

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 D'AGRONOMIE

N°...../SNV/2017

THÈSE

Présentée par

HANNACHI Abderrahmane

Pour l'obtention du diplôme de

DOCTORAT EN SCIENCES

Filière: AGRONOMIE

Spécialité: PRODUCTION VÉGÉTALE

THÈME

*Aptitude à la combinaison, sélection mono et multi caractères et adaptabilité du blé dur (*Triticum durum* Desf.) aux conditions semi-arides*

Soutenue publiquement le 11/12/2017

DEVANT LE JURY

Président	BENMAHAMMED Amar	Pr. UFA Sétif 1
Directeur	BOUZERZOUR Hamenna	Pr. UFA Sétif 1
Examineurs	BOUTEKRABT Ammar	Pr. USD Blida 1
	BENBELKACEM Abdelkader	DR. INRAA
	BENDERRADJI Laid	MCA. UMB M'Sila
	MEKHLOUF Abdelhamid	MCA UFA Sétif 1

Laboratoire de Valorisation des Ressources Biologiques et Naturelles (LVRBN)

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à la mémoire de mon père Tayeb,

REMERCIEMENTS

Louanges à ALLAH, le tout puissant et le miséricordieux qui m'a guidé et m'a donné la volonté, la patience et le courage pour achever ce travail.

*Je tiens tout d'abord à exprimer mes vifs et sincères remerciements à mon directeur de thèse le Professeur **BOUZERZOUR HAMENNA** d'avoir accepté de diriger ce travail. Il a fait preuve d'une grande patience et a été d'un très grand apport pour la réalisation de ce travail. Je lui suis particulièrement reconnaissant et redevable pour le temps et l'énergie qu'il m'a toujours accordés. Qu'il trouve ici l'expression de toute ma reconnaissance et le témoignage d'une profonde gratitude.*

Je tiens aussi à exprimer ma gratitude, mes remerciements et mon profond respect aux membres du jury :

*Pr **BENMAHAMMED** Amar de l'Université de Sétif 1 qui m'a fait l'honneur d'accepter de présider ce jury. Je le remercie aussi de m'avoir toujours encouragé et conseillé.*

*Pr **BOUTEKRABT** Ammar de l'Université de Blida 1, qui m'a honoré en acceptant d'évaluer ce travail. Je lui témoigne toute ma gratitude pour ces conseils et sa disponibilité.*

*Dr **BENBELKACEM** Abdelkader Directeur de Recherche à l'INRAA qui m'a honoré en acceptant d'examiner mon travail. Je lui suis reconnaissant pour ces conseils et orientations et sa disponibilité. J'ai beaucoup appris de lui notamment dans le domaine de la sélection et l'amélioration du blé.*

*Dr **BENDERRADJI** Laid de l'Université de M'Sila qui m'a fait l'honneur d'être membre de ce jury et a pris sur son temps pour lire, examiner et juger mon travail. Qu'il trouve ici l'expression de ma reconnaissance.*

*Dr **MEKHLOUF** Abdelhamid MCA à l'université Sétif1 qui m'a honoré en acceptant d'examiner mon travail. Qu'il trouve ici l'expression de ma haute considération.*

Je remercie tous mes enseignants durant tout mon parcours d'étude.

*Mes vifs remerciements vont également aux **Dr Fellahi Zine El Abidine** et **Dr Guendouz Ali** qui ont été toujours à mes côtés pour aider, conseiller et encourager durant toutes ces années d'études et de recherche.*

Je tiens également à remercier tous mes collègues et amis (es) de l'INRAA et particulièrement ceux de la station de Sétif: Dr Abbas Khaled, Dr Benidir Mohammed, Dr Gaamoune Sofiane, Dr Djaout Amel, Mme Benoui Safia et Mr Fellahi Rabah, Mr Achiri Ali et Mme Harbi Amel pour leurs soutiens et encouragements.

Mes remerciements s'adressent aussi à tous mes amis et à tous mes collègues de l'ITGC et du CNCC de Sétif.

Je remercie tous ceux qui ont, directement ou indirectement, contribué à la réalisation de ce modeste travail.

Enfin, je souhaite dédier cette thèse à tous les membres de ma famille. Je voudrais tout particulièrement exprimer ma reconnaissance à ma mère, mes frères Abdelaziz, Rachid, Abderrazak, Noureddine et Fares, mes cousins, mes cousines, mes beaux-parents et ma chère Yasmine qui n'ont cessé de m'encourager.

*Je tiens à exprimer ma plus profonde reconnaissance à ma chère épouse **Karima**. Sa patience, son réconfort et son affectueux soutien tout au long de ce travail m'ont été d'une très grande aide.*

ABDERRAHMANE



ملخص:

أجريت هذه الدراسة على مستوى وحدة البحث بسطيف التابعة للمعهد الوطني الجزائري للأبحاث الزراعية (INRAA)، خلال خمسة مواسم زراعية متتالية (2012، 2013؛ 2014؛ 2015؛ 2016). استعملت في هذه الدراسة ستة أصناف من القمح الصلب وهجن الجيل الثاني (F2)، الثالث (F3) والرابع (F4) الناتجة من التهجين النصف التبادلي (halfdiallel) الذي تم تنفيذه سنة 2010. الصفات المدروسة تتعلق بالمردود الحبي و مكوناته بالإضافة إلى بعض الصفات المورفولوجية والفيزيولوجية. تهدف دراسة عشائر الجيل الثاني التي تمت خلال الموسم الزراعي (2012/2013) إلى تحليل قابلية الإلتلاف العامة والخاصة (AGC, ASC)، الفعل الجيني، مكونات التباين الظاهري والتباين الوراثي، نسبة التوريث بالمعنيين الواسع والضيق ومعدل درجة السيادة للصفات المدروسة وذلك باستعمال الطريقة الثانية - النموذج الأول Griffing وطريقة التحليل البياني لHayman. خلال الموسمين (2013/2014 - 2014/2015)، تمت على التوالي زراعة سلالات 15 عشيرة من الجيل الثالث والرابع. الهدف من هذه الدراسة هو تحليل العلاقات بين أداء أجيال F3 و F4 من نصف الهجين التبادلي والتحسين الوراثي المتوقع وآثارهما على تحسين القمح القاسي تحت ظروف الزراعة المطرية. أما بالنسبة إلى دراسة وتحليل قابلية التكيف واستقرار المردود الحبي والتفاعل الوراثي البيئي للأصناف المستخدمة كأباء في التهجين النصف تبادلي فقد تمت خلال خمسة مواسم زراعية متتالية (2012 إلى 2016) باستخدام بعض مؤشرات الاستقرار بالنسبة للمردود. تشير النتائج إلى وجود تباين في الصفات المدروسة ضمن عشائر F2. وهذا يدل على إمكانية تحسين الخصائص ذات الأهمية. آثار AGC و ASC كبيرة لجميع المتغيرات تقريبا مما يؤكد وجود التأثيرات الإضافية وغير الإضافية للجينات على الصفات المدروسة. التحليل البياني دعم هذه النتائج. تراوحت قيم التوريث بالمعنى الضيق ما بين 2.20 للمردود الحبيبي 87.30 لوزن 1000 حبة وتبين من تقديرات معدل درجة السيادة وتحليل خط الانحدار وجود السيادة الجزئية للجينات التي بعض الصفات والسيادة الفائقة للجينات للبعض الآخر. لوحظ وجود تباين ظاهري وتباين وراثي كبير في مجتمع الدراسة للجيلين F3 و F4. وهذا ما تؤكد قيم معاملات التباين المظهرية. قيم التوريث إلى جانب تقديرات عالية التحسين الوراثي المتوقع تشير إلى أن هناك إمكانيات فعالة لاختيار انماط عالية الغلة. أظهر تحليل التباين المشترك تأثيرا كبيرا للتفاعل $G \times E$ ، وكانت آثار البيئة ذات أهمية كبيرة. واستنتج من هذه النتائج أن العامل الرئيسي الذي يؤثر على محصول القمح هو البيئة. وهذا يعني ضرورة دراسة الاستجابة التفاضلية من الأنماط الجينية إلى بيئات مختلفة. في هذه الدراسة تم استخدام العديد من الطرق لقياس استقرار غلة النمط الجيني. الدراسة المقارنة لهذه الأساليب جعلت من الممكن تحديد الصنفين Ofanto و Guemgoum Rkhem كأصناف مستقرة. النمط الوراثي Ofanto مثير جدا للاهتمام لأنه يحمل كلا من أداء المردود والاستقرار. من ناحية أخرى، Guemgoum Rkhem مهما كان مستقرا أدائه إلا أن مردوده هو الأدنى بين الأنماط الجينية المدروسة.

الكلمات المفتاحية: القمح الصلب - الهجين التبادلي - قابلية الإلتلاف - الانتخاب - استقرار المردود.

RESUME :

L'étude a été réalisée sur le site de l'unité de recherche de Sétif relevant de l'INRAA durant cinq campagnes agricoles successive (2012 à 2016). Six génotypes de blé dur et 15 populations F2, F3 et F4 obtenus par l'autofécondation de la F1 issue d'un croisement demi-diallèle réalisé en 2010 ont été analysés. Le rendement grain et ses composantes et quelques caractères morpho-physiologiques ont été étudiés dans cette investigation. L'étude des populations F2, réalisée durant la campagne 2012/2013, a pour objectif l'analyse des aptitudes à la combinaison générale et spécifique, le mode d'action des gènes, les composantes de la variance, l'héritabilité et le degré de dominance en utilisant la méthode 2 - model 1 de Griffing et la méthode graphique de Hayman. Les quinze populations F3 et F4 ont été semées consécutivement durant les campagnes (2013/14 et 2014/15). L'objectif de l'étude est d'analyser les relations entre les performances des F3 et F4, le gain génétique attendu et leurs implications pour l'amélioration du blé dur sous conditions pluviales. Une étude de l'interaction $G \times E$, de l'adaptabilité et la stabilité du rendement des six variétés, utilisées comme parents dans le diallèle incomplet, a été menée durant cinq campagnes agricoles (2012 à 2016) en utilisant certains indices de stabilité paramétriques et non paramétriques. Les résultats indiquent la présence de la variabilité pour les caractères étudiés. Ce qui suggère les possibilités d'améliorer les caractères d'intérêt. Les effets d'AGC et d'ASC sont significatifs pour l'ensemble des variables, suggérant l'implication aussi bien les effets additifs et non additifs dans le contrôle génétique des caractères étudiés. L'analyse graphique a confirmé ces résultats. Les valeurs de l'héritabilité au sens étroit ont oscillés entre 2.20 pour le RDT et 87.30 pour le PMG. L'estimation du degré de dominance et l'analyse de la courbe de régression montrent que certains caractères sont sous l'action de la dominance partielle alors que d'autres sont régi par la super dominance. Les variances phénotypiques et génotypiques significatives ont été observées en F3 et F4, ceci est confirmé par les valeurs des CVP et CVG. Des valeurs élevées d'héritabilité et du gain génétique attendu suggèrent qu'il existe des possibilités efficaces de sélection. L'analyse de la variance a montré des effets significatifs de l'interaction $G \times E$ et de l'environnement. Plusieurs méthodes, paramétriques et non paramétrique, ont été employées dans cette étude pour quantifier la stabilité du rendement des génotypes. L'étude comparative de ces méthodes a permis d'identifier les génotypes Ofanto et Guemgoum Rkhem comme génotype stable. Le génotype Ofanto détient à la fois la performance du rendement et la stabilité. Par contre, Guemgoum Rkhem quoi qu'il soit stable sa performance du rendement est la plus faible parmi les génotypes étudiés.

Mots-clés : Blé dur- diallèle- aptitude à la combinaison- sélection- stabilité du rendement.

ABSTRACT

The study was carried out at the experimental fields of the research unit of Sétif (INRAA) during five crop seasons (2012, 2013, 2014, 2015 and 2016). Six parents of durum wheat and their fifteen F₂, F₃ and F₄ hybrids obtained by the selfing of F₁'s from half diallel wheat crosses made in 2010 were used. Grain yield, yield components and some morpho-physiological traits were studied in this study. The aim of the study of F₂ populations, realized in 2012, is to analyze general and specific combining ability effect (GCA, SCA), heritability and nature of gene action, degree of dominance and graphical analysis for yield and its component traits using Griffing method 2- model-I and the graphical method of Hayman. The fifteen F₃ and F₄ populations were sown consecutively during the campaigns (2013 and 2014). The objective of the study is to analyze the relationship between F₃ and F₄ performance, the expected genetic gain and their implications for the improvement of durum wheat under rainfed conditions. A study of the G × E interaction, adaptability and yield stability of the six varieties used as parents in the half-diallel was conducted during five crop years using some parametric and non-parametric stability indexes. Results indicate the presence of variability for the traits studied within the F₂ populations. This suggests the possibilities of improving, following early or late selection for the traits of interest. GCA and SCA effects were significant for all variables analyzed, suggesting that both additive and non-additive effects are involved in the genetic control of the traits studied. This suggests the possibilities of improving yield. Graphical analysis confirmed these results. Heritability values in the narrow sense ranged from 2.20 for grain yield to 87.30 for TKW. The estimation of the degree of dominance and the analysis of the regression curve show that some traits are under the action of partial dominance whereas others are governed by over dominance. Significant phenotypic and genotypic variations were observed in F₃ and F₄, this being confirmed by the CVP and CVG values. Heritability values, as well as high estimates of genetic gain advance, suggest that there are an effective opportunities for selection. Combined ANOVA showed a significant effect of the G × E interaction and environment. Several methods, parametric and nonparametric, were used in this study to quantify the stability of genotype yield. The comparative study of these methods allowed genotypes Ofanto and Guemgoum Rkhem to be identified as a stable genotype. Genotype Ofanto holds both yield performance and stability. On the other hand, Guemgoum Rkhem, whatever its stability of performance is the lowest among the genotypes studied.

Key words: Durum wheat - Diallel - combining ability- selection - yield stability.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS

ملخص:

TABLE DES MATIERES

LISTE DES FIGURES

INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I- REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	3
1. ORIGINES GEOGRAPHIQUE ET GENETIQUE DES BLES	3
2. SUPERFICIES ET PRODUCTION DU BLE DUR.....	4
3. AMELIORATION GENETIQUE DU BLE DUR (TRITICUM DURUM DESF.).....	7
3.1. VARIABILITE, AGC, ASC, ACTION GENIQUE, HERITABILITE ET REPONSE A LA SELECTION.....	7
3.1.1. VARIABILITE	7
3.1.2. METHODE GRIFFING D'ANALYSE DIALLELE.....	8
3.1.3. METHODE HAYMAN D'ANALYSE DIALLELE	9
3.1.4. ACTIONS GENIQUES ET HERITABILITE	12
3.2. SELECTIONS DIRECTE, INDIRECTE, PRECOCE ET TARDIVE	19
3.3. ADAPTATION A L'ENVIRONNEMENT DE PRODUCTION	20
CHAPITRE II- ANALYSE GENETIQUE D'UNE POPULATION F2 DIALLELE DE BLE DUR (TRITICUM DURUM DESF)	23
1. INTRODUCTION	23
2. MATERIEL ET METHODES.....	25
2.1. SITE, MATERIEL VEGETAL ET DISPOSITIF EXPERIMENTAL	25
2.2. MESURES ET NOTATIONS	27
2.3. ANALYSE DES DONNEES	28
2.3.1. ANALYSE DE LA VARIANCE ET CORRELATIONS.....	28
2.3.2. ANALYSE DES APTITUDES A LA COMBINAISON DE GRIFFING (1956).....	31
2.3.3. ANALYSE GENETIQUE DE HAYMAN (1954).....	33
2.3.3.1. DETERMINATION DES PARAMETRES GENETIQUES	33
2.3.3.2. ANALYSE GRAPHIQUE	36
3. RESULTATS ET DISCUSSION	38
3.1. PLUIE ET TEMPERATURE MOYENNE DES CAMPAGNES D'ETUDE	38
3.2. ANALYSE GENETIQUE.....	39
3.2.1. VARIABILITE, PERFORMANCE, HERITABILITE ET GAIN GENETIQUE ATTENDU	39
3.2.1.1. VARIABILITE ET PERFORMANCES MOYENNES	39
3.2.1.2. HERITABILITE ET GAIN GENETIQUE ATTENDU.....	43
3.2.2. CORRELATIONS ENTRE CARACTERES	44
3.2.3. APTITUDES A LA COMBINAISON	49
3.2.3.1. EFFETS D'APTITUDE GENERALE A LA COMBINAISON.....	52
3.2.3.2. EFFETS D'APTITUDE SPECIFIQUE A LA COMBINAISON.....	55
3.2.4. PARAMETRES GENETIQUES	59
3.2.4.1. VALIDITE DU MODELE D'ADDITIVITE-DOMINANCE.....	59
3.2.4.2. DEGRE DE DOMINANCE	61
3.2.4.3. DISTRIBUTION DES GENES	65

3.2.4.4. <i>HERITABILITE</i>	67
3.3. <i>ANALYSE GRAPHIQUE</i>	67
3.3.1. <i>POIDS DES EPIS</i>	67
3.3.2. <i>BIOMASSE AERIENNE</i>	70
3.3.3. <i>NOMBRE D'EPIS</i>	71
3.3.4. <i>NOMBRE DE GRAIN PAR EPI</i>	73
3.3.5. <i>POIDS DE 1000 GRAINS</i>	74
3.3.6. <i>INDICE DE RECOLTE</i>	76
3.3.7. <i>RENDEMENT GRAIN</i>	77
3.3.8. <i>CHLOROPHYLLE</i>	79
3.3.9. <i>PHASE VEGETATIVE</i>	81
3.3.10. <i>SURFACE DE LA FEUILLE ETENDARD</i>	83
3.3.11. <i>HAUTEUR DE LA PLANTE</i>	85
3.3.12. <i>LONGUEUR DE L'EPI</i>	86
4. <i>CONCLUSION</i>	91
<i>CHAPITRE III- ANALYSE DE LA VARIABILITE ET DES RELATIONS ENTRE</i>	
<i>CARACTERES DES GENERATIONS F3-F4 ET LEURS IMPLICATIONS POUR LA</i>	
<i>SELECTION DU BLE DUR SOUS CONDITIONS SUD MEDITERRANEENNE</i>	
	93
1. <i>INTRODUCTION</i>	93
2. <i>MATERIEL ET METHODES</i>	94
2.1. <i>SITE, MATERIEL VEGETAL ET DISPOSITIF EXPERIMENTAL</i>	94
2.2. <i>MESURES ET NOTATIONS</i>	95
2.3. <i>ANALYSE DES DONNEES</i>	96
3. <i>RESULTATS ET DISCUSSION</i>	98
3.1. <i>VARIABILITE DES CARACTERES DES GENERATIONS F3 ET F4</i>	98
3.1.1. <i>GENERATION F3</i>	98
3.1.1.1. <i>PRECOCITE, HAUTEUR, BIOMASSE ET POIDS DES EPIS</i>	98
3.1.1.2. <i>SURFACE DE LA FEUILLE ETENDARD ET CONTENU EN CHLOROPHYLLE</i>	100
3.1.1.3. <i>NOMBRE D'EPIS, GRAINS/EPI, POIDS DE 1000 GRAINS, RENDEMENT ET INDICE</i> <i>DE RECOLTE.</i>	102
3.1.2. <i>GENERATION F4</i>	106
3.1.2.1. <i>PRECOCITE, HAUTEUR, BIOMASSE ET POIDS DES EPIS</i>	106
3.1.2.2. <i>LONGUEUR DES EPIS, SURFACE DE LA FEUILLE ETENDARD ET CONTENU EN</i> <i>CHLOROPHYLLE</i>	111
3.1.2.3. <i>COMPOSANTES DU RENDEMENT, RENDEMENT ET INDICE DE RECOLTE</i>	112
3.2. <i>LIAISONS DES CARACTERES INTRA ET INTER GENERATIONS</i>	116
3.2.1. <i>LIAISONS EN F3</i>	116
3.2.2. <i>LIAISONS EN F4</i>	119
3.3. <i>ANALYSE DES EFFETS DIRECTS ET INDIRECTS PAR GENERATION</i>	122
3.3.1. <i>GENERATION F3</i>	122
3.3.2. <i>GENERATION F4</i>	123
3.4. <i>RESSEMBLANCE ENTRE APPARENTE</i>	124
3.4.1. <i>LIAISONS INTER GENERATIONS</i>	124
3.4.2. <i>REGRESSION PARENTS-DESCENDANTS</i>	124

<i>CHAPITRE IV. ANALYSE DE L'ADAPTABILITE DU BLE DUR AUX CONDITIONS SUD MEDITERRANEENNES.</i>	<i>127</i>
<i>1. INTRODUCTION</i>	<i>127</i>
<i>2. MATERIEL ET METHODES</i>	<i>129</i>
<i>2.1. MATERIEL VEGETAL, DISPOSITIF</i>	<i>129</i>
<i>2.2. ANALYSE DES DONNEES</i>	<i>129</i>
<i>2.2.1. L'ANALYSE DE LA VARIANCE</i>	<i>129</i>
<i>2.2.2. LES INDICES PARAMETRIQUES DE STABILITE</i>	<i>130</i>
<i>2.2.2.1. PARAMETRES BASES SUR LA REGRESSION CONJOINTE</i>	<i>130</i>
<i>2.2.2.1.1. LE MODEL DE FINLAY ET WILKINSON (1963)</i>	<i>130</i>
<i>2.2.2.1.2. LE MODEL D'EBERHART ET RUSSELL (1966)</i>	<i>130</i>
<i>2.2.2.2. PARAMETRES BASES SUR LA VARIANCE</i>	<i>131</i>
<i>2.2.2.2.1. LA VARIANCE ENVIRONNEMENTALE</i>	<i>131</i>
<i>2.2.2.2.2. LA VARIANCE DE SHUKLA (1972)</i>	<i>132</i>
<i>2.2.2.2.3. L'ECOVALENCE DE WRIKE (W_i^2)</i>	<i>132</i>
<i>2.2.2.2.4. L'INDICE DE SUPERIORITE (P_i)</i>	<i>132</i>
<i>2.2.2.2.5. LE MODEL D'ANNICCHIARICO</i>	<i>133</i>
<i>2.2.2.2.6. LE MODEL DE SCHMILDT</i>	<i>133</i>
<i>2.2.2.4. PARAMETRES MULTI VARIABLE</i>	<i>134</i>
<i>2.2.2.4.1. LA VALEUR DE STABILITE AMMI (ASV)</i>	<i>134</i>
<i>2.2.3. LES INDICES NON PARAMETRIQUES DE STABILITE</i>	<i>135</i>
<i>3. RESULTATS ET DISCUSSION</i>	<i>136</i>
<i>3.1. PERFORMANCE MOYENNE ET ANALYSE DE LA VARIANCE</i>	<i>136</i>
<i>3.2. LES INDICES PARAMETRIQUES DE STABILITE</i>	<i>138</i>
<i>3.2.1. STABILITE BASEE SUR L'ANALYSE DE LA REGRESSION CONJOINTE</i>	<i>138</i>
<i>3.2.2. STABILITE BASEE SUR L'ANALYSE DE LA VARIANCE</i>	<i>139</i>
<i>3.2.2.1. LA VARIANCE ENVIRONNEMENTALE</i>	<i>139</i>
<i>3.2.2.2. LA VARIANCE DE STABILITE DE SHUKLA</i>	<i>141</i>
<i>3.2.2.3. LE MODEL DE WRICKE</i>	<i>141</i>
<i>3.2.2.4. LE MODEL D'ANNICCHIARICO</i>	<i>142</i>
<i>3.2.2.5. LE MODEL DE SCHMILDT</i>	<i>143</i>
<i>3.2.2.6. L'INDICE DE SUPERIORITE (P_i)</i>	<i>144</i>
<i>3.2.3. L'INDICE D'ADAPTABILITE GEOMETRIQUE (GAI)</i>	<i>144</i>
<i>3.2.4. PARAMETRES MULTI VARIABLE</i>	<i>144</i>
<i>3.2.4.1. LE DES EFFETS MOYENS ADDITIFS ET L'INTERACTION MULTIPLICATIVE (AMMI)</i>	<i>145</i>
<i>3.2.4.2. LA VALEUR DE STABILITE AMMI (ASV)</i>	<i>149</i>
<i>3.3. LES INDICES NON PARAMETRIQUES DE STABILITE</i>	<i>150</i>
<i>3.3.1. LA MOYENNE DES DIFFERENCES DE RANG ABSOLU ($S_i(1)$) ET LA VARIANCE DES RANGS SUR LES M ENVIRONNEMENTS ($S_i(2)$)</i>	<i>150</i>
<i>3.3.2. LA DEVIATION RELATIVE PAR RAPPORT A LA MOYENNE DES RANGS ($S_i(3)$) DES GENOTYPES ET LA SOMME DES ECARTS ABSOLUS DES RANGS POUR CHAQUE GENOTYPE PAR RAPPORT LA MOYENNE DES RANGS ($S_i(6)$)</i>	<i>151</i>

3.4. <i>LES COEFFICIENTS DE CORRELATION ENTRE DIFFERENTS PARAMETRES DE STABILITE PARAMETRIQUES ET NON PARAMETRIQUES POUR LE RENDEMENT EN GRAINS DE SIX VARIETES DE BLE DUR.</i>	152
4. <i>CONCLUSION</i>	155
<i>CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVE</i>	156
<i>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</i>	159
<i>ANNEXE</i>	178

LISTE DES ABREVIATIONS

AGC	: Aptitude générale à la combinaison
AMMI	: Additive Main effects and Multiplicative Interaction
ANOVA	: Analyse of variance
ASC	: Aptitude spécifique à la combinaison
BIO	: Biomasse aérienne
Chl	: La teneur en chlorophylle
CIMMYT	: International Maize and Wheat Improvement Center
CM	: Carré moyen
CV	: Coefficient de variation
CVG	: Coefficient de variation génotypique
CVP	: Coefficient de variation phénotypique
DPV	: Durée de phase végétative
GGA	: Gain génétique attendu
HI	: Indice de récolte (harvest index)
ICARDA	: International Center for Agricultural Research in the Dry Areas
IGC	: Le conseil international des céréales, International Grain Council
INRAA	: Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie
IPCA	: Interaction principal components axe
ITGC	: Institut Technique des Grandes Cultures
LE	: Longueur de l'épi
MADR	: Ministère de l'agriculture et du développement rural
NE	: Nombre d'épi
NGE	: Nombre de grain par épi
NGM ²	: Nombre de grain au mètre carré
PE	: Poids des épis
PHT	: La hauteur de la plante
PMG	: Poids de 1000 grains
Rdt	: Rendement grain
SC	: Somme des carrés
SF	: Surface de la feuille étandard
TRE	: Teneur relative en eau
V _r	: variance de la descendance à parent constant
W _r	: Covariance entre les valeurs parentales et la descendance

LISTE DES FIGURES

N°	Titre de la figure	Page
1	Lieux de production, routes d'échanges et d'utilisation du blé dur dans le monde	4
2	Les effets géniques pour un locus donné	9
3	Parabole et droite de régression des W_r sur V_r de la durée de la phase végétative du demi-diallèle	11
4	Température moyenne et cumuls pluviométriques mensuels des campagnes d'étude 2012/13, 2013/14 et 2014/15 du site expérimental	38
5	Relation entre h^2_{ns} et h^2_{bs} des variables analysées	52
6	Droite de régression des W_r sur les V_r et courbe enveloppe $W_r^2=V_pV_r$ du poids des épis	68
7	Droite de régression des W_r+V_r sur les valeurs propres parentales du poids des épis	69
8	Droite de régression des W_r sur les V_r et courbe enveloppe $W_r^2=V_pV_r$ de la Biomasse totale	70
9	Droite de régression des W_r+V_r sur les valeurs propres parentales de la biomasse totale	71
10	Droite de régression des W_r sur les V_r et courbe enveloppe $W_r^2=V_pV_r$ du nombre d'épi	72
11	Droite de régression des W_r+V_r sur les valeurs propres parentales du nombre d'épis	72
12	Droite de régression des W_r sur les V_r et courbe enveloppe $W_r^2=V_pV_r$ du nombre de grains par épi	73
13	Droite de régression des W_r+V_r sur les valeurs propres parentales du nombre de grains par épi	74
14	Droite de régression des W_r sur les V_r et courbe enveloppe $W_r^2=V_pV_r$ du poids de 1000 grains	75
15	Droite de régression des W_r+V_r sur les valeurs propres parentales du poids de 1000 grains	75
16	Droite de régression des W_r sur les V_r et courbe enveloppe $W_r^2=V_pV_r$ de l'indice de récolte	76
17	Droite de régression des W_r+V_r sur les valeurs propres parentales de l'indice de récolte	77
18	Droite de régression des W_r sur les V_r et courbe enveloppe $W_r^2=V_pV_r$ du rendement en grains	78
19	Droite de régression des W_r+V_r sur les valeurs propres parentales du rendement en grains	78
20	Droite de régression des W_r sur les V_r et courbe enveloppe $W_r^2=V_pV_r$ de la teneur en chlorophylle	80
21	Droite de régression des W_r+V_r sur les valeurs propres parentales de la teneur en chlorophylle	81
22	Droite de régression des W_r sur les V_r et courbe enveloppe $W_r^2=V_pV_r$ de la durée de la phase végétative	82
23	Droite de régression des W_r+V_r sur les valeurs propres parentales de la durée de la phase végétative	82

