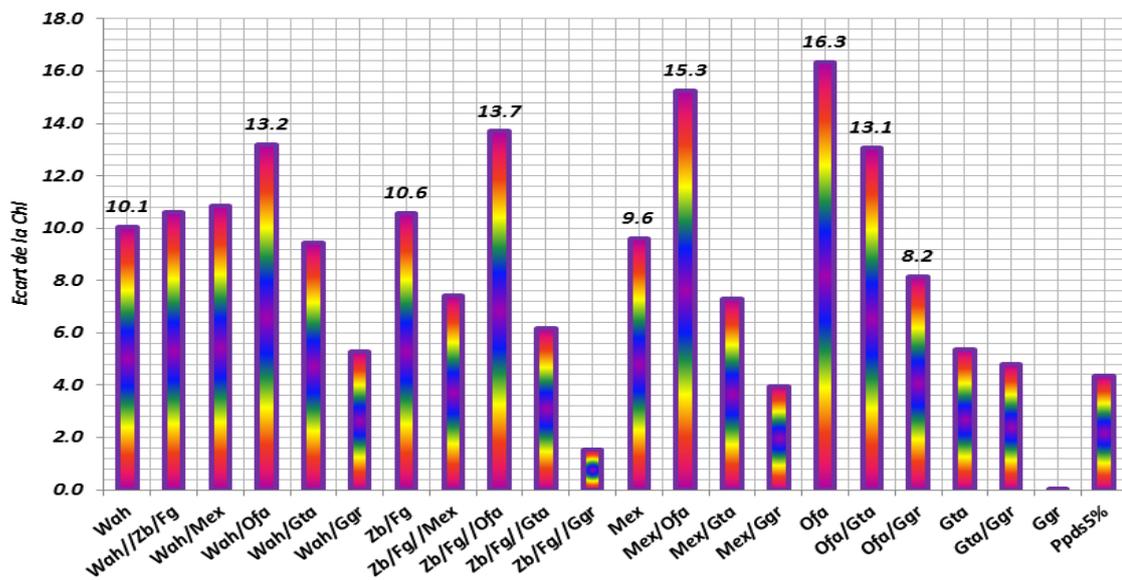


Figure 13. Ecart du contenu en chlorophylle des parents et des F2 par rapport à la valeur moyenne minimale le cultivar Guemgoum Rkhem.

2. LIAISONS ENTRE LES VARIABLES MESUREES

Au sein du matériel végétal créé par le croisement diallèle, la durée de la phase végétative est positivement corrélée avec la hauteur de la végétation, le poids de 1000 grains et la surface de la feuille étendard. Elle est négativement corrélée avec le nombre d'épis par plante, l'indice de récolte et le contenu en chlorophylle (Tableau 9). Ces résultats suggèrent, qu'au sein du matériel végétal étudié, le raccourcissement du cycle de la culture, en termes de date d'épiaison, se fait au détriment de la hauteur de la plante, du poids de 1000 grains et de la surface de la feuille étendard. Mais il se fait aussi à l'avantage du nombre d'épis par plante, de l'indice de récolte et du contenu en chlorophylle.

La hauteur de la plante montre des liaisons positives et significatives avec la biomasse aérienne, le poids de 1000 grains et la surface du limbe de la feuille étandard. Elle est, par contre, négativement corrélée avec le nombre de grains par épi, l'indice de récolte, la teneur relative en eau, les dommages causés à la membrane plasmique par le stress thermique et le contenu en chlorophylle (Tableau 9). Ces résultats suggèrent que la sélection, des variétés relativement courtes, amène une amélioration du nombre de grains par épi, de l'indice de récolte, de la teneur relative en eau, du contenu en chlorophylle chez un matériel végétal sensible au stress thermique. Cette sélection s'accompagne aussi par une réduction de la biomasse aérienne, du poids de 1000 grains et de la surface du limbe de la feuille étandard (Tableau 9, Figure 14).

Tableau 9. Coefficients de corrélation phénotypiques entre les différentes variables mesurées chez les parents et la génération F2 du croisement diallèle incomplet.

	DPV	PHT	BIO	PNE	NE	PMG	NGE	RDT	HI	SF	TRE	INJ	CHL
DPV		0.000	0.429	0.100	0.012	0.001	0.063	0.060	0.000	0.003	0.211	0.133	0.000
PHT	0.715		0.013	0.775	0.104	0.000	0.007	0.861	0.002	0.002	0.012	0.032	0.000
BIO	0.182	0.531		0.002	0.547	0.114	0.622	0.010	0.102	0.046	0.076	0.915	0.172
PNE	-0.369	0.066	0.636		0.012	0.896	0.436	0.000	0.349	0.959	0.512	0.727	0.456
NE	-0.539	-0.365	0.139	0.536		0.007	0.762	0.098	0.307	0.001	0.292	0.003	0.088
PMG	0.648	0.883	0.355	-0.031	-0.570		0.008	0.954	0.027	0.004	0.059	0.002	0.037
NGE	-0.412	-0.567	-0.114	0.179	-0.070	-0.560		0.088	0.005	0.717	0.985	0.808	0.336
RDT	-0.418	0.041	0.546	0.881	0.371	-0.013	0.382		0.055	0.638	0.165	0.794	0.377
HI	-0.763	-0.639	-0.367	0.215	0.234	-0.481	0.590	0.424		0.034	0.186	0.634	0.001
SF	0.609	0.646	0.439	0.012	-0.652	0.599	0.084	0.109	-0.463		0.050	0.026	0.001
TRE	-0.285	-0.539	-0.395	-0.152	0.241	-0.418	0.004	-0.314	0.301	-0.433		0.031	0.007
INJ	-0.339	-0.470	-0.025	0.081	0.619	-0.646	0.056	-0.061	0.110	-0.483	0.471		0.456
CHL	-0.745	-0.700	-0.310	0.172	0.381	-0.458	0.221	0.203	0.676	-0.650	0.566	0.172	

DFV (j) = Durée de la phase végétative en jours, SF (cm²) = surface de la feuille étandard en cm², TRE (%) = teneur relative en eau de la feuille étandard en %, INJ (%) = dommages causés par le stress à la membrane plasmique, en % ; PHT (cm) = hauteur de la plante, en cm ; NE (/plante) = nombre d'épis par plante ; PMG (g) = poids de 1000 grains, en g ; PNE (g/plante) = poids des épis par plante, en g ; NGE (/épi) = nombre de grains par épi ; RDT (g/plante) = rendement en grains de la plante, en g ; BIO (g/plante) = Biomasse aérienne de la plante, en g ; HI (%) = indice de récolte, en % ; CHL = contenu en chlorophylle, unité arbitraire. En gras coefficients de corrélation significatifs à 5% de probabilité

La biomasse aérienne est positivement corrélée, avec le poids des épis, le rendement en grains et la surface du limbe de la feuille étandard, en plus de sa liaison positive avec la hauteur, ci-dessus discutée (Tableau 9). La sélection en faveur d'une biomasse aérienne élevée amène une amélioration du rendement en grains accompagnée par l'amélioration du poids des épis et de la surface du limbe de la feuille étandard. La sélection d'une biomasse élevée ne semble pas avoir des effets négatifs sur les variables mesurées, vu qu'elle ne présente pas de liaisons avec aucun

des caractères étudiés. Le poids des épis, en plus de sa liaison significative avec la biomasse aérienne, présente des liaisons significatives et positives avec le nombre d'épis et le rendement en grains par plante (Tableau 9).

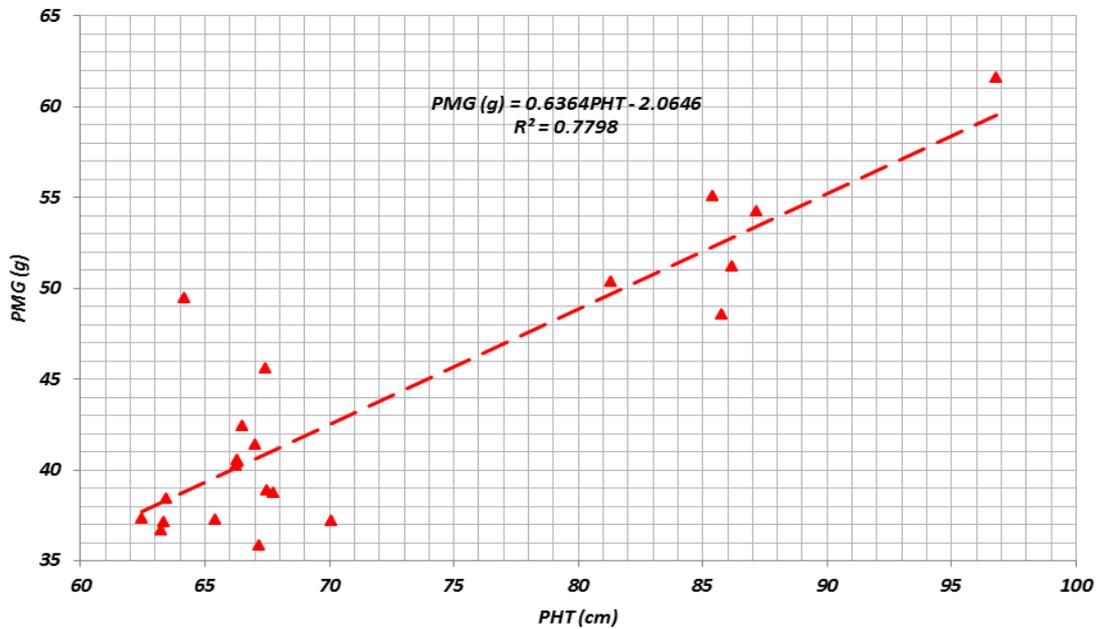


Figure 14. Relation linéaire entre le poids de 1000 grains (g) et la hauteur de la végétation (cm) chez les parents et les F2 du croisement diallèle.

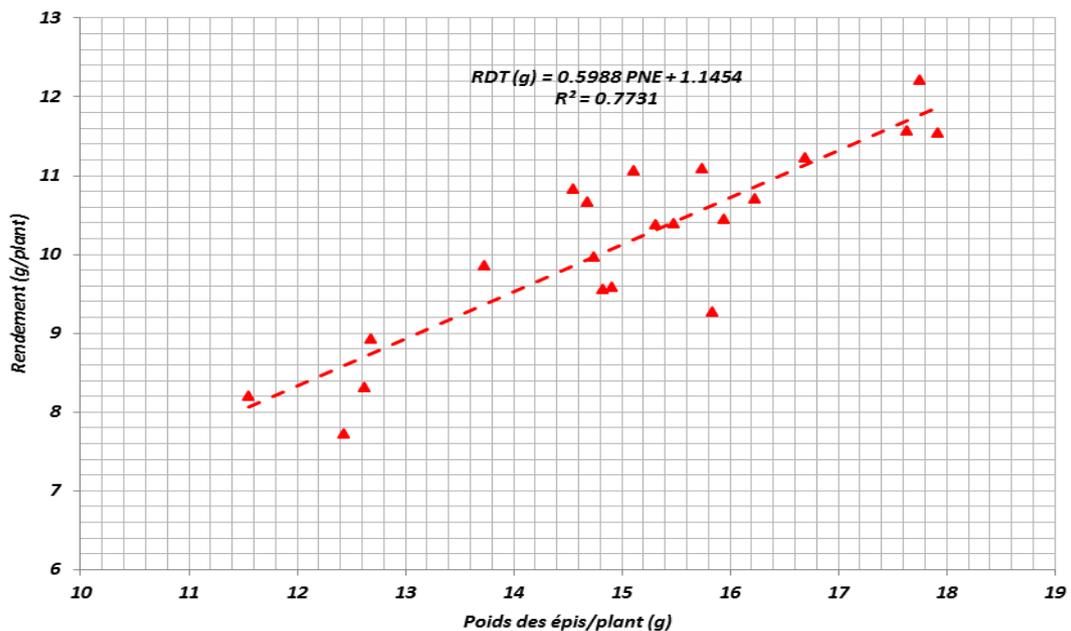


Figure 15. Relation linéaire entre le poids des épis (g/plant) et le rendement en grains (g/plant) chez les parents et les F2 du croisement diallèle.

Le poids des épis représente le nombre et la forme des épis, ainsi la sélection d'un nombre élevé d'épis, de grosse taille, conduirait à l'amélioration du rendement en grains, pour peu que la sélection du nombre ne se fait pas au détriment de la taille des épis, comme c'est le cas de la sélection concomitante des épis et du nombre de grains par épi.

Dans le contexte de la présente étude, le nombre d'épis par plante lié significativement au nombre de grains par épi, suggérant la possibilité de trouver des descendants présentant des valeurs élevées pour ces deux caractéristiques. Cependant le nombre d'épis est négativement lié au poids de 1000 grains et à la surface du limbe de la feuille étendard et positivement lié avec le % des dommages de la membrane plasmique (Tableau 9). La réalisation d'un nombre d'épis élevé induit une réduction du poids de 1000 grains et de la surface de la feuille étendard, chez un matériel végétal qui est sensible au stress thermique.

Haddad (2015) observe que, suite l'analyse des corrélations de rangs entre les différentes variables mesurées, seuls la biomasse aérienne, le poids des épis et à un degré moindre le nombre de grains par épi sont les traits les plus liés avec le rendement en grains. Cet auteur suggère d'utiliser la biomasse, le poids des épis et le nombre de grains/épi comme critères de sélection, sous forme d'un index, pour améliorer le rendement en grains du blé dur, sous conditions semi-arides.

Fellahi (2013) rapporte que la biomasse est corrélée positivement avec le rendement en grain, le poids des épis, et le nombre d'épis par plant et que le rendement en grains, en plus de sa liaison significative avec la biomasse aérienne, est lié au poids et au nombre d'épis produits par plant. Ces relations suggèrent que le poids des épis par plant est un caractère déterminant de la biomasse.