24	Droite de régression des W_r sur les V_r et courbe enveloppe $W_r^2=V_pV_r$ de la surface de la feuille drapeau	83
25	Droite de régression des W_r+V_r sur les valeurs propres parentales de la surface de la feuille drapeau	84
26	Droite de régression des W_r sur les V_r et courbe enveloppe $W_r^2=V_pV_r$ de la hauteur de la plante	85
27	Droite de régression des W_r+V_r sur les valeurs propres parentales de la hauteur de la plante	86
28	Droite de régression des W_r sur les V_r et courbe enveloppe $W_r^2=V_pV_r$ de la longueur de l'épi	87
29	Droite de régression des W_r+V_r sur les valeurs propres parentales de la longueur de l'épi	88
30	Variabilité phénotypique de la durée de la phase végétative et de la hauteur de la végétation de la génération F3 du diallèle incomplet ($n_{F3} = 412$)	99
31	Variabilité phénotypique de la biomasse totale et du poids des épis de la génération F3 du diallèle incomplet ($n_{F3} = 412$)	100
32	Variabilité phénotypique de la surface de la feuille étendard et le contenu de la chlorophylle de la génération F3 du diallèle incomplet ($n_{F3} = 412$)	101
33	Variabilité phénotypique du nombre d'épis et le nombre de grain par épi de la génération F3 du diallèle incomplet ($n_{F3} = 412$)	103
34	Variabilité phénotypique de rendement grain et l'indice de récolte de la génération F3 du diallèle incomplet ($n_{F4} = 412$)	104
35	Variabilité phénotypique de la durée de la phase végétative et de la hauteur de la végétation de la génération F4 du diallèle incomplet ($n_{F4} = 420$)	107
36	Variabilité phénotypique de la biomasse aérienne et du poids des épis de la génération F4 du diallèle incomplet ($n_{F4} = 420$)	109
37	Variabilité phénotypique de la longueur des épis, la surface de la feuille étendard et du contenu en chlorophylle de la génération F4 du diallèle incomplet ($n_{F4} = 420$)	112
38	Variabilité phénotypique des composantes et du rendement en grains de la génération F4 du diallèle incomplet ($n_{F4} = 420$)	114
39	Variabilité phénotypique de l'indice de récolte de la génération F4 du diallèle incomplet ($n_{F4} = 420$)	115
40	AMMI 1 rendement grain moyen des géotypes et des environnements et leurs scores IPCA1	147
41	L'interaction $G \times E$ basée sur le biplot AMMI2 pour les deux axes IPCA1 et IPCA2	148

LISTE DES TABLEAUX

N°	Titre du tableau	Page
1	Superficies emblavées en blé dur dans le monde, moyennes de 10 ans	5
2	Moyennes décennales (2006-2015) de la production (tonnes) et du rendement à l'hectare (tonne/ha) du blé dur des principaux pays producteurs	6
3	Valeurs caractéristiques des paramètres des n parents du diallèle selon Hayman (1954)	10
4	Randomisation en plein champs des parents et des F2 issues d'un demi-diallèle à 6 parents	26
5	Squelette de la table de l'analyse de la variance du modèle additif adopté	29
6	Méthode II, modèle 1 de l'analyse des aptitudes générale et spécifique à la combinaison selon Griffing (1956)	31
7	Carrés moyens de l'analyse de la variance des variables mesurées des parents et de la génération F2 diallèle incomplet	39
8	Valeurs moyennes des caractères mesurés des parents et de la génération F2 diallèle incomplet	41
9	Composantes de la variation, coefficients de variation et gain génétique attendu, en valeurs absolue et en % de la moyenne des variables du diallèle incomplet	44
10	Coefficients de corrélation entre les différentes variables mesurées du diallèle incomplet (coefficients de corrélations génotypiques au-dessus de la diagonale et phénotypiques au-dessous de la diagonale)	45
11	Carrés moyens de l'analyse de la variance des aptitudes à la combinaison des caractères mesurés de la F2 diallèle incomplet	50
12	Composantes des variances d'AGC et ASC, Baker Ratio et héritabilité au sens étroit des caractères des F2 diallèle incomplet	51
13	Valeurs des effets d'aptitude générale à la combinaison des caractères mesurés de la F2 diallèle incomplet	54
14	Valeurs des effets d'ASC des caractères mesurés de la F2 diallèle incomplet	56
15	Test d'ajustement des données collectées au modèle d'additivité-dominance de par l'analyse de la régression des W_r sur les V_r et l'analyse de la variance des W_r+V_r et des W_r-V_r des différents caractères de la F2 diallèle incomplet	60
16	Valeurs des composantes génétiques des variables mesurées de la F2 diallèle incomplet	63
17	Coordonnées (W_r , V_r) et (W_D , V_D) des sujets extrêmes et valeurs Y_D et Y_R limites de la sélection à l'intérieure de la descendance du diallèle pour les caractères étudiés	69
18	Les différents paramètres statistiques pour l'analyse graphique	79
19	Valeurs moyennes, minimales, maximales, variances phénotypique, génotypique et environnementale, héritabilité au sens large (%), coefficients de variation (%) phénotypique et génotypique et la plus	105

	petite différence significative au seuil de 5% des variables mesurées de la génération F3 générée par le diallèle incomplet	
20	Valeurs moyennes, minimales, maximales, variances phénotypique, génotypique et environnementale, héritabilité au sens large (%), coefficients de variation (%) phénotypique et génotypique et plus petite différence significative au seuil de 5% des variables mesurées de la génération F4 générée par le diallèle incomplet	110
21	Coefficients de corrélation phénotypique entre les différents caractères en F3 diallèle incomplet	118
22	Coefficients de corrélation phénotypique entre les différents caractères en F4 du diallèle incomplet	121
23	Effets directs et indirect des variables mesurées sur le rendement en grains des générations F3 et F4 du diallèle incomplet.	123
24	Rendement grain moyen (g/m ²) et classement des six génotypes sur cinq années	137
25	Analyse de la variance combinée	138
26	Rendement grain moyen, les statistiques paramétriques et non paramétriques de l'analyse de la stabilité de six variétés de blé dur évaluées durant cinq campagnes agricoles dans la région de Sétif	140
27	L'indice environnemental	142
28	Les mesures du rendement grain, de l'écart type des valeurs de pourcentage du rendement comparées au moyen des environnements et de l'indice de confiance (ω_i) selon la méthodologie d'Annicchiarico (1992)	143
29	Les mesures du rendement grain, de l'écart type des valeurs de pourcentage du rendement comparées au moyen des environnements et de l'indice de confiance (ω_i) selon la méthodologie de Schmidt <i>et al.</i> , (2011)	143
30	L'analyse de la variance basée sur le model AMMI pour le rendement grain	145
31	Rendement moyen et scores IPCA1 et IPCA2 pour les 5 environnements	146
32	Classement des génotypes par environnement	149
33	Les quatre premières sélections AMMI par environnement	149
34	Les rangs des génotypes pour les indices non paramétriques	151
35	Les coefficients de corrélation de rang de Spearman entre différents paramètres de stabilité paramétrique et non paramétrique pour le rendement en grains de six variétés de blé dur	154

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Les blés sont les céréales les plus cultivées à l'échelle mondiale. Ils contribuent pour plus de 20 % de calories et de protéine dans l'alimentation humaine et sont utilisés par plus de 35% de la population du monde répartie dans plus de 40 pays (Curtis *et al.*, 2002). Le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) est la céréale la plus produite à travers le monde, alors que le blé dur (*Triticum durum* Desf.) occupe une place importante surtout dans les régions au climat de type méditerranéen (Moragues *et al.*, 2006 ; Schulthess *et al.*, 2013).

En Algérie, le blé dur est une culture ancestrale dont le produit constitue la base de l'alimentation de la population sous diverses formes notamment semoule et pâtes (Hannachi, 2013). La production algérienne, quoiqu'en augmentation, passant de 1,35 millions de tonnes, moyenne de la période en 2000-2008, à 2,1 millions de tonnes, moyenne de la période 2009-2015, est loin de couvrir les besoins du pays, estimés à 8 millions de tonnes par an (Benbelkacem, 2013 ; IGC, 2014). Le faible niveau des rendements explique en grande partie celui de la production, puisque les superficies allouées à cette culture varient peu dans le temps (Benbelkacem, 2013).

Les alternatives offertes pour augmenter la production de blé dur et ainsi diminuer de la dépendance de l'extérieur sont peu nombreuses, dont entre autres l'augmentation de la surface réservée à cette espèce au dépendant des autres céréales, l'intensification de l'itinéraire technique dont l'irrigation et l'amélioration génétique pour sélectionner des variétés plus tolérantes, mieux adaptées et plus productives (Hannachi, 2013 ; Rebulard, 2015).

L'augmentation des superficies est une solution improbable car la céréaliculture empiète déjà sur la zone d'isohyète 300 mm de pluie/an, limite supérieure de la steppe. La rareté de l'eau, dans un pays au climat essentiellement semi-aride, fait que le recours à l'irrigation, quoique ce soit une option séduisante, est peu envisagée puisque l'objectif actuel du gouvernement est d'atteindre 600 000 hectares irrigués en 2019 (MADR, 2016).

Trouver des géotypes qui possèdent la capacité de faire de meilleurs rendements semble être l'alternative la plus louable, la moins chère et à adoption rapide. La sélection de variétés, performantes et adaptées aux conditions pédoclimatiques qui prévalent, passe par le choix des géniteurs à croiser qui doivent générer une descendance très variable pour les caractères d'intérêts et à l'intérieure de laquelle la sélection aura plus d'emprise (Fellahi *et al.*, 2013a, 2016 ; Hannachi *et al.*, 2013a).

Le choix des géniteurs passe par l'étude des aptitudes à la combinaison, la nature des actions géniques, l'étude des liaisons inter caractères, le degré d'héritabilité, la réponse attendue de la sélection, et l'efficacité de la sélection précoce ou tardive (Bouzerzour, 1998 ; Benmahammed, 2005 ; Annicchiarico *et al.*, 2005 ; Salmi *et al.* 2015 ; Fellahi *et al.*, 2016 ; Hannachi *et al.*, 2017).

La connaissance de ces paramètres permet de faire un meilleur choix des parents à croiser, d'identifier les caractères à utiliser comme critères de sélection, de déterminer la ou les méthodes de sélection adéquates pour conduire les populations descendantes afin de réaliser le meilleur progrès possible et de pratiquer la sélection précoce ou tardive (Hannachi *et al.*, 2013b ; Fellahi *et al.*, 2015).

Cette recherche se fixe comme objectifs (1) l'étude des aptitudes à la combinaison d'une série de variétés contrastées croisées selon le dispositif diallèle incomplet, (2) d'analyser la variabilité et réponse à la sélection sur générations précoces et (3) d'étudier l'adaptabilité à un environnement variable, caractérisé par des stress abiotiques sévères.

CHAPITRE I

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I- REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1. ORIGINES GEOGRAPHIQUE ET GENETIQUE DES BLES

La région sud-ouest de l'Asie, en particulier les régions montagneuses du Croissant fertile entre la côte méditerranéenne à l'Ouest et la plaine du Tigre et de l'Euphrate à l'Est est le principal centre de diversité et d'origine du genre *Triticum*. Dans cette région, de nombreuses espèces de *Triticum*, diploïdes et polyploïdes sont très répandues et présentent une grande variation morphologique et écologique (Feldman et Sears, 1981). La domestication des différentes espèces de blé par l'homme du Néolithique s'est faite à l'intérieur du centre de répartition géographique des ancêtres sauvages du blé dans la zone du croissant fertile.

Les espèces de blé tirent leur origine génétique de croisements naturels entre *Triticum monococcum*, *Triticum urartu* et des espèces sauvages apparentées appartenant à *Aegilops* (*Aegilops spelta*). *Triticum monococcum* et *Triticum urartu* sont les premières formes de céréales cultivées, elles sont de constitution génomique $2n = 14$. On croit que le sud-ouest du Croissant fertile (nord-ouest de la Palestine, sud-ouest de la Syrie et sud-est du Liban) soit le centre de diversité du blé sauvage tétraploïde, *Triticum turgidum* ssp. *dicoccoides* Thell., et le lieu d'émergence du type primitif *Triticum turgidum* ssp. *dicoccum* Schrank ex Schübler (Feldman et Sears, 1981).

Le blé dur est un allo tétraploïde, de génome AABB, avec un total de 28 chromosomes ($2n = 4x = 28$). L'hybridation spontanée entre *T. dicoccum* ($2n = 4X$) (AABB) et *Triticum tauschii* Coss. ($2n = 2X$) (DD) ont abouti au *Triticum aestivum* L. ssp. *aestivum*. Cette hybridation s'est probablement produite dans l'ouest de l'Iran il y a 8000 ans, lorsque les premiers blés tétraploïdes cultivés (AABB) ont été introduits dans les régions où les blés sauvages diploïdes, détenant le génome D, étaient déjà cultivés (Feldman et Sears, 1981).

Le blé a probablement été domestiqué entre 10000 et 15000 avant JC., époque paléolithique, ce qui a déterminé l'évolution de l'homme de la phase chasseur-cueilleur à celle d'agriculteur. Le blé dur s'est diversifié dans trois

centres secondaires différents qui sont le bassin occidental de la méditerranée, le sud de la Russie et le Proche orient. Chaque centre secondaire donna naissance à des groupes de variétés botaniques avec des caractéristiques phénologiques, morphologique et physiologiques particulières (Bozzini 1988).

2. SUPERFICIES ET PRODUCTION DU BLE DUR

La production du blé dur (*Triticum turgidum* var. *durum* Desf.) ne représente que les 5% de la production totale du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) qui, au cours des 3 dernières années, a dépassé les 700 millions de tonnes (Faostat, 2015 ; IGC 2014). Contrairement au blé tendre qui est cultivé un peu partout de par le monde, la culture du blé dur est plutôt concentrée dans le pourtour méditerranéen, les plaines intérieures des USA, le Canada et le nord du Mexique, la Russie, le Kazakhstan, l'Australie, l'Inde et l'Argentine (Figure 1).

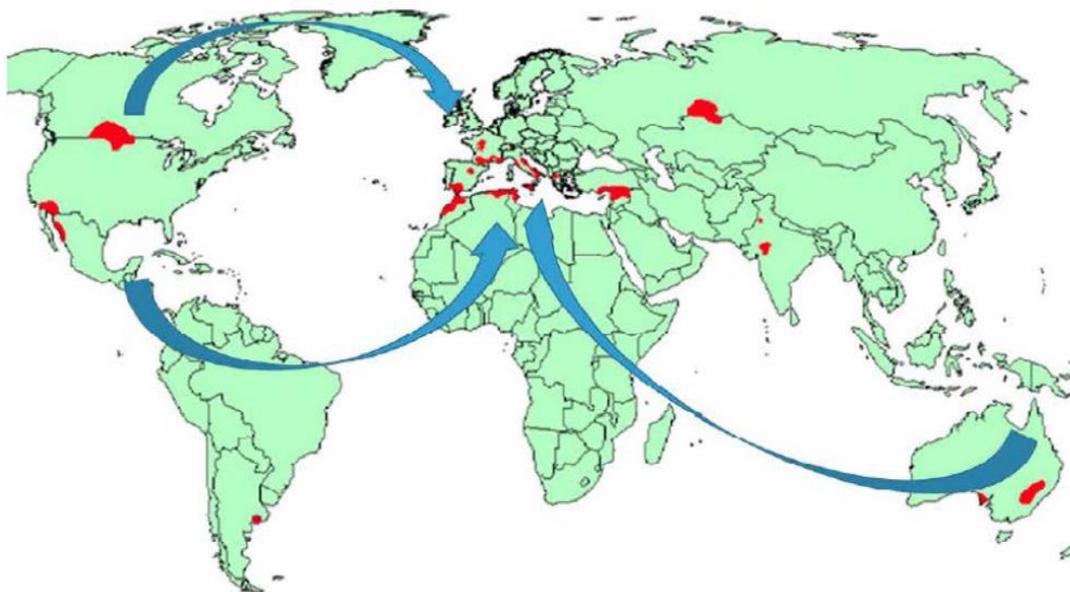


Figure 1. Lieux de production, routes d'échanges et d'utilisation du blé dur dans le monde (Ammar, 2015).

Historiquement la principale zone de culture du blé tétraploïde (*Triticum turgidum*, var. *durum* L.) est la région du pourtour de la méditerranée qui détient près 80 % des superficies emblavées (Royo *et al.*, 2009). La moyenne des superficies emblavées en blé dur, des 10 dernières années, de par le monde, est de 16.9 millions d'hectares ce qui représente 7.6% de la superficie totale réservée

à la culture des blés. Le Kazakhstan, le Canada, la Turquie, l'Italie et l'Algérie sont les pays qui représentent plus de 50 % de la superficie mondiale du blé dur (Tableau 1, Ammar, 2015).

La production du bassin méditerranéen varie considérablement car elle est dépendante de la pluie (Tableau 2, Ammar, 2015). En Afrique du Nord et en Europe du Sud, les rendements sont fortement influencés par la sécheresse. Les besoins en blé dur des pays du bassin méditerranéen sont supérieurs à ce qu'ils produisent ; ce qui fait que chaque année, plus de 5 millions de tonnes sont acheminés vers ces pays, venant pour la plupart des USA et du Canada. Parmi les pays de la Méditerranée, l'Italie est le principal producteur de blé dur avec une moyenne de 4,0 millions de tonnes. La Turquie, la France et l'Algérie suivent avec des moyennes, respectives, de 3.0, 2.0 et 2.0 millions de tonnes.

Tableau 1. Superficies emblavées, moyennes de 10 ans, en blé dur dans le monde (Ammar, 2015)

Pays	Superficie en ha	Pays	Superficie en ha
Kazakhstan	2 280 000	France	429 000
Canada	1 970 000	Mexique	311 000
Turquie	1 670 000	Chine	305 000
Italie	1 417 000	Australie	258 000
Algérie	1 264 000	Ethiopie	248 000
Maroc	982 000	Afghanistan	194 000
Etats Unis	933 000	Iran	175 000
Syrie	901 000	Pakistan	126 000
Inde	693 000	Irak	107 000
Tunisie	669 000	Argentine	89 000
Espagne	635 000	Arabie Saoudite	65 000
Russie	610 000	Egypte	46 000
Grèce	488 000	Chili	13 000

La qualité de ces productions varie considérablement en raison des conditions météorologiques ainsi que de la destination finale du blé dur. Pour le couscous et le bourghoul, les caractères de blé les plus importants sont la vitrosité et le poids spécifique tandis que pour la production de pâtes sont le taux des protéines, la force du gluten et la couleur. Par conséquent, les producteurs locaux de blé dur ainsi que les exportateurs accordent une attention particulière à la qualité. Le blé dur à teneur en protéines élevée est destiné à l'Europe, où

l'industrie des pâtes est le principal utilisateur et les lots de blé dur avec une qualité plus élevée atteignent les pays d'Afrique du Nord (Ranieri, 2015).

La deuxième grande zone de production est celle des plaines intérieures du nord de l'Amérique du Nord (USA et Canada). Vaste territoire de culture du blé dur qui comprend les Dakotas, le Montana, le Saskatchewan et l'Alberta. La production totale de blé dur, cycle de printemps, de ce territoire se situe chaque année entre 6.5 à 8.0 millions de tonnes. Le Canada est le plus gros producteur mondial de blé dur et la production annuelle varie entre 4,5 à 6 millions de tonnes (Ranieri, 2015).

Tableau 2. Moyennes décennales (2006-2015) de la production (tonnes) et du rendement à l'hectare (tonne/ha) du blé dur des principaux pays producteurs (Ammar, 2015).

Pays	Production	Rendement	Pays	Production	Rendement
Canada	4 493 000	2.30	Chine	1 245 000	4.10
Italie	4 281 000	3.04	Inde	1 060 000	1.55
Turquie	3 030 000	1.82	Grèce	991 000	2.03
Kazakhstan	2 400 000	1.04	Australie	470 000	1.82
Etats Unies	2 305 000	2.47	Afghanistan	386 000	1.99
France	2 070 000	4.83	Iran	339 000	1.93
Algérie	2 045 000	1.59	Pakistan	331 000	2.63
Syrie	1 962 000	2.15	Ethiopie	321 000	1.38
Mexique	1 772 000	5.67	Egypte	280 000	5.69
Maroc	1 452 000	1.46	K.S.A*	277 000	4.16
Russie	1 315 000	2.16	Irak	222 000	2.35
Espagne	1 287 000	2.03	Argentine	210 000	2.37
Tunisie	1 259 000	1.87	Chili	56 000	4.50

* Kingdom of Saudi Arabia

En Algérie, le blé dur occupe une place privilégiée suite à son utilisation dans l'alimentation quotidienne de la population, sous diverses formes (Mekhlouf *et al.*, 2006 ; Nouar *et al.*, 2010). Il est produit dans trois régions qui sont la zone littorale dont la pluviométrie est supérieure à 600 mm, les plaines intérieures, avec une pluviométrie de 450 à 600 mm et les hauts plateaux, avec 350 à 450 mm. La majorité de la sole réservée à la culture du blé dur est localisée à l'intérieur du pays, sur les hauts plateaux (Benbelkacem, 2013) où la culture est confrontée à plusieurs contraintes naturelles (sol et climat), techniques

(semences, pratiques culturales) et humaine (organisation et formation des producteurs).

La production est marquée par une forte irrégularité, elle-même conditionnée par les aléas climatiques. Le blé dur est semé sur 1,2 millions d'hectares avec une production moyenne qui oscille entre 1.5 à 2.0 millions de tonnes. La production nationale couvre 40% des besoins du pays, et représente 45% de la production totale des céréales alors que la production de l'orge représente plus de 28% suivi par 24% pour le blé tendre (Benbelkacem, 2013). Bien que la sole, emblavée en blé dur, soit relativement importante, au regard des superficies réservées à la céréaliculture et malgré d'indéniables progrès, les rendements demeurent faibles et très irréguliers comparativement à ceux réalisés par les pays méditerranéens de l'Europe. Afin de combler le déficit en produits céréaliers, l'Algérie recourt à des importations, à partir de la France, des Etats Unis, du Canada et de l'Argentine qui sont les principaux fournisseurs (Rastoin et Benabderrazik, 2014).

3. AMELIORATION GENETIQUE DU BLE DUR (*TRITICUM DURUM* DESF.)

3.1. VARIABILITE, AGC, ASC, ACTION GENIQUE, HERITABILITE ET REPONSE A LA SELECTION

3.1.1. VARIABILITE

Le processus de création de la variabilité commence par des croisements entre deux parents ou plus. Le choix des parents se fait sur la base de la performance et des caractéristiques agronomiques désirables qu'on cherche à regrouper chez la descendance et qui sont d'intérêts dans l'expression du rendement et de la qualité.

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. Fellahi *et al.* (2013a) mentionnent l'existence d'une grande variabilité phénotypique du contenu de la chlorophylle CCI et SPAD, et une bonne corrélation entre ces deux mesures.

Hamli *et al.* (2015), 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 et la présence de transgresseurs dans le sens désiré de la sélection.

3.1.2. METHODE GRIFFING D'ANALYSE DIALLELE

Parmi les méthodes d'analyse génétique qui déterminent la nature des actions géniques et les aptitudes à la combinaison, celle de Griffing (1956) est la plus usitée. Cette méthode d'analyse permet de déterminer les effets d'aptitude à la combinaison des premières générations F1, F2 voire F3 obtenu à partir d'un croisement diallele complet, avec p^2 combinaisons ou partiel avec $[(p(p-1)/2)]$ 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 de l'hétérozygote (Aa), à un locus donné, n'est pas significativement différente de la moyenne des deux homozygotes correspondants : $Aa = [(AA + aa)/2] = m$. 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, c'est-à-dire l'écart entre la valeur prise par l'hétérozygote (Aa) et celle du parent moyen (m) ou moyenne des homozygotes $(AA + aa)/2$. La dominance est de nature complète, lorsque la valeur moyenne de l'hétérozygote Aa est égale à la valeur moyenne du parent possédant dominant ($Aa = AA$). On est en présence de la dominance partielle ou incomplète lorsque la valeur de l'hétérozygote (Aa) se situe à mi-chemin 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) (Figure 2).

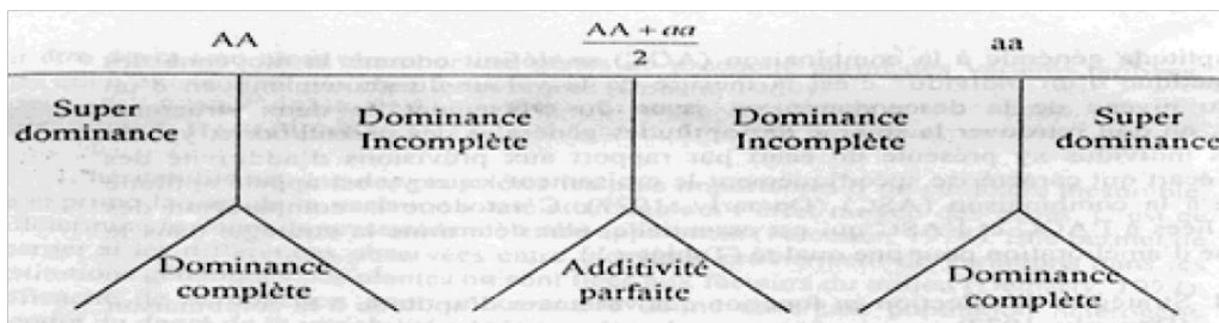


Figure 2. Les effets génétiques pour un locus donné (Acquaah, 2007).

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. Une AGC significative suggère que la sélection doit être basée sur les AGC des parents, alors qu'une ASC significative suggère au contraire qu'il faut réaliser des croisements en suite faire la sélection à l'intérieure de celles qui sont les plus intéressantes pour le caractère ciblé.

3.1.3. METHODE HAYMAN D'ANALYSE DIALLELE

Hayman (1954) a proposé une méthode d'analyse graphique qui permet d'extraire le maximum d'information sur les actions génétiques et les aptitudes à la combinaison d'un croisement diallele. Cette analyse est basée sur la relation existante entre les covariances (W_r) et les variances (V_r) correspondantes des n familles. 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 (Hayman, 1954). Une famille représente le parent constant et les croisements où il figure en combinaison avec les autres parents croisés. 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 3.

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 satisfaire les hypothèses restrictives du modèle d'analyse. 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 de coordonnées (V_r, W_r) sont situés (Hayman, 1954).

Tableau 3. Valeurs caractéristiques des paramètres des n parents du diallèle selon Hayman (1954)

	Parents croisés					
Paramètres	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆
X _i	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆
V _r	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆
W _r	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	W ₅	W ₆
W _r -V _r	W ₁ - V ₁	W ₂ - V ₂	W ₃ - V ₃	W ₄ - V ₄	W ₅ - V ₅	W ₆ - V ₆
W _r +V _r	W ₁ + V ₁	W ₂ + V ₂	W ₃ + V ₃	W ₄ + V ₄	W ₅ + V ₅	W ₆ + V ₆

Les points de coordonnées (V_r, W_r) sont alignés selon une droite de régression de pente $b = 1$ (Figure 2). 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'interaction génique. 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 (Figure 2). 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 V_r (Figure 3). Les parents qui portent autant de gènes dominants que de gènes récessifs sont proches du point dont les coordonnées sont $V_{r\text{bar}}$ et $W_{r\text{bar}}$.

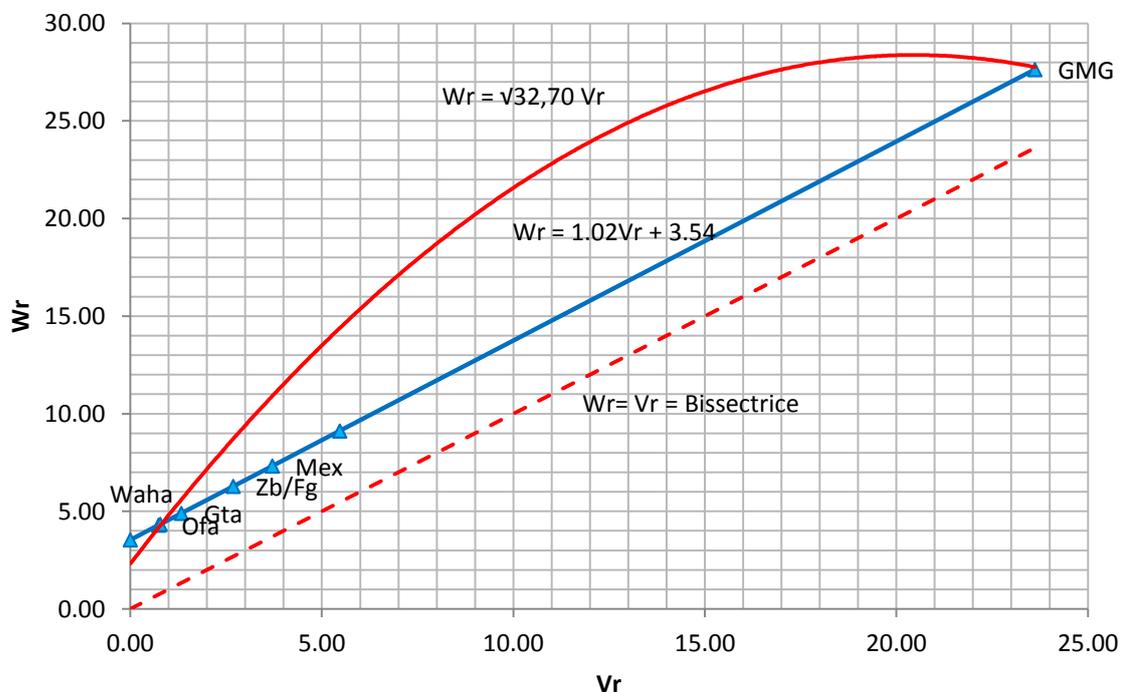


Figure 3. Parabole et droite de régression des W_r sur V_r de la durée de la phase végétative du demi-diallèle (Hannachi *et al.*, 2017).

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 sont homozygotes
- Les gènes sont distribués de manière indépendante chez les parents.

3.1.4. ACTIONS GENIQUES ET HERITABILITE

Kathiria et Sharma (1994) étudient l'aptitude à la combinaison du tallage herbacé et du poids de 1000 grains de 8 parents et de leurs 28 F₂, par la méthode de Griffing. Ils rapportent que les variances d'AGC et d'ASC étaient importantes dans le contrôle des deux caractères analysés. Ces auteurs identifient les parents qui sont de bons combineurs pour les deux caractères, et pour l'un ou l'autre des deux caractères analysés. Ils notent aussi que la plus part des F₂ qui présentent une ASC significative sont issues de croisements dont au moins un parent présente une AGC significative (Kathiria et Sharma, 1994).

Mann et Sharma (1994) analysent l'hérédité de 19 caractères de la F₂ d'un diallèle à 10 parents selon la méthode Griffing. Ils rapportent que les parents Raj 1432 et HD 2204 sont de bons combineurs pour le rendement en grains et des combineurs moyens pour les autres caractères analysés. Les F₂ Kharchia-65 x Chiroca, WL-711 x Chiroca, Brochis x Kharchia-65, Brochis x Rai-821 et Brochis x D-65, sont de bons combineurs spécifiques pour le rendement grain.

Mishra *et al.* (1994) notent la prépondérance d'effet additive des gènes contrôlant l'expression les caractères analysés à l'exception de la surface foliaire, de la biomasse aérienne et de l'indice de récolte. La variance due à l'ASC était significative pour la durée de la phase végétative, la hauteur de la plante et le rendement par plante, suggérant des effets non additifs importants.

Gorjanović et Kraljević-Balalić (2005), rapportent que les effets additifs et non additifs sont impliqués dans le contrôle génétique de la hauteur de la plante, le nombre d'épis, le poids de l'épi et le rendement épi, avec cependant une prépondérance des effets non additifs ou de dominance.

Les résultats de Mann *et al.* (1995) indiquent des effets d'AGC et d'ASC significatifs pour le rendement et l'indice de récolte en F₁ et F₂, suggérant l'importance des actions géniques de nature additive et non additive dans le contrôle génétique des caractères étudiés. Les parents qui présentent de bonne

aptitude à la combinaison pour le rendement et l'indice de récolte sont identifiés et sont suggérés comme candidats potentiels pour l'amélioration du rendement et de l'indice de récolte. Les combinaisons F2 présentant de bonne ASC sont identifiées comme résultants de croisement faisant intervenir au moins un parent de bonne valeur propre ou présentant une bonne aptitude à la combinaison.

Mann and Sharma (1994), à partir de l'analyse d'un croisement diallèle, notent que les parents croisés divergent significativement pour les aptitudes à la combinaison et que les populations F2 diffèrent également pour les aptitudes spécifiques à la combinaison. Les effets additifs et non additifs semblent être impliqués dans le contrôle des caractères analysés, avec cependant la prépondérance des effets additifs exception faite pour le tallage herbacé et le rendement grain qui sont sous contrôle génétique de nature non additif plus qu'additif.

Patil *et al.* (1995) ont étudié les effets d'aptitudes générale et spécifique à la combinaison et la variabilité de huit caractères quantitatifs d'un demi-diallèle à cinq parents. Les résultats indiquent que les variances additive et non additive jouent un important rôle dans l'hérédité des caractères étudiés. La composante additive était plus importante pour le rendement grain et les composantes, pouvant être une source génératrice de transgressions. De ce fait, un dispositif diallèle sélectif est une source potentielle de variabilité à l'intérieure de laquelle la sélection est plus opérante pour les caractères ciblés.

Abdel-Sabour *et al.* (1996), analysant 15 populations F2 de blé tendre issues d'un demi-diallèle à 6 parents pour la hauteur de la plante, la longueur des épis, le nombre de grains/épis, le rendement grain/plant et le poids de 1000 graines notent des différences d'AGC entre les parents et les environnements étudiés et des différences d'ASC entre combinaisons hybrides. L'ensemble des caractères analysés sont influencés par des effets additifs et de dominance. Les gènes mis en cause présentent des fréquences alléliques inégales, une distribution asymétrique

et un excès de gènes dominants que de gènes récessifs. L'héritabilité au sens étroit était faible pour tous les caractères, hormis le nombre de grains par épi.

Baric (1996) analyse les AGC et l'ASC de la hauteur de la plante, la longueur de l'épi, le nombre d'épillets par épi, le nombre de talles fertiles par plant, le poids et le nombre de grains par épi et par plant ainsi que le poids de 1000 grains. Les résultats indiquent des effets d'ASC significatifs pour la plupart des caractères mesurés, hormis la longueur de l'épi et le nombre d'épillets fertiles par épi. L'héritabilité au sens large variait de 0.208 à 0.784 pour le rendement grain et ses composantes, les valeurs les plus élevées sont présentées par le nombre de grains par plant et le poids de 1000 grains.

Zhan *et al.* (1996) analysent les AGC et l'ASC de 9 caractères qualitatifs d'un croisement diallèle de 8 parents. Ils observent des effets d'AGC et d'ASC significatifs ainsi que des valeurs élevées de l'héritabilité pour les caractères mesurés. Ces auteurs notent aussi que les valeurs propres parentales étaient un bon indicateur des effets d'AGC. Le rapport AGC / ASC était plus élevé pour l'indice de récolte suggérant la prépondérance d'effets génétiques de nature additifs et la possibilité d'une sélection précoce efficace sur la base l'indice de récolte.

Khan et Ali (1998) ont étudié l'aptitude à la combinaison de la hauteur de la plante, de la longueur de l'épi, le nombre d'épillets par épi, le poids des grains par épi et de la longueur du pédoncule d'un croisement diallèle complet à 5 parents de blé tendre. Les résultats montrent des effets d'AGC significatifs pour l'ensemble des caractères étudiés, à l'exception du nombre d'épillets par épi, suggérant une sélection basée sur l'AGC plutôt que sur l'ASC. Les effets d'ASC étaient significatifs uniquement pour la hauteur de la plante, le poids des graines par épi, la longueur du pédoncule et la longueur de l'épi.

Mehta *et al.* (1998) rapportent une héritabilité de valeur modérée pour la durée de la phase végétative, la hauteur de la plante et le nombre de grains par

épi, et élevée pour le poids de 1000 grains. Sur cette base ces auteurs concluent qu'une grande partie de la variabilité observée chez les caractères analysés est de nature génétique plus qu'environnementale et de ce fait la sélection précoce est proposée.

Singh *et al.* (2002) rapportent une prépondérance de la variance additive pour le nombre de grains par épi, le poids des épis, le poids de 1000 grains et le rendement par plante. Ces auteurs notent aussi que les valeurs propres parentales étaient étroitement liées aux effets d'AGC et que la plupart des croisements présentant des effets d'ASC significatifs avaient au moins un bon combineur comme parent.

Singh *et al.* (2003) ont étudié l'hérédité du rendement et des caractères liés de la progéniture F1 et F2 d'un demi-diallèle à 10 parents de blé tendre, dans trois environnements différents. Les résultats indiquent que les composantes additives (D) et de dominance (H1 et H2) étaient significatives, avec une prépondérance de la composante de dominance. L'excès d'allèles dominants chez les parents croisés est suggéré par la valeur prise par le paramètre F, la superdominance par le paramètre $(H1/D)^{1/2}$ et une distribution symétrique des gènes par le rapport $H2/4H1$, pour le nombre de jour à l'épiaison. Les valeurs de l'héritabilité varient de modérées à élevées. Dans l'ensemble ces résultats suggèrent que la sélection pour optimiser la durée de la phase végétative et maximiser le potentiel de rendement en grains peut se faire à partir des croisements de types biparentaux et/ou diallèles.

Murphy *et al.* (2008) étudient l'hérédité et la réponse à la sélection de la longueur de coléoptile des générations F1 à F4 d'un demi-diallèle à 7 parents de blé tendre. Leurs résultats indiquent des différences significatives d'AGC et d'ASC entre générations. Les valeurs prises par le ratio SCA/GCA diminuent de 0.15 à 0.04 entre la F1 et la F4, suggérant que les effets de nature additifs augmentaient avec le degré d'homozygotie du matériel végétal analysé. L'héritabilité au sens large restait au-dessus de la valeur de 0.60 au cours des générations F1 à F4.

Les coefficients de corrélation de rang de Spearman inter-génération étaient significatifs, suggérant l'absence de changements de rang des valeurs de la longueur de coléoptile d'un individu ou croisement donné, par rapport à un autre ou croisement, d'une génération à l'autre. Dans l'ensemble les résultats indiquent que les parents de bonnes valeurs propres pour la longueur du coléoptile présentent une AGC élevée et sont les géniteurs potentiels pour améliorer ce caractère.

Padhar *et al.* (2010) étudient l'hérédité du rendement en grains et des composantes d'un demi-diallèle à 12 parents de blé tendre conduit en semis tardif. Les résultats indiquent des carrés moyens des écarts d'AGC et d'ASC significatifs pour l'ensemble des variables soumises à l'analyse, en F1 et en F2, suggérant que les actions de nature additives et non additives sont impliquées dans le contrôle génétique des caractères ciblés.

Cependant les effets d'ASC de la plupart des caractères étaient plus importants en valeurs que les effets d'AGC, hormis ceux de la hauteur de la plante et de la longueur de l'épi des deux générations. Ceci suggère la prépondérance des effets de dominance. L'analyse des effets d'AGC montre que certains parents se présentent comme de bons combineurs en F1 et en F2, alors que d'autres ne le sont qu'en F1 ou en F2, et ceci pour un ou plusieurs caractères à la fois.

Les résultats de Padhar *et al.* (2010) indiquent aussi que certains croisements présentent de bonnes valeurs en combinaisons hybrides au cours des deux générations. Ces combinaisons hybrides sont issues de croisements faisant intervenir aussi bien des parents bons combineurs, un seul parent bon combineur ou les deux parents de faibles combineurs.

Ces résultats suggèrent selon Padhar *et al.* (2010) des effets d'interaction de nature additive x additive, additive x dominance et dominance x dominance dans l'hérédité des caractères analysés. Sur cette base les auteurs suggèrent que la sélection pédigrée ainsi que des croisements biparentaux suivis par la sélection

récurrente sont utiles pour générer la variabilité génétique et développer des variétés améliorées pour les caractères cibles.

Le contrôle génétique de la durée de la phase végétative d'une population F2 issue d'un croisement diallèle est de nature additif-dominance comme le mentionnent Singh et Chaudhary (2006). La composante additive (D) et les composantes de dominance (H1 et H2) étaient significatives, mais la composante de dominance était plus élevée en valeur, suggérant la prépondérance de la dominance dans le contrôle de ce caractère. 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 (Singh et Chaudhary, 2006). Le degré de l'héritabilité était moyen. Sur la base de ces résultats ces auteurs suggèrent d'utiliser des croisements biparentaux ou diallèles 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), rapporte 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, du rendement en grains, du poids des épis et du nombre d'épis, dont les valeurs de l'héritabilité sont faibles. Cet auteur 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), étudient le mode d'hérédité du rendement en grains, des composantes du rendement et des caractéristiques liées à la qualité

technologique du grain chez 10 parents et leurs F2. Ces auteurs 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 sur les 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.

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 était 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 de la durée de la phase végétative.

Golparvar *et al.* (2006) notent la présence de la superdominance dans l'expression des caractères mesurés sous stress hydrique chez le blé tendre. Ils 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 croisements simples 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.

Utilisant l'analyse graphique de Hayman, Khan et Habib (2003) mentionnent que la superdominance était 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. 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 impliqués 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.

3.2. SELECTIONS DIRECTE, INDIRECTE, PRECOCE ET TARDIVE

La sélection débute par le criblage de la génération F₂, issue de l'autofécondation des F₁. 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 en masse (bulk). Ce tri est fait sur la base des caractères à hérédité simple. Il est repris en F₃ à F₇, jusqu'à l'obtention d'un matériel végétal plus ou moins homogène où la ségrégation est très faible à nulle dans lequel la sélection directe pour le rendement est pratiquée.

La sélection directe pour le rendement a eu peu de succès, de sorte que les sélectionneurs cherchent d'autres caractères qui peuvent être plus efficaces dans

le processus de sélection. La sélection directe utilise le rendement lui-même comme base de sélection. La difficulté d'identifier et de caractériser les paramètres de la résistance au stress hydrique chez les plantes, à travers l'observation d'un caractère phénotypique complexe et de faible héritabilité, comme le rendement en conditions de déficit hydrique, a conduit à s'intéresser à la sélection indirecte qui 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 et al., 2011). L'inefficacité de la sélection directe s'explique par la présence de l'interaction génotype x environnement (Bouzerzour et Djekoun, 1998 ; Annicchiarico et al., 2005 ; Kadi et al., 2010 ; Meziani et al., 2011 ; Nouar et al., 2012 ; Haddad et al., 2016).

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. Ces résultats suggèrent que la sélection basée sur ces caractères est plus efficace pour améliorer indirectement le rendement que le rendement lui-même. Les caractères candidats à la sélection doivent avoir de la variabilité génétique, être fortement corrélés au rendement, aussi bien sous stress qu'en absence de ce dernier, et doivent avoir une héritabilité plus élevée que celle du rendement en grains (Richards *et al.*, 2002).

Giunta *et al.*, (2007), en analysant le progrès génétique du potentiel du rendement de 20 variétés de blé dur sélectionnées entre 1900 et 2000 et groupées selon la période de sélection, avant 1950, entre 1950 et 1973, et récente de 1974 à 2000, rapportent que le rendement grain des cultivars développés entre 1950 et 1976 était 39% supérieur à celui des anciennes variétés, mais de 18% inférieur à celui du matériel développé à partir de 1974. Le gain génétique est associé à la précocité, au nombre de grains produits par unité de surface emblavée, à l'indice de récolte et à l'azote total absorbé par la plante. La biomasse aérienne totale et le poids individuel du grain n'ont pas été affectés par la sélection.

3.3. ADAPTATION A L'ENVIRONNEMENT DE PRODUCTION

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 ; Salmi *et al.*, 2015 ; Fellahi *et al.*, 2016). 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 engendrée par la tolérance des stress des milieux de production. Mekhlouf *et al.* (2006) rapportent que les génotypes trop précoces courent le risque du gel tardif. Abbassenne *et al.* (1997) mentionnent que la tardiveté fait courir le risque du déficit hydrique et des hautes températures de fin de cycle.

Arega *et al.* (2007) rapportent que les génotypes précoces présentent des valeurs au-dessus de la moyenne générale pour le rendement en grains, la biomasse aérienne, le rendement économique, le rendement en paille et le nombre d'épis par m linéaire et une faible température de la canopée.

Ces résultats suggèrent que la précocité est un critère important pour l'adaptation à des milieux variables. Ils suggèrent aussi que la sélection doit cibler des génotypes tardifs à l'épiaison, pour éviter le gel tardif de printemps, et précoce à maturité pour minimiser les effets du déficit hydrique et des hautes températures présentes à maturité.

Selon Kadi *et al.* (2010) l'effet du milieu est plus prépondérant, expliquant jusqu'à 80% de la variation totale du rendement grain, comparativement à l'effet génotype (8%) et l'interaction (12%). La stabilité du comportement des génotypes, face à la variation des milieux, ou adaptabilité, est une caractéristique indispensable qui doit exister chez les nouvelles obtentions (Benmahammed *et al.*, 2010 ; Haddad *et al.*, 2016).

Comparant les performances temporelles des nouvelles obtentions Waha et Bousselam à ceux de la variété locale MBB, Nouar *et al.* (2010) rapportent que

Waha et Bousselam ont généré un gain de rendement en grains significatif mais variable selon les campagnes. Dans les cas les plus défavorables, Waha et Bousselam présentent un rendement équivalent à celui du cultivar local MBB (Nouar *et al.*, 2010). Ces résultats suggèrent que l'interaction est de nature quantitative et non de type cross over.

La hauteur de la plante est une importante caractéristique d'adaptation aux contraintes de l'environnement. Une hauteur élevée induit la production d'une biomasse importante, ce qui est désirable, mais ceci au détriment du rendement en grain, suite à un faible indice de récolte (Subira *et al.*, 2016). A l'inverse une réduction importante de la hauteur de la végétation, certes améliore le nombre d'épis, et le rendement mais ceci se fait au détriment de la longueur du système racinaire et la production de la paille (Hurd, 1974, Subira *et al.*, 2016).

La capacité de faire une biomasse aérienne élevée est une autre caractéristique d'adaptation aux environnements variables. Bensemene *et al.* (2011) mentionnent que la meilleure adaptation des ogres à 6 rangs est liée la production d'une biomasse aérienne, d'un poids des épis et d'un nombre de grains par m² élevés. 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 qui cumulent les gènes favorables à l'expression du nombre d'épis, et de la biomasse aérienne. Belkherchouche (2015) suggère que pour maximiser l'appel des assimilât 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, du poids spécifique et de la longueur du dernier entrenœud et du col de l'épi. La sélection de tels caractères contribue à cumuler chez les génotypes identifiés le potentiel de rendement et l'adaptation aux conditions sèches méditerranéennes.

CHAPITRE II

***ANALYSE GENETIQUE D'UNE POPULATION F₂ DIALLELE DE BLE DUR
(Triticum durum DESF.) : APPLICATION DES METHODES HAYMAN ET
GRIFFING***

CHAPITRE II- ANALYSE GENETIQUE D'UNE POPULATION F2 DIALLELE DE BLE DUR (TRITICUM DURUM DESF)

1. INTRODUCTION

L'amélioration génétique du rendement en grains est conditionnée par la disponibilité de la variabilité pour les caractères qui en sont les déterminants (Annicchiarico *et al.*, 2005 ; Fellahi *et al.*, 2013b ; Hannachi *et al.*, 2013a). 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 l'importance des effets des gènes contrôlant l'expression des caractères déterminants le rendement en grains est primordial dans un programme de sélection. Ceci éclaire sur le choix des lignées parentales à croiser et détermine la méthode de sélection la plus efficace pour cribler et gérer les populations en ségrégations sous sélection (Hannachi *et al.*, 2013a ; 2017 ; Fellahi *et al.*, 2015 ; 2016 ; Oulmi *et al.*, 2015 ; Hamli *et al.*, 2015 ; Salmi *et al.*, 2015).

Le dispositif diallele est une approche classique très utilisée en génétique pour obtenir des informations concernant l'hérédité des caractères quantitatifs. L'aptitude générale à la combinaison (AGC) désigne la performance moyenne d'un parent dans une série de combinaisons hybrides. Le terme aptitude spécifique à la combinaison (ASC) définit la performance d'une combinaison spécifique dans un croisement particulier. L'aptitude générale à la combinaison est associée à des effets géniques additifs, alors que l'aptitude spécifique est liée à des effets géniques de dominance et épistatiques ou d'interactions géniques.

Les études des AGC et ASC, déterminés par la méthode de Griffing (1956), permettent de classer les lignées parentales en fonction de leurs performances *per se* et en combinaisons hybrides. Ceci permet de sélectionner les parents qui induisent la variabilité et donnent, en croisements, une descendance supérieure pour les caractères ciblés par la sélection (Cruz et Regazzi, 1994).

L'estimation des paramètres statistiques peut être obtenue par la méthode de Hayman (1954). Cette méthode est basée sur d'analyse des variances et des covariances pour déduire les effets additifs et de dominance, impliqués dans l'hérédité des caractères étudiés (Farshadfar *et al.*, 2011 ; Fellahi *et al.*, 2016 ; 2017 ; Hannachi *et al.*, 2013a ; 2017).

Selon Singh et Chaudhary (2006) l'additivité-dominance est impliquée dans le contrôle génétique de la durée de la phase végétative, avec un excès d'allèles dominants chez les parents et une distribution symétrique des gènes. Les effets d'AGC et d'ASC significatifs, avec prédominance de la dominance, sont observés dans l'expression de la biomasse, le rendement, le poids des épis et le nombre d'épis, suggérant de retarder la sélection de ces caractères jusqu'à l'obtention d'un matériel végétal plus fixé (Hannachi, 2013).

Les résultats concernant l'hérédité des caractères quantitatifs sont variables selon le type de matériel végétal croisé, les conditions expérimentales et les générations analysées. Ainsi la prépondérance de la dominance est rapportée pour plusieurs caractères agronomiques d'une population F2 diallèle par Joshi *et al.* (2004) ; Kashif et Khaliq (2003) ; Khan et Habib (2003) ; Rahman *et al.* (2003) ; Akram *et al.* (2004), ainsi que Golparvar *et al.* (2006).

Au contraire la prépondérance des effets additifs est rapportée par Kashif et Khaliq (2003), Mahmood *et al.* (2003) et Rathod *et al.* (2008). Ceci suggère la réalisation de croisements biparentaux entre parents de bonne aptitude à la combinaison pour créer la variabilité, à l'intérieure de laquelle la sélection directe précoce, peut être pratiquée pour isoler les lignées transgressives pour les caractères ciblés. La présence d'effets additifs et de dominance est rapportée par Rabbani *et al.* (2009), Farooq *et al.* (2010), Fellahi (2013) et Fellahi *et al.* (2013a ; 2015 ; 2016 ; 2017) pour plusieurs caractères agronomiques en F1 aussi bien qu'en F2 diallèle.

La divergence des résultats semble avoir pour cause l'effet lieux, matériel végétal étudié et l'interaction entre ces deux facteurs. De telles études doivent donc être menées dans chaque environnement et pour un germoplasme donné. De

ce fait l'objectif de la présente étude est d'analyser l'hérédité des caractères agromorpho-physiologiques d'une F2 d'un demi diallèle à 6 parents selon la méthode de Griffing (1956) et celle de Hayman (1954).

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. SITE, MATERIEL VEGETAL ET DISPOSITIF EXPERIMENTAL

L'expérimentation a été conduite sur le site expérimental (36°15' N, 5°37' E, 981 m) de l'unité de recherche INRAA de Sétif au cours de la campagne 2012/13. Le climat de la région du site expérimental est de type méditerranéen, continental, semi-aride, caractérisé par un été chaud et sec, un hiver froid, une pluviométrie irrégulière, des gelées printanières très fréquentes et des vents chauds et desséchants en fin de cycle des céréales. Le sol a une texture argileuse. Le taux de matière organique est faible. Le calcaire total est de 35 %. Le pH est basique prenant une valeur moyenne de 8.2 (Chennafi *et al.*, 2006).

Le matériel végétal est constitué de la F2 issue d'un demi-diallèle réalisé au niveau de la Station Expérimentale Agricole de Sétif, au cours de la campagne 2010/11 entre 6 géotypes de blé dur (Hannachi *et al.*, 2013a). Ces variétés sont Waha, Zenati-Bouteille/Flamingo, Mexicali₇₅, Ofanto, Gaviota durum et Guemgoum Rkhem. La description des variétés parentales est faite par Hannachi (2013). Elle est reprise ici succinctement. Waha est une variété à paille relativement courte, précoce d'épiaison, très productive, qui présente une forte sensibilité au gel tardif (Mekhlouf *et al.*, 2006).

Zenati Bouteille/Flamingo est une variété de précocité équivalente à celle Waha, elle est plus haute de paille, mais moins productive. Mexicali₇₅ est une variété très précoce, de taille moyenne, elle est très productive, mais craint le gel tardif. Ofanto est une variété introduite dans le cadre du projet de coopération ITGC-IAO. Elle est très productive, mais irrégulière dans le temps.

Gaviota durum 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 (Annicchiarico *et al.*, 2005).

Guemgoum Rkhem est une sélection généalogique d'une population locale de blé dur de la région de Tiaret (Hannachi, 2013).

La semence de la génération F2 a été produite en 2011/2012. Durant la campagne 2012/2013, les six parents et la génération F2 ont été semés dans un dispositif en blocs avec trois répétitions (Tableau 4). Chaque croisement F2 ainsi que les parents sont semés manuellement, sur un rang de 10 m de long, avec un espace inter rangs de 30 cm. L'espace entre graines sur le rang est de 15 cm.

L'essai a été fertilisé avec 100 kg/ha de superphosphate avant le semis et 70 kg/ha d'urée à 46% au stade tallage. Le désherbage chimique est effectué, juste après l'apport de l'engrais azoté, avec un herbicide anti-dicotylédones, Sekator [100 g/L Amidosulfuron + 25 g/L lodosulfuron + 250 g/L Mefenpyr diéthyl] à raison de 0.15 L/ha, et un herbicide anti-graminées, Dopler plus () [20 g/L de Fenoxaprop-P-ethyl + 250 g/L de Diclofop-methyl + 40 g/L Mefenpyr-diethyl] à raison de 2 L/ha.

Tableau 4. Randomisation en plein champs des parents et des F2 issues d'un demi-diallèle à 6 parents.

Ordre	Parent/F2	Abréviation	Rép I	Rép II	Rép III
1	Waha	P1	1	31	60
2	Waha//ZB/Fg	F2 ₁₂	2	39	49
3	Waha//Mexicali ₇₅	F2 ₁₃	3	42	59
4	Waha//Ofanto	F2 ₁₄	4	30	50
5	Waha//Gta dur	F2 ₁₅	5	32	58
6	Waha //Guemgoum Rkhem	F2 ₁₆	6	22	48
7	Zenati Bouteille/Flamingo	P2	7	40	57
8	ZB/Fg//Mexicali ₇₅	F2 ₂₃	8	33	51
9	ZB/Fg//Ofanto	F2 ₂₄	9	29	56
10	ZB/Fg//Gta dur	F2 ₂₅	10	38	43
11	ZB/Fg//Guemgoum Rkhem	F2 ₂₆	11	34	55
12	Mexicali ₇₅	P3	12	23	47
13	Mex ₇₅ /Ofanto	F2 ₃₄	13	35	62
14	Mex ₇₅ /Gta dur	F2 ₃₅	14	28	52
15	Mex ₇₅ /Guemgoum Rkhem	F2 ₃₆	15	36	44
16	Ofanto	P4	16	24	61
17	Ofanto/Gta dur	F2 ₄₅	17	37	53
18	Ofanto/Guemgoum Rkhem	F2 ₄₆	18	27	63
19	Gaviota durum	P5	19	25	45
20	Gta dur/Guemgoum Rkhem	F2 ₅₆	20	41	54
21	Guemgoum Rkhem	P6	21	26	46

2.2. MESURES ET NOTATIONS

Les notations et mesures ont porté sur les caractéristiques suivantes : la durée de la phase végétative (DPV), en nombre de jours calendaires comptés à partir du 1^{ier} janvier à la date de sortie de 50% des épis, de moitié, hors de la gaine de la feuille étandard. La hauteur de la plante (PHT) est mesurée à la récolte. Elle est prise en cm du sol jusqu'à la pointe de l'épi, barbes non incluses.

La surface de la feuille étandard est estimée selon Spagnoletti-Zeuli et Qualset (1990). Elle est égale au produit de la longueur de la feuille par sa plus grande largeur, mesurées sur un échantillon de 5 feuilles étendars prises au hasard au stade épiaison multiplié par un coefficient. $SF (cm^2) = 0,607(L \times l)$ où SF est la surface foliaire, 0.607 est le coefficient de régression de la surface estimée à partir du papier grammage sur celle déduite par le produit (L × l), L et l sont la longueur et la largeur de la feuille moyenne.

La longueur de l'épi du maitre brin (LE) de 5 plants a été mesuré en centimètre (cm) de la base de l'épi jusqu'au sommet en excluant les barbes.

La teneur relative en eau (TRE) a été mesurée au début d'épiaison sur la dernière feuille entièrement développée pour déterminer l'état hydrique des plantes. 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 distillée, à l'abri de la lumière à la température ambiante du laboratoire pendant 4 heures, pour atteindre l'état turgide.

La feuille est à nouveau pesée, après avoir pris soin de l'essuyer de l'excès d'eau avec du papier buvard, pour obtenir le poids turgide (PT, mg). L'échantillon est enfin mis à sécher dans une étuve, à 65°C pendant 16 heures afin de déterminer le poids sec (PS, mg). Les valeurs de la teneur relative en eau sont calculées à partir de la formule : $TRE (\%) = \left[\frac{PF-PS}{PT-PS} \right] \times 100$

La teneur en chlorophylle de la feuille étendard a été mesurée au stade épiaison avec le chlorophylle- mètre de marque SPAD- 502 (MINOLTA, Osaka, Japon) à raison de cinq lectures par génotype, dont la moyenne est analysée. Le nombre d'épis par plant (NE), de grains par épi (NGE), le poids de mille grains (PMG), le rendement par plant (RDT), le poids des épis (PE), le poids de la plante (BIO), et l'indice de récolte (HI) ont été déterminés à la récolte par plant pour les F2 et les lignées parentales.

2.3. ANALYSE DES DONNEES

2.3.1. ANALYSE DE LA VARIANCE ET CORRELATIONS

Les données prises des trois répétitions sont traitées par l'analyse de la variance d'un dispositif en blocs, utilisant le logiciel CROPSTA 7.2.3 (2007), selon le modèle additif suivant :

$$Y_{ijk} = \mu + g_i + b_j + e_{ijk}$$

Où : Y_{ijk} = valeur prise par la variable mesurée associée au génotype i , du bloc j , de la parcelle élémentaire k ,

μ = moyenne générale de la variable mesurée du diallèle,

g_i = effet du génotype i ,

b_j = effet du bloc j ,

e_{ijk} = erreur résiduelle associée au génotype i , du bloc j , de la parcelle élémentaire k .

Le squelette de la table de la variance d'un tel modèle est indiqué au tableau 5 (Steel et Torrie, 1982). Lorsque le test F est significatif, il indique des différences significatives entre génotypes pour la variable mesurée. La signification de la différence entre les génotypes est testée par rapport à la valeur de la plus petite différence significative au seuil de 5% ($P_{pds5\%}$) qui est calculée, selon Steel et Torrie (1982), comme suit :

$$Ppds5\% = t5\% \sqrt{\frac{2\sigma^2e}{b}}$$

$t_{5\%}$: est la valeur du t de table au seuil de 5% pour les degrés de liberté de la résiduelle. σ^2e : est la résiduelle de l'analyse de la variance de la variable considérée, b : est le nombre de blocs.