Le poids de mille grains et la hauteur du chaume sont négativement et significativement liés au nombre de grains par épi, ce qui suggère que pour avoir

une bonne fertilité épi, il faut consentir une réduction de la hauteur de la végétation (Fellahi, 2013). Les résultats de Fellahi (2013) suggèrent que sous les conditions agro climatiques des hautes plaines orientales, les hybrides, hauts de paille, produisent des gros grains et des épis peu fertiles.

Trois groupes différents se forment en utilisant l'ensemble des données collectées, à partir des mesures effectuées sur les populations F2 et leurs parents (Figure 16, Tableau 10). Le groupe G1 se distingue surtout par une longue durée de la phase végétative de 141.4 jours, une hauteur de la végétation plus importante, de 87.1 cm, un fort poids de 1000 grains, de 53.5 g, un limbe foliaire plus aux larges dimensions, ayant une surface de 25.4 cm², moins de dommages à la membrane plasmique avec 14.7% et moins de chlorophylle avec une moyenne de 30.7 (Tableau 10, Figure 17).

Malgré sa tardiveté au stade épiaison qui lui fait courrir les risques d'être plus soumis aux effets des stress hydrique et thermique de fin de cycle, ce groupe mérite des suivis futurs pour sélectionner un matériel végétal qui se distingue par un poids de 1000 grains élevé, dans des fonds génétiques différents de celui du cultivar Guemgoum.

Le groupe G3 se distingue surtout par une courte durée de la phase végétative de 137.1 jours, une hauteur de la végétation plus courte de 21.5 cm que celle du groupe G1, un poids de 1000 grains juste moyen de 40.8 g, un nombre de grains par épi très élevée ainsi qu'un indice de récolte de 41.6% (Tableau 9, Figure 17).

Ce groupe mérite des suivis pour sélectionner un germoplasme intéressant pour la fertilité de l'épi, dans des fonds génétiques diversifiés. Le groupe G2 est juste intermédiaire entre les deux autres, et les trois groupes diffèrent peu pour le

rendement en grains, pour la biomasse aérienne et pour le popids et le nombre d'épis par plante (Tableau 10, Figure 17).

Tableau 10. Valeurs moyennes caractéristiques des trois groupes formés sur la base des treize variables mesurées chez les parents et la génération F2 du croisement diallèle incomplet.

Gr	DPV	PHT	BIO	PNE	NE	PMG	NGE	RDT	HI	SF	TRE	INJ	CHL
G1	141.4	87.1	28.1	15.3	4.6	53.5	43.0	10.4	37.4	25.4	91.5	14.7	30.7
G2	137.1	66.5	23.6	14.4	5.8	37.8	43.4	9.3	39.6	19.0	93.9	24.9	36.3
G3	137.1	65.6	24.5	15.3	5.0	40.8	51.7	10.5	41.6	21.0	92.7	18.0	37.8

DFV (j) = Durée de la phase végétative en jours, SF (cm²) = surface de la feuille étandard en cm², TRE (%) = teneur relative en eau de la feuille étandard en %, INJ (%)= dommages causés par le stress à la membrane plasmique, en % ; PHT (cm) = hauteur de la plante, en cm ; NE (/plante) =nombre d'épis par plante ; PMG (g) = poids de 1000 grains, en g ; PNE (g/plante) = poids des épis par plante, en g ; NGE (/épi) = nombre de grains par épi ; RDT (g/plante) = rendement en grains de la plante, en g ; BIO (g/plante)= Biomasse aérienne de la plante, en g ; HI (%) = indice de récolte, en % ; CHL = contenu en chlorophylle, unité arbitraire. (G1=Guemgoum, Zb/Fg//Guemgoum, Mexicali/Guemgoum, Waha/ Guemgoum Ofanto/Guemgoum, Gta dur/Guemgoum ; G2=Waha, Waha// Zb/Fg, Zb/Fg, Zb/Fg//Mexi, Waha/Gta dur ; G3= ofanto, Zb/Fg//Ofanto, Méxi/Ofa, Ofa/ Gta, Zb/Fg//Gta, Waha/Mexi, Waha/Ofa, Mexicali, Mexi/Gta, Gta durum).

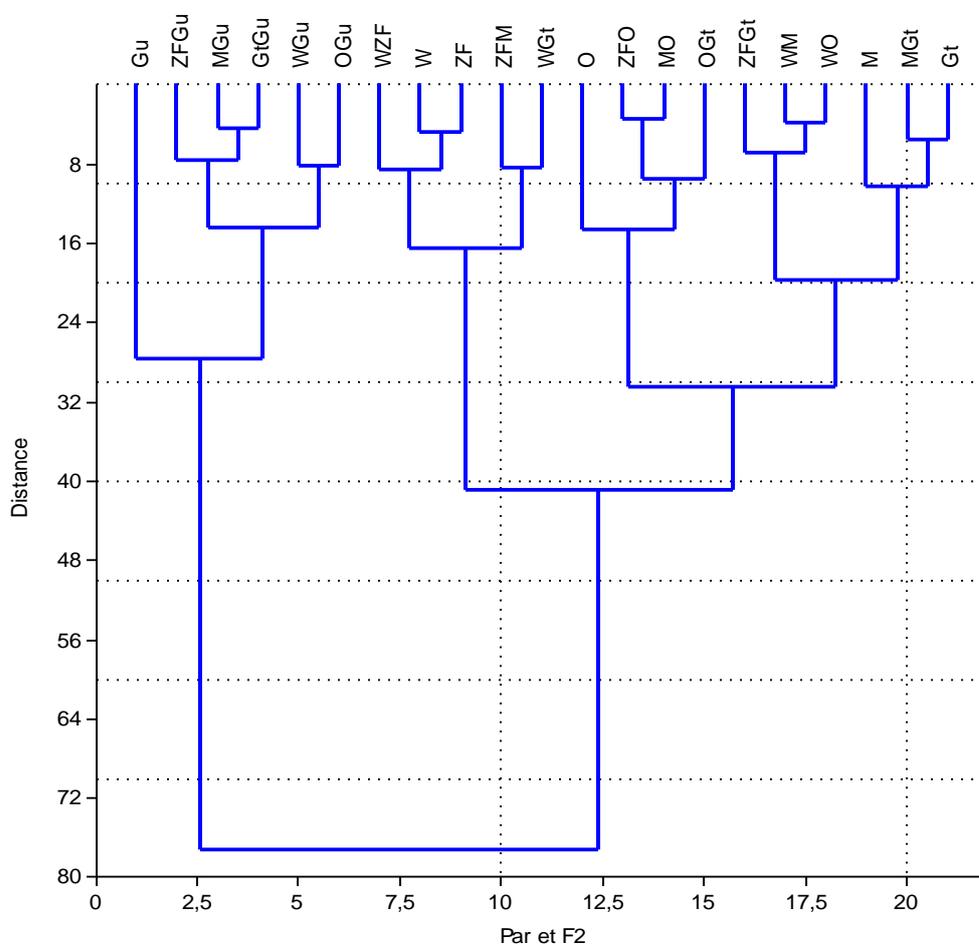


Figure 16. Groupage des parents et des populations F2 sur la base des treize variables mesurées (G1=Guemgoum, Zb/Fg//Guemgoum, Mexicali/Guemgoum, Waha/ Guemgoum Ofanto/Guemgoum, Gta dur/Guemgoum ; G2=Waha, Waha// Zb/Fg, Zb/Fg, Zb/Fg//Mexi, Waha/Gta dur ; G3= Ofanto, Zb/Fg//Ofanto, Méxi/Ofa, Ofa/ Gta, Zb/Fg//Gta, Waha/Mexi, Waha/Ofa, Mexicali, Mexi/Gta, Gta durum).

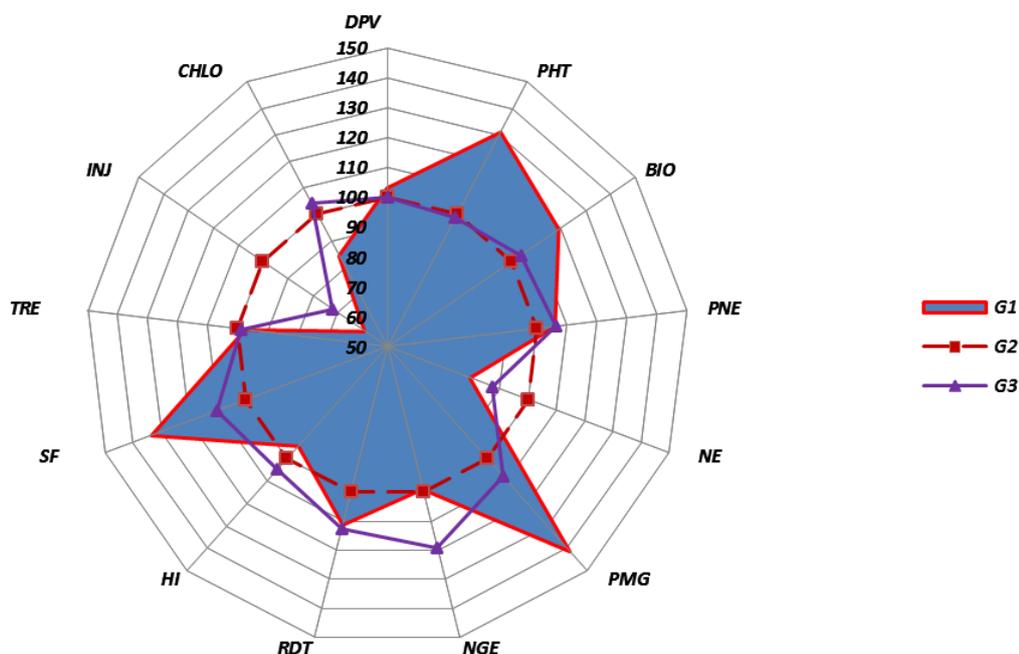


Figure 17. Différences relatives entre les trois groupes formés sur la base des treize variables mesurées des parents et des populations F2 (G1=Guemgoum, Zb/Fg//Guemgoum, Mex/Guemgoum, Waha/Guemgoum Ofanto/Guemgoum, Gta dur/Guemgoum ; G2= Waha, Waha//Zb/Fg, Zb/Fg, Zb/Fg//Mexi, Waha/Gta dur ; G3= Ofanto, Zb/Fg//Ofanto, Méxi/Ofa, Ofa/Gta, Zb/Fg//Gta, Waha/Mexi, Waha/Ofa, Mexicali, Mexi/Gta, Gta durum).

3. ANALYSE GENETIQUE DES VARIABLES MESUREES

La présence de la variabilité génotypique entre les lignées parentales et les populations F2 telle que suggérée par l'effet génotypique significatif de l'analyse de la variance des caractères mesurés, permet d'estimer les paramètres génétiques et de réaliser l'analyse graphique comme le proposent Singh et Chaudhary (2006). Cette analyse est, cependant, sujette à la vérification que les données collectées suivent le modèle d'additivité-dominance. L'ajustement (scaling test) des données collectées au modèle d'additivité- dominance a été testé par l'uniformité des quantités (W_r+V_r) et (W_r-V_r) et par la régression des W_r sur les V_r .

Les hypothèses restrictives de l'analyse génétique sont largement satisfaites, si le test F (ou t^2) de l'analyse de la variance des quantités (W_r+V_r) et (W_r-V_r) est non significatif, ou si le coefficient de régression b des W_r sur les V_r est significativement différent de zéro et non significativement différent de l'unité.

Les résultats des tests d'ajustement sont présentés au tableau 11. Le test d'uniformité des quantités (W_r+V_r) et (W_r-V_r) indique l'absence d'interactions non alléliques et une distribution indépendante des gènes chez les parents croisés pour l'ensemble des variables mesurées et analysées. Par contre, le test de la régression des W_r sur les V_r n'est pas totalement concordant puisqu'il indique l'absence d'interactions non alléliques et une distribution indépendante des gènes chez les parents croisés uniquement pour la durée de la phase végétative, le poids de 1000 grains, la surface de la feuille étendard et le contenu en chlorophylle.

En effet le coefficient de régression de ces variables est significativement différent de zéro mais pas de l'unité. Pour les autres variables, le b n'est pas significativement différent de zéro ou de l'unité, ce qui suggère la présence de l'épistasie (Tableau 11). De ce fait, le test de l'uniformité des quantités (W_r+V_r) et (W_r-V_r) suggère que le modèle d'additivité – dominance est acceptable pour l'ensemble des caractères mesurés (vu que les hypothèses restrictives sont satisfaites) ; alors que le second test indique que ce modèle n'est acceptable que pour la durée de la phase végétative, le poids de 1000 grains, la surface de la feuille étendard et le contenu en chlorophylle. La détermination des paramètres génétiques est valide pour les caractères qui remplissent les conditions suggérées par les hypothèses restrictives et elle est moins robuste pour les caractères qui ne remplissent que partiellement ces conditions. Selon Aksel et Johnson (1955) la transformation des données ou l'élimination du parent qui cause le plus de distorsion à l'analyse, satisfait souvent les conditions du modèle d'additivité – dominance.

Tableau 11. Test d'ajustement des données collectées au modèle d'additivité-dominance.

Variables	b ± se _b	b = 0 vs b ≠ 0	b = 1 vs b ≠ 1	F test (W _r +V _r)	F test (W _r -V _r)
DFV (j)	0.945±0.067	14.070**	0.8120 ^{ns}	0.000**	0.3889 ^{ns}
BIO (g/plante)	0.174±0.821	0.577 ^{ns}	0.641 ^{ns}	0.5258 ^{ns}	0.3314 ^{ns}
NE (/plante)	0.560±0.501	1.119 ^{ns}	0.878 ^{ns}	0.8394 ^{ns}	0.6053 ^{ns}
PMG (g)	0.761±0.144	5.285**	1.628 ^{ns}	0.5809 ^{ns}	0.6661 ^{ns}
RDT (g/plante)	-0.24±0.710	0.291 ^{ns}	1.717 ^{ns}	0.6827 ^{ns}	0.2026 ^{ns}
INJ (%)	0.404±0.195	2.072*	1.040 ^{ns}	0.7164 ^{ns}	0.5665 ^{ns}
CHL	1.027±0.191	5.385**	0.142 ^{ns}	0.7790 ^{ns}	0.9914 ^{ns}

DFV (j) = Durée de la phase végétative en jours ; INJ (%) = dommages causés par le stress à la membrane plasmique, en % ; NE (/plante) = nombre d'épis par plante ; PMG (g) = poids de 1000 grains, en g ; RDT (g/plante) = rendement en grains de la plante, en g ; BIO (g/plante) = Biomasse aérienne de la plante, en g ; CHL = contenu en chlorophylle, unité arbitraire

3.1. DEGRE DE DOMINANCE

L'analyse des composantes de la variation des variables mesurées indique que les composantes additive, D, et de dominance, H1 sont significatives, suggérant des effets aussi bien additifs que de dominance sont impliqués dans le contrôle génétique de ces variables. La composante D est largement supérieure à la composante H1, suggérant la prépondérance des effets additifs sur les effets de dominance pour la durée de la phase végétative, le poids de 1000 grains et le contenu en chlorophylle (Tableau 12).

Le degré moyen de dominance mesuré par le ratio $\sqrt{H1/D}$ prend une valeur de 0.40, valeur inférieure à 1, ce qui suggère une dominance partielle ou incomplète pour ces trois variables. Ceci est mis en évidence aussi par la position de la droite de régression des W_r sur les V_r qui est située juste au-dessus de la droite bissectrice qui est indicatrice de la dominance complète pour la durée de la phase végétative (Figure 18), le poids de 1000 grains (Figure 19) et pour le contenu en chlorophylle (Figure 20).

La prépondérance de la variance additive est liée au degré de l'héritabilité et à l'efficacité de la réponse à la sélection précoce. La prépondérance des effets additifs suggère aussi que la sélection pour améliorer la durée de la phase

végétative, le poids de 1000 grains, et/ou le contenu en chlorophylle peut être pratiquée tôt sur les générations précoces et se montrerait efficace. L'importance de l'action de nature additive des gènes dans l'hérédité de la durée de la phase végétative est rapportée par plusieurs études dont Ajmal *et al.* (2003), Inamullah *et al.* (2005), Malik *et al.* (2005), Iqbal *et al.*, (2007), Hannachi *et al.*, (2013) et Fellahi *et al.*, (2013). La prépondérance des effets de dominance a été aussi rapportée par Akbar *et al.*, (2009) pour la durée de la phase végétative. Selon Singh et Paroda (1988) ainsi que Anwar *et al.*, (2011) le poids de 1000 grains est sous contrôle génétique de nature additive ; par contre Joshi *et al.*, (2004) ainsi que Hassan *et al.*, (2007) rapportent une prépondérance des effets non additifs que des effets additifs.

Tableau 12. Valeurs des composantes génétiques et environnementales des variables mesurées des parents et des populations F2 du diallèle.

Paramètres	DFV	BIO	NE	PMG	RDT	INJ	CHL
D	32.1	1.1	0.63	94.7	0.13	6.57	34.25
H1	12.9	27.1	1.2	15.8	10.54	98.49	12
$\sqrt{(H1/D)}$	0.6	5.0	1.4	0.4	9.0	3.9	0.6
H2	12	23.7	1.2	16.7	10.68	89	9.5
H2/4H1	0.23	0.22	0.25	0.26	0.25	0.23	0.20
F	25.7	-15.9	-0.87	-22.3	-2.51	-61.13	-8.93
$\sqrt{(4DH1+ F)}/\sqrt{(4DH1-F)}$	1.04	0.91	0.7	1	0.6	1	1
E	0.6	6	0.22	3.3	1.11	25.07	4.16
h ² ns (%)	13.4	10.7	1.4	12.3	1.4	40.5	8.0

DFV (j) = Durée de la phase végétative en jours, INJ (%)= dommages causés par le stress à la membrane plasmique, en % ; NE (/plante) =nombre d'épis par plante ; PMG (g) = poids de 1000 grains, en g ; RDT (g/plante) = rendement en grains de la plante, en g; BIO (g/plante)= Biomasse aérienne de la plante, en g; CHL = contenu en chlorophylle, unité arbitraire. D=effet additif, H1 et H2 = effets de dominance, F= fréquence des allèles dominants relativement aux allèles récessifs chez les parents, $\sqrt{(H1/D)}$ = Degré moyen de dominance, $[\sqrt{(4DH1+ F)}/\sqrt{(4DH1- F)}]$ = Proportion des gènes dominants et récessifs chez les parents, E = effet de l'environnement, h²ns = héritabilité au sens étroit,

Des études antérieures montrent que les caractères métriques sont souvent polygéniques, sous contrôle génétique de nature additive avec la présence de la dominance à des degrés divers. Ainsi Johnson et Paul (1958), analysant les résultats des générations F1, F2 et F3 de 7 croisements d'orge rapportent que la précocité d'épiaison est sous contrôle génétique de nature additive induit par une paire de gènes.

Eunus (1964) ré-analysant 5 des 7 croisements rapporte que la durée de la phase végétative est contrôlée par 2 à 5 paires d'allèles et les effets non additifs de type super dominance sont observés dans trois des 5 croisements étudiés. Aksel et Johnson (1961) étudiant le même caractère dans un diallèle de 10 parents rapportent une action de type non additive et la dominance agissait dans le sens de la réduction de ce caractère. Par contre Paroda et Hayes (1971) notent que les effets additifs et non additifs sont impliqués dans le contrôle génétique de la précocité d'épiaison.

Les composantes D et H1 de la biomasse aérienne, du nombre d'épis, du rendement en grains et des dommages cellulaires sont aussi significatives, suggérant que les effets additifs et non additifs sont impliqués dans le contrôle génétique de ces caractères. La composante H1 est largement supérieure à la composante D, indiquant la prépondérance des effets non additifs sur les effets additifs dans l'hérédité de la biomasse aérienne, du nombre d'épis, du rendement en grains et des dommages cellulaires (Tableau 12).

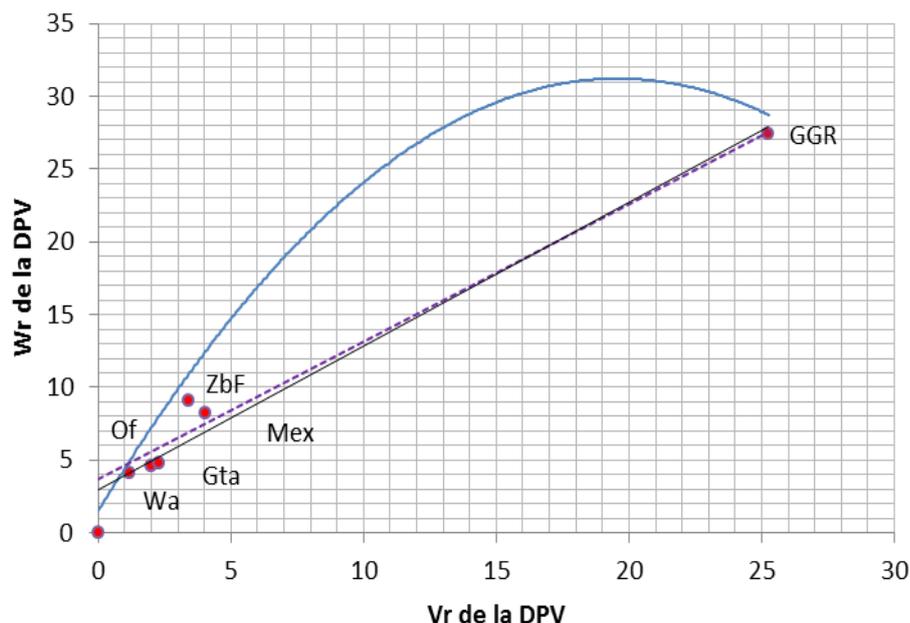


Figure 18. Graphe des W_r vs V_r de la durée de la phase végétative (GGR =Guemgoum, ZbF = Zb/Fg, Mex = Mexicali, Wa = Waha, Of = Ofanto, Gta = Gaviota durum).

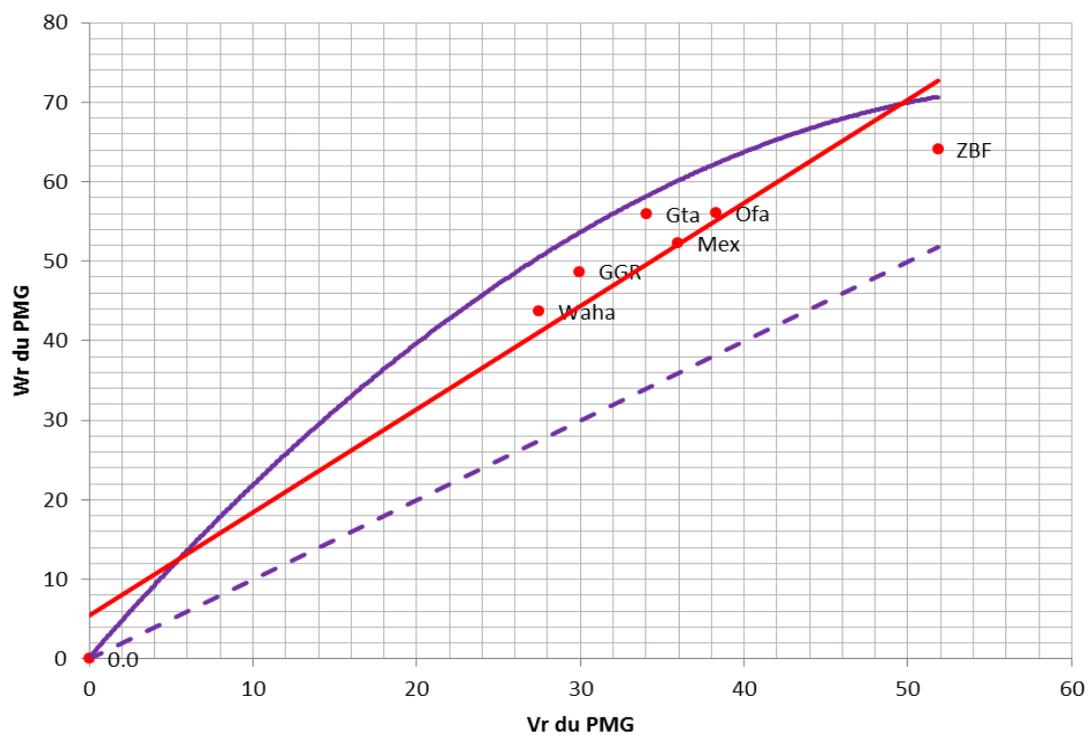


Figure 19. Graphe des W_r vs V_r du poids de 1000 grains (GGR =Guemgoum, ZbF = Zb/Fg, Mex = Mexicali, Wah = Waha, Ofa = Ofanto, Gta = Gaviota durum).

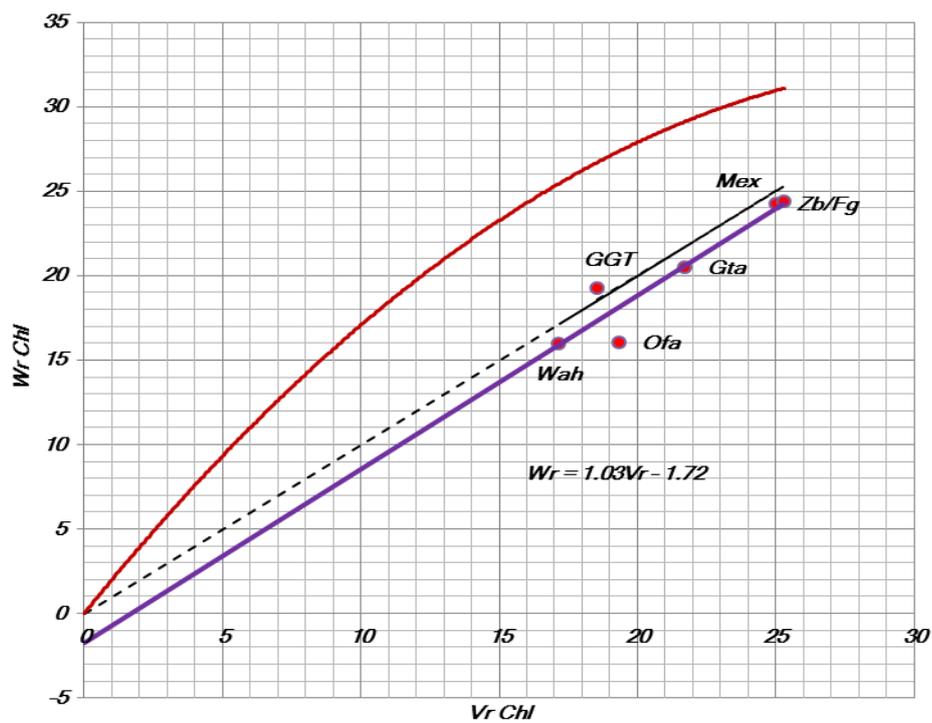


Figure 20. Graphe des W_r vs V_r du contenu en chlorophylle (GGR =Guemgoum, ZbF = Zb/Fg, Mex = Mexicali, Wah = Waha, Ofa = Ofanto, Gta = Gaviota durum).

Le ratio $\sqrt{H1/D}$ prend une valeur de supérieure à 1, ce qui suggère de la présence de la superdominance dans l'expression des valeurs de ces variables. Ceci est mis en évidence aussi par la position de la droite de régression des W_r sur les V_r qui est située juste au-dessous de la droite bissectrice, indicatrice de la superdominance pour la biomasse aérienne (Figure 21), le nombre d'épis par plante (Figure 22), le rendement en grains (Figure 23) et pour le pourcentage de dommages causés à la membrane plasmique par le stress thermique (Figure 24). La prépondérance des effets non additifs, indiquée par la dominance complète et la superdominance, suggère que la sélection pour améliorer le caractère ciblé ne peut être pratiquée tôt sur les générations précoces, parce qu'elle se montrerait inefficace. La dominance diminue de 50% par génération à partir de la génération F2, ce qui réduit du degré de ressemblance entre les générations parentales (F2 par exemple) et les générations descendantes (F3 ou F4 par exemple).