Tableau 5. Squelette de la table de l'analyse de la variance du modèle additif adopté.

Source de variation	Ddl	CME	Test F	Espérances moyennes
Bloc	b-1	M1		-----
Génotype	g-1	M2	M2/M3	$\sigma^2e + b\sigma^2g$
Résiduelle	(g-1)(b-1)	M3		σ^2e

Les variances génétique (σ^2g) et phénotypique (σ^2p) sont déduites des espérances moyennes portées au tableau 5, comme suit :

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

Les coefficients de la variabilité phénotypique (CVP, %) et génotypique (CVg, %) sont calculés selon Singh et Chaudhary (2012) :

$$CVp(\%) = 100 \left(\frac{\sqrt{\sigma^2p}}{x_{\text{bar}}} \right) \quad \text{et} \quad CVg(\%) = 100 \left(\frac{\sqrt{\sigma^2g}}{x_{\text{bar}}} \right)$$

Où x_{bar} est moyenne du caractère considéré

Les valeurs des CVG et CVP sont classées comme faibles pour les valeurs incluses entre 0 et 10% ; moyennes pour celles incluses entre 11 et 20%, et élevées pour les valeurs au-delà de 21%, comme suggéré entre autres par Deshmukh *et al.* (1986).

L'héritabilité au sens large (h^2bs) et au sens étroit (h^2ns) sont déterminées comme suit selon Acquaah (2007) :

$$h^2bs = \frac{\sigma^2G}{\sigma^2p}$$

et

$$h^2ns = \frac{\sigma^2_A}{\sigma^2_p}$$

La variance additive (σ^2_A) est déduite des carrés moyens des écarts de l'analyse des aptitudes à la combinaison, proposée par Griffing (1986), comme suit : $\sigma^2_{AGC} = (CME_{AGC} - CME_{ASC}) / (n+2)$ où n est le nombre de parents inclus dans le dispositif diallèle et $\sigma^2_A = 2\sigma^2_{AGC}$.

L'héritabilité au sens large est classée comme faible pour des valeurs incluses entre 0 et 40%, moyenne pour des valeurs incluses entre 41 et 59%, modérément élevée, pour des valeurs comprises entre 60 à 79% et très élevée, pour des valeurs au-delà de 80%, comme suggéré par Singh (2001).

Le gain génétique attendu (GGA) est calculé selon Allard (1960) :

$$GGA = K \times h^2bs \times \sigma p$$

Avec GGA : le gain génétique attendu, K : coefficient de sélection qui est égale à 2.06 au seuil de 5% de probabilité. h^2bs : L'héritabilité et σp : L'écart type de la variance phénotypique. Le gain génétique attendu est exprimé par rapport à la moyenne du caractère comme suit : $GGA(\%) = \frac{GA}{\bar{x}} \times 100$, où \bar{x} : moyenne générale du caractère.

Le degré d'association des caractères mesurés est déterminé suite au calcul des coefficients de corrélations phénotypiques. Les coefficients de corrélations sont déterminés par la formule suivante : $r(xy) = cov(xy) / \sqrt{(\sigma^2_x \times \sigma^2_y)}$, où $r(xy)$ = Coefficient de corrélation, $cov(xy)$ = Covariance des xy, σ^2_x = variance des valeurs prises par la variable x et σ^2_y = variance des valeurs prise par la variable y.

La signification de la valeur observée prise par le coefficient de corrélation r est déduite par comparaison avec les valeurs seuils de la table avec n-2 degré de liberté au seuil de 5% et 1% de probabilité.

2.3.2. ANALYSE DES APTITUDES A LA COMBINAISON DE GRIFFING (1956)

Les données concernant les génotypes parentales et leurs descendances F_2 sont analysées selon le modèle I, méthode 2 de Griffing pour estimer les effets d'aptitude générale (AGC) et spécifique à la combinaison (ASC) (Tableau 6). Le modèle additif de l'analyse de la variance, selon Griffing (1956) est le suivant :

$$X_{ij} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + \frac{1}{bc} \sum_c \sum_l e_{ijkl}$$

μ = moyenne de la population estimée par la moyenne générale de l'essai

g_i = effet de l'AGC du parent i

g_j = effet de l'AGC du parent j

s_{ij} = effet de l'aptitude spécifique à la combinaison de l'hybride des parents i et j

e_{ijkl} = erreur résiduelle.

Tableau 6. Méthode II, modèle 1 de l'analyse des aptitudes générale et spécifique à la combinaison selon Griffing (1956).

Source	ddl	SCE	CM	Espérances moyennes
AGC	$n-1$	$\frac{1}{n+2} \left[(\sum_i X_i + \sum_{ii} X_{ii})^2 - \frac{4}{n} X^2_{..} \right]$	CM_g	$\sigma^2 + (p+2) \left(\frac{1}{p-1} \right) \sum g_i^2$
ASC	$\frac{n(n-1)}{2}$	$\sum \sum X^2_{ij} - \frac{1}{n+2} \sum (\sum_i X_i + \sum_{ii} X_{ii})^2 + \frac{2}{(n+1)(n+2)} X^2_{..}$	CM_s	$\sigma^2 + \frac{2}{p(p-1)} \sum_i \sum_j s_{ij}^2$
Erreur	$\left[\frac{n(n+1)}{2} - 1 \right] (r-1)$	$\frac{SCE_{Totale} - SCE_{Trait} - SCE_{Rep}}{r}$	CM^e	$\sigma^2 e$

AGC = aptitude générale à la combinaison, ASC = aptitude spécifique à la combinaison, ddl = degré de liberté, SCE = Somme des carrés des écarts, CM = Carré moyen, $CM^e = CM^e/b$ avec b le nombre de bloc, CM^e = carré moyen erreur, calculée par l'analyse de la variance des moyennes du caractère étudié. $X_{..}$ = somme des valeurs de toutes les combinaisons hybrides et des valeurs parentales, X_i = somme des valeurs de toutes les combinaisons du parent i, X_j = somme des valeurs de toutes les combinaisons du parent j, X_{ii} ou X_{jj} = somme des valeurs des parents i (j)

La moyenne générale du diallèle du caractère analysé est estimée par :

$$\mu = \frac{1}{p^2} X_{..},$$

L'effet d'AGC du parent i est estimé par :

$$g_i = \frac{1}{p+2} \left(X_{i.} + X_{ii} - \frac{2}{p} X_{..} \right),$$

où $\sum_i g_i = 0$.

L'effet d'ASC de la combinaison hybride ij est estimé par

$$S_{ij} = X_{ij} - \frac{1}{p+2} (X_{i.} + X_{ii} + X_{.j} + X_{jj}) + \frac{2}{(p+1)(p+2)} X_{..}$$

$$\text{où } \sum_i s_{ij} + s_{ii} = 0.$$

L'erreur standard des effets d'AGC et d'ASC et le test de signification des différences entre chaque pair g_i et chaque paire s_{ij} sont estimés comme suit :

$$\begin{aligned} SE_{(g_i)} &= \sqrt{\left[\frac{(p-1)}{p(p+2)} \times CM'e \right]} & SE_{(g_i-g_j)} &= \sqrt{\left[\frac{2}{p+2} \times CM'e \right]} \\ SE_{(s_{ij})} &= \sqrt{\left[\frac{p^2+(p+2)}{(p+1)(p+2)} \times CM'e \right]} & SE_{(s_{ij}-s_{ik})} &= \sqrt{\left[\frac{2(p-2)}{p+2} \times CM'e \right]} \end{aligned}$$

Le test t est utilisé pour tester la signification de chaque g_i ou s_{ij} ,

$$t_i = \frac{g_i}{SE_{(g_i)}} \text{ avec } p-1 \text{ ddl} \quad t_{ij} = \frac{S_{ij}}{SE_{(s_{ij})}} \text{ avec } p(p-1)/2 \text{ ddl}$$

Les variances d'aptitude à la combinaison sont estimées par les formules suivantes :

La variance de l'aptitude générale à la combinaison σ^2_{AGC} :

$$\sigma^2_{AGC} = \frac{(CMg - CM'e)}{(p+2)}$$

La variance de l'aptitude spécifique à la combinaison σ^2_{ASC} :

$$\sigma^2_{ASC} = (CMs - CM'e)$$

La variance de l'erreur σ_e^2 :

$$\sigma_e^2 = CM'e$$

Le ratio de Baker (Baker 1978) a été calculé comme suit : $2CM_{AGC} / (2CM_{AGC} + CM_{ASC})$.

2.3.3. ANALYSE GENETIQUE DE HAYMAN (1954)

La méthode de Hayman est basée sur le model d'additivité-dominance, elle fournit un maximum d'informations sur le déterminisme génétique des caractères des parents croisés. Deux tests sont généralement appliqués pour tester la validité de ce modèle.

Le premier test est basé sur l'analyse de la variance de la somme et de la différence des covariances et variances ($W_r + V_r$ et $W_r - V_r$), alors que le second test est basé sur la régression des W_r sur les V_r . Un effet génotype de la ($W_r + V_r$) et/ou de la ($W_r - V_r$) non significatif indique que les résultats de l'analyse suivent les hypothèses restrictives.

Il en est de même si le coefficient de régression des W_r sur les V_r est égal à l'unité. Dans le cas contraire au moins une des hypothèses restrictives n'est pas respectée (Mather and Jinks, 2013).

La méthode Hayman est constituée de deux parties complémentaires, l'une purement numérique permet de déduire les paramètres génétiques et l'autre graphique permet de visualiser le comportement de la descendance en relation avec celle des parents

2.3.3.1. DETERMINATION DES PARAMETRES GENETIQUES

Les composantes génétiques de la variation ont été calculées d'après Hayman (1954), Singh et Chaudhary (2006) et Sharma (2008) pour la génération F_2 . L'abréviation adoptée est celle de Hayman (1954), reprise par Singh et Chaudhary (2006) est qui est la suivante :

V_r = variance de la descendance à parent constant

W_r = Covariance entre les valeurs parentales et la descendance

$V_p = V_{OL0}$ = variance des valeurs parentales

$W_r^2 = V_{ri} \times V_{OL0}$ = équation de la parabole limite

b_{w_r/v_r} = Coefficient de régression des W_r sur les V_r

a = Ordonnée à l'origine de la régression des W_r sur les V_r

$V_{1L1} = V_{r_{bar}}$ = Moyenne de toutes les V_r

$W_{0L01} = W_{r_{bar}}$ = Moyenne de toutes les 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).

Les paramètres génétiques déterminés sont les suivants :

La variance additive (D) :

$$D = V_{OL02} - E ,$$

Avec : $V_{OL02} = V_p$, variance des parents et E = variance environnementale.

La variance des effets dominants des gènes (H1) :

$$H1 = 4V_{OL0} + 16V_{1L2} - 16W_{0L01} - \frac{4(5n - 4)}{n} E$$

Avec : $W_{r_{bar}}$ = moyenne des W_r , $V_{r_{bar}}$ = 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) :

$$H2 = 16V_{1L2} - 16V_{OL02} - \frac{16(n - 1)}{n} E$$

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

$$F = 4V_0L_0 - 8W_0L_0^2 - \frac{4(n-2)}{n}E$$

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

L'effet de la dominance globale des loci hétérozygotes (h²) :

$$h^2 = (4M_{L1} - 4M_{L0})^2 - \frac{16(n-1)}{n}E,$$

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) :

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

Le degré moyen de dominance est de :

$$\sqrt{\frac{1}{4} \frac{H_1}{D}},$$

Si ce ratio est égal à 0, il indique l'absence de dominance donc il y a additivité. S'il prend une valeur égale à 1, il y a complète dominance, et pour des valeurs supérieures à 1 on est en présence de la superdominance. Pour des valeurs différentes de zéro, mais inférieure à 1, on est en présence de la dominance partielle.

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

$$\frac{H_2}{4H_1}$$

Lorsque u et v sont symétriquement distribués (u=v=0.5), ce ratio prend la valeur de 0.25.

La proportion des gènes dominants et récessifs chez les parents :

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

Une valeur de 1 indique l'égalité des gènes dominants et récessifs, pour des valeurs inférieures à 1, il y a excès des gènes récessifs et pour des valeurs supérieures à 1, il y a excès des gènes dominants chez les parents croisés.

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

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

Il s'agit d'une mesure approximative de l'ensemble de gènes montrant de la dominance.

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 :

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

Tous ces paramètres génétiques ont été calculés selon procédure décrite par Hayman (1954) et reprise par Singh et Chaudhary (2006) et Sharma 2008. La signification statistique de ces paramètres génétiques a été déterminée en utilisant le test t à une probabilité de 5%.

2.3.3.2. ANALYSE GRAPHIQUE

L'analyse graphique est basée sur la régression des W_r sur les V_r pour déterminer le degré de dominance et la répartition des allèles dominants et récessifs contrôlant les caractères mesurés chez les parents (Sharma, 2008 ; Singh et Chaudhary, 2012). Les valeurs des W_r et V_r sont situées à l'intérieure des limites déterminées par la courbe enveloppe d'équation $W_r^2 = V_r \times V_p$, qui est celle d'une parabole.

Le point d'intersection de la droite de régression avec l'axe des W_r est indicateur du degré de dominance. Dans le cas où la droite de régression est tangente à la parabole, il y a additivité ou absence de dominance. Dans les cas où la droite coupe l'axe des W_r au-dessus de l'origine, il y a dominance partielle. Si la droite passe par l'origine des axes des W_r et V_r , il y a dominance et si la droite coupe cet axe au-dessous de l'origine, on est en présence de superdominance.

La répartition des points (W_r , V_r), le long de la droite de régression, est dépendante de la proportion relative des allèles dominants et récessifs chez les parents. Les parents ayant une prépondérance d'allèles dominants auront des valeurs de V_r et W_r faibles et seront localisés le plus près de l'origine, tandis que les parents portant une proportion plus importante d'allèles récessifs auront des valeurs de V_r et W_r élevées et seront les plus éloignés de l'origine.

Les positions intermédiaires indiquent des proportions égales d'allèles dominants et récessifs chez les parents du diallèle (Sharma, 2008 ; Singh et Chaudhary, 2012). Les analyses génétiques selon les méthodes de Griffing (1956) et de Hayman (1954) ont été réalisées avec le logiciel Genes (Cruz 2013).

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. PLUIE ET TEMPERATURE MOYENNE DES CAMPAGNES D'ETUDE

Durant les trois campagnes d'étude, 2012/13, 2013/14, et 2014/15, les cumuls pluviométriques enregistrés sont de 427.4, 383.4 et 343.6mm respectivement (Figure 4). La distribution de la pluviométrie est très variable d'un mois à l'autre et d'une année à l'autre. La campagne 2012/13 est plus pluvieuse avec des cumuls de l'ensemble des mois, hormis ceux de septembre et décembre, supérieurs à la normale. La campagne 2013/14 s'est caractérisée par une bonne pluviométrie en début de campagne ce qui a favorisé la mise en place de la culture et une fin de cycle pluvieuse durant mai et juin. A l'inverse le mois d'avril était très sec (Figure 4).

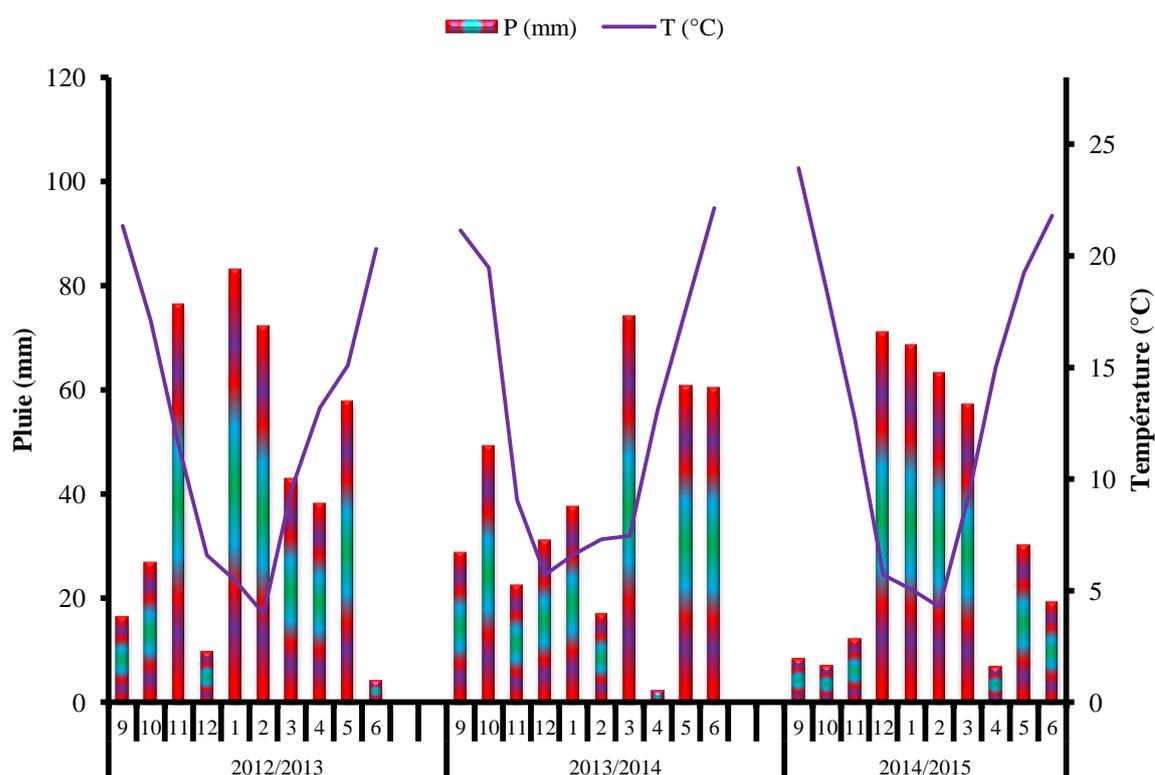


Figure 4. Température moyenne et cumuls pluviométriques mensuels des campagnes d'étude 2012/13, 2013/14 et 2014/25 du site expérimental.

Durant la campagne 2014/15, la pluviométrie enregistrée en début du cycle est très faible imposant une sécheresse qui est suivie par un hiver pluvieux. Le mois d'avril était aussi sec ce qui a pénalisé les rendements. La température

moyenne est restée basse de décembre à avril au cours des trois campagnes d'étude (Figure 4).

3.2. ANALYSE GENETIQUE

3.2.1. VARIABILITE, PERFORMANCE, HERITABILITE ET GAIN GENETIQUE ATTENDU

3.2.1.1. VARIABILITE ET PERFORMANCES MOYENNES

L'analyse de la variance des données révèle un effet génotype hautement significatif pour l'ensemble des caractères étudiés à l'exception de la teneur relative en eau (Tableau 7). Ceci indique la présence de la variabilité phénotypique entre les génotypes étudiés et autorise d'aborder l'analyse génétique des variables mesurées.

Tableau 7. Carrés moyens de l'analyse de la variance des variables mesurées des parents et de la génération F2 diallèle incomplet.

Source	Répétition	Génotype	Parents	F2	P vs F2	Erreur	CV (%)
DII	2	20	5	14	1	40	
PE	0.82	11.70**	4.41**	5.36**	136.99**	1.11	6.65
BIO	35.80	21.50**	35.07**	17.10 ^{ns}	301.32**	9.33	3.63
NE	0.90	1.60**	1.30**	1.77**	2.18**	0.18	8.40
NGE	8.90	148.20**	329.57**	77.16**	237.26**	15.30	8.17
PMG	6.30	173.7**	367.23**	116.91**	2.08 ^{ns}	5.70	5.49
RDT	9.66	5.98**	2.81*	3.82 ^{ns}	52.27**	2.32	13.22
HI	0.66	35.64**	68.97**	24.91**	19.25*	3.19	4.44
CHL	4.80	60.60**	89.42**	54.75**	0.01 ^{ns}	7.40	7.86
TRE	5.34	6.61 ^{ns}	3.00 ^{ns}	8.29 ^{ns}	1.09 ^{ns}	11.27	3.63
DPV	6.30	17.80**	46.40**	8.66**	3.07 ^{ns}	1.00	0.76
SF	4.28	32.24**	50.35**	26.65**	20.04*	2.88	7.77
PHT	0.50	400.9**	761.94**	292.05**	120.87**	1.60	1.81
LE	0.06	1.08**	0.91**	1.04**	2.44**	0.09	3.90

Ns, *, **= effet non significatif et significatif aux seuils de 5% et 1%, respectivement, PE= poids des épis par plant, BIO= poids de la plante, NE= nombre d'épis par plant, NGE=nombre de grains par épi, PMG=poids de 1000 grains, RDT=rendement en grains par plante, HI=indice de récolte, CHL= contenu en chlorophylle, TRE=teneur relative en eau, SF=surface de la feuille étendard, DPV= durée de la phase végétative, PHT= hauteur de la plante, LE=longueur de l'épi.

La variabilité phénotypique est présente entre les parents pour tous les caractères à l'exception de la TRE alors qu'entre les populations F2, l'analyse n'indique pas des différences pour la biomasse, la TRE et le rendement en grains. Le contraste indique que des différences significatives existent entre les moyennes des parents et celles des populations F2 pour l'ensemble des variables

analysées à l'exception du poids de 1000 grains, du contenu en chlorophylle, de la durée de la phase végétative et de la TRE (Tableau 7).

La différence entre les valeurs moyennes maximale et minimale observées, calculée sur l'ensemble des génotypes, y compris les parents et les populations F2, des différents caractères est largement supérieure à la plus petite différence significative au seuil de 5% de probabilité (Tableau 8). En effet le ratio de l'étendue sur la plus petite différence significative varie d'un minimum de 3.0 pour la teneur relative en eau à un maximum de 7.7 pour la hauteur de la plante, ce qui suggère l'existence d'une importante variabilité pour l'ensemble des caractères au sein du diallèle.

La comparaison des moyennes des parents à celles des populations F2 indique que les transgressions, dans le sens positif, n'existent que pour le poids des épis et à un degré moindre pour la biomasse aérienne (Tableau 8). Pour les autres caractères, les populations F2, en moyenne, diffèrent peu de la moyenne des parents. Chez les parents la différence entre les valeurs minimale et maximale est significative pour l'ensemble des variables mesurées hormis la teneur relative en eau (Tableau 8).

Parmi les parents, Waha se caractérise par la plus faible valeur de la biomasse aérienne, de la teneur relative en eau, de la durée de la phase végétative et de la surface foliaire associées à la valeur la plus élevée du nombre d'épis par plante. Zénati Bouteille/Flamingo a les plus faibles valeurs moyennes du poids des épis, du rendement en grain de la durée de la phase végétative, de la hauteur de la plante et de la longueur de l'épi (Tableau 8).

Mexicali se distingue par les meilleures moyennes du poids des épis, du rendement en grains, de la teneur relative en eau et de la surface de la feuille étandard, associées à un faible poids de 1000 grains. Ofanto se caractérise par des valeurs moyennes de l'indice de récolte et du contenu en chlorophylle. Gaviota durum porte le meilleur nombre de grains par épi et le plus faible nombre d'épis par plant, alors que Guemgoum Rkhem présente les meilleures valeurs pour la biomasse aérienne, le poids de 1000 grains, la hauteur de la

plante, et la longueur de l'épi, associée à des faibles valeurs moyennes pour le nombre de grains par épi, l'indice de récolte, le contenu en chlorophylle et une longue durée de la phase végétative (Tableau 8).

Tableau 8. Valeurs moyennes des caractères mesurées des parents et de la génération F2 diallèle incomplet

Géno	PE	BIO	NE	NGE	PMG	RDT	HI	CHL	TRE	SF	DPV	PHT	LE
Génotypes													
GM	15.86	25.59	5.11	48.05	43.65	10.05	40.21	34.80	92.32	21.82	137.98	71.32	7.67
Min	11.80	17.10	3.80	29.80	33.80	6.90	29.50	24.40	81.30	14.90	135.00	60.00	6.40
Etendue	8.7*	17.8*	3*	37.8*	30.5*	8.4*	17.6*	20.6*	16.8*	14.5*	11.00*	44.00*	2.90*
Ratio	5.0	3.5	3.4	4.3	5.8	3.3	4.6	3.7	3.0	5.2	6.1	7.7	4.8
X _{par}	13.53	22.13	4.82	44.97	43.94	8.61	39.33	34.81	92.53	20.93	138.33	69.13	7.36
X _{F2}	16.79	26.97	5.23	49.27	43.54	10.63	40.55	34.79	92.24	22.18	137.84	72.20	7.79
X _{par} -X _{F2}	-3.2*	-4.8 ^{ns}	-0.4 ^{ns}	-4.3 ^{ns}	0.4 ^{ns}	-2.0 ^{ns}	-1.2 ^{ns}	0.0 ^{ns}	0.2 ^{ns}	-1.2 ^{ns}	0.4 ^{ns}	-3.0 ^{ns}	-0.4 ^{ns}
Parents													
P1	12.37	19.40	5.70	41.64	37.27	7.91	41.19	36.89	91.57	15.56	136.00	67.41	7.18
P2	11.87	21.37	5.27	36.92	37.20	7.78	38.69	38.30	93.62	17.94	136.00	60.43	6.49
P3	14.91	25.83	4.80	55.85	36.47	10.42	39.02	34.00	93.76	25.65	139.00	61.98	7.77
P4	14.20	19.50	5.00	45.60	50.77	8.84	43.59	41.76	92.78	19.07	136.00	61.57	7.10
P5	14.46	19.67	3.97	58.22	38.30	8.48	43.04	31.71	91.59	22.08	137.00	62.12	7.57
P6	13.37	27.00	4.17	31.59	63.63	8.25	30.44	26.21	91.87	25.29	146.00	101.28	8.03
Etendue	3.0*	7.6*	1.7*	26.6*	27.1*	2.6*	13.1*	15.5*	2.1 ^{ns}	10.0*	10.0*	40.8*	1.5*
Populations F2													
F2 ₁₂	14.82	25.30	6.13	45.49	37.17	9.56	37.80	36.83	91.39	19.35	137.00	68.72	7.31
F2 ₁₃	17.76	29.30	6.27	50.28	38.89	12.21	41.73	39.45	91.18	19.24	136.33	66.73	7.68
F2 ₁₄	17.63	29.93	6.23	50.04	40.20	12.61	46.54	40.54	92.47	19.80	135.67	64.67	7.26
F2 ₁₅	16.94	27.50	5.97	48.68	37.50	10.45	41.45	37.60	94.04	18.41	136.67	67.52	7.67
F2 ₁₆	18.36	27.73	5.63	41.20	48.57	10.67	38.52	31.80	90.53	21.71	138.33	90.22	8.28
F2 ₂₃	16.22	22.67	5.13	45.47	38.40	8.92	39.10	30.55	93.96	22.70	138.67	63.43	7.13
F2 ₂₄	15.41	23.07	4.33	47.18	45.60	9.96	43.19	39.11	94.49	19.63	136.67	67.42	6.92
F2 ₂₅	16.92	29.30	5.90	50.60	37.33	11.54	39.43	29.11	89.34	20.64	136.67	67.73	7.45
F2 ₂₆	16.23	29.10	4.00	46.56	54.22	10.71	36.75	28.44	92.43	26.53	140.67	88.42	7.95
F2 ₃₄	18.15	26.93	5.07	47.75	42.45	11.22	41.71	37.66	93.40	20.56	136.00	64.72	7.73
F2 ₃₅	18.54	26.13	5.33	60.06	36.69	8.98	43.14	32.23	89.05	23.38	139.67	61.55	7.84
F2 ₃₆	15.10	27.10	4.47	57.01	51.20	9.76	36.04	30.76	92.18	27.72	141.00	86.87	9.02
F2 ₄₅	15.32	23.80	4.63	56.18	42.40	10.38	43.59	40.01	93.57	21.72	137.00	66.82	7.62
F2 ₄₆	18.68	29.70	5.03	44.50	52.05	12.07	40.73	36.20	92.42	25.24	138.00	82.73	8.76
F2 ₅₆	15.82	26.97	4.30	48.01	50.37	10.40	38.57	31.59	93.15	26.09	139.33	75.43	8.28
Etendue	3.8*	7.2*	2.2*	18.8*	17.5*	3.6*	9.7*	12.1*	5.4*	9.3*	5.3*	28.6*	2.1*
Ppds5%	1.74	5.04	0.88	8.88	5.24	2.52	3.80	5.56	5.54	2.80	1.79	5.72	0.61

P1= Waha, P2= Zenati Bouteille/Flamingo, P3= Mexicali, P4= Ofanto, P5= Gaviota durum, P6= Guemgoum Rkhem, F2₁₂= Waha/Zenati Bouteille/Flamingo, F2₁₃= Waha/Mexicali₇₅, F2₁₄= Waha/Ofanto, F2₁₅= Waha/Gaviota durum, F2₁₆=Waha/Guemgoum Rkhem, F2₂₃=Zenati Bouteille/Flamingo//Mexicali₇₅, F2₂₄=Zenati Bouteille/ Flamingo//Ofanto, F2₂₅=Zenati Bouteille/Flamingo//Gaviota durum, F2₃₄= Mexicali₇₅/Ofanto, F2₃₅= Mexicali₇₅/ Gaviota durum, F2₃₆= Mexicali₇₅/Guemgoum Rkhem, F2₄₅= Ofanto/Gaviota durum, F2₄₆= Ofanto/Guemgoum Rkhem, F2₅₆= Gaviota durum/Guemgoum Rkhem. PE= poids des épis par plant, BIO= poids de la plante, NE= nombre d'épis par plant, NGE=nombre de grains par épi, PMG=poids de 1000 grains, RDT=rendement en grains par plante, HI=indice de récolte, CHL= contenu en chlorophylle, TRE=teneur relative en eau, SF=surface de la feuille étendard, DPV=durée de la phase végétative, PHT= hauteur de la plante, LE=longueur de l'épi. ns ; *, ** = différence non significative, significative au seuil de 5 et 1%, respectivement.

La comparaison des moyennes des différentes populations F2 laisse apparaitre des différences significatives entre les valeurs extrêmes pour l'ensemble des

variables mesurées. Ceci confirme la variabilité générée par le croisement diallèle. En effet les différences entre les moyennes maximales et minimales sont largement supérieures aux valeurs respectives de la plus petite différence significative au seuil de 5% (Tableau 8).

Aucune population F2 n'est meilleure pour l'ensemble des caractères et non plus aucune n'est la plus mauvaise pour l'ensemble des caractères. La population F213 est la meilleure pour uniquement le nombre d'épis par plante avec une moyenne de 6.27 épis, alors que la population F214 est la plus intéressante pour plusieurs caractères dont la biomasse aérienne, le rendement en grains, l'indice de récolte et le contenu en chlorophylle avec des moyennes respectives de 29.93 g, 12.61 g, 46.54% et 40.54 unités SPAD (Tableau 8).

La population F2₁₆ est la plus haute de taille et la population F2₂₄ a le contenu relatif en eau le plus élevé de 94.49%. La moyenne la plus élevée du poids de 1000 grains est notée chez la population F2₄₆ avec une valeur de 54.22 g et le nombre de grains par épi le plus élevé est observé chez la population F2₃₅ avec une moyenne de 60.06 grains /épi.

La population F2₄₅ se distingue par les valeurs les plus élevées pour la surface de la feuille étendard, la durée de la phase végétative et la longueur de l'épi, dont les moyennes respectives sont de 27.72 cm², 141.00 jours et 9.02 cm (Tableau 8).

Les valeurs prises par le coefficient de variation phénotypique sont plus élevées et proches de celles du coefficient de variation génotypique. Cependant ces valeurs sont variables selon les caractères.

Elles sont élevées pour l'indice de récolte, prenant des valeurs au-dessus de 35%. Elles sont juste moyennes, prenant des valeurs au-dessus de 10% et en dessous de 20%, pour le poids des épis, les composantes du rendement et le rendement en grains, le contenu en chlorophylle, la surface de la feuille étendard et la hauteur de la végétation.

Elles sont inférieures à 10%, donc faibles, pour la teneur relative en eau, la durée de la phase végétative et la longueur de l'épi (Tableau 9). La biomasse aérienne et le rendement grain présentent des coefficients de variation phénotypiques moyens associés à de faibles coefficients de variation génotypiques, ce qui suggère un effet environnement important affectant l'expression de ces caractères comparativement aux autres caractères mesurés étudiés. La variabilité d'origine génotypique est pratiquement nulle pour la teneur relative en eau, dont le coefficient de variation génotypique est égal à zéro (Tableau 9).

Selon Deshmukh *et al.* (1986). Les valeurs des coefficients de variation phénotypique et génotypiques supérieures à 20% sont classées comme élevées, par contre, les valeurs inférieures à 10% sont considérées comme faibles et les valeurs entre 10 à 20% comme moyennes. Plus les valeurs des coefficients de variations phénotypiques et génotypiques sont élevées plus la sélection a de l'emprise sur le caractère à améliorer.

3.2.1.2. HERITABILITE ET GAIN GENETIQUE ATTENDU

Le poids de 1000 grains, la hauteur de la plante et la durée de la phase végétative présentent un coefficient d'héritabilité élevé, alors que ce coefficient est juste moyen pour le reste des caractères mesurés hormis la biomasse aérienne, le rendement en grains et la teneur relative en eau dont l'héritabilité est faible, suggérant une contribution importante de la composante environnementale à la variance totale de ces caractères (Tableau 9).

Exprimées en pourcent relativement à la moyenne du caractère pris en considération, les valeurs du gain génétique attendues varient d'un minimum de 00.00% pour la teneur relative en eau à un maximum de 59.22% pour l'indice de récolte (Tableau 9).

Elles sont de 3.25, 8.93, 13.29 et 13.68% pour la durée de la phase végétative, la biomasse aérienne, le rendement en grains et la longueur de l'épi. Elles prennent des valeurs supérieures à 20.00% pour le reste des caractères,

notamment 33.12% pour la hauteur de la plante et 33.64% pour le poids de 1000 grains (Tableau 9).

Tableau 9. Composantes de la variation, coefficients de variation et gain génétique attendu, en valeurs absolue et en % de la moyenne des variables du diallèle incomplet.

Traits	σ^2g	σ^2p	σ^2e	CVp(%)	CVg(%)	h^2bs	GGA	GGA%M
PE	3.53	4.64	1.11	13.58	11.85	0.76	3.38	21.28
BIO	4.06	13.39	9.33	14.30	7.87	0.30	2.28	8.93
NE	0.47	0.65	0.18	15.81	13.46	0.72	1.21	23.60
NGE	44.30	59.60	15.30	16.07	13.85	0.74	11.82	24.61
PMG	56.00	61.70	5.70	17.99	17.14	0.91	14.69	33.64
RDT	1.22	3.54	2.32	18.72	10.99	0.34	1.34	13.29
HI	10.82	14.01	3.19	37.23	32.72	0.77	5.95	59.22
CHL	17.73	25.13	7.40	14.41	12.10	0.71	7.29	20.94
TRE	0.00	9.72	0.00	3.38	0.00	0.00	0.00	0.00
SF	9.79	12.67	2.88	16.31	14.33	0.77	5.66	25.96
DPV	5.60	6.60	1.00	1.86	1.72	0.85	4.49	3.25
PHT	133.10	134.70	1.60	16.27	16.18	0.99	23.62	33.12
LE	0.33	0.42	0.09	8.45	7.49	0.79	1.05	13.68

σ^2g : Variance génotypique ; σ^2p : variance phénotypique, σ^2e = variance résiduelle; CVp: coefficient de variation phénotypique ; CVg: coefficient de variation génotypique ; h^2bs : héritabilité au sens large ; GGA : gain génétique attendu ; GGA%M : gain génétique attendu en % de la moyenne. PE= poids des épis par plant, BIO= poids de la plante, NE= nombre d'épis par plant, NGE=nombre de grains par épi, PMG=poids de 1000 grains, RDT=rendement en grains par plante, HI=indice de récolte, CHL= contenu en chlorophylle, TRE=teneur relative en eau, SF=surface de la feuille étendard, DPV= durée de la phase végétative, PHT= hauteur de la plante, LE=longueur de l'épi.

3.2.2. CORRELATIONS ENTRE CARACTERES

Les résultats de l'étude des coefficients de corrélations indiquent que le poids des épis présente des liaisons phénotypiques positives et significatives avec la biomasse aérienne (0.710**), le rendement (0.770**) et la longueur des épis (0.440*). Les liaisons génotypiques ne sont significatives qu'avec la biomasse (0.740**) et le rendement en grains (0.820**), suggérant que la liaison du poids des épis avec la longueur des épis est purement d'origine environnementale (Tableau 10).

Les coefficients de corrélations génotypiques entre le poids des épis et la biomasse, d'une part, et entre le poids des épis et le rendement, d'autre part, sont, par contre, plus élevés en valeur que les coefficients phénotypiques. Ceci suggère que l'intensité de ces relations est réduite par l'effet de l'environnement.

La biomasse aérienne présente des corrélations phénotypiques significatives et positives avec le rendement en grains (0.810**), la hauteur de la végétation (0.450*) et la longueur de l'épi (0.570*). Les corrélations génotypiques de ce caractère sont positives et significatives avec le rendement (0.820**), la surface foliaire (0.560**), la hauteur de la plante (0.530*) et la longueur de l'épi (0.610**).

Tableau 10. Coefficients de corrélation entre les différentes variables mesurées du diallèle incomplet (coefficients de corrélations génotypiques au-dessus de la diagonale et phénotypiques au-dessous de la diagonale).

	PE	BIO	NE	NGE	PMG	RDT	HI	CHL	TRE	SF	DPV	PHT	LE
PE		0.740	0.300	0.360	-0.050	0.820	0.330	-0.040	0.000	0.210	-0.230	0.080	0.370
BIO	0.710		0.210	0.020	0.260	0.820	-0.260	-0.360	0.000	0.560	0.380	0.530	0.610
NE	0.300	0.250		-0.050	-0.590	0.370	0.390	0.500	0.000	-0.680	-0.580	-0.360	-0.330
NGE	0.350	0.060	-0.070		-0.490	0.280	0.500	0.050	0.000	0.240	-0.220	-0.460	0.240
PMG	-0.040	0.240	-0.570	-0.430		-0.040	-0.620	-0.420	0.000	0.610	0.730	0.860	0.560
RDT	0.770	0.810	0.340	0.260	0.003		0.320	0.170	0.000	0.210	-0.230	0.080	0.370
HI	0.310	-0.200	0.330	0.500	-0.550	0.290		0.810	0.000	-0.530	-0.870	-0.770	-0.380
CHL	-0.010	-0.250	0.430	0.070	-0.370	0.190	0.730		0.000	-0.750	-0.810	-0.640	-0.530
TRE	-0.270	-0.250	-0.320	-0.150	0.070	-0.050	0.080	0.370		0.000	0.000	0.000	0.000
SF	0.210	0.420	-0.630	0.240	0.570	0.150	-0.500	-0.660	-0.010		0.780	0.590	0.790
DPV	-0.100	0.270	-0.540	-0.210	0.690	-0.240	-0.800	-0.770	-0.130	0.750		0.790	0.580
PHT	0.060	0.450	-0.340	-0.430	0.840	0.070	-0.740	-0.590	-0.170	0.570	0.760		0.690
LE	0.440	0.570	-0.270	0.230	0.520	0.350	-0.360	-0.460	-0.230	0.750	0.540	0.660	

r5%= 0.430, r1%=0.540 ; PE= poids des épis par plant, BIO= poids de la plante, NE= nombre d'épis par plant, NGE=nombre de grains par épi, PMG=poids de 1000 grains, RDT=rendement en grains par plante, HI=indice de récolte, CHL= contenu en chlorophylle, TRE=teneur relative en eau, SF=surface de la feuille étendard, DPV=durée de la phase végétative, PHT= hauteur de la plante, LE=longueur de l'épi.

Ces résultats indiquent que la liaison de la biomasse aérienne avec la surface foliaire de la feuille étendard est affectée par l'environnement qui la réduit à un seuil non significatif. De plus les liaisons génotypiques sont plus fortes que les liaisons phénotypiques (Tableau 10). Ces résultats suggèrent que parmi les génotypes du diallèle, ceux qui présentent une biomasse élevée ont généralement un rendement en grains et une hauteur de la plante élevés, et des épis longs et lourds.

Le nombre d'épis par plante est négativement et significativement corrélé, phénotypiquement et génotypiquement, avec le poids de 1000 grains (-0.570**, -0.590**), la surface de la feuille étendard (-0.630**, -0.680**), la durée de la phase végétative (-0.540*, -0.580**) et positivement avec le contenu en chlorophylle (0.430*, 0.500*) (Tableau 10).

Le nombre de grains par épi présente des coefficients de corrélations phénotypiques significatifs et négatifs avec le poids de 1000 grains (-0.430*), la hauteur de la plante (-0.430*) et positive avec l'indice de récolte (0.500*). Les coefficients de corrélations génotypiques correspondants sont plus élevés en valeurs (Tableau 10).

Le poids de 1000 grains présente des coefficients de corrélations phénotypiques significatifs et positifs avec la surface de la feuille étendard (0.570**), la durée de la phase végétative (0.690**), la hauteur de la plante (0.840**), la longueur de l'épi (0.520*) et négatif avec l'indice de récolte (-0.550**). Les coefficients de corrélations génotypiques correspondants sont plus élevés en valeurs (Tableau 10).

Le rendement en grains, par contre, hormis ses liaisons avec le poids des épis et la biomasse discutées précédemment, ne présente aucune liaison significative avec les autres caractères. Ces résultats suggèrent que la sélection de plants arborant un nombre d'épis élevé, parmi les génotypes du diallèle, se traduit par une réduction du poids de 1000 grains, de la surface de la feuille étendard et de la durée de la phase végétative et une amélioration du contenu en chlorophylle (Tableau 10).

Les plants ayant un nombre de grains par épi élevé se distinguent, par contre, par une réduction du poids de 1000 grains, de la taille de la plante et une amélioration de l'indice de récolte. Le choix de plants, ayant un poids de 1000 grains élevé, amène une réduction des épis par plant, des grains par épi et de l'indice de récolte et une amélioration de la surface de la feuille étendard, de la durée de la phase végétative, de la hauteur de la plante et de la longueur de l'épi (Tableau 10).

L'indice de récolte présentent des coefficients de corrélations phénotypiques et génotypiques significatifs et positifs avec le contenu en chlorophylle (0.730**) et négatifs avec la surface de la feuille étendard (0.500*), la durée de la phase végétative (-0.800**) et la hauteur de la plante (-0.740**). Parmi les génotypes du diallèle, le choix de plants présentant un indice de récolte élevé induit une augmentation du contenu en chlorophylle et du nombre de grains par épi et une réduction concomitante du poids de 1000 grains, de la

surface de la feuille étendard, de la durée de la phase végétative et de la hauteur de la végétation (Tableau 10).

Le contenu en chlorophylle présente des coefficients de corrélations phénotypiques et génotypes significatifs et négatifs avec la surface de la feuille étendard (-0.660**, -0.750**), la durée de la phase végétative (-0.770**, -0.810**), la hauteur de la plante (-0.590**, -0.640**) et avec la longueur de l'épi (-0.460*, -0.530*). Ainsi le choix sur la base de ce seul caractère amène une augmentation du nombre d'épis par plant et un indice de récolte élevé associés à une réduction des dimensions de la feuille étendard, de la durée de la phase végétative, de la hauteur de la plante et de la longueur des épis (Tableau 10).

La surface de la feuille étendard présente des coefficients de corrélations phénotypiques et génotypes significatifs et positifs avec la durée de la phase végétative (0.750**, 0.780**), la hauteur de la plante (0.570**, 0.790**) et la longueur de l'épi (0.750**, 0.790**). Globalement et parmi les génotypes constituent le diallèle, les lignées aux feuilles de larges dimensions se distinguent par un nombre d'épis par plante, un indice de récolte et un contenu en chlorophylle réduits, concomitants à un poids de 1000 grains, une durée de la phase végétative, une hauteur de la plante et une longueur d'épi dont les valeurs sont au-dessus des moyennes correspondantes (Tableau 10).

La durée de la phase végétative, la hauteur de la plante et la longueur de l'épi présente des coefficients de corrélations phénotypiques et génotypes significatifs et positifs entre eux. Les lignées tardives au stade épiaison sont hautes et possèdent de longs épis. Elles présentent également un poids des épis, une biomasse aérienne et un poids de 1000 grains au-dessus de la moyenne (Tableau 10). Les résultats discutés ci-dessus indiquent un effet génotype significatif et la présence de la variabilité pour l'ensemble des variables analysées hormis la teneur relative en eau. La comparaison des moyennes des parents à celles des populations F2 indique des transgressions pour le poids des épis et à un degré moindre pour la biomasse aérienne. Aucune population F2 n'est meilleure pour l'ensemble des caractères analysés.

Les caractères les plus variables sont le rendement en grains, les composantes du rendement, le poids des épis, le contenu en chlorophylle, la

surface de la feuille étendard et la hauteur de la végétation avec des valeurs des coefficients de variation phénotypiques et génotypiques variant de 10% et 20%. Ceci suggère que la sélection a plus d'emprise sur ces caractères. L'héritabilité de la biomasse aérienne et du rendement en grains est faible, suggérant une contribution importante de la composante environnementale à la variance totale de ces caractères.

Les valeurs du gain génétique attendues, en % de la moyenne, sont faibles pour la durée de la phase végétative, la biomasse aérienne, le rendement en grains et la longueur de l'épi, suggérant les difficultés à améliorer ces caractères. Au contraire ces résultats suggèrent les possibilités d'améliorer la hauteur de la plante et le poids de 1000 grains qui présentent des valeurs du gain génétique attendu élevées. Les résultats de l'étude des coefficients de corrélations indiquent que parmi les géotypes du diallèle, ceux qui présentent une biomasse élevée ont généralement un rendement en grains et une hauteur de la plante élevés, et des épis longs et lourds.

Ces résultats concordent partiellement avec ceux rapportés par la littérature spécialisée. Ainsi Hamli *et al.*, (2015) rapportent des valeurs du gain génétique, exprimées en pourcentage de la moyenne de la population, de 11.0% et 14.0%, pour la teneur relative en eau et la surface de la feuille étendard respectivement. Ces auteurs, sur la base de ces valeurs concluent que les possibilités d'améliorer la teneur relative en eau et la surface de la feuille étendard sont faibles à l'intérieur du matériel végétal évalué.

Mandal *et al.*, (2008) rapportent aussi une faible héritabilité ainsi qu'une faible valeur du gain génétique attendu pour la surface de la feuille étendard. Eid (2009) rapporte des corrélations génotypique et phénotypique significatives et positives entre le poids de 1000 grains et la hauteur du plant, la longueur de l'épi et la date d'épiaison. Heidari *et al.* (2005) rapportent une corrélation significative et négative entre l'indice de récolte et la hauteur de la plante.

Fellahi *et al.* (2013a) rapportent pour la surface de la feuille étendard des coefficients de variation moyens à élevés, variant de 13.2 % à 29.20 %, selon les populations F2. Hamli *et al.* (2015) rapportent des valeurs prises par le degré de détermination génétique de 72.00% pour la surface de la feuille étendard, et

84.00% pour la teneur relative en eau. Khan *et al.*, (2003) rapportent des valeurs de l'héritabilité au sens large pour la surface de la feuille étendard variant de 66.3 à 85.0%, des populations F2 issues de 6 croisements de blé tendre.

3.2.3. APTITUDES A LA COMBINAISON

L'analyse de la variance des aptitudes à la combinaison des caractères montrant un effet génotype significatif est présentée au tableau 11. Les résultats de cette analyse indiquent un effet d'aptitude générale à la combinaison significatif pour l'ensemble des variables analysées hormis le rendement en grains et un effet d'aptitude spécifique à la combinaison significatif également pour l'ensemble des caractères hormis le poids de 1000 grains (Tableau 11).

Ces résultats suggèrent que des effets aussi bien additifs et que non additifs sont impliqués dans le contrôle génétique de l'ensemble des caractères soumis à l'analyse, à l'exception du rendement en grains qui est plus sous contrôle génétique de nature non additive et le poids de 1000 grains qui est, au contraire, plus sous contrôle génétique de nature additive (Tableau 11). La comparaison des carrés moyens des écarts suggère la prépondérance des effets non additifs dans le contrôle du poids des épis, de la biomasse aérienne et du rendement en grains, alors qu'il y a prépondérance des effets additifs dans le contrôle des autres caractères restants (Tableau 11).

La comparaison des composantes de la variation indique que la variance d'AGC est inférieure à la variance d'ASC pour le poids des épis, la biomasse aérienne, le nombre d'épis par plante et le rendement plante. Par contre la variance d'AGC est plus grande que la variance d'ASC pour le nombre de grains par épi, le poids de 1000 grains, l'indice de récolte, le contenu en chlorophylle, la surface de la feuille étendard, la durée de la phase végétative, la hauteur de la plante et la longueur de l'épi (Tableau 12).

Tableau 11. Carrés moyens de l'analyse de la variance des aptitudes à la combinaison des caractères mesurés de la F2 diallèle incomplet.

Source	Répétition	Génotype	AGC	ASC	Erreur
DDL	2	20	5	15	40
PE	0.82	11.70**	6.84**	13.29**	1.13
BIO	35.8	21.50**	29.17*	37.71**	9.33
NE	0.9	1.60**	3.97**	0.88**	0.18
NGE	8.9	148.20**	414.93**	59.46**	15.38
PMG	6.3	173.7**	663.35**	10.40 ^{ns}	5.73
RDT	9.66	5.98**	2.63 ^{ns}	7.02**	1.77
HI	0.66	35.64**	120.32**	7.76**	3.20
CHL	4.8	60.60**	193.96**	16.96*	7.47
SF	6.3	17.80**	107.56**	6.96*	2.87
DPV	4.28	32.24**	59.50**	3.91**	1.10
PHT	0.5	400.9**	1489.91**	37.58**	1.67
LE	0.06	1.08**	3.12**	0.41**	0.09

ns, *, ** = effet non significatif et significatifs aux seuils de 5 et 1% respectivement ; AGC= aptitude générale à la combinaison, ASC= aptitude spécifique à la combinaison, PE= poids des épis par plant, BIO= poids de la plante, NE= nombre d'épis par plant, NGE=nombre de grains par épi, PMG=poids de 1000 grains, RDT= rendement en grains par plante, HI=indice de récolte, CHL= contenu en chlorophylle, TRE=teneur relative en eau, SF= surface de la feuille étendard, DPV=durée de la phase végétative, PHT= hauteur de la plante, LE=longueur de l'épi

Ces résultats sont confirmés par les valeurs prises par le ratio de la variance d'AGC sur la variance d'ASC qui est inférieur à l'unité pour le poids des épis, la biomasse aérienne, le nombre d'épis par plante et le rendement plante et supérieur à l'unité pour le nombre de grains par épi, le poids de 1000 grains, l'indice de récolte, le contenu en chlorophylle, la surface de la feuille étendard, la durée de la phase végétative, la hauteur de la plante et la longueur de l'épi. Le ratio génétique indique aussi le rôle prédominant de l'action des gènes additifs pour la majorité des caractères étudiés. En effet selon Baker (1978), un ratio proche de l'unité est suggestif de la prépondérance des actions génétiques de natures plus additive que non additive.

Dans l'ensemble l'information apportée confirme que la nature de l'action génique est plus de nature non additive pour les premiers caractères cités et elle est plus de nature additive pour les seconds (Tableau 12). Ceci suggère que la sélection précoce des premiers caractères est peu conseillée en F2, alors qu'elle est faisable pour les seconds. En effet l'héritabilité au sens étroit est faible variant de 2.0 à 8.1% pour les premiers caractères à l'exception du nombre d'épis par plant dont l'héritabilité est juste moyenne avec une valeur de 43.4%, alors que les valeurs prises par ce paramètre sont élevées à très élevées pour les autres

caractères. Ainsi l'héritabilité est de 52.5% pour le nombre de grains par épi, 56.6% pour la longueur de l'épi, 59.4% pour le contenu en chlorophylle, de 67.3% pour la surface de la feuille étendard, de 67.6 pour l'indice de récolte, de 70.5% pour la durée de la phase végétative, de 88.63% pour le poids de 1000 grains et de 90.1% pour la hauteur de la plante (Tableau 12).

On note une bonne liaison entre l'héritabilité au sens large indiquée au tableau 9 et l'héritabilité au sens étroit discutée ci-dessus et indiquée au tableau 12. La relation est moins étroite pour les variables mesurant la masse et qui sont le poids des épis, le poids de la plante ou biomasse aérienne et le poids des graines ou rendement en grains. Ces trois variables se montrent très sensibles à l'effet de l'environnement en F2 comparativement aux autres variables étudiées (Figure 5). Ceci suggère que la sélection en F2 de ces caractères serait peu efficace.

Tableau 12. Composantes des variances d'AGC et ASC, Baker Ratio et héritabilité au sens étroit des caractères des F2 diallèle incomplet.

Source	σ^2_{AGC}	σ^2_{ASC}	AGC/ASC	Baker ratio	h^2_{ns} (%)
PE	0.238	4.056	0.059	0.105	08.0
BIO	0.827	9.463	0.087	0.149	08.1
NE	0.158	0.232	0.680	0.576	43.4
NGE	16.648	14.691	1.133	0.694	52.5
PMG	27.401	1.556	17.614	0.972	88.3
RDT	0.036	1.752	0.020	0.039	02.0
HI	4.880	1.520	3.210	0.865	67.4
CHL	7.771	3.166	2.455	0.831	59.4
SF	4.363	1.363	3.202	0.865	67.3
DPV	2.433	0.937	2.598	0.839	70.5
PHT	62.010	11.970	5.180	0.912	90.1
LE	0.126	0.107	1.181	0.703	56.6

ns, *, ** = effet non significatif et significatifs aux seuils de 5 et 1% respectivement ; AGC= aptitude générale à la combinaison, ASC= aptitude spécifique à la combinaison, PE= poids des épis par plant, BIO= poids de la plante, NE= nombre d'épis par plant, NGE=nombre de grains par épi, PMG=poids de 1000 grains, RDT= rendement en grains par plante, HI=indice de récolte, CHL= contenu en chlorophylle, TRE=teneur relative en eau, SF= surface de la feuille étendard, DPV=durée de la phase végétative, PHT= hauteur de la plante, LE=longueur de l'épi.

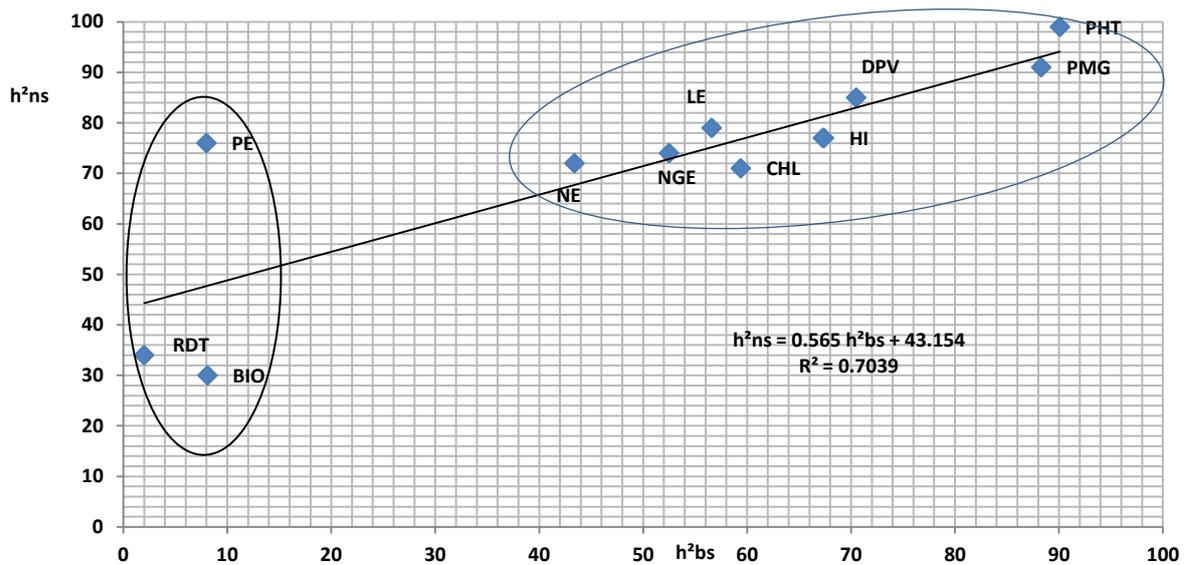


Figure 5. Relation entre h^2_{ns} et h^2_{bs} des variables analysées.

L'analyse des valeurs prises par le ratio de Baker (Baker, 1978) indique que ces valeurs sont élevées pour le poids de 1000 grains, la hauteur de la plante, l'indice de récolte, la durée de la phase végétative, la surface de la feuille étandard et le contenu en chlorophylle. Elles sont justes moyennes pour la longueur de l'épi, le nombre de grains par épi et le nombre d'épis par plante. Par contre elles sont faibles pour le poids des épis, le rendement en grains et la biomasse aérienne (Tableau 12).

Ces résultats suggèrent la prépondérance des effets additifs des gènes dans le contrôle génétique du poids de 1000 grains, de la hauteur de la plante, de l'indice de récolte, de la durée de la phase végétative, de la surface de la feuille étandard et du contenu en chlorophylle.

Des effets géniques aussi aditifs que de dominance sont impliqués dans le contrôle génétique de la longueur de l'épi, du nombre de grains par épi et du nombre d'épis par plante. Il y a prépondérance des effets géniques de nature non additive dans le contrôle génétique du poids des épis, du rendement en grains et de la biomasse aérienne. Des résultats similaires sont rapportés par Shahzad et Chowdhary (1998), et par Iqbal *et al.* (2006).

3.2.3.1. EFFETS D'APTITUDE GENERALE A LA COMBINAISON

Aucun parent n'est un bon combineur pour l'ensemble des caractères évalués, cependant Guemgoum Rkhem (P6) se présente comme un bon combineur pour améliorer plusieurs caractéristiques. Ce cultivar possède des effets d'AGC significatifs et positifs, les plus élevés, pour améliorer la biomasse aérienne, le poids de 1000 grains, la surface de la feuille étendard, la durée de la phase végétative, la hauteur de la plante et la longueur de l'épi (Tableau 13).

Il est suivi d'Ofanto (P4) qui est un bon combineur pour améliorer le poids de 1000 grains, le rendement en grains, l'indice de récolte et le contenu en chlorophylle. En effet ce génotype présente des effets d'AGC positifs et significatifs, élevés, pour ces caractères (Tableau 13). Ofanto présente par contre un effet d'AGC significatif et négatif pour la durée de la phase végétative. Ce génotype porte les gènes de précocité au stade épiaison. Alors que Guemgoum Rkhem présente des effets d'AGC significatifs et négatifs pour le nombre de grains par épi, l'indice de récolte et le contenu en chlorophylle (Tableau 13).

Zb/Fg (P2) présente des effets d'AGC significatifs et négatifs pour le poids des épis, la biomasse aérienne et le rendement en grain. L'utilisation de génotype en croisement réduit la performance de la descendance pour ces caractères. Ainsi dans le cas où l'objectif principal est d'améliorer le poids global de la plante, il faut éviter d'utiliser ce génotype comme géniteur (Tableau 13).