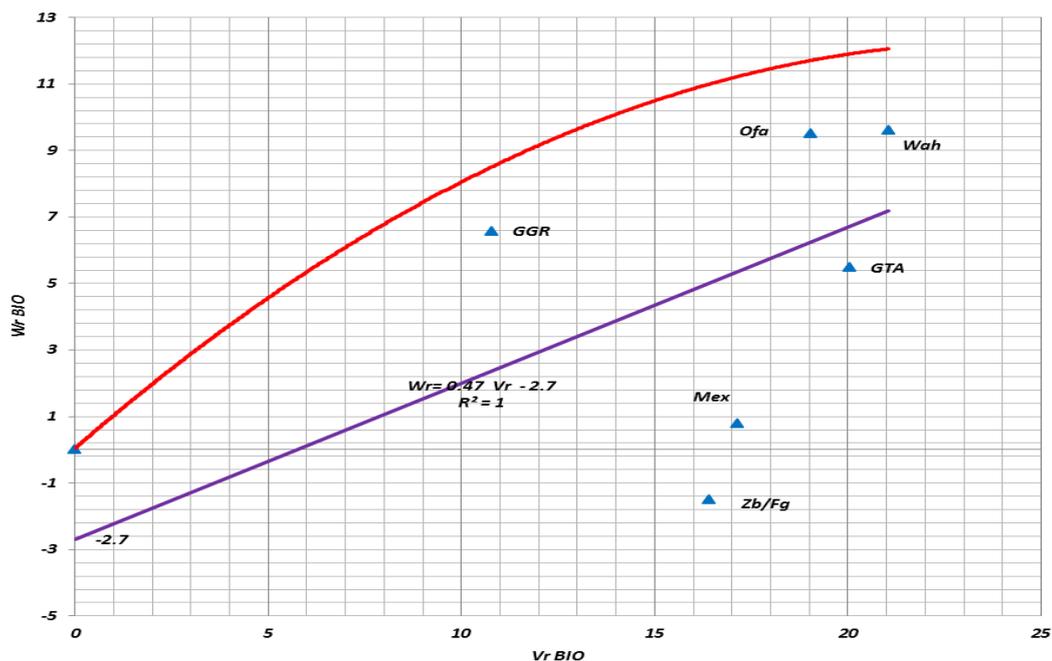


Figure 21. Graphe des W_r vs V_r de la biomasse aérienne (GGR =Guemgoum, ZbF = Zb/Fg, Mex = Mexicali, Wa = Waha, Of = Ofanto, Gta = Gaviota durum).

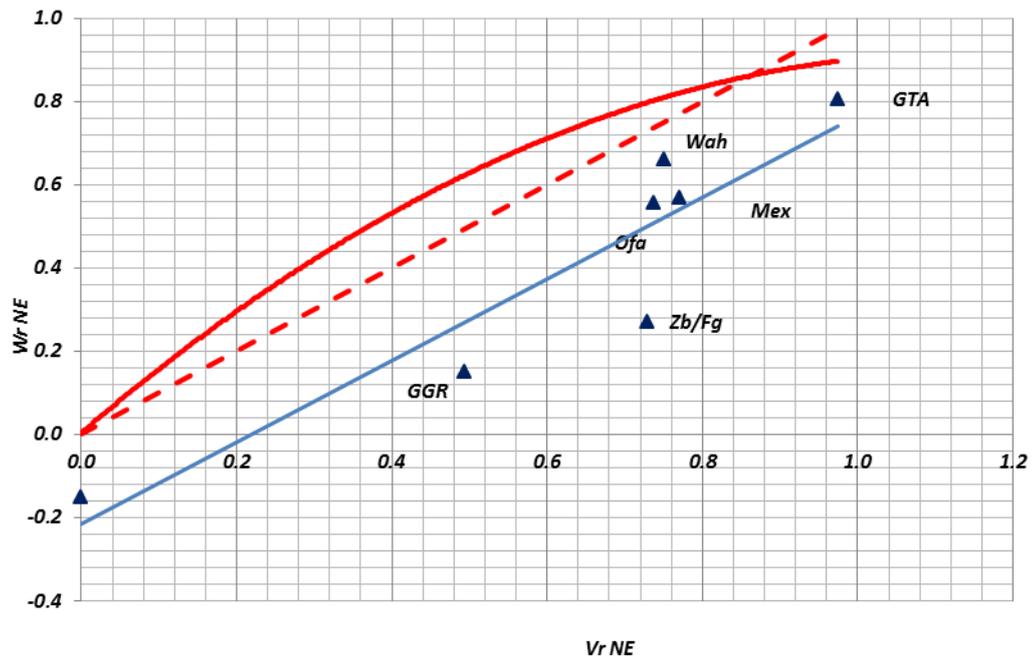


Figure 22. Graphe des W_r vs V_r du nombre d'épis par plante (GGR =Guemgoum, ZbF = Zb/Fg, Mex = Mexicali, Wah = Waha, Ofa = Ofanto, Gta = Gaviota durum).

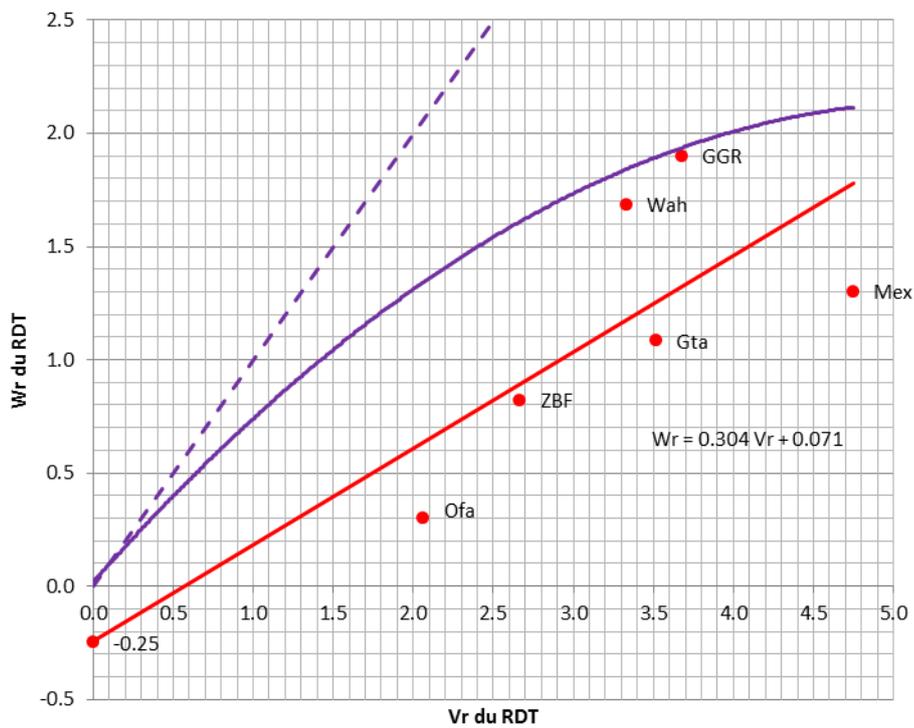


Figure 23. Graphe des W_r vs V_r du rendement par plante (GGR =Guemgoum, ZbF = Zb/Fg, Mex = Mexicali, Wah = Waha, Ofa = Ofanto, Gta = Gaviota durum).

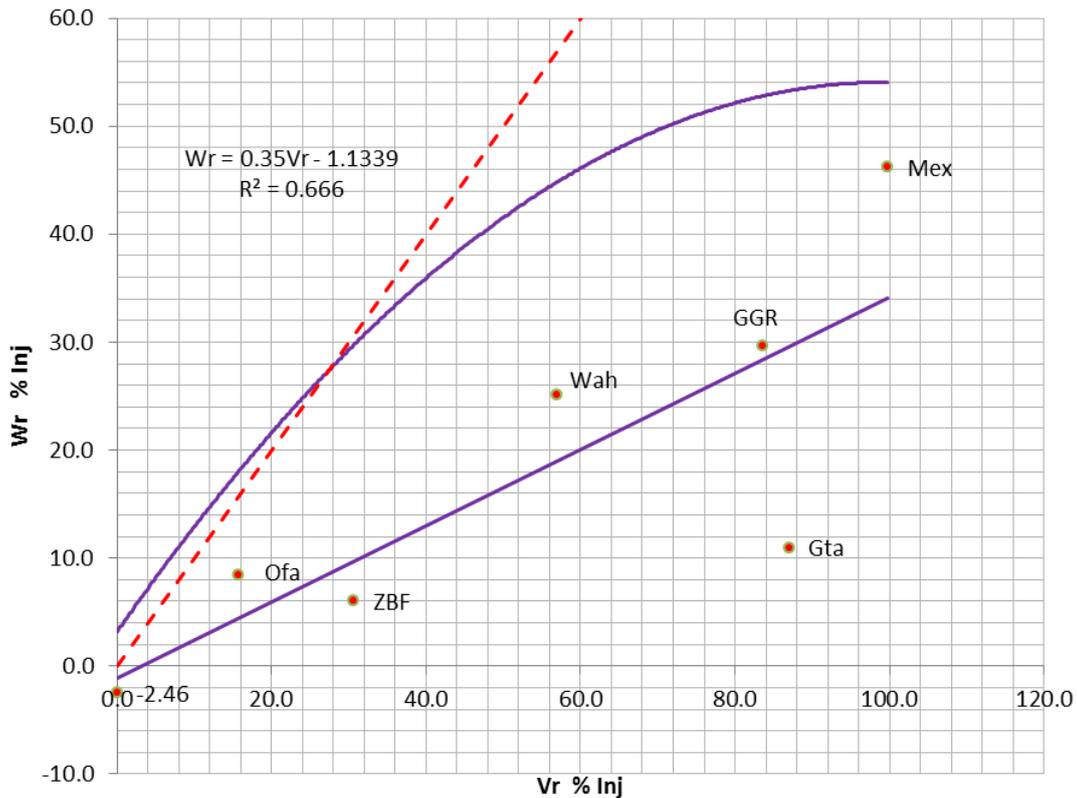


Figure 24. Graphe des W_r vs V_r du % de dommages cellulaires (GGR =Guemgoum, ZbF = Zb/Fg, Mex = Mexicali, Wah = Waha, Ofa = Ofanto, Gta = Gaviota durum).

L'importance de l'action de nature non additive des gènes dans l'hérédité de tels caractères comme la biomasse aérienne, le nombre d'épis par plante, le rendement en grains et/ou pour le pourcentage des dommages causés à la membrane plasmique est rapporté dans plusieurs études. Ainsi Ullah *et al.*, (2010) mentionnent que la dominance partielle est impliquée en partie dans l'hérédité des traits comme la hauteur et le rendement en grains.

Alors que Ojaghi et Akhundova, (2010) rapportent des effets additifs plus que non additifs dans la transmission du rendement en grains. Pour le nombre de grains par épi et le rendement en grains, la superdominance est rapportée par Khan *et al.*, (2003). Alors que la dominance partielle est notée par Habib and Khan (2003) pour le nombre de grains par épi. Riaz et Chowdhry (2003) rapportent une prépondérance des effets additifs sur les effets non additifs pour ces deux traits.

3.2. DISTRIBUTION DES GENES DOMINANTS ET RECESSIFS CHEZ LES PARENTS

La composante de dominance, H2, est égale à la composante de dominance H1 pour la durée de la phase végétative, le nombre d'épis par plante, le poids de 1000 grains et le rendement en grains. Elle lui est inférieure pour la biomasse aérienne, le pourcentage de dommages et le contenu en chlorophylle (Tableau 12). Ceci indique une égalité entre les fréquences des allèles à effets positifs et celles des allèles à effets négatifs, pour les premiers caractères cités et une disproportion entre les fréquences alléliques pour les seconds caractères cités. Ceci est confirmé par la valeur prise par le ratio $H2/4H1$, qui avoisine 0.25 pour les premiers caractères cités, dont les fréquences alléliques sont égales et elle est inférieure à cette valeur seuil pour les seconds caractères dont les fréquences alléliques sont inégales (Tableau 12).

Le paramètre F indique la proportion d'allèles dominants et récessifs chez les parents. La valeur positive de ce paramètre indique que les allèles dominants sont plus fréquents que les allèles récessifs dans le contrôle génétique de la durée de la phase végétative, alors que les allèles récessifs sont plus fréquents que les allèles dominants dans le contrôle génétique de la biomasse aérienne, le nombre d'épis, le poids de 1000 grains, le rendement en grains, le pourcentage de dommages cellulaires et le contenu en chlorophylle (Tableau 12).

Le ratio $[\sqrt{(4DH1)+ F}/\sqrt{(4DH1)- F}]$ prend une valeur légèrement supérieure à 1, qui est une indication de la prépondérance des gènes dominants dans le contrôle de la durée de la phase végétative chez les parents. Ceci concorde avec l'indication suggérée par la valeur positive de la composante F. La valeur de ce ratio indique l'égalité entre les proportions des allèles dominants et récessifs pour le poids de 1000 grains, le pourcentage de dommages et le contenu en chlorophylle et la prépondérance des allèles récessifs pour la biomasse, le nombre d'épis et le rendement en grains (Tableau 12).

La corrélation entre $(W_r + V_r)$ et les valeurs propres parentales est une mesure de la relation entre les gènes dominants et l'expression du phénotype des parents. Selon Singh et Chaudhary (2006), une corrélation positive indique que les gènes dominants agissent dans le sens de la réduction du caractère considéré alors qu'une corrélation négative suggère que l'augmentation du caractère ciblé est contrôlée des gènes récessifs. Le coefficient de régression des $(W_r + V_r)$ sur les valeurs propres parentales Y_r est positif pour la durée de la phase végétative (Figure 25) indiquant que la sélection des allèles récessifs augmente la durée de cette phase et son raccourcissement est contrôlé par les allèles dominants. De plus la distribution des valeurs parentales, le long de la droite de régression, suggère que les parents Waha, Zb/Fg, Mexicali, Ofanto et Gta durum contiennent plus de gènes dominants de gènes récessifs et que Guemgoum porte plus d'allèles récessifs que d'allèles dominants.

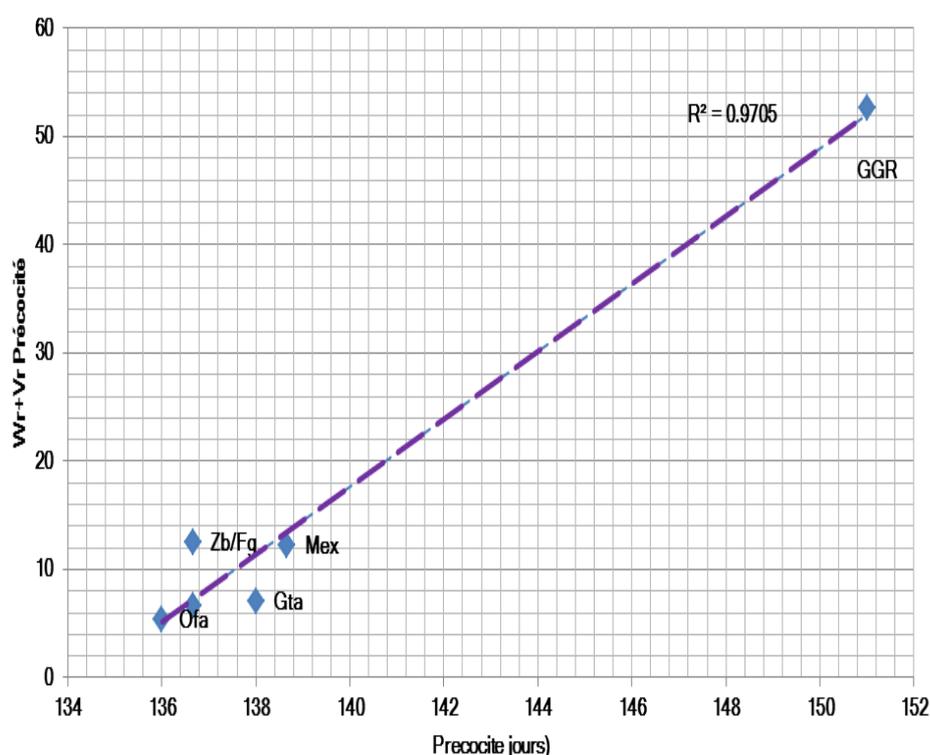


Figure 25. Relations entre W_r+V_r vs Y_r' de la durée de la phase végétative

Cette distribution indique aussi l'absence, parmi les parents croisés, de génotypes qui portent une proportion plus ou moins équilibrée de gènes dominants et d'allèles récessifs (Figure 25). Ceci est la résultante de la pression de la sélection qui se fait le plus souvent pour une recherche de la précocité d'épiaison, dans un souci d'esquive des stress de fin de cycle.

Cette dispersion indique les possibilités de sélectionner une descendance avec une durée de la phase végétative intermédiaire entre celles des deux groupes de parents croisés. Il existe, par contre, peu de possibilités de transgressions, dans les deux sens de la sélection, pour sélectionner une descendance plus précoce que Waha, Ofanto ou Zb/Fg ou plus tardive que Guemgoum (Figure 25).

Les coefficients de régression des ($W_r + V_r$) sur les Y_r du rendement en grains et du nombre d'épis par plante montrent une relation négative (Figures 26 et 27), suggérant que la sélection des allèles dominants augmente la valeur de ces deux caractères et que la sélection des allèles récessifs induit une réduction de ces deux variables.

La distribution des parents le long de la droite de régression suggère que l'échantillon de lignées croisées est représentatif, puisque les géniteurs croisés occupent l'ensemble de l'espace formé par les variables $W_r + V_r$ et Y_r (Figures 22, 23, 26 et 27).

La régression des $W_r + V_r$ sur les Y_r du pourcentage des dommages occasionnés par le stress thermique à la membrane plasmique présente un coefficient négatif suggérant que la dominance agit dans le sens de l'augmentation de la sensibilité au stress thermique, donc augmentation du pourcentage des dommages et que les allèles récessifs engendrent la tolérance à ce stress et donc réduisent le pourcentage des dommages (Figure 28).

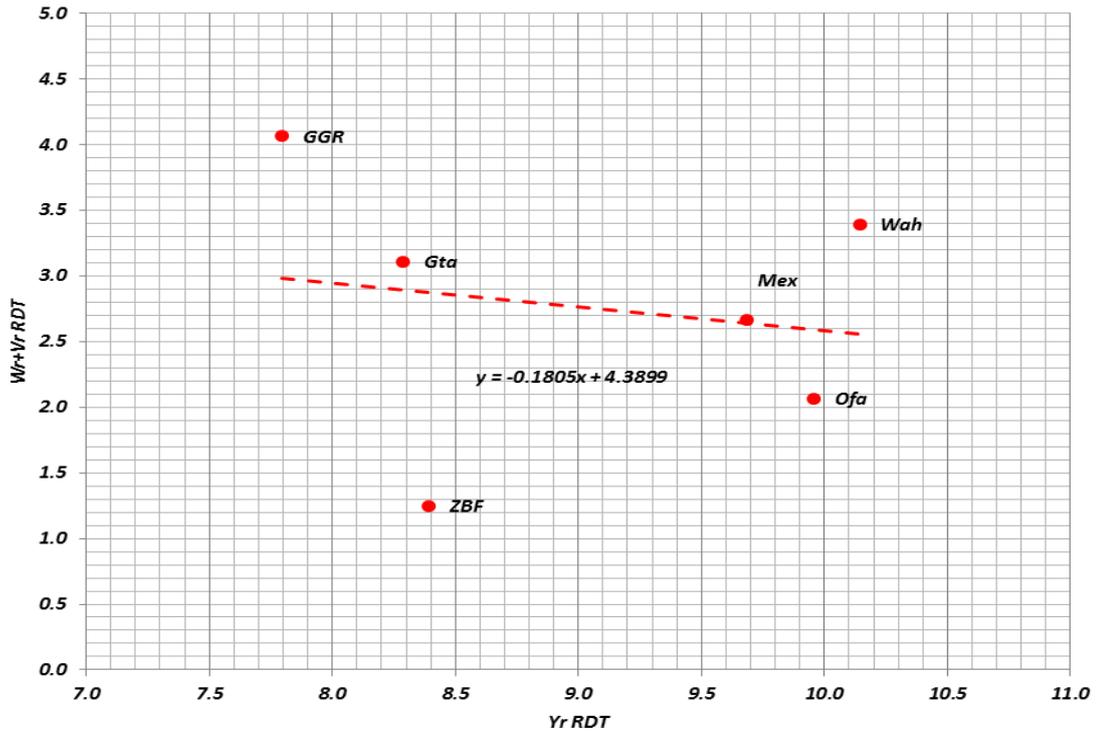


Figure 26. Relations entre Wr+Vr vs Yr' du rendement en grains

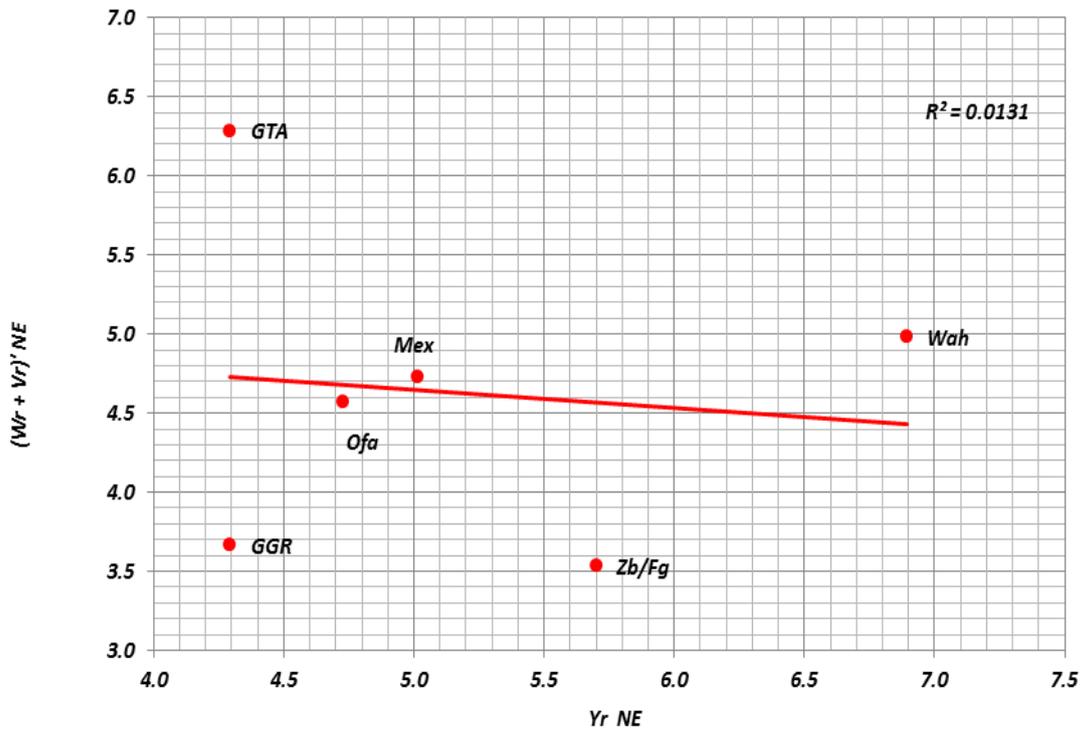


Figure 27. Relations entre Wr+Vr vs Yr' du nombre d'épis par plante

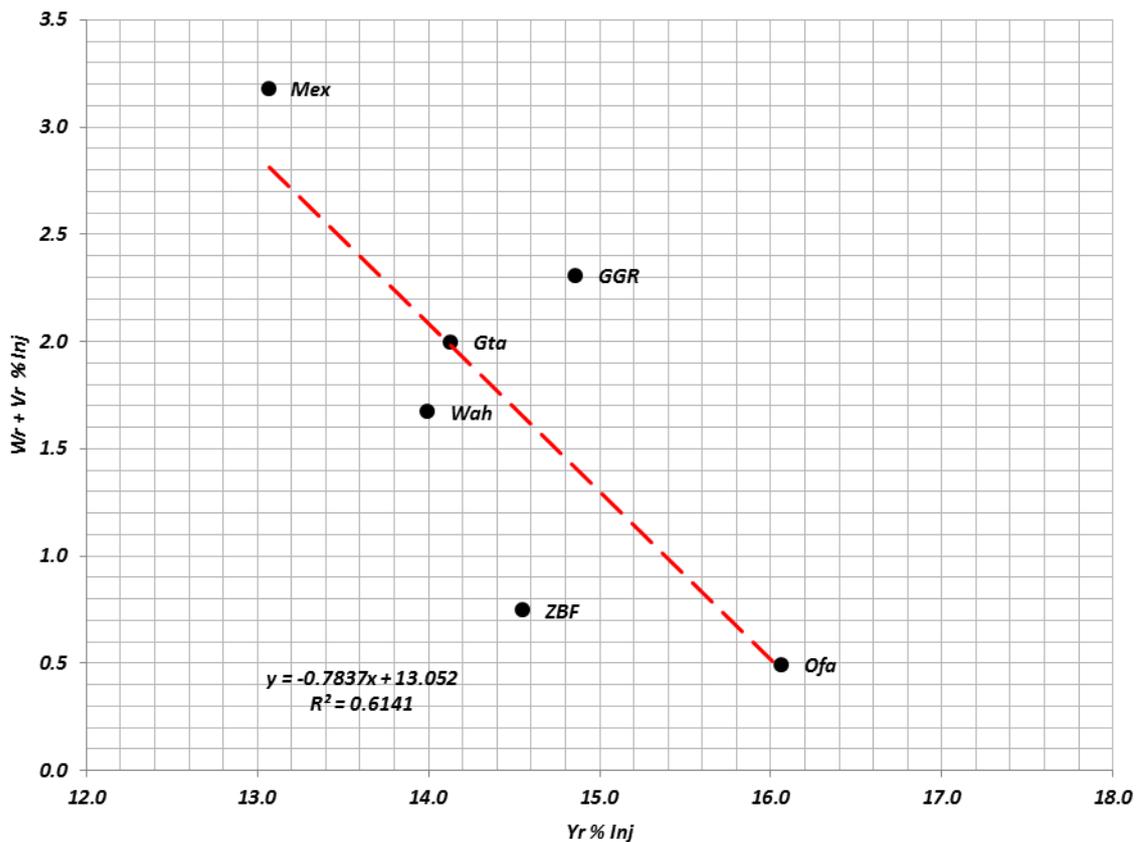


Figure 28. Relations entre W_r+V_r vs Y_r' du pourcentage des dommages cellulaires

La répartition des parents le long de la droite de régression suggère que Mexicali⁷⁵ porte plus de gènes récessifs à l'inverse du cultivar Ofanto, qui, situé à l'extrême, porte plus de gènes dominants. L'ordre du degré de tolérance des parents est le suivant : Mexicali > Guemgoum > Gta durum > Waha > Zb/Fg > Ofanto (Figure 28). L'analyse des relations entre les W_r+V_r et Y_r du contenu en chlorophylle, de la biomasse aérienne et du poids de 1000 grains indique une distorsion de la répartition des parents, avec certaines valeurs parentales qui s'éloignent trop de la droite moyenne.

Dans une telle situation et selon Singh et Chaudhary (2006) on est en présence d'épistasie et parmi les hypothèses restrictives du modèle d'additivité dominance, la condition d'action indépendante des gènes n'est satisfaite. Le tout se passe comme si on est en présence de deux sous-ensembles des lignées parentales, chez un sous-ensemble la dominance agit dans le sens de

l'augmentation du caractère alors que c'est l'inverse chez l'autre sous ensemble (Figures 29, 30 et 31).