Waha (P1) présente des effets d'AGC significatifs et positif pour le nombre d'épis et négatifs pour le poids de 1000 grains et la surface de feuille étendard. Ce géniteur est un bon combineur pour améliorer le nombre d'épis par plante, et pour réduire de la surface de la feuille étendard, mais il réduit de la taille du grain (Tableau 13).

Mexicali₇₅ (P3) est un bon combineur pour améliorer le poids des épis et le nombre de grains par épi et la biomasse. Ce géniteur présente des effets d'AGC significatifs et positifs pour le poids des épis, le nombre de grains par épi et la biomasse (Tableau 13). Gaviota durum (P5) est un bon combineur pour améliorer le nombre de grains par épi et l'indice de récolte. Ce géniteur présente aussi un effet d'AGC significatif et négatif pour la hauteur de la plante (Tableau 13).

Tableau 13. Valeurs des effets d'aptitude générale à la combinaison des caractères mesurés de la F2 diallèle incomplet

Parents	P1	P2	P3	P4	P5	P6	SE (gi)	SE(gi-gj)
PE	-0.096	-0.971	0.579	0.317	0.192	-0.021	0.081	0.125
BIO	-0.075	-0.850	0.575	-0.838	-0.750	1.938	0.232	0.360
NE	0.729	0.029	0.017	-0.071	-0.208	-0.495	0.033	0.051
NGE	-2.158	-3.395	4.416	0.067	5.454	-4.483	0.298	0.462
PMG	-3.575	-2.312	-3.125	2.335	-3.087	9.762	0.182	0.282
RDT	0.113	-0.513	0.188	0.438	-0.213	-0.013	0.101	0.157
HI	0.875	-0.975	-0.215	2.675	1.387	-3.762	0.136	0.211
CHL	2.066	-0.383	-0.621	4.204	-1.208	-4.058	0.208	0.322
SF	-2.875	-1.025	-1.537	-0.963	0.200	3.125	0.129	0.200
DPV	1.245	-0.517	0.471	-1.376	-0.317	2.92	0.080	0.123
PHT	-0.833	-2.833	-3.983	-3.720	-4.495	15.866	0.098	0.152
LE	-0.133	-0.508	0.166	-0.145	0.054	0.566	0.022	0.035

$t_{ab5\%} = 2.01$ pour le test $g_i = 0$ vs $g_i \neq 0$, valeurs g_i en gras sont significativement différentes de zéro. SE (gi)= erreur standard de l'effet d'AGC. SE(gi-gj)= erreur standard de la différence entre effets d'AGC. PE= poids des épis par plant. BIO= poids de la plante. NE= nombre d'épis par plant. NGE=nombre de grains par épi. PMG=poids de 1000 grains. RDT= rendement en grains par plante. HI=indice de récolte. CHL= contenu en chlorophylle. TRE=teneur relative en eau. SF= surface de la feuille étendard. DPV=durée de la phase végétative. PHT= hauteur de la plante. LE=longueur de l'épi. P1= Waha. P2= Zb/Fg. P3=Mexicali75. P4= Ofanto. P5= Gaviota durum. P6= Guemgoum Rkhem.

L'étude des corrélations de rang de Spearman (r_s) entre les valeurs propres parentales et les effets d'aptitude générale à la combinaison indique que les effets d'AGC du poids des épis ($r_s = 0.943$, $P = 0.003$), du nombre d'épis ($r_s = 0.886$, $P = 0.0017$), du nombre de grains par épi ($r_s = 1.000$, $P = 0.003$), de l'indice de récolte ($r_s = 1.000$, $P = 0.003$), du contenu en chlorophylle ($r_s = 0.943$, $p = 0.003$) et de la longueur de l'épi ($r_s = 1.000$, $P = 0.003$) sont significativement liés aux valeurs propres parentales.

Par contre les effets d'AGC de la biomasse aérienne ($r_s = 0.486$, $P = 0.297$), du poids de 1000 grains ($r_s = 0.714$, $P = 0.136$), du rendement en grains ($r_s = 0.714$, $P = 0.136$), de la surface de la feuille étendard ($r_s = 0.429$, $p = 0.356$), de la durée de la phase végétative ($r_s = 0.638$, $p = 0.200$) et de la hauteur de la plante ($r_s = 0.429$, $P = 0.0356$) ne sont pas liés significativement avec les valeurs propres parentales.

Ces résultats indiquent que pour améliorer le poids des épis, le nombre d'épis, le nombre de grains par épi, l'indice de récolte, le contenu en chlorophylle ou la longueur de l'épi, il faut choisir les parents sur la base des valeurs propres puis faire le croisement. Par contre pour améliorer la biomasse aérienne, le poids de 1000 grains, le rendement en grains, la surface de la feuille étendard, la durée de la phase végétative ou la hauteur de la plante, il faut faire des croisements

puis sélectionner entre les croisements et parmi la descendance de chaque croisement pour isoler les génotypes d'intérêts.

3.2.3.2. EFFETS D'APTITUDE SPECIFIQUE A LA COMBINAISON

Plusieurs populations F2 présentent un effet d'ASC positif et significatif du poids des épis. Exactement 12 populations sur les 15 générées par le diallèle présentent un effet d'ASC dont les valeurs varient d'un minimum de 0.73 g/plant chez ZB/Fg//Mexicali₇₅ (F₂₂₃) à un maximum de 2.55 g/plant, valeur observée chez la population Waha/Guemgoum Rkhem (F₂₁₆). Les valeurs les plus élevées de l'effet d'ASC sont notées chez les croisements Waha/Guemgoum Rkhem et Ofanto/Guemgoum Rkhem (Tableau 14). Les populations Mexicali₇₅/Guemgoum Rkhem et Ofanto/Gaviota durum présentent pour le poids des épis des effets d'ASC significatifs mais négatifs (Tableau 14).

Dans le cas de la présente étude, l'analyse préliminaire des corrélations, aussi bien phénotypiques que génotypiques, indique que le poids des épis est d'intérêt puisqu'il présente des corrélations positives et significatives avec le rendement en grains et avec la biomasse aérienne. De ce fait il est intéressant de regarder de près les populations F₂₁₆, F₂₄₆, F₂₃₅ et F₂₂₅ qui présentent un effet d'ASC élevé (Tableau 14).

Huit populations F2, les F₂₁₂, F₂₁₃, F₂₁₄, F₂₁₅, F₂₂₅, F₂₂₆, F₂₃₄ et F₂₄₆ présentent un effet d'ASC significatif et positif de la biomasse aérienne. Parmi ces populations l'effet d'ASC le plus élevé en valeur revient aux populations F₂₁₄ et F₂₂₅ dont les moyennes sont de 5.23 et 5.31 g/plante, respectivement. Suite à la liaison positive et significative entre la biomasse aérienne et le rendement en grains, ces deux populations attirent l'attention pour des suivis futurs. De plus ces deux populations présentent aussi un effet d'ASC significatif et positif pour le poids des épis ; elles sont donc d'un double intérêt (Tableau 14). La population F₂₂₃ présente un effet d'ASC significatif mais négatif (Tableau 14).

Table 14. Valeurs des effets d'ASC des caractères mesurés de la F2 diallèle incomplet

X _{ss}	PE	BIO	NE	NGE	PMG	RDT	HI	CHL	SF	DPV	PHT	LE
F2 ₁₂	0.00	3.21	0.23	3.00	-0.57	-0.06	-2.30	0.32	1.47	0.77	1.04	0.26
F2 ₁₃	1.45	3.21	0.44	-0.11	1.94	1.84	0.84	3.26	-1.19	-0.92	0.19	-0.01
F2 ₁₄	1.51	5.23	0.43	4.04	-2.22	1.99	2.74	-0.47	1.81	0.27	-2.07	-0.10
F2 ₁₅	1.04	2.74	0.37	-2.65	0.51	0.44	-0.96	1.95	-0.75	0.27	1.51	0.10
F2 ₁₆	2.55	0.25	0.26	-0.21	-1.24	0.54	1.19	-1.00	-0.38	-1.37	3.84	0.19
F2 ₂₃	0.73	-2.61	-0.06	-3.67	0.18	-0.83	0.09	-3.29	0.36	0.76	-1.01	-0.24
F2 ₂₄	0.19	-0.80	-0.77	2.48	1.92	0.02	1.29	0.48	-0.24	0.54	2.63	-0.13
F2 ₂₅	1.81	5.31	0.97	0.49	-0.96	2.17	-1.21	-4.10	-0.40	-0.46	3.81	0.27
F2 ₂₆	1.33	2.43	-0.64	6.43	3.09	1.17	1.24	-1.95	2.57	0.31	4.04	0.16
F2 ₃₄	1.44	1.58	0.04	-4.84	-0.47	0.52	-0.98	-0.68	-1.80	-1.14	1.08	0.10
F2 ₃₅	1.96	0.69	0.38	2.08	-0.74	-1.03	1.83	-0.77	-0.17	1.56	-1.24	0.00
F2 ₃₆	-1.33	-1.00	-0.13	8.91	0.91	-0.43	-0.23	0.58	1.21	-0.38	3.69	0.59
F2 ₄₅	-1.08	-0.20	-0.23	2.63	-0.51	0.12	-0.68	2.21	0.63	0.64	3.69	0.01
F2 ₄₆	2.54	3.01	0.46	0.86	-3.66	1.62	1.58	1.26	1.21	-1.59	-0.77	0.70
F2 ₅₆	-0.24	0.23	-0.11	-1.02	0.07	0.57	0.78	2.07	0.95	-1.29	-7.29	0.00
SE (Sij)	0.22	0.64	0.09	0.82	0.50	0.28	0.37	0.57	0.35	0.22	0.27	0.06
SE (Sij - Skl)	0.31	0.88	0.12	1.13	0.69	0.38	0.52	0.79	0.49	0.30	0.37	0.09

tt_{ab5%}= 1.75 pour le test Sij = 0 vs Sij ≠ 0, valeurs Sij en gras sont significativement différentes de zéro. SE (Sij)= erreur standard de l'effet d'ASC. SE(Sij-Skl)= erreur standard de la différence entre effets d'ASC. PE= poids des épis par plant. BIO= poids de la plante. NE= nombre d'épis par plant. NGE=nombre de grains par épi. PMG=poids de 1000 grains. RDT= rendement en grains par plante. HI=indice de récolte. CHL= contenu en chlorophylle. TRE=teneur relative en eau. SF= surface de la feuille étandard. DPV=durée de la phase végétative. PHT= hauteur de la plante. LE=longueur de l'épi. F2₁₂= Waha/(Zb/Fg). F2₁₃= Waha/Mexicali. F2₁₄=Waha/Ofanto. F2₁₅= Waha/Gta dur. F2₁₆= Waha/Guemgoum Rkhem. F2₂₃= (Zb/Fg)/Mexicali. F2₂₄= (Zb/Fg)/Ofanto. F2₂₅= (Zb/Fg)/Gtadur. F2₂₆=(Zb/Fg)/Guemgoum Rkhem. F2₃₄= Mexicali/Ofanto. F2₃₅= Mexicali/Gta dur. F2₃₆= Mexicali/Guemgoum Rkhem. F2₄₅=Ofanto/Gta dur. F2₄₆=Ofanto/Guemgoum Rkhem. F2₅₆=Gta dur/Guemgoum Rkhem.

Pour le nombre d'épis par plante 8 populations F2 présentent un effet d'ASC significatif et positif et deux populations ont un effet d'ASC significatif et négatif. L'effet le plus élevé en valeur revient à la population F2₂₅, avec une valeur de 0.97 épis par plant (Tableau 14). Parmi les 7 populations F2 qui montrent un effet d'ASC significatif et positif du nombre de grains par épi, l'effet le plus élevé en valeur revient à la population F2₃₆, avec une valeur de 8.91 grains par épi, suivi de la population F2₂₆ avec une valeur de 6.43 grains par épi.

Des effets significatifs et négatifs sont observés chez les populations F2₁₅ et F2₂₃ avec des valeurs de -2.65 et -3.67 grains par épis (Tableau 14). Malgré le fait que le nombre de grains par épi ne présente pas de liaisons tant phénotypiques que génotypiques avec le rendement en grains (Tableau 10), il semble intéressant de suivre de près les populations F2₃₆ et F2₂₆, suite aux valeurs très élevées de leurs effets d'ASC pour ce seul caractère (Tableau 14).

Pour le poids de 1000 grains 8 populations F2 présentent un effet d'ASC significatif dont 4 populations ont un effet positif et les quatre autres populations montrent un effet négatif. L'effet positif le plus élevé en valeur revient à la population F2₂₆, avec une valeur de 3.09 g pour 1000 grains (Tableau 14). Parmi les 4 populations F2 qui montrent un effet d'ASC significatif et négatif, l'effet le plus faible en valeur revient à la population F2₄₆, avec une valeur de -3.66 g pour 1000 grains, suivi de la population F2₁₄ avec une valeur de -2.22 g pour 1000 grains.

Pour le rendement en grains, 9 populations F2 présentent un effet d'ASC significatif dont 7 populations ont un effet positif et les deux autres populations montrent un effet négatif. L'effet positif le plus élevé en valeur revient à la population F2₂₅, avec une valeur de 2.17 g par plant. Parmi les deux populations F2 qui montrent un effet d'ASC significatif et négatif, l'effet le plus faible en valeur revient à la population F2₃₅, avec une valeur de -1.03 g (Tableau 14).

Pour l'indice de récolte, l'effet d'ASC significatif et positif, le plus élevé en valeur, est noté chez la population F2₁₄, dont la valeur est de 2.74%, la valeur de l'effet d'ASC significatif et négatif la plus faible de -2.30 % est observée chez la population F2₁₂ (Tableau 14).

Pour le contenu en chlorophylle, l'effet d'ASC significatif et positif, le plus élevé en valeur, est noté chez la population F2₁₃, dont la valeur est de 3.26 unités spad, la valeur la plus négative de -4.10 unités spad est observée chez la population F2₂₅ (Tableau 14).

Parmi les dix populations dont l'effet d'ASC est significatif pour la surface de la feuille étendard, l'effet d'ASC positif, le plus élevé en valeur, est noté chez la population F2₂₆, dont la valeur est de 2.57 cm². La valeur la plus négative de -1.80 cm² est observée chez la population F2₃₄ (Tableau 14).

La population F2₃₅ présente un effet d'ASC significatif et positif de valeur la plus élevée de 1.55 jours pour la durée de la phase végétative. L'effet significatif, le plus négatif, d'une valeur de -1.59 jours est noté chez la population F2₄₆

(Tableau 14). Pour la hauteur de la plante, la population F2₂₆ présente un effet d'ASC significatif et positif de valeur la plus élevée de 4.05 cm. L'effet significatif, le plus négatif, d'une valeur de -7.29 cm est noté chez la population F2₅₆ (Tableau 14). Pour la longueur de l'épi, ces valeurs sont mesurées chez la population F2₄₆ avec une valeur de 0.70 cm et chez la population F2₂₃ avec une valeur de -0.24 cm (Tableau 14).

Dans la présente étude les variables mesurées peuvent être classés en deux groupes de par leurs effets sur le rendement en grains. Ainsi le poids des épis, la biomasse aérienne, le nombre d'épis, le nombre de grains par épi, le poids de 1000 et l'indice de récolte présentent des liaisons plus ou moins fortes avec le rendement. Par contre le contenu en chlorophylle, la hauteur de la plante, la durée de la phase végétative et la longueur restent indépendante de ce caractère (Tableau 10). Ceci suggère que les populations qui méritent des suivis futurs doivent présenter des effets d'ASC positifs et élevés en valeurs pour les variables influençant le rendement en grains.

Sur cette base, les populations F2₁₃, F2₁₄, F2₂₅, F2₂₆, et F2₄₆ sont les plus intéressantes pour plusieurs caractères à la fois. La population F2₁₃ présente des effets d'ASC positifs pour le poids des épis, la biomasse aérienne, le nombre d'épis, le poids de 1000, le rendement en grains et pour l'indice de récolte, en plus du contenu en chlorophylle.

La population F2₁₄ présente des effets d'ASC positifs pour le poids des épis, la biomasse aérienne, le nombre d'épis, le nombre de grains par épi, le rendement en grains et pour l'indice de récolte. Cependant la descendance de cette population peut présenter une réduction poids de 1000 grains (Tableau 14).

La population F2₂₅ présente des effets d'ASC positifs pour le poids des épis, la biomasse aérienne, le nombre d'épis et le rendement en grains. La descendance de cette population peut présenter une réduction poids de 1000 grains et de l'indice de récolte (Tableau 14). La population F2₂₆ présente des effets d'ASC positifs pour le poids des épis, la biomasse aérienne, le nombre de grains par épi,

le poids de 1000 grains, le rendement en grains et pour l'indice de récolte (Tableau 14).

La population F2₄₆ présente des effets d'ASC positifs pour le poids des épis, la biomasse aérienne, le nombre d'épis, le rendement en grains et l'indice de récolte. Cependant la descendance de cette population peut présenter une réduction poids de 1000 grains (Tableau 14).

Dans l'ensemble, les résultats offrent les possibilités de sélectionner des populations intéressantes pour des caractères particuliers comme elles permettent aussi de sélectionner des populations intéressantes pour plusieurs caractères à la fois, et ceci pour des suivis futurs de la descendance en vue de développer des génotypes à haut potentiel de rendement et mieux adaptés à l'environnement de production.

3.2.4. PARAMETRES GENETIQUES

3.2.4.1. VALIDITE DU MODELE D'ADDITIVITE-DOMINANCE

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 (Tableau 7), 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 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 (Tableau 15).

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.

Tableau 15. Test d'ajustement des données collectées au modèle d'additivité-dominance de par l'analyse de la régression des Wr sur les Vr et l'analyse de la variance des Wr+Vr et des Wr-Vr des différents caractères de la F2 diallèle incomplet.

Caractères	Régression des Wr sur les Vr				Analyse de la variance des	
	b	SE _b	H0: b=0 vs H1: b≠0	H0: b=1 vs H1: b≠1	Wr + Vr	Wr - Vr
PE	0.555	0.47	1.17ns	-0.015ns	12.823*	3.442ns
BIO	0.577	0.10	5.75**	4.184*	295.256ns	29.157ns
NE	0.469	0.40	1.16ns	1.241 ^{ns}	0.414ns	0.104ns
NGE	0.729	0.24	3.10*	0.554 ^{ns}	4802.343ns	927.502*
PMG	1.083	0.20	5.43**	-0.877ns	1489.507ns	61.188ns
RDT	0.954	0.49	1.94ns	0.018ns	5.280ns	1.511ns
HI	1.008	0.29	3.46*	-0.508ns	138.600ns	12.136ns
CHL	0.659	0.23	2.84*	0.047ns	267.54ns	58.075ns
SF	1.022	0.26	3.98*	-0.436ns	70.01682ns	10.096ns
DPV	1.023	0.17	6.02**	-1.706ns	115.510**	1.888ns
PHT	1.179	0.16	7.54**	-1.706ns	11284.35**	234.599**
LE	0.589	0.46	1.27ns	1.463ns	0.149**	0.023*

t.tab 5%, 4 ddl = 2.77, ns ; * = b non significativement différent de 0 ou de 1, significativement différent de 0 ou de 1 au seuil de 5%, respectivement. ns ; *, ** = effet génotype non significatif et significatif au seuil de 5 et 1% respectivement. PE= poids des épis par plant. BIO= poids de la plante. NE= nombre d'épis par plant. NGE=nombre de grains par épi. PMG=poids de 1000 grains. RDT= rendement en grains par plante. HI=indice de récolte. CHL= contenu en chlorophylle. TRE=teneur relative en eau. SF= surface de la feuille étandard. DPV=durée de la phase végétative. PHT= hauteur de la plante. LE=longueur de l'épi. b=coefficient de régression, SE_b = erreur standard du b.

Le coefficient (b) de la régression des Wr sur les vr est significativement différent de zéro pour la biomasse, le nombre d'épis, le nombre de grains par épi, le poids de 1000 grains, le rendement en grains, l'indice de récolte, le contenu en chlorophylle, la surface de la feuille étandard, la durée de la phase végétative, la hauteur de la plante et la longueur de l'épi et non significativement différent de zéro pour le poids des épis (Tableau 15).

Le coefficient de régression est non significativement différent de l'unité pour le nombre d'épis, le nombre de grains par épi, le poids de 1000 grains, le rendement en grains, l'indice de récolte, la surface de la feuille étandard, la durée de la phase végétative, et la hauteur de la plante ; il est significativement différent de l'unité pour le poids des épis, la biomasse aérienne, le contenu en chlorophylle et la longueur de l'épi (Tableau 15).

Les résultats du test de la régression des Wr sur les Vr indiquent que le nombre d'épis, le nombre de grains par épi, le poids de 1000 grains, le rendement en grains, l'indice de récolte, la surface de la feuille étandard, la durée de la phase végétative, et la hauteur de la plante remplissent les hypothèses

restrictives exigées par le modèle d'additivité-dominance. Ces hypothèses sont une ségrégation diploïde, ce qui est le cas du blé dur. L'homozygotie de matériel végétal parental, c'est le cas puisque les parents croisés sont des variétés fixées. L'absence d'effet réciproque n'a pas été vérifiée dans la présente étude, vu que les croisements réciproques n'ont pas été réalisés, mais l'absence de l'effet maternel est couramment acceptée pour la majorité des caractères morphologiques chez le blé (Wright, 1985 ; Akram *et al.*, 2008).

Les trois hypothèses restantes et qui sont l'absence d'épistasie, pas de multi allélisme, et ségrégation indépendantes des gènes sont les plus difficiles à vérifier. Cependant le test de la régression des W_r sur les V_r indique que ces hypothèses sont satisfaites pour les caractères cités ci-dessus. Elles ne sont que partiellement satisfaites pour le poids des épis, la biomasse aérienne, le contenu en chlorophylle et la longueur de l'épi où probablement il y a présence d'épistasie, qui est un phénomène couramment rencontré dans ce genre d'étude (Wright, 1985 ; Akram *et al.*, 2008).

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 hormis la longueur de l'épi (Tableau 15). La détermination des paramètres génétiques est valide pour les caractères qui répondent aux hypothèses restrictives, et elle est moins robuste pour les caractères qui ne remplissent que partiellement ces conditions. Selon Aksel et Johnson (1955) ainsi que Mather et Jinks (1982), 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.

3.2.4.2. DEGRE DE DOMINANCE

L'analyse des composantes de la variation des variables mesurées indique que toutes les composantes génétiques ainsi qu'environnementale sont significativement différentes de zéro (Tableau 16). Ces résultats suggèrent que des effets aussi bien génétiques qu'environnementaux sont impliqués dans le

contrôle des variables mesurées. La composante additive du nombre de grains par épi, du nombre d'épis par plante, du poids de 1000 grains, de l'indice de récolte, du contenu en chlorophylle, de la surface foliaire, de la durée de la phase végétative et de la hauteur de la plante est largement plus élevée en valeur que les composantes de dominance correspondantes H1 et H2 (Tableau 16).

Les composantes de dominances H1 et H2 sont, par contre, largement plus élevées en valeur que la composante additive pour le poids des épis, la biomasse aérienne, le rendement en grains et la longueur de l'épi. Ces résultats suggèrent la prépondérance des effets additifs dans le contrôle génétique des premiers caractères cités et la prépondérance des effets de dominance dans le contrôle génétiques des seconds caractères cités (Tableau 16). La prépondérance des effets additifs suggère que la sélection pour améliorer le caractère d'intérêt peut être pratiquée tôt sur les générations précoces. Par contre la prépondérance des effets non additive suggère de retarder la sélection, parce qu'elle si elle est pratiquée précocement elle ne serait pas 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), Fellahi *et al.* (2013b) et Hannachi *et al.* (2013a). La prépondérance des effets de dominance a été, par contre, rapportée par Akbar *et al.* (2009). 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.

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 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.

Tableau 16. Valeurs des composantes génétiques des variables mesurées de la F2 diallèle incomplet.

	D	F	H1	H2	h2	E	$\sqrt{0.25(H1/D)}$	h ² /H2	H2/4H1	$\frac{0.25\sqrt{(4DH1+0.5F)}}{0.25\sqrt{(4DH1-0.5F)}}$	H ² ns)
PE	1.104	-0.157	57.384	58.598	24.343	0.366	3.605	0.415	3.428	0.961	6.50
SE _{PE}	0.093	0.029	0.092	0.082	0.055	0.003					
BIO	8.389	20.764	232.095	216.379	20.868	3.302	2.630	0.096	1.743	2.778	1.21
SE _{BIO}	0.023	0.073	0.233	0.209	0.141	0.009					
NE	0.359	-0.464	5.752	5.001	-0.565	0.073	2.002	-0.113	0.939	0.512	15.40
SE _{NE}	0.001	0.004	0.014	0.012	0.008	0.001					
NGE	104.828	113.127	418.115	391.601	-15.765	5.028	0.999	0.040	0.249	3.351	60.60
SE _{NGE}	0.093	0.296	0.946	0.847	0.570	0.035					
PMG	120.484	32.635	104.349	98.069	-25.223	1.927	0.465	-0.257	0.056	1.821	87.30
SE _{PMG}	0.027	0.085	0.270	0.242	0.163	0.010					
RDT	0.284	1.611	43.331	40.579	2.615	0.651	6.177	0.064	9.699	2.698	2.20
SE _{RDT}	0.001	0.005	0.015	0.013	0.009	0.001					
HI	21.967	9.257	62.281	56.921	-9.542	1.022	0.842	-0.168	0.177	1.668	59.40
SE _{HI}	0.014	0.044	0.141	0.127	0.085	0.002					
CHL	35.925	4.790	142.570	133.469	-32.648	2.449	0.498	-0.245	0.255	1.143	45.50
SE _{CHL}	0.032	0.102	0.328	0.294	0.198	0.012					
SF	15.802	-1.900	56.322	50.789	-8.877	0.981	0.944	-0.175	0.222	0.880	45.50
SE _{SF}	0.006	0.020	0.063	0.056	0.038	0.002					
DPV	15.017	16.430	28.827	22.711	-5.356	0.450	0.693	-0.236	0.105	2.305	95.00
SE _{DPV}	0.007	0.022	0.070	0.062	0.042	0.003					
PHT	253.443	18.875	197.708	183.193	18.954	0.538	0.442	0.103	0.046	1.184	85.70
SEPHT	0.079	0.249	0.798	0.714	0.481	0.030					
LE	0.273	-0.494	3.031	2.232	0.147	0.029	1.667	0.066	0.761	-0.290	19.60
SE _{LE}	0.0005	0.0015	0.005	0.004	0.003	0.002					

D=effet additif, H1 et H2 = effets de dominance, F= fréquence des allèles dominants relativement aux allèles récessifs chez les parents, h2= l'effet de la dominance globale des loci hétérozygotes, $\sqrt{0.25(H1/D)}$ = Degré moyen de dominance, $[0.25\sqrt{(4DH1)+0.5F}/0.25\sqrt{(4DH1)-0.5F}]$ = Proportion des gènes dominants et récessifs chez les parents, h²/H2= nombre de gènes dominant contrôlant le caractère. PE= poids des épis par plant. BIO= poids de la plante. NE= nombre d'épis par plant. NGE=nombre de grains par épi. PMG=poids de 1000 grains. RDT= rendement en grains par plante. HI=indice de récolte. CHL= contenu en chlorophylle. TRE=teneur relative en eau. SF= surface de la feuille étandard. DPV=durée de la phase végétative. PHT= hauteur de la plante. LE=longueur de l'épi. $t_{tab5\% 4ddl} = 2.77$. Valeurs en gras significativement différentes de zéro, SE= standard erreur

Eunus (1964) 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.

Le degré moyen de dominance mesuré par le ratio $\sqrt{0.25(H1/D)}$ a eu des valeurs supérieures à zéro mais inférieures à l'unité pour le poids de 1000 grains (0.465), l'indice de récolte (0.842), le contenu en chlorophylle (0.498), la durée de la phase végétative (0.693) et la hauteur de la plante (0.442) ; une valeur proche de l'unité pour le nombre de grains par épi (0.999), et la surface de la feuille étendard (0.944), et une valeur supérieure à l'unité pour le nombre d'épis par plante (2.002), le poids des épis (3.605), la biomasse aérienne (2.630), le rendement en grains (6.177), et la longueur de l'épi (1.667) (Tableau 16).

Ces résultats suggèrent la présence de la dominance partielle dans le contrôle du poids de 1000 grains, de l'indice de récolte, de la durée de la phase végétative et de la hauteur de la plante et le contenu en chlorophylle. La dominance complète est présente dans le contrôle génétique du nombre de grains par épi, et de la surface de la feuille étendard. La superdominance est présente dans l'expression du nombre d'épi par plantes, poids des épis, de la biomasse aérienne, du rendement en grains, et de la longueur de l'épi.

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. 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 per épi. Riaz et Chowdhry (2003) rapportent une prépondérance des effets additifs sur les effets non additifs pour ces deux traits.

3.2.4.3. *DISTRIBUTION DES GENES*

La composante de dominance, H2, est égale à la composante de dominance H1 pour le poids des épis et le nombre d'épis par plante. Elle est inférieure pour la biomasse aérienne, le nombre de grains par épi, le poids de 1000 grains, le rendement en grains, la durée de la phase végétative, le contenu en chlorophylle, la longueur de l'épi, la surface de la feuille étendard et la hauteur de la plante. Elle est supérieure pour et l'indice de récolte (Tableau 16).

Ces résultats suggèrent l'égalité entre les fréquences des allèles à effets positifs et celles des allèles à effets négatifs, pour le poids des épis et le nombre d'épi et une disproportion entre les fréquences alléliques pour la biomasse aérienne, le nombre de grains par épi, le poids de 1000 grains, le rendement en grains, l'indice de récolte, la surface de la feuille étendard, le contenu en chlorophylle, la durée de la phase végétative et la hauteur de la plante où les gènes dominants sont plus fréquents que les récessifs.

Par contre il y a plus de gènes récessifs que de dominants contrôlant le nombre de grains par épi par plante et la longueur de l'épi. Ceci est confirmé par la valeur prise par le ratio $H2/4H1$, qui avoisine 0.25 pour les caractères dont les fréquences alléliques sont égales et elle est inférieure à cette valeur seuil pour les caractères dont les fréquences alléliques sont inégales (Tableau 16).

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 l'ensemble des variables mesurées hormis le nombre d'épis, le poids des épis, la surface de la feuille étendard et la longueur de l'épi dont la valeur F est négative suggérant que les allèles récessifs sont plus fréquents que les allèles dominants.

L'effet de dominance, obtenu par l'estimation (h^2) exprimée en somme algébrique sur tous les loci en condition hétérozygote dans tous les croisements, était significatif pour tous les caractères étudiés. Cela a révélé que la contribution substantielle des effets de dominance était due à l'hétérogénéité des loci. Les valeurs positives et négatives de (h^2) indiquent la direction de dominance.

Les résultats de cette étude indiquent que le poids des épis, la biomasse aérienne, le rendement grain, la longueur de l'épi et la hauteur de la plante possèdent des effets positifs. Par contre le nombre d'épi par plant, le nombre de grain par épi, le poids de 1000 grains, l'indice de récolte, la teneur en chlorophylle, la surface foliaire et la durée de la phase végétative possèdent des effets négatifs.

Le ratio $[(1/4)\sqrt{(4DH1) + 0.5F}/(1/4)\sqrt{(4DH1) - 0.5F}]$ prend une valeur légèrement proche de l'unité pour le poids des épis (0.961), la surface de la feuille étendard (0.880) indiquant l'égalité des proportions des gènes dominants et récessifs chez les parents. Ce paramètre indique par contre un excès de gènes récessifs chez les parents pour le nombre des épis (0.512) et la longueur de l'épi (0.761), et un excès de gènes dominants pour la biomasse aérienne (2.778), le nombre de grains par épi (3.351), le poids de 1000 grains (1.821), le rendement en grains (2.698), l'indice de récolte (1.668), le contenu en chlorophylle (1.143), la hauteur de la plante (1.184) et la durée de la phase végétative (2.305) (Tableau 16).

Jadoon *et al.* (2012), ont rapporté une prépondérance des effets dominants et une distribution asymétrique des gènes parmi les parents étudiés pour des caractères comme la hauteur des plantes, la durée de la phase végétative, la longueur de l'épi, les rendements grain et biologique. Ahmad *et al.*, (2016) ont également rapportés des valeurs positives de la composante F pour la surface de la feuille étendard, le poids de 1000 grains et des valeurs négatives pour la hauteur de la plante et le rendement grain.

3.2.4.4. HERITABILITE

Les estimations de l'héritabilité au sens étroit ont révélé des valeurs faibles pour le rendement grain, le poids des épis, la biomasse aérienne, le nombre d'épi et la longueur de l'épi, des valeurs modérées pour la teneur en chlorophylle et la surface foliaire de la feuille étendard et des valeurs élevées pour le nombre de grain par épi, le poids de 1000 grains, l'indice de récolte, la durée de la phase végétative et la hauteur de la plante (Tableau 16).

L'héritabilité au sens étroit estime la portion de variation génotypique qui est effectivement transférée à la progéniture et qui est responsable de la modification de la composition génétique du matériel génétique par sélection. Elle est directement proportionnelle à la variance génétique additive et est plus élevée chez les caractères régis de façon additive.

Ainsi la sélection du poids de 1000 grains, le nombre de grain par épi, l'indice de récolte, la durée de la phase végétative et la hauteur de la plante est effective dans les premières générations. Une héritabilité élevée pour ces caractères a été également rapportée par Ullah *et al.* (2010), Hussain *et al.* (2013), Nazeer *et al.* (2013) et Ahmad *et al.* (2016).

Les faibles valeurs de l'héritabilité au sens étroit pour le rendement grain, le poids des épis, la biomasse aérienne, le nombre d'épi et la longueur de l'épi indique la prépondérance de la variation de dominance dans la transmission de ces caractères, par conséquent, la sélection pour ces caractères peut être retardée pour des générations futures.

3.3. ANALYSE GRAPHIQUE

3.3.1. POIDS DES EPIS

La droite de régression des W_r sur les V_r du poids des épis passe au-dessous de l'origine (figure 6), indiquant la présence de superdominance. Gaviota durum, de par sa position proche de l'origine des axes, porte plus d'allèles dominants tandis que Waha, situé loin de l'origine, le long de la droite de

régression, porte au contraire peu de gènes dominants et donc plus de gènes récessifs (Figure 6).

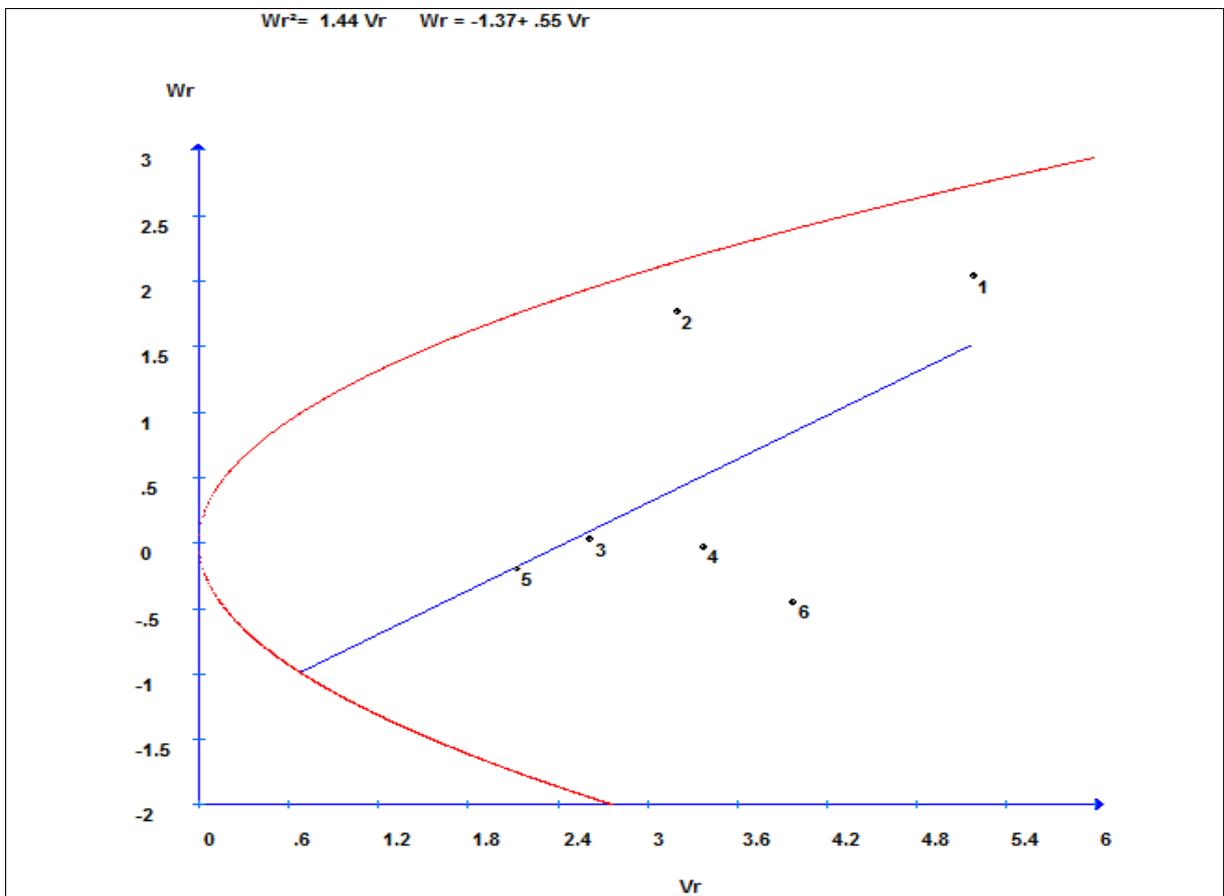


Figure 6. Droite de régression des W_r sur les V_r et courbe enveloppe $W_r^2 = V_p V_r$ du poids des épis (1= Waha, 2= Zb/Fg, 3=Mexicali, 4=Ofanto, 5=Gaviota durum, 6= Guemgoum Rkhem).

La corrélation entre les $(W_r + V_r)$ et les valeurs propres parentales (Y_r) est une mesure de la relation entre la fréquence des gènes dominants et l'expression du phénotype des parents. Selon Singh et Chaudhary (2006), une corrélation positive indique que les gènes récessifs contrôlent le caractère considéré alors qu'une corrélation négative suggère que l'augmentation du caractère ciblé est contrôlée par des gènes dominants. Le coefficient de corrélation des $(W_r + V_r)$ avec les valeurs propres parentales Y_r du poids des épis est négatif et significatif (Figure 7) indiquant que pour augmenter le poids des épis il faut sélectionner les gènes récessifs.

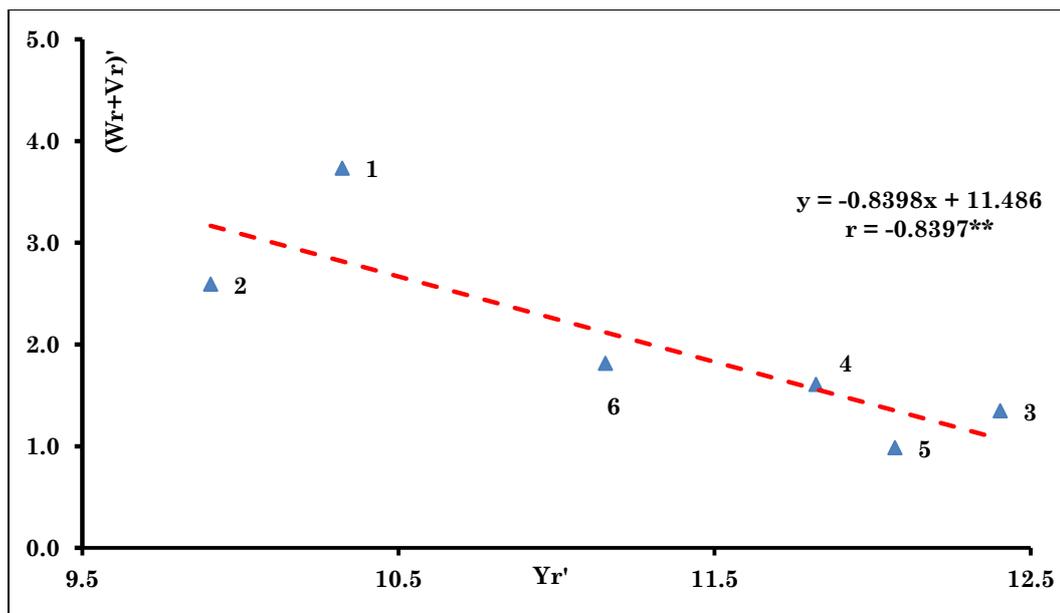


Figure 7. Droite de régression des W_r+V_r sur les valeurs propres parentales du poids des épis (1= Waha, 2= Zb/Fg, 3= Mexicali, 4= Ofanto, 5= Gaviota durum, 6= Guemgoum Rkhem).

La distribution des parents le long de la droite de régression suggère que l'échantillon de variétés croisées représente la variabilité existante chez le blé dur pour cette caractéristique. En effet les géniteurs croisés occupent l'ensemble de l'espace formé par les variables W_r+V_r et Y_r (Figure 7). Les valeurs propres des parents extrêmes, représentant les limites de la sélection pour cette caractéristique, sont $Y_D= 15.77$ et $Y_R= 9.06$ g (Tableau 17, Figure 7).

Tableau 17. Coordonnées (W_R , V_R) et (W_D , V_D) des sujets extrêmes, Y_D et Y_R valeurs propres des parents théoriques occupant les positions extrêmes, limites de la sélection à l'intérieur de la descendance du diallèle pour les caractères étudiés.

	W_R	V_R	W_D	V_D	Y_R	Y_D
PE	3.56	8.93	-0.99	0.68	9.06	15.77
BIO	23.05	45.80	-2.94	0.75	2.44	27.28
NE	0.87	1.81	0.02	0.00	2.44	5.60
NGE	131.47	157.29	19.28	3.38	21.45	50.09
PMG	77.83	49.63	34.91	9.98	36.59	51.36
RDT	1.83	3.70	-0.88	0.86	7.91	8.99
HI	19.40	16.19	3.66	0.58	28.16	47.20
CHL	39.40	51.79	6.10	1.24	32.57	35.53
DPV	12.25	9.86	2.78	0.50	146.62	135.03
SF	14.72	2.88	1.75	0.18	23.79	18.11
PHT	163.45	107.68	50.23	9.92	67.88	71.38
LE	0.45	0.67	0.06	0.01	6.93	7.62

Y_D = valeur propre du parent théorique complètement dominant, Y_R = valeur propre du parent théorique complètement récessif. PE= poids des épis par plant. BIO= poids de la plante. NE= nombre d'épis par plant. NGE=nombre de grains par épi. PMG=poids de 1000 grains. RDT= rendement en grains par plante. HI=indice de récolte. CHL= contenu en chlorophylle. TRE=teneur relative en eau. SF= surface de la feuille étandard. DPV= durée de la phase végétative. PHT= hauteur de la plante. LE=longueur de l'épi.

3.3.2. BIOMASSE AERIENNE

La droite de régression des W_r sur les V_r de la biomasse aérienne coupe l'axe des W_r au-dessous de l'origine ($a=-3.37$) suggérant la présence de la super dominance dans le contrôle génétique de ce caractère. Les parents Guemgoum Rkhem (P6) et Mexicali (P3), localisés près du point d'origine, contiennent plus d'allèles dominants, par contre Ofanto (P4) porte plutôt plus d'allèles récessifs que de dominants (Figure 8). L'ordre des parents, du plus dominant au plus récessif, est le suivant $P6 > P3 > P2 > P5 > P1 > P4$ (Figure 8).

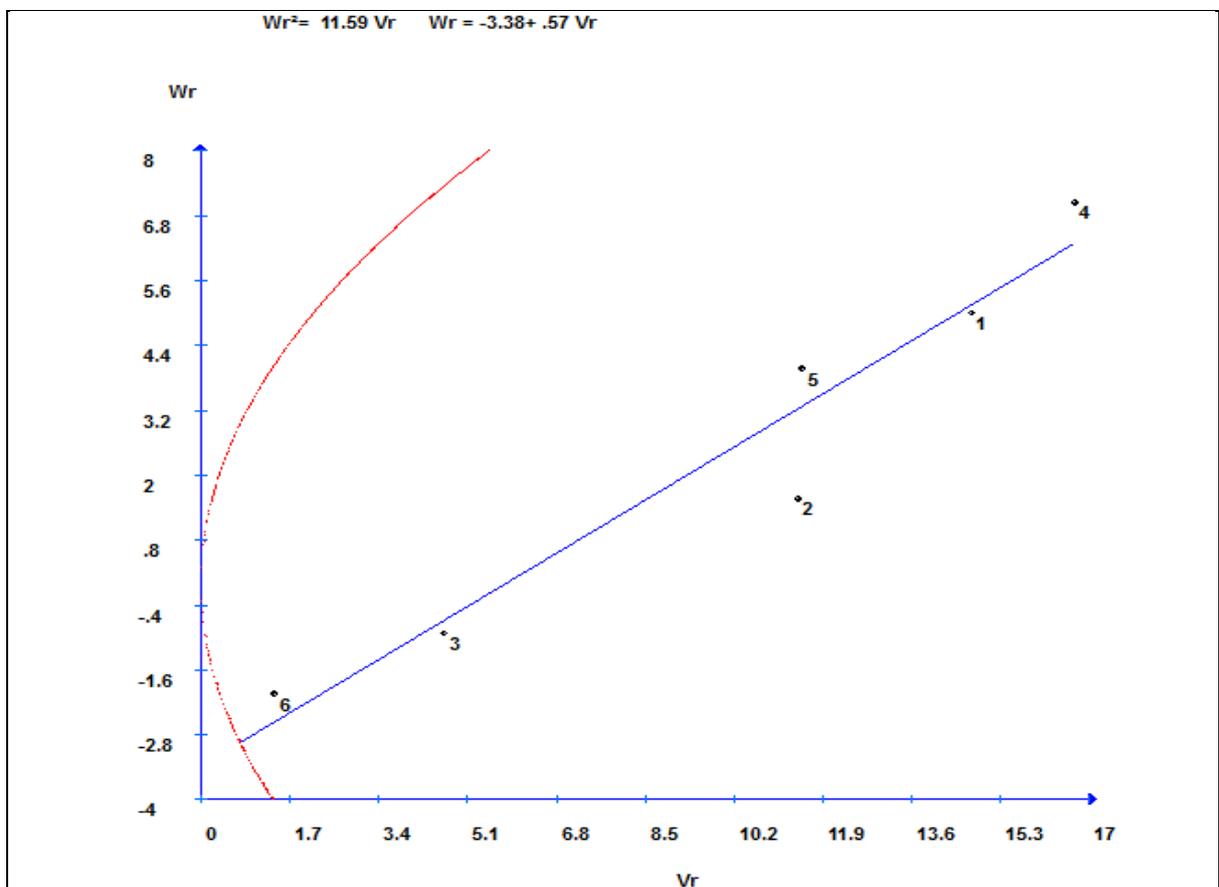


Figure 8. Droite de régression des W_r sur les V_r et courbe enveloppe $W_r^2 = V_p V_r$ de la biomasse (1= Waha, 2= Zb/Fg, 3=Mexicali, 4=Ofanto, 5=Gaviota durum, 6= Guemgoum Rkhem).

Le coefficient de corrélation entre les valeurs parentales (Y_r) et les valeurs ($W_r + V_r$) est significatif et négatif ($r = -0.961^{**}$) indiquant que la biomasse aérienne est sous contrôle des gènes dominants. Les limites possibles de sélection théoriques sont $Y_D = 27.28$ et $Y_R = 2.44$ (Tableau 17, Figure 9)

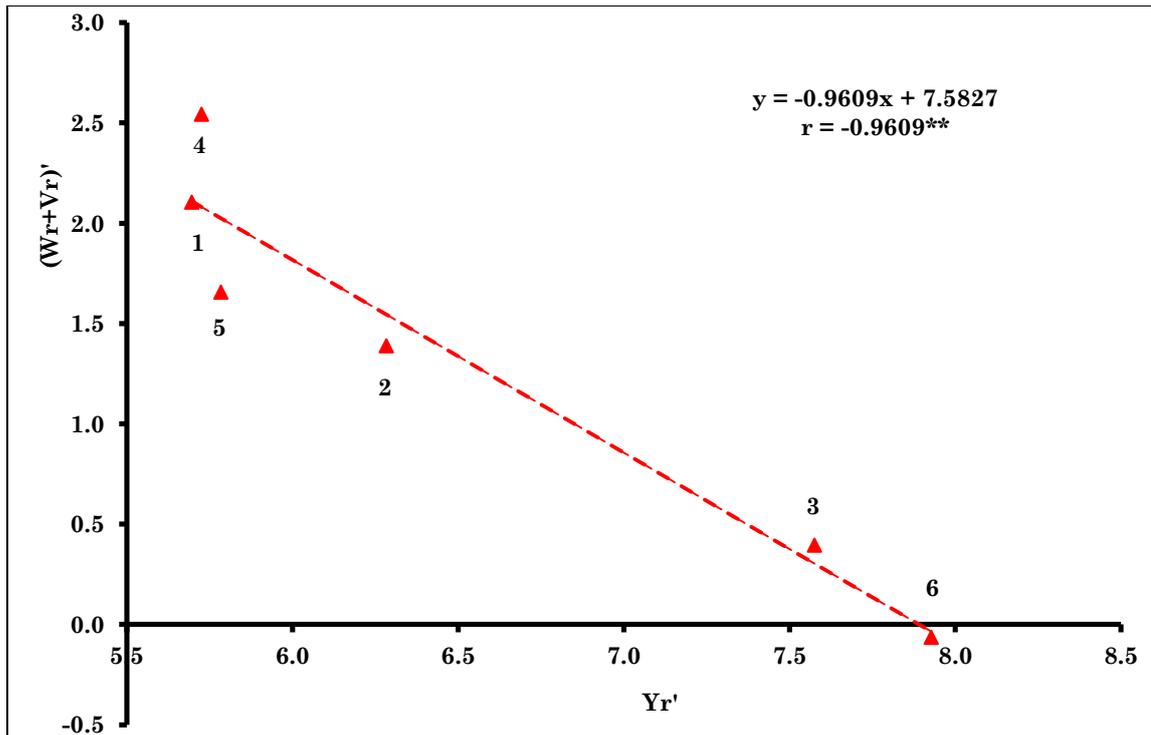


Figure 9. Droite de régression des W_r+V_r sur les valeurs propres parentales de la biomasse (1= Waha, 2= Zb/Fg, 3=Mexicali, 4=Ofanto, 5=Gaviota durum, 6= Guemgoum Rkhem)

3.3.3. NOMBRE D'EPIS

La droite de régression des W_r sur les V_r coupe l'axe des W_r au-dessus de l'origine des axes ($a=0.022$) suggérant la dominance partielle dans le contrôle génétique de ce caractère (Figure 10). De par la distribution des parents le long de la droite de régression, Waha (P1), positionné près de l'origine, contient plus d'allèles dominants que de récessifs, alors que Mexicali₇₅ (P3), Ofanto (P4) et Guemgoum Rkhem (P6), positionnés juste au milieu, portent des proportions égales d'allèles dominants et récessifs. Par contre Gaviota durum (P5) et Zenati Bouteille/Flamingo (P2), positionnés plus loin de l'origine des axes, possèdent plus d'allèles récessifs que de dominants (Figure 10). Le signe négatif de la corrélation ($r = -0.678$) entre les W_r+V_r et les valeurs propres parentales, indique que l'augmentation du nombre d'épis est contrôlée par les allèles dominants ou que les allèles dominants ont un effet positif. L'ordre de dominance des parents est le suivant P1, P6, P3, P4, P2 et P5 (Figures 10 et 11). Les valeurs des parentes théoriques, représentant les limites de la sélection sont $Y_D=5.60$ et $Y_R=2.44$.

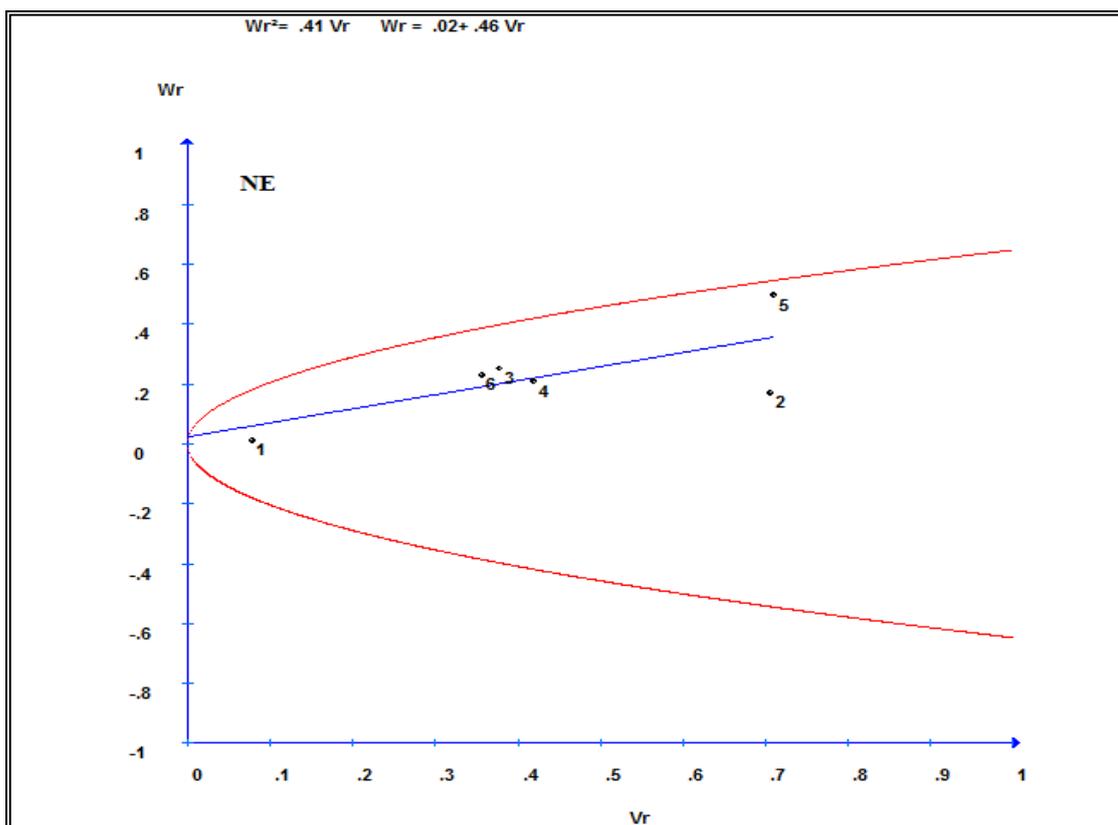


Figure 10. Droite de régression des W_r sur les V_r et courbe enveloppe $W_r^2 = V_p V_r$ du nombre d'épis (1= Waha, 2= Zb/Fg, 3= Mexicali, 4= Ofanto, 5= Gaviota durum, 6= Guemgoum Rkhem).

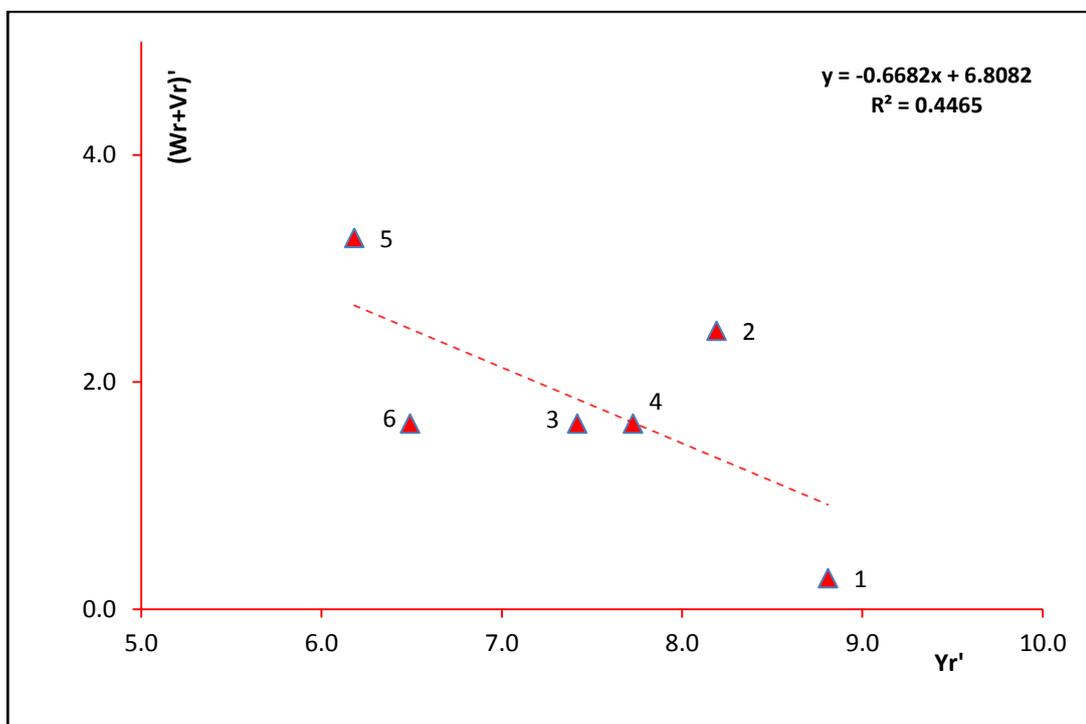


Figure 11. Droite de régression des $W_r + V_r$ sur les valeurs propres parentales du nombre d'épis (1= Waha, 2= Zb/Fg, 3= Mexicali, 4= Ofanto, 5= Gaviota durum, 6= Guemgoum Rkhem).

3.3.4. NOMBRE DE GRAIN PAR EPI

La droite de régression passe au-dessus du point d'origine et coupe l'axe des V_r au-dessus de l'origine O ($a= 16.810$) indiquant la présence de la dominance partielle dans le contrôle génétique du nombre de grains par épi (Figure 12). La position des valeurs parentales le long de la droite de régression des W_r sur les V_r indique que Guemgoum Rkhem (P6), étant positionné très loin de l'origine, possède plus d'allèles récessifs. Par contre Waha (P1), Ofanto (P4), et Zb/Fg (P2) portent relativement plus d'allèles dominants que de récessifs. L'augmentation du nombre de grains par épi est sous contrôle des gènes dominants comme le suggère la corrélation entre les Y_r et les (W_r+V_r) pour ce caractère qui est de signe négatif (-0.370). L'ordre de dominance des parents, du plus dominant au plus récessif, est le suivant : $P2>P4>P1>P3>P4>P6$ (Figures 12 et 13).