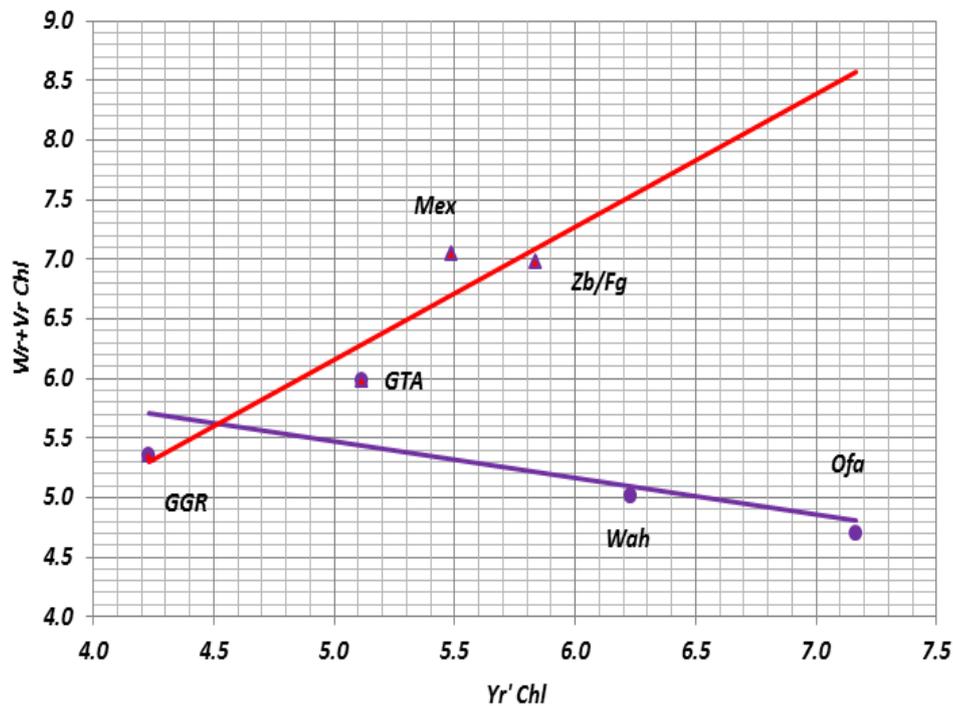


Figure 29. Relations entre W_{r+V_r} vs Y_r' du contenu en chlorophylle

Ainsi, pour le contenu en chlorophylle, le sous-groupe des parents formé par Mexicali₇₅, Zb/Fg, Gta durum et Guemgoum s'aligne le long d'une droite dont la pente est positive suggérant que chez cet sous ensemble la dominance agit dans le sens de la réduction du contenu en chlorophylle. Par contre le second sous-ensemble de parents formé par Waha, Ofanto, en commun avec le premier sous-ensemble, Gta durum et Guemgoum, s'aligne le long d'une droite de régression dont la pente est négative, suggérant que la dominance agit dans le sens de l'augmentation des valeurs de ce caractère (Figure 29). Il en est de même pour la biomasse aérienne, le sous-groupe de parents formé par Ofanto, Waha et Zb/Fg s'aligne le long d'une droite dont la pente est positive suggérant que chez cet sous ensemble la dominance agit dans le sens de la réduction de la biomasse aérienne. Par contre le second sous- ensemble de parents formé par Gta durum, Mexicali₇₅ et Guemgoum s'aligne le long d'une droite de régression dont la pente est négative,

suggérant que la dominance agit dans le sens de l'augmentation des valeurs de ce caractère (Figure 30).

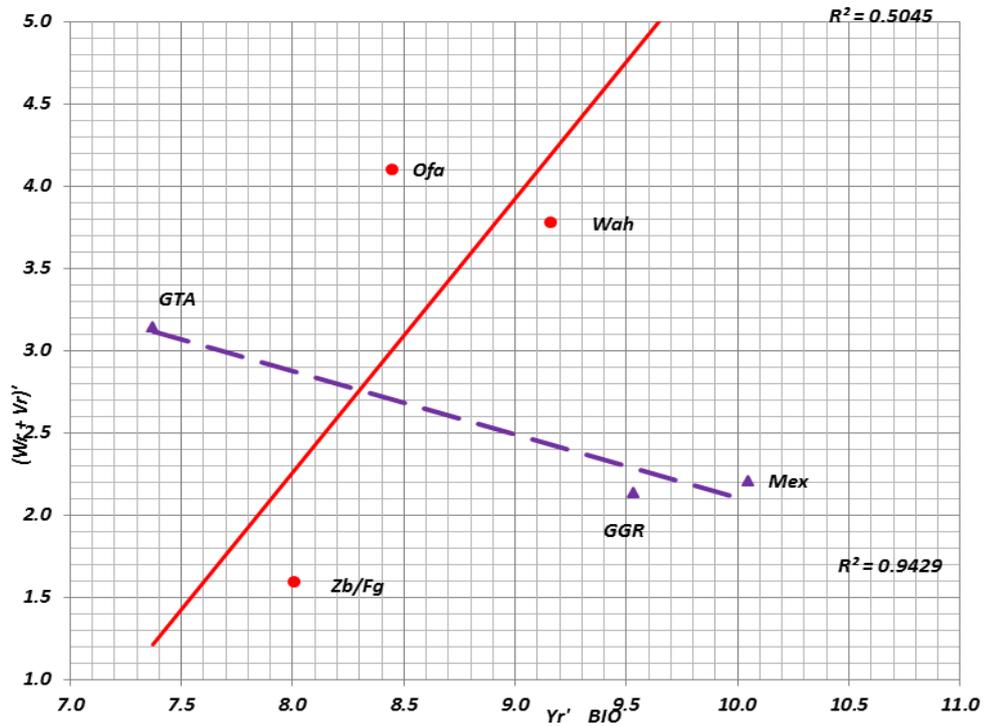


Figure 30. Relations entre W_r+V_r vs Y_r' de la biomasse aérienne par plante

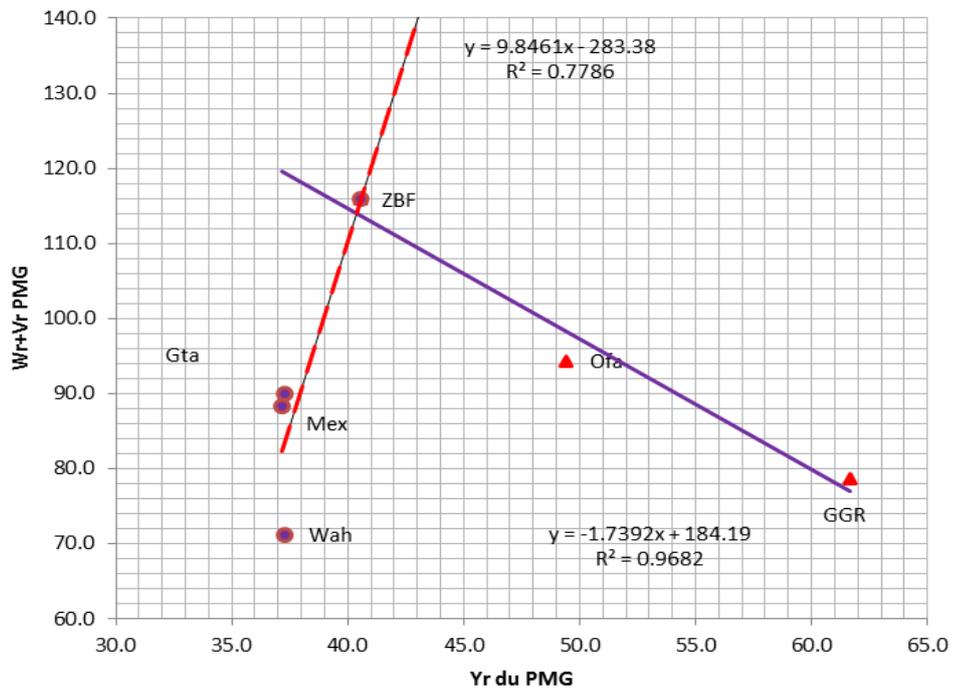


Figure 31. Relations entre W_r+V_r vs Y_r' du poids de 1000 grains

Pour le poids de 1000 grains, le sous-groupe de parents formé par Waha, Mexicali75, Gta durum et Zb/Fg s'aligne le long d'une droite dont la pente est positive suggérant que chez cet sous ensemble la dominance agit dans le sens de la réduction du poids de 1000 grains. Par contre le second sous- ensemble des parents formé par Ofanto, Guemgoum et Zb/Fg commun aux deux sous-groupes, s'aligne le long d'une droite de régression dont la pente est négative, suggérant que la dominance agit dans le sens de l'augmentation des valeurs du poids de 1000 grains (Figure 31).

Des études antérieures dont celles de Ullah *et al.*, (2010) et Hussain *et al.*, (2012) rapportent que la dominance agit dans le sens de l'augmentation des valeurs moyennes du nombre de grains par épi et du rendement en grains ; alors que les allèles récessifs agissent dans le sens de l'amélioration des moyennes du nombre d'épis par plante et du poids de 1000 grains.

En dehors du pourcentage des dommages cellulaires qui présente une valeur de l'héritabilité au sens étroit moyenne de valeur égale à 40.5%, les autres caractères se distinguent par de faibles héritabilités prenant les valeurs 13.4, 10.7, 1.4, 12.3, 1.4 et 8.0, respectivement pour la durée de la phase végétative, la biomasse aérienne, le nombre d'épis par plante, le poids de 1000 grains, le rendement en grains et le contenu en chlorophylle (Tableau 12). Les valeurs prises par h^2 ns indiquent que seule la sélection sur la base du % des dommages cellulaires peut être entreprise de sur les générations précoces comme la F2 voir F3 et F4. Pour les autres caractères, ce type de sélection n'est pas conseillé, suite à la faible contribution de la variance additive à la variance génétique. En effet selon Acquaaah (2007), le succès de toute sélection est basé sur la variabilité génétique présente et sur le degré de transmission du caractère ciblé des parents à la descendance, qui est mesuré par le coefficient de détermination génétique ou héritabilité au sens étroit. Une variabilité phénotypique et une héritabilité élevées, conduisent à un progrès significatif suite à la sélection précoce du caractère ciblé.

Ullah *et al.*, (2010) rapportent des valeurs moyennes de l'h²ns de 23, 51 et 49%, pour longueur de l'épi, rendement par épi et le rendement en grain par plante, respectivement. Ces valeurs de l'héritabilité suggèrent la prédominance de la dominance et un effet du milieu appréciable sur l'expression de ces caractères.

CONCLUSION

L'analyse de la variance montre que les treize variables mesurées présentent de la variabilité phénotypique significative au seuil de 5%, au moins. Les valeurs prises par l'amplitude sont élevées pour la durée de la phase végétative, la hauteur de la plante, la biomasse aérienne, le poids de 1000 grains et le nombre de grains/épi. Elles sont faibles pour le poids des épis, le nombre d'épis/plante, le rendement en grains et moyennes pour l'indice de récolte, la surface du limbe de la feuille étendard, les dommages cellulaires et le contenu en chlorophylle. L'étude des liaisons inter-caractères indique que la sélection vers une plus grande précocité au stade épiaison affecte négativement la hauteur, le poids de 1000 grains et la surface du limbe de la feuille étendard, et positivement le nombre d'épis par plante, l'indice de récolte et le contenu en chlorophylle. La sélection de la hauteur de la plante affecte positivement la biomasse aérienne, le poids de 1000 grains et la surface du limbe de la feuille étendard, et négativement le nombre de grains par épi, l'indice de récolte, la teneur relative en eau, les dommages causés à la membrane plasmique par le stress thermique et le contenu en chlorophylle. La biomasse aérienne affecte le poids des épis et le rendement en grains, et de la hauteur, suggérant que la sélection d'un nombre élevé d'épis, de grosse taille, améliore simultanément la biomasse et le rendement en grains. Les treize variables mesurées classent le germoplasme créé en trois groupes qui se différencient surtout pour la durée de la phase végétative, la hauteur de la végétation, le poids de 1000 grains, la surface du limbe de la feuille étendard et le nombre de grains/épi.

L'étude de la nature des actions géniques indique que les effets additifs et non additifs sont impliqués dans le contrôle génétique des variables analysées. Les effets additifs sont plus importants que les effets de dominance pour la durée de la phase végétative, le poids de 1000 grains et le contenu en chlorophylle. La position de la droite de régression des W_r sur les V_r indique une dominance partielle à

complète pour la durée de la phase végétative, le poids de 1000 grains et le contenu en chlorophylle. Pour la biomasse aérienne, le nombre d'épis, le rendement en grains et les dommages cellulaires les effets non additifs sont plus prépondérants que les effets additifs. La position de la droite de régression des W_r sur les V_r indique la présence de la superdominance pour ces caractères. La précocité d'épiaison est contrôlée par les allèles dominants dont la fréquence est plus importante chez les parents Waha, Zb/Fg, Mexicali, Ofanto et Gta durum. Les allèles dominants ont un effet positif sur le rendement en grains et le nombre d'épis par plante et un effet négatif sur la tolérance au stress thermique. Dans ce contexte Mexicali⁷⁵ porte plus de gènes récessifs et Ofanto plus de gènes dominants contrôlant le % de dommages cellulaires. L'héritabilité au sens étroit est moyenne pour le % des dommages, faibles pour la durée de la phase végétative, la biomasse aérienne, le poids de 1000 grains et le contenu en chlorophylle et nulle pour le nombre d'épis et le rendement en grains. Ces valeurs de h^2_{ns} indiquent que la sélection précoce pour la tolérance au stress thermique peut être préconisée mais elle ne peut l'être pour les autres caractères qui montrent de la dominance et un effet milieu important.

REFERENCES

1. **Abbas, K. and A. Abdelguerfi, 2005.** Perspectives d'avenir de la jachère pâturée dans les zones céréalières semi-arides. *Fourrages* 184: 533-546.
2. **Abbassenne F., Bouzerzour H. et Hachemi L. 1997.** Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum* Desf) en zone semi-aride ; *Ann. Agron. INA*, 18, 24-36.
3. **Acquaah, G. 2007.** Principals of plant genetics and breeding. Blackwell Publishing, Oxford, UK.
4. **Adjabi A., H. Bouzerzour, A. Benmahammed. 2014.** Stability analysis of durum wheat (*T.durum* Desf) grain yield. *Journal of Agronomy* 13: 131-139.
5. **Adjabi, A., H. Bouzerzour, C. Lelarge, A. Benmahammed, A. Mekhlouf, A. Hannachi. 2007.** Relationships between grain yield performance, temporal stability and carbon isotope discrimination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under mediterranean conditions. *Pakistan Journal of Agronomy* 6:294-301.
6. **Ajmal A, Khaliq I, and Rehman AU. 2011.** Genetic analysis for yield and some yield traits in bread wheat (*T. aestivum* L.). *J Agri Res* 49(4): 447- 454.
7. **Akbar, M., J. Anwar, M. Hussain, M. H. Qureshi and S. Khan. 2009.** Line x tester analysis in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) *J. Agric, Res.* 47(1):21-30.
8. **Akram, Z., S. U. Ajmal and M. Munir. 2004.** Gene action study of some agronomic traits in spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *Pak. J. Arid Agric.*, 7:39-43.
9. **Aksel R. LPV. Johnson. 1961.** The inheritances of malting quality and agronomic characters in diallel cross barley. *Can. J. Gen. Cytol.* 6: 178-200.
10. **Aksel R., L.P.V. Johnson. 1955.** Analysis of a diallel cross: a worked example. *Can. Journal Genetics and Cytology* 1: 208-220.
11. **Annicchiarico, P., F. Bellah and T. Chiari, 2006.** Repeatable genotype x location interaction and its exploitation by conventional and GIS-based cultivar recommendation for durum wheat in Algeria. *Eur. J. Agronomy*, 24: 7081.
12. **Annicchiarico, P., Z. Abdellaoui, M. Kelkouli and H. Zerargui, 2005.** Grain yield, straw yield and economic value of tall and semi-dwarf durum wheat cultivars in Algeria. *J. Agr. Sci.* 143: 57-64
13. **Anwar J, Akbar M, Hussain M, Asghar S, Ahmad J, and Owais M. 2011.** Combining ability estimates for grain yield in wheat. *J Agric Res* 49(4):437-445.
14. **Bahlouli F. H. Bouzerzour, A. Benmahammed, 2005.** Selection of stable and high yielding cultivar of durum wheat under semi-arid conditions. *Pakistan Journal of Agronomy* 4:360-365

15. **Bajji, M., S. Lutts and J.M. Kinet, 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.
16. **Barrs H.D. and Weatherley P.E., 1962.** Areexamination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Aust. J. Biol. Sci.*24: 519-570.
17. **Belkharchouche H. 2015.** Analyse de la contribution des hydrates de carbone de la tie au remplissage du grain du blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) sous conditions semi arides. Thèse de doctorat des sciences *Option* : Biologie et physiologie végétales. Département d'Ecologie et de Biologie végétales, Faculté SNV, université Sétif-1. 150 pages.
18. **Belkharchouche H., A. Benbelkacem, H. Bouzerzour and A. Benmahammed. 2015.** Flag Leaf and Awns Ablation and Spike Shading Effects on Spike Yield and Kernel Weight of Durum Wheat (*Triticum turgidum* L. Var. *Durum*) Under Rainfed Conditions. *Advances in Environmental Biology*, 9 :184-191
19. **Belkherchouche H., Fellah S., Bouzerzour H., Benmahammed A. et Chellal N. 2009.** Vigueur de la croissance, translocation et rendement grain du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides. *Courrier du savoir*, 9 : 17-24.
20. **Benbelkacem A. 2013.** Rapport des résultats du projet “*Enhancing Food Security in Arab Countries*” *Icarda-INRAA*. 35 pages.
21. **Benbelkacem, A., Kellou, K. 2000.** Évaluation du progrès génétique chez quelques variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) cultivées en Algérie. *Options méditerranéennes*. 6: 105-10.
22. **Benchellali, S. 2015.** Détermination de l’effet de différents régimes azotés sur la qualité protéique des variétés locales de (*Triticum durum* Desf.) cultivées en zone semi-aride. Mémoire Magister. Agronomie, Université de Batna-1. 120 pages.
23. **Benmahammed, A., K.L. Hassous, H. Bouzerzour, 2001.** Synthèse des performances des nouvelles sélections d’orge (*Hordeum vulgare* L.) réalisées par les stations ITGC de Saida, Sidi Bel Abbés, Tiaret, Beni Slimane, Oued Smar, Khémis Miliana, Sétif et Khroub, au cours de la période 1980/81 à 1996/97. *Céréaliculture*, 36: 13-20.
24. **Benmahammed, A., M. Kribaa, H. Bouzerzour, A. Djekoun, 2010.** Assessment of stress tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.) advanced breeding lines under semi-arid conditions of the eastern high plateaus of Algeria. *Euphytica*, 172: 383-394.

- 25. Bensemane L., Bouzerzour H., Benmahammed A., Mimouni H. 2011.** Assessment of the Phenotypic Variation Within Two- And Six-rowed Barley (*Hordeum Vulgare* L.) Breeding Lines Grown Under Semi-Arid Conditions. *Environmental Biology*, 5(7): 1454-1460
- 26. Bensemane L. 2015.** Analyse de l'adaptation de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) sous conditions semi-arides. Thèse de doctorat des sciences *Option* : Biologie et physiologie végétales. Département d'Ecologie et de Biologie végétales, Faculté SNV, Université Sétif-1. 130 pages.
- 27. Blum, A. 1998.** Plant Breeding for Stress Environments. CRC press Inc., Florida, USA.
- 28. Bouzerzour, H., Djekoun, A. Benmahammed, A. et Hassous, L., 1998.** Contribution de la biomasse aérienne de l'indice de récolte et de la précocité à l'épiaison au rendement en grain (*Hordeum vulgare* L.) en zone semi d'altitude. *Cahiers de l'Agriculture*, 8 : 133-137.
- 29. Chenafi, H., A. Aïdaoui, H. Bouzerzour and A. Saci, 2006.** Yield response of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivar Waha to deficit irrigation under semi-arid growth conditions. *Asian J. Plant. Sci.*, 5: 854-860.
- 30. Chennafi, H., A. Hannachi, O. Touahria, ZEA. Fellahi, M. Makhoulf, H. Bouzerzour. 2011.** Tillage and residue management effect on durum wheat (*Triticum turgidum* (L.) Thell. ssp. *turgidum* conv. *durum* (Desf.) Mac Key) growth and yield under semi-arid climate. *Advances in Environmental Biology*, 5 : 3231-3240.
- 31. Cimmyt descriptor. 1997.**
- 32. Clarke, J. M. and McCaig, T. N. 1982.** Evaluation of techniques for screening for drought resistance in wheat. *Crop Sci.* 22: 503–506.
- 33. Clarke, J.M., I. Romagosa, S. Jana, J.P. Srivastava, T.T.N. McCaig. 1989.** Relationship of excised leaf water loss rate and yield of durum wheat in diverse environment. *Can. J. Plant Sci.* 69 : 1075-1081.
- 34. Clarke, J.M., R.M. DePauw, and T.F. Townley-Smith. 1992.** Evaluation of methods for quantification of drought tolerance in wheat. *Crop Sci.* 32: 723- 728.
- 35. Cropstat 7.2. 3. 2007.** Free Software package for windows, International Rice Research Institute, IRRI, Manila.
- 36. Dakheel, A.J., J. Nadji, V. Mahalakshimi, J.M. Peacock. 1993.** Morphological and physiological traits associated with adaptation of durum wheat to harsh Mediterranean environments. *Aspects of Applied Biology*, 34: 297-307.

- 37. De Vita, P., E. Di Paolo, G. Fecondo, N. Di Fonzo, M. Pisante, 2007.** No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. *Soil and Tillage Research*, 92:69-78.
- 38. Dedio, W. 1975.** Water relations in wheat leaves as screening tests for drought resistance. *Can. J. Plant Sci.* 55: 369-378.
- 39. Deshmukh, P. W., S. B. Atale, P. W. Korgade and D. G. Vitkore. 1997.** Evaluation of some yield contributing characters under rainfed and irrigated conditions in durum wheat. *Annals Plant physiol.*, 4(1):80-85.
- 40. Donaldson et al., 2001**
- 41. Duggan, B.L., Fowler, D.B. 2006.** Yield structure and kernel potential of winter wheat on the Canadian Prairies. *Crop Sci.* 41: 100-106.
- 42. Eberhart, S.A., W.A. Russell, 1966.** Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.*, 6: 36-40.
- 43. Eunus, A.S. 1964.** Inheritance of earliness in barley. *Euphytica*, 13, 49-56.
- 44. Falconer, D.S. and Mackey, F.C., 1996.** Introduction to quantitative genetics. Fourth Edition. Longman. New York.
- 45. Faostat, 2013.** Stastical Database of the Food and Agriculture Organisation of the United Nations.
- 46. Farooq, J., I. Khaliq, A. S. Khan and M. A. Pervez. 2010.** Studying the genetic mechanism of some yield contributing traits in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Int. J. Agric. Biol.*, 12 (2):241-246.
- 47. Feldman, M., A.A. Levy. 2002.** Allopolyploidy-a shaping force in the evolution of wheat genome. *Cytogenet. Genome Res.*, 109:250-258.
- 48. Fellah A., H. Bouzerzour, A. Benmahammed, A. Djekoun. 2002.** Sélection pour améliorer la tolérance aux stress abiotiques chez le blé dur (*T. durum* Desf.). *Actes de l'IAVHIII*, 64: 35-42.
- 49. Fellahi Z, Hannachi A, Bouzerzour H and Benbelkacem A. 2015.** Inheritance Pattern of Metric Characters Affecting Grain Yield in Two Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Crosses Under Rainfed Conditions. *Jordan Journal of Biological Sciences – JJBS- 8: 175-181*
- 50. Fellahi Z, Hannachi A, Bouzerzour H and Boutekrabt A. 2013.** Line × tester mating design analysis for grain yield and yield related traits in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Inter. J. Agronomy*, 2013, Article ID 201851, 9 p.
- 51. Fellahi, Z., 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 d'Agronomie. Université Saad Dahlab, Blida, Algérie, pp: 124.

52. **Finlay, K.W. and G.N. Wilkinson, 1963.** The analysis of adaptation in a plant breeding programme. *Aust. J. Agric. Res.*, 14: 742-754.
53. **Fischer, R.A., R. Maurer, 1978.** Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield response. *Aust. J. Agric. Res.*, 29: 897-907.
54. **France AgriMer. 2011.** 'The durum wheat market' Ed. national establishment of agricultural and sea products Editor: Fabien Bova .44 pages
55. **Golparvar, A. R., P. A. Ghasemi and H. Madani. 2006.** Genetic control of some physiological attributes in wheat under drought stress conditions. *Pak. J. Biol. Sci.*, 9 : 1442 1446.
56. **Griffing, B., 1956.** Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing system. *Aust. J. Biol. Sci.* 9: 463-493.
57. **Habib, I., AS. Khan. 2003.** Genetic model of some economic traits in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Asian. J. Pl. Sci.* 2 : 1153- 1155.
58. **Haddad L. 2015.** Analyses AMMI et GGE de l'interaction génotype x milieux du blé dur (*Triticum turgidum* L. var. durum) et identification des facteurs explicatifs de l'interaction. Thèse de doctorat des sciences, Université de Sétif-1, 120 pages.
59. **Hamli S. 2015.** Contribution à l'étude de la tolérance du blé dur (*Triticum turgidum* L. var. durum) au choc thermique: criblage des plantules et déterminisme génétique de la tolérance. Thèse de doctorat des sciences *Option* : Biologie et physiologie végétales. Département d'Ecologie et de Biologie végétales, Faculté SNV, Université Sétif-1. 134 pages.
60. **Hamli S., M. Labhilili, K. kadi, A.E.H. Kabthan, M. Tagouti, R. Kanzeri, M. Alyadini and H. Bouzerzour. 2015a.** Heat shock effects on fluorescence, membrane stability, chlorophyll content and metabolites accumulation in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) seedlings and relationships with stress tolerance indices. *Advances in Environmental Biology*, 6:116-125.
61. **Hamli, S., H. Bouzerzour, A. Benmahammed, A. Oulmi, K. Kadi, D. Addad. 2015b.** Déterminisme génétique des caractères morpho-physiologiques liés au rendement chez le blé dur (*Triticum durum* Desf) en zone semi-aride des hauts plateaux Sétifiens, Algérie. *European Scientific Journal* 12 : 145 - 160.
62. **Hannachi A, ZEA. Fellahi, H. Bouzerzour, A. Boutekrabt. 2013.** Diallel-cross analysis of grain yield and stress tolerance-related traits under semi-arid conditions in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Electronic J Plant Breeding*, 4: 1027–1033.

- 63. 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 d'Agronomie. Université Saad Dahlab, Blida, 100 pages.
- 64. Hassan G, Mohammad F, Afridi SS, and Khalil I. 2007.** Combining ability in the F1 generations of diallel cross for yield and yield components in wheat. *Sarhad J. Agric.* 23: 937- 942.
- 65. Hayman, B. I. 1954.** The Theory and analysis of diallel crosses. *Genet.*, 39:789-809.
- 66. Hayman, B.I. 1954.** The analysis of variance of diallel tables. *Biometrics*, 10: 235-244.
- 67. Hurd, E.A. 1974.** Phenotype and drought resistance in wheat. *Agricultural meteorology* 14: 19-25.
- 68. Hussain T, Nazeer W, Tauseef M, Farooq J, Naeem M, Freed S, Iqbal M, Hameed A, Sadiq MA, and Nasrullah HM. 2012.** Inheritance of some spike related polygenic traits in spring wheat (*Triticum aestivum* L). *Afr J Agric Res* 7 (9): 1381-1387.
- 69. Inamullah H, Hussain A, Faheem M, Hassan G, and Gul R. 2006.** Diallel analysis of the inheritance pattern of agronomic traits of bread wheat. *Pakistan J Bot* 38(4): 1169-1175.
- 70. Iqbal, M., A. Navabi, D. Salmon, R. C. Yang, B. Murdoch, S. Moore and D. Spaner. 2007.** Genetic analysis of flowering and maturity time in high latitude spring wheat: Genetic analysis of earliness in spring wheat. *Euphytica*, 154 :207- 218.
- 71. Johnson, L.P. V., O. PAUL.1958.** Inheritance of earliness in barley. *Can. J. Plant Sci.*, 38, 2 19-233.
- 72. Joshi, S. R., S. N. Sharma, D. L. Singhania and R. S. Sain. 2004.** Combining ability in the F1 and F2 generations of diallel cross in hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.em. thell.). *Hereditas*, 141:115-121.
- 73. Kadi, Z., F. Adjel and H. Bouzerzour, 2010.** Analysis of the genotype x environment interaction of Barley grain yield (*Hordeum vulgare* L.) under semi-arid conditions. *Advance in Environmental Biology*, 4: 34-40.
- 74. Kashif, M., I. Khaliq. 2003.** Mechanism of genetic control of some quantitative traits in bread wheat. *Pak. J. Biol. Sci.*, 6: 1586-1590.
- 75. Khan. A. S., I. Habib. 2003.** Gene action in a five parental diallel cross of spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *Pak. J. Biol. Sci.*, 6 : 1945-1948.

- 76. Lahmar, R., H. Bouzerzour, 2011.** Du mulch terreux au mulch organique. Revisiter le dryfarming pour assurer une transition vers l'agriculture durable dans les Hautes Plaines Sétifiennes. *Options méditerranéennes Série A*, 96 :99-105.
- 77. Lin, C.S., M.R. Binns, 1988.** A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. *Can. J. Plant Sci.*, 68: 193-198.
- 78. Mahmood, N., M. A. Chowdhry, M. Kashif. 2003.** Genetic analysis of some physio-morphologic traits of wheat under drought condition (*Triticum aestivum* L.) Pakistan J. Genet. Breed., 57: 385-391.
- 79. Malik MFA, Iqbal S, Ali S. 2005.** Genetic behavior and analysis of quantitative traits in five wheat genotypes. *J Agric Social Sci* 1(4): 313-315.
- 80. Makhlouf A., F. Dehbi, H. Bouzerzour, A. Hannachi, A. Benmahammed, A. Adjabi. 2006.** Relationships between cold tolerance, grain yield performances and stability of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes grown at high elevation area of Eastern Algeria. *Asian Journal of Plant Sciences* 5: 700-708.
- 81. Menad A. 2009.** Rythme de développement, utilisation de l'eau et rendement de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) sous climat méditerranéen. Mémoire de magister, ENSA, El Harrach, 70 pp
- 82. Menad, A., N. Meziani, H. Bouzerzour, A. Benmahammed, 2011.** Analyse de l'interaction génotype x milieu du rendement de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) : application des modèles AMMi et la régression conjointe. *Natute & Technology* (Université Chlef) 7: 76-82.
- 83. Meziani, N., H. Bouzerzour, A. Benmahammed, A. Menad and A. Benbelkacem, 2011.** Performance and adaptation of barley genotypes (*Hordeum vulgare* L.) to diverse locations. *Advance in Environmental Biology*, 5: 1465-1472.
- 84. Nouar H. 2015.** Contribution à l'étude de l'interaction génotype- environnements du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous climat méditerranéen : application des modèles de la régression conjointe et AMMI. Thèse de doctorat des sciences Option : Production végétale. Département des Sciences Agronomiques, Faculté SNV, Université Sétif-1. 130 pages.
- 85. Nouar H., L. Haddad, Z. Laala, L. Oulmi, H. Zerargui, A. Benmahammed, H. Bouzerzour. 2010.** Performances comparées des variétés de blé dur : Mohammed Ben Bachir, Waha et Bouselam dans la wilaya de Sétif. *Céréaliculture*, 54: 23-29.
- 86. Nouar, H., H. Bouzerzour, L. Haddad, A. Menad, T. Hazmoune and H. Zerargui, 2012.** Genotype x Environment Interaction Assessment in Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.) using AMMI and GGE Models. *Advance in Environmental Biology*, 6 : 3007-3015.

- 87. Ojaghi, J., E. Akhundova. 2010.** Genetic analysis for yield and its components in doubled haploid wheat. *Afr. J. Agric. Res.* 5 : 306-315.
- 88. Oukarroum A., El Madidi S., Schansker G., Strasser R.J. 2007.** Probing the responses of barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) by chlorophyll a fluorescence OLKJIP under drought stress and re-watering. *Environ. Exp. Bot.*, 60: 438–446.
- 89. Oulmi A., A. Benmahammad, Z. Laala, A. Adjabi, H. Bouzerzour. 2014.** Phenotypic variability and relations between the morpho-physiological traits of three F5 populations of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) evaluated under semi-arid conditions. *Adv. Environ. Biol., (AEB)* 8: 436-443
- 90. Oulmi, A., A. Benmahammed, Z. Laala, A. Adjabi and H. Bouzerzour, 2014.** Response to plant breeding on the basis of the canopy temperature of F5 lines derived from the F2 of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under semi-arid high plains eastern conditions. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 5(1): 20-30
- 91. Paroda, K. S., J.I. Hayes. 1971.** An investigation of genotype-environment interactions for rate of ear emergence in spring barley. *Heredity*, 26, 157-175.
- 92. Rabbani, G., M. Munir, S.U. Ajmal, F. Hassan, G. Shabbir and A. Mahmood. 2009.** Inheritance of yield attributes in bread wheat under irrigated and rainfed conditions. *Sarhad J. Agric.*, 25(3):429-438.
- 93. Rahman, M. A., N. A. Siddique, M. R. Alam, A. S. M. M. R. Khan and M. S. Alam. 2003.** Genetic analysis of some yield contributing and quality characters in spring wheat (*Triticum aestivum*). *Asian J. Pl. Sci.*, 2(3):277-282.
- 94. Rathod, S. K. K., L. Dobariya, L. L. Jivani and H. P. Ponkia. 2008.** Analysis for test weight, protein content and grain yield in six crosses of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Advances in Plant Sci.*, 21(1):99-101.
- 95. Rebetzke, G.J., R.A. Richards, N.A. Fettell, M. Long, A.G. Condon, R.I. Forrester and T.L. Botwright, 2007.** Genotype increases in coleoptile length improves stand establishment, vigour and grain yield of deep sown wheat. *Field Crops Research*, 100: 10-23.
- 96. Reynolds, M., Dreccer, F. and Trethowan, R., 2007.** Drought-adaptive traits derived from wheat wild relatives and landraces, *J. Exp. Bot.*, 58: 177 - 186.
- 97. Reynolds, M.P., A. Pellegrineschi, B. Skovmand. 2005.** Sink-limitation to yield and biomass: a summary of some investigations in spring wheat. *Ann. Appl. Biol.* 146: 39–49.

- 98. Riaz, R., MA. Chowdhry. 2003.** Genetic analysis of some economic traits of wheat under drought conditions. *Asian J. Pl. Sci.* 2: 790-796.
- 99. Richards, R.A., G.J. Rebtzke, A.G. Condon and A.F. Van Herwaarden, 2002.** Breeding for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. *Crop Sci*, 41: 111-121.
- 100. Rizza, F., Badeck, F.W., Cattivelli, L., Lidestri, O., Di Fonzo, N., Stanca, A.M., 2004.** Use of a water stress index to identify barley genotypes adapted to rainfed and irrigated conditions. *Crop Sci.* 44, 2127–2137
- 101. Salmi M., L. Haddad, A. Oulmi, A. Benmahammed, A. Benbelkacem. 2015.** Variabilité phénotypique et sélection des caractères agronomiques du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides. *European Scientific journal*. July 2015 Edition vol.11, No.21
- 102. Sanchez-Rodriguez, E., M. Rubio-Wilhelmi, L.M. Cervilla, B. Blasco, J.J. Rios, M.A. Rosales, L. Romero and J.M. Ruiz. 2010.** Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. *Plant Sci.*, 178: 30-40.
- 103. Sharma, S. N., R. S. Sain and R. K. Sharma. 2003.** The genetic control of flag leaf length in normal and late sown durum wheat. *J. Agric. Sci.*, 141:323-331.
- 104. Singh I, and Paroda RS. 1988.** Partial diallel analysis of combining ability in wheat. *Crop Improv* 15(2): 115-118.
- 105. Singh, G. P. and H. B. Chaudhary. 2006.** Selection parameters and yield enhancement of wheat (*Triticum aestivum* L.) under different moisture stress conditions. *Asian J. Plant Sci.*, 5(5):894 898.
- 106. Singh, K., P. K. Gupta and N. Tewari. 2009.** Combining ability analysis for yield and quality traits in spring wheat (*Triticum aestivum* Linn. Emend Thell). *Progressive Agric.*, 9: 12-17.
- 107. Spagnoletti-Zeuli T.L., P.O. Qualset. 1990.** Flag leaf variation and the analysis of diversity in durum wheat. *Plant Breeding*, 105 : 189-202.
- 108. Steel RGD., JH. Torrie. 1982.** Principles and procedures of statistics. McGraw-Hill Books, New York. 280 pages.
- 109. Tardieu, F., 2003.** Virtual plants: modeling as a tool for the genomics of tolerance to water deficit. *Trends in Plant Science*, 8: 9-14.
- 110. Ullah, S., AS. Khan, A. Raza, S. Sadique. 2010.** Gene action analysis of yield and yield related traits in spring wheat (*Triticum aestivum*). *Int J Agric Biol* 12: 125–128.

ملخص

أجريت هذه الدراسة في الموقع التجريبي التابع للمعهد الوطني للبحث الزراعي ووحدة البحث – سطيف (UR-INRA- Sétif). خلال الموسم الفلاحي 2014/2013. والهدف منها هو تحديد التباين الظاهري لدى 13 متغير كمي وتبيان طبيعة الفعل الوراثي المراقبة الوراثية لهذه المتغيرات الخاصة بالجبل الثاني بالنسبة لستة أصناف من القمح (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) الداخلة في الصلب في النتائج تدل بأن إنتخاب سلالات ذات عدد وحجم كبير من السنابل يحسن في آن واحد الكتلة الإحيائية و المردود الحبي. التأثيرات الجينية المضيفة وغير المضيفة تدخل في المراقبة الجينية للمتغيرات المدروسة. التأثيرات الجينية المضيفة هي أكثر أهمية من التأثيرات السائدة بالنسبة لفترة الإنبات, وزن الألف حبة واليخضور التي تبين وجود سيادة جزئية إلى كلية. الكتلة الإحيائية, عدد السنابل, المردود الحبي و الأضرار الخلوية تدل على وجود سيادة متعدية. درجة التوريث في النطاق الضيق هي متوسطة بالنسبة للأضرار الخلوية و ضعيفة بالنسبة لفترة الإنبات, الكتلة الإحيائية, وزن ألف حبة و اليخضور ومعدومة بالنسبة لعدد السنابل و المردود الحبي. قيم درجة التوريث تدل على أن الانتخاب المبكر بالنسبة لمقاومة الاجهاد الحراري من الممكن النصح به على عكس باقي الصفات التي أظهرت السيادة مع وجود تأثير بيئي مهم.

الكلمات المفتاحية: الانتخاب, التوريث, سيادة, الفعل الوراثي, *Triticum durum*

Résumé

La présente étude a été conduite sur le site expérimental relevant de l'Unité de Recherche de l'INRA de Sétif (UR-INRA- Sétif) au cours de la campagne 2013/14. L'objectif est d'évaluer la variabilité phénotype de treize variables quantitatives et de déterminer la nature des actions géniques impliquées dans le contrôle génétique de ces variables de la génération F₂ d'un diallele incomplet à six parents de blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*). Les résultats indiquent une variabilité phénotype significative pour les treize variables mesurées, La sélection de la précocité au stade épiaison affecte négativement la hauteur, le poids de 1000 grains et la surface de la feuille étendard, et positivement le nombre d'épis, l'indice de récolte et la chlorophylle. Les résultats suggèrent que la sélection d'un nombre élevé d'épis, de grosse taille, améliore simultanément la biomasse et le rendement. Les effets additifs et non additifs sont impliqués dans le contrôle génétique des variables analysées. Les effets additifs sont plus importants que les effets de dominance pour la durée de la phase végétative, le poids de 1000 grains et la chlorophylle qui montrent une dominance partielle à complète. La biomasse, le nombre d'épis, le rendement et les dommages cellulaires montrent de la superdominance. L'héritabilité au sens étroit est moyenne pour le % dommages, faibles pour la durée de la phase végétative, la biomasse, le poids de 1000 grains et la chlorophylle et nulle pour le nombre d'épis et le rendement. Ces valeurs de h²ns indiquent que la sélection précoce de la tolérance au stress thermique peut être préconisée mais elle ne peut l'être pour les autres caractères qui montrent de la dominance et un effet milieu important.

Mots clés: *Triticum durum*, dominance, action génique, sélection, héritabilité

Abstract

The present study was conducted at the experimental site of the INRA Research Unit of Setif (RU-INRA- Sétif) during the 2013/14 cropping season. The objective was to evaluate the phenotypic variability of thirteen quantitative variables and to determine the nature of gene actions involved in the genetic control of these variables of the F₂ generation of an incomplete diallel cross of 6 parents of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*). The results indicated significant phenotypic variability for the thirteen measured variables. The results suggested that selection of high number of big size spikes improved simultaneously biomass and grain yield. Additive and nonadditive effects were implicated in the genetic control of the measured variables. Additive effects were more important than the dominance effects for the vegetative phase, 1000-kernel weight, and chlorophyll content which exhibited partial to complete dominance. Biomass, spike number, grain yield and % injury exhibited

super-dominance. Medium narrow sense heritability was noted for % injury, low values for the vegetative phase, biomass, 1000-kernel weight, and chlorophyll and nil for spike number of spike and grain yield. Based on narrow sense heritability, early selection for heat stress tolerance is suggested but could not be recommended for the others traits which exhibited dominance and strong environmental effect.

Key words : *Triticum durum*, dominance, gene action, sélection , heritability