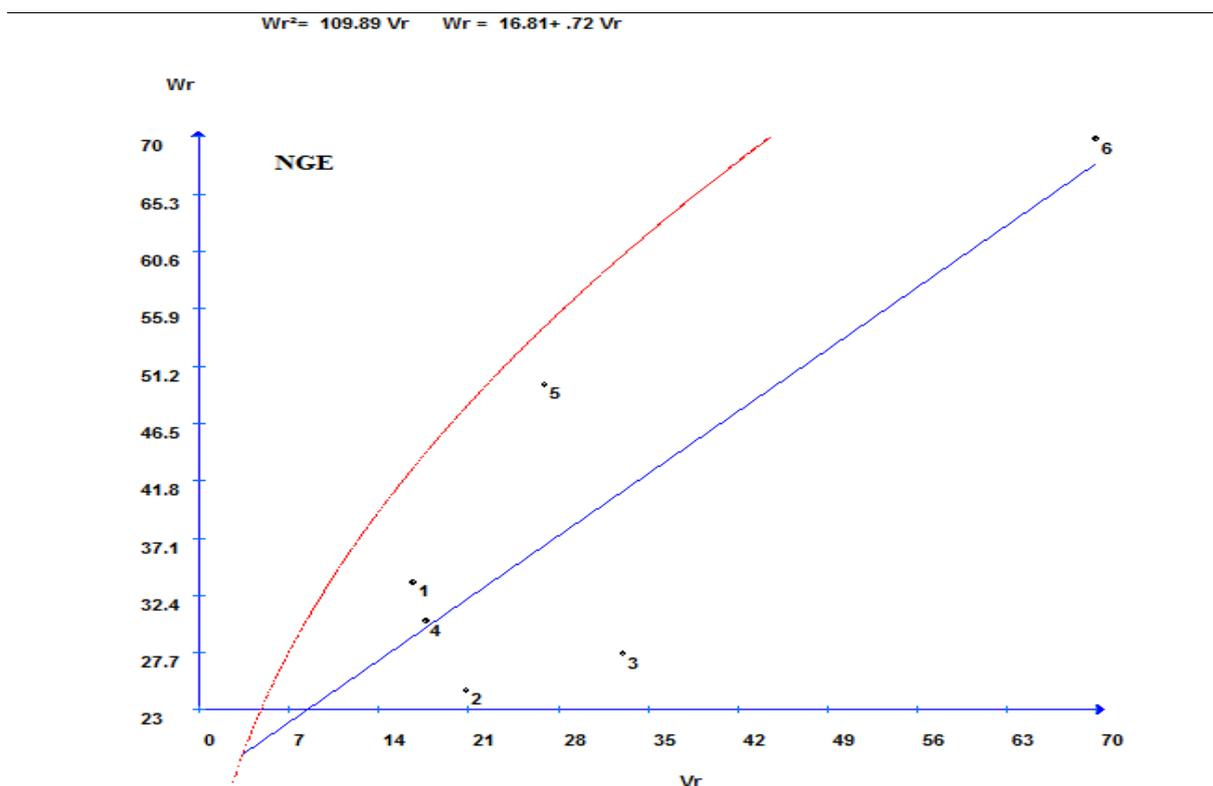


Figure 12. Droite de régression des W_r sur les V_r et courbe enveloppe $W_r^2=V_pV_r$ du nombre de grains par épi (1= Waha, 2= Zb/Fg, 3= Mexicali, 4= Ofanto, 5= Gaviota durum, 6= Guemgoum Rkhem).

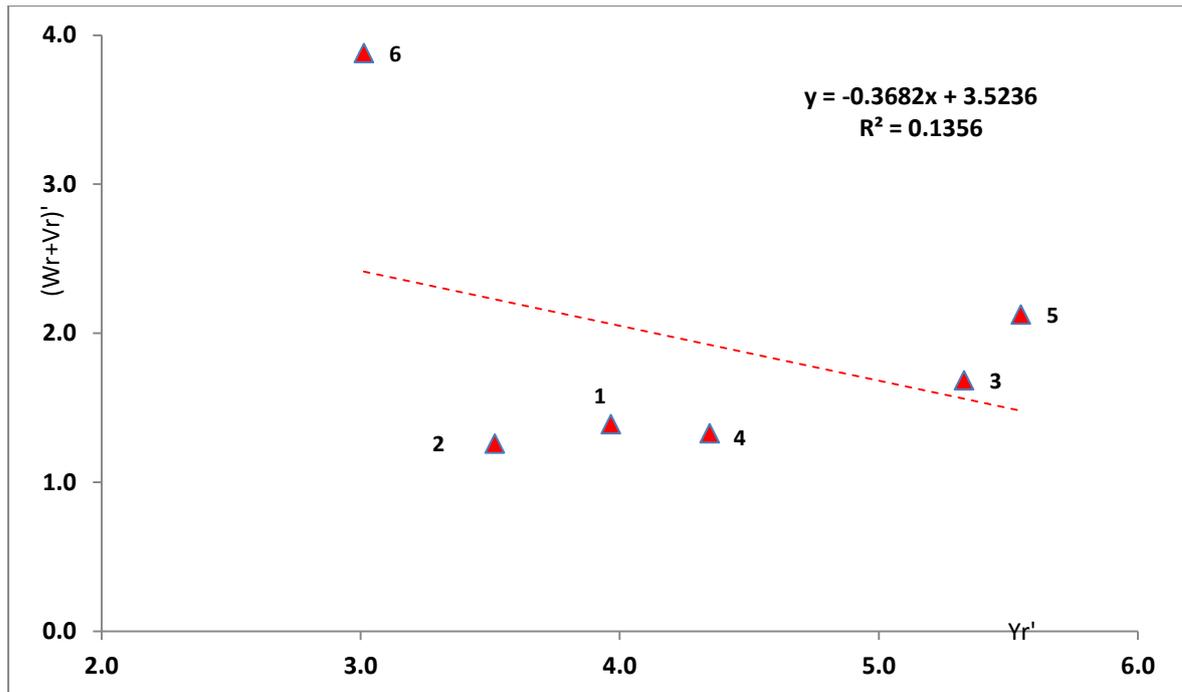


Figure 13. Droite de régression des W_r+V_r sur les valeurs propres parentales du nombre de grains par épi (1= Waha, 2= Zb/Fg, 3=Mexicali, 4=Ofanto, 5=Gaviota durum, 6= Guemgoum Rkhem).

La faible valeur du coefficient de corrélation entre les valeurs parentales et l'ordre de dominance ($W_r + V_r$) suggère que les parents croisés divergent pour le type de gènes contrôlant l'augmentation du caractère. Ainsi chez certains parents l'augmentation du nombre de grains par épi est contrôlée par des allèles récessifs alors que chez d'autres parents ce sont les gènes dominants qui ont un effet positif ou qui contrôlent l'augmentation du nombre de grains par épi. Les valeurs propres des parents théoriques, représentant les limites de la sélection, pour ce caractère sont $Y_D = 50.09$ et $Y_R = 21.45$ (Figure 13).

3.3.5. POIDS DE 1000 GRAINS

La droite de régression coupe l'axe W_r au-dessus de l'origine des axes ($a = 24.098$) ce qui signifie que le poids de 1000 grains est sous contrôle de la dominance partielle (Figure 14). Zenati Bouteille/Flamingo (P2), de par sa position, loin du point de l'origine des axes, porte plus d'allèles récessifs que de dominants, à l'inverse Waha (P1) porte plus d'allèles dominants que de récessifs (Figure 14). Le coefficient de corrélation entre les valeurs Y_r et les (W_r+V_r) est de signe négatif $r_{(Y_r, (W_r+V_r))} = -0.341$, il suggère que les valeurs élevées du poids de 1000

grains sont contrôlées par des allèles dominants (Figure 15). L'ordre de dominance des parents est le suivant P1, P4, P6, P5, P3 et P2. Les valeurs propres des parents théoriques, représentant les limites de la sélection sont $YD=51.36$ et $YR=36.59$.

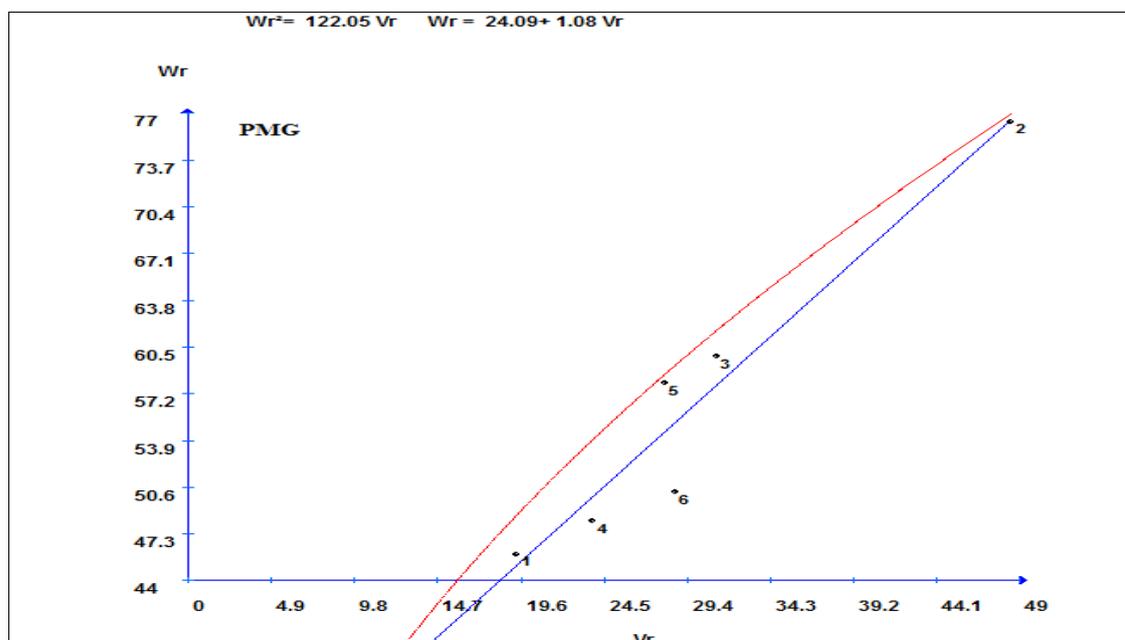


Figure 14. Droite de régression des W_r sur les V_r et courbe enveloppe $W_r^2 = V_p V_r$ du poids de 1000 grains (1= Waha, 2= Zb/Fg, 3=Mexicali, 4=Ofanto, 5=Gaviota durum, 6= Guemgoum Rkhem).

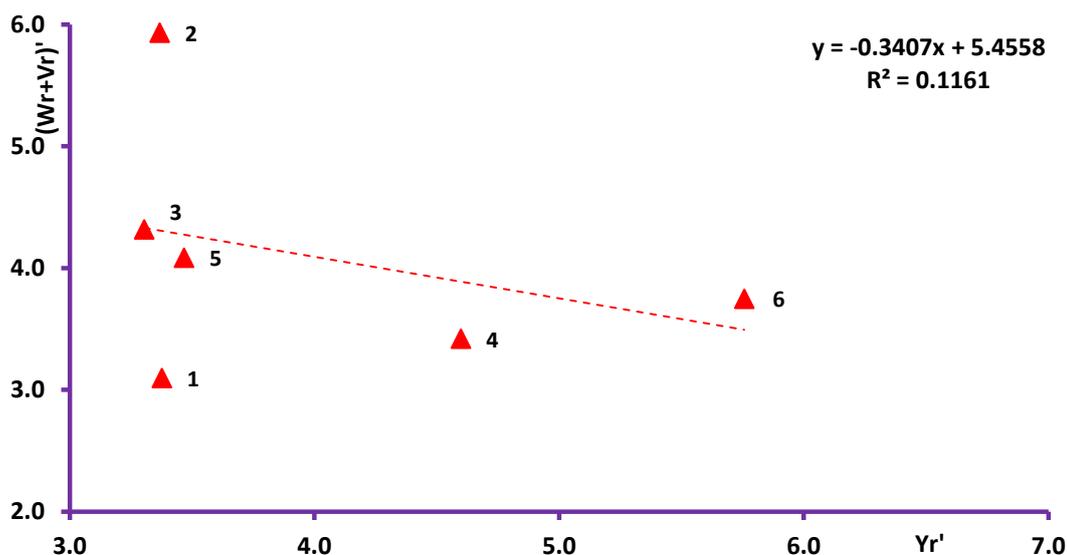


Figure 15. Droite de régression des $W_r + V_r$ sur les valeurs propres parentales du poids de 1000 grains (1= Waha, 2= Zb/Fg, 3=Mexicali, 4=Ofanto, 5=Gaviota durum, 6= Guemgoum Rkhem).

3.3.6. INDICE DE RECOLTE

Le graphe Wr/Vr indique que la droite de régression coupe l'axe Wr au-dessus du point O, origine des axes ($a= 3.077$) indiquant une action génique de dominance partielle. Ofanto (P4), Zenati bouteille/Flamingo (P2) et Gaviota durum (P5) portent le maximum d'allèles dominants alors que Guemgoum Rkhem (P6) porte, au contraire plus d'allèles récessifs que de dominants. Waha (P1) et Mexicali₇₅ (P3) de par leurs positions, occupant le milieu de la droite de régression portent autant d'allèles dominants que de récessifs (Figure 16).

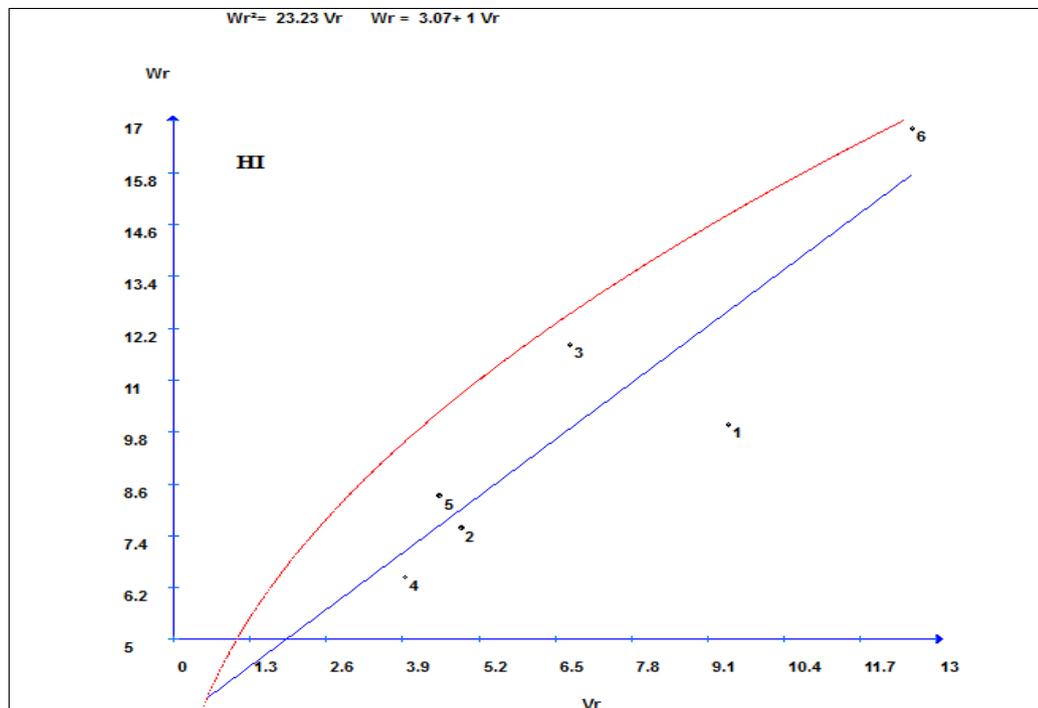


Figure 16. Droite de régression des Wr sur les Vr et courbe enveloppe $Wr^2=VpVr$ de l'indice de récolte (1= Waha, 2= Zb/Fg, 3=Mexicali, 4=Ofanto, 5=Gaviota durum, 6= Guemgoum Rkhem).

La corrélation entre les valeurs des parents et le degré de dominance est négative et proche de l'unité ($r_{(Yr, Wr+Vr)} = -0.879^{**}$) ce qui signifie que l'indice de récolte est sous le contrôle d'allèles dominants à effet positifs. L'ordre de dominance des parents est le suivant : P4, P2, P5, P3, P1 et P6. Les valeurs propres des parents théoriques, représentant les limites de la sélection, sont $YD = 47.20$ et $YR = 28.16$ (Figure 17).

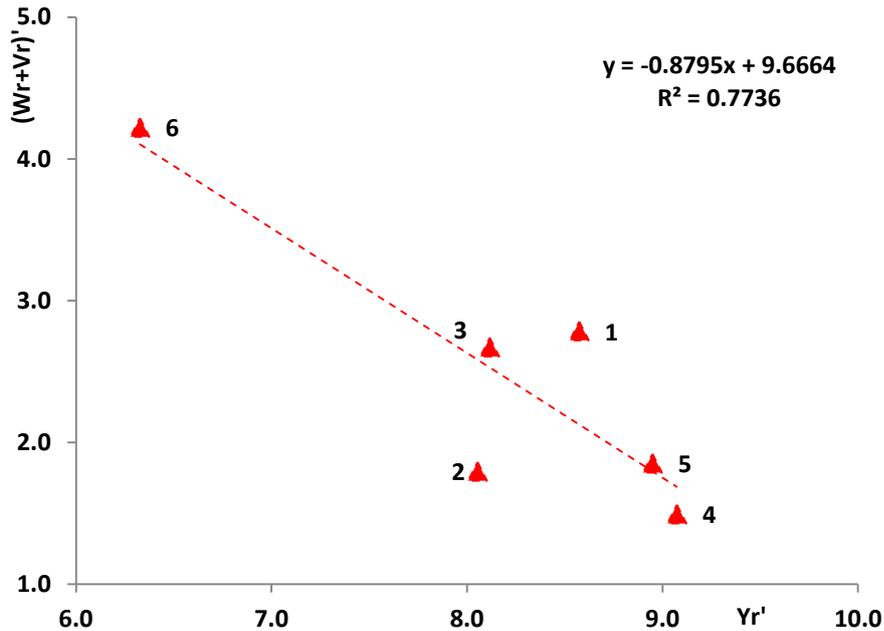


Figure 17. Droite de régression des W_r+V_r sur les valeurs propres parentales de l'indice de récolte (1= Waha, 2= Zb/Fg, 3=Mexicali, 4=Ofanto, 5=Gaviota durum, 6= Guemgoum Rkhem).

3.3.7. RENDEMENT GRAIN

La droite de régression des W_r sur les V_r coupe l'axe des W_r au-dessous de l'origine O, des axes, ($a = -1.705$). Ceci indique que le caractère analysé est sous contrôle génique de superdominance (Figure 18). Waha (P1) porte le plus d'allèles récessifs vu qu'il est positionnée loin de l'origine O des axes. Par contre, Gaviota durum (P5) porte au contraire le plus d'allèles dominants, suite à sa position relativement au point O origine des axes (Figure 18). Les autres parents sont positionnés au milieu de la droite de régression, et de ce fait ils se caractérisent par des fréquences d'allèles dominants égales à celles des allèles récessifs. La corrélation entre les valeurs parentales et les (W_r+V_r) est négative et de faible valeur ($r_{(Y_r, W_r+V_r)} = -0.247$), suggérant que l'augmentation du rendement est sous le contrôle des gènes dominants chez certains parents et sous contrôle de gènes récessifs chez d'autres parents. L'ordre de dominance des parents est le suivant : $P_5 > P_6 > P_2 > P_4 > P_3 > P_1$ (Figure 19). Les parents théoriques qui représentent les limites de la sélection ont pour valeurs propres $Y_R = 7.91$ et $Y_D = 8.99$ g/plante

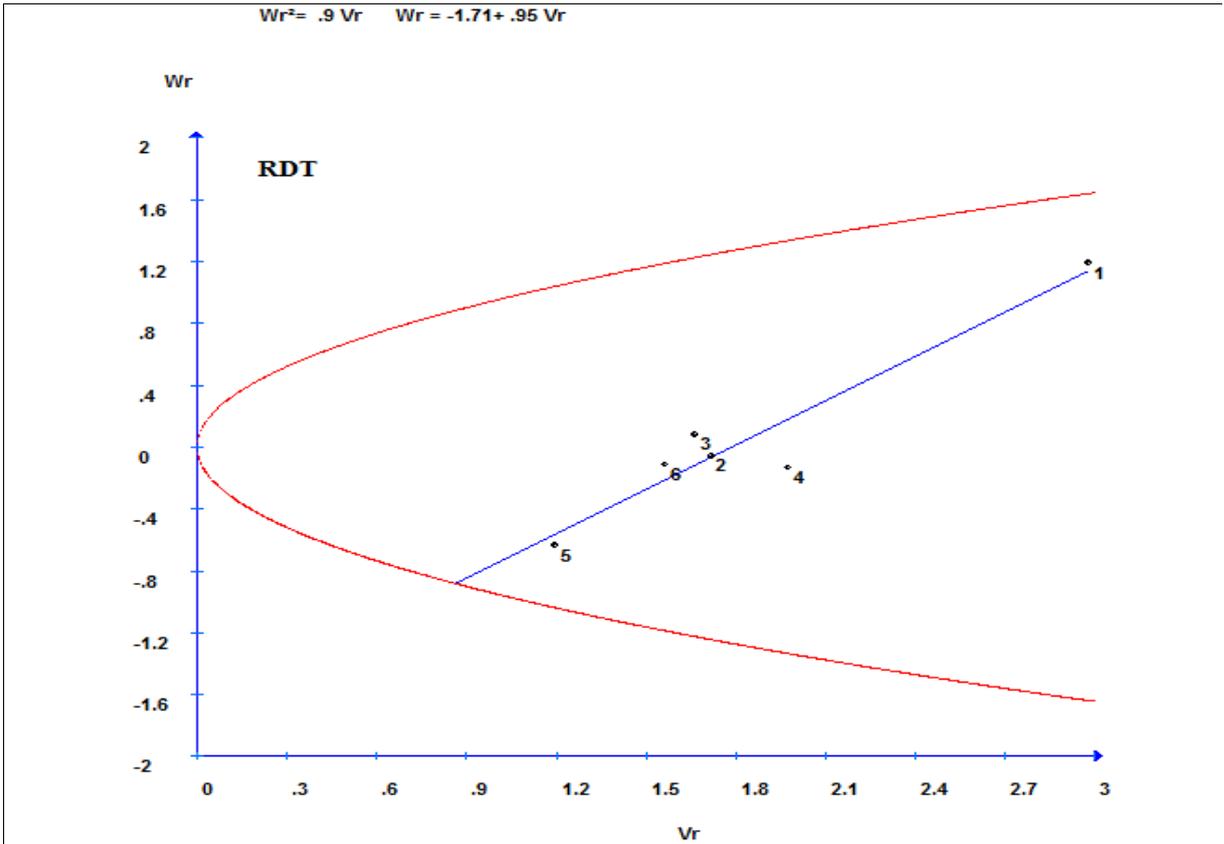


Figure 18. Droite de régression des Wr sur les Vr et courbe enveloppe $Wr^2 = VpVr$ du rendement en grains (1= Waha, 2= Zb/Fg, 3=Mexicali, 4=Ofanto, 5=Gaviota durum, 6= Guemgoum Rkhem).

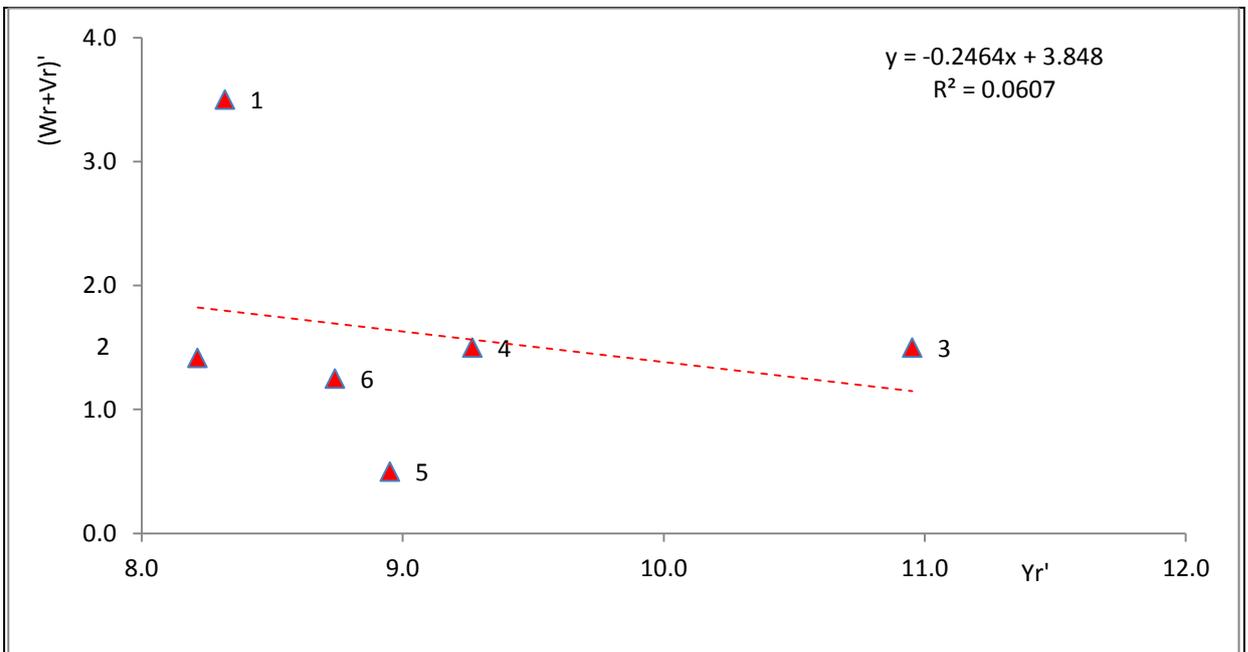


Figure 19. Droite de régression des $Wr+Vr'$ sur les valeurs propres parentales du rendement en grains (1= Waha, 2= Zb/Fg, 3=Mexicali, 4=Ofanto, 5=Gaviota durum, 6= Guemgoum Rkhem).

Tableau 18. Les différents paramètres statistiques de l'analyse graphique.

Caractère	Parents	Vr	Wr	(Wr+Vr)	Rang	(Wr-Vr)	Yr	(Wr+Vr)'	Yr
PE	1	5.2	2.0	7.2	VI	-3.1	12.4	3.73	10.2
	2	3.2	1.8	5.0	V	-1.4	11.9	2.59	9.8
	3	2.6	0.0	2.6	II	-2.6	14.9	1.35	12.3
	4	3.4	-0.2	3.1	III	-3.6	14.2	1.61	11.7
	5	2.1	-0.2	1.9	I	-2.3	14.5	0.99	11.9
	6	4.0	-0.4	3.5	IV	-4.4	13.4	1.82	11.0
BIO	1	14.7	5.0	19.7	V	-9.7	19.4	2.11	5.7
	2	11.4	1.6	13.0	III	-9.8	21.4	1.39	6.2
	3	4.6	-0.9	3.7	II	-5.6	25.8	0.40	7.6
	4	16.7	7.0	23.8	VI	-9.7	19.5	2.54	5.7
	5	11.5	4.0	15.5	IV	-7.5	19.7	1.66	5.8
	6	1.4	-2.0	-0.6	I	-3.4	27.0	-0.06	7.9
NE	1	0.1	0.0	0.1	I	-0.1	5.7	0.27	8.7
	2	0.7	0.2	0.9	V	-0.5	5.3	2.45	8.0
	3	0.4	0.3	0.6	IV	-0.1	4.8	1.64	7.3
	4	0.4	0.2	0.6	III	-0.2	5.0	1.64	7.6
	5	0.7	0.5	1.2	VI	-0.2	4.0	3.27	6.0
	6	0.4	0.2	0.6	II	-0.1	4.2	1.64	6.3
NGE	1	16.6	33.5	50.1	III	16.9	41.6	1.39	4.0
	2	20.8	24.6	45.4	I	3.9	36.9	1.26	3.5
	3	33.0	27.6	60.7	IV	-5.4	55.9	1.68	5.3
	4	17.6	30.3	47.9	II	12.7	45.6	1.33	4.4
	5	26.9	49.7	76.6	V	22.8	58.2	2.13	5.6
	6	69.9	69.8	139.8	VI	-0.1	31.6	3.88	3.0
PMG	1	19.3	45.9	65.2	I	26.6	37.3	3.10	3.4
	2	48.4	76.4	124.9	VI	28.0	37.2	5.93	3.4
	3	31.1	59.9	90.9	V	28.8	36.5	4.32	3.3
	4	23.8	48.2	72.0	II	24.4	50.8	3.42	4.6
	5	28.0	58.0	86.0	IV	29.9	38.3	4.09	3.5
	6	28.6	50.3	78.9	III	21.6	63.6	3.75	5.8
RDT	1	3.0	1.2	4.2	VI	-1.8	7.9	3.50	8.2
	2	1.7	-0.1	1.7	III	-1.8	7.8	1.42	8.0
	3	1.7	0.1	1.8	V	-1.6	10.4	1.50	10.8
	4	2.0	-0.1	1.8	IV	-2.1	8.8	1.50	9.1
	5	1.2	-0.6	0.6	I	-1.8	8.5	0.50	8.8
	6	1.6	-0.1	1.5	II	-1.7	8.3	1.25	8.5
HI	1	9.5	10.0	19.4	V	0.5	41.2	2.79	8.6
	2	4.9	7.6	12.5	II	2.7	38.7	1.80	8.1
	3	6.7	11.8	18.6	IV	5.1	39.0	2.67	8.1
	4	3.9	6.4	10.4	I	2.5	43.6	1.49	9.1
	5	4.5	8.3	12.9	III	3.8	43.0	1.85	9.0
	6	12.6	16.8	29.4	VI	4.2	30.4	4.22	6.3

PE= poids des épis par plant. BIO= poids de la plante. NE= nombre d'épis par plant. NGE=nombre de grains par épi. PMG=poids de 1000 grains. RDT= rendement en grains par plante. HI=indice de récolte.

3.3.8. CHLOROPHYLLE

La droite de régression des Wr sur les Vr (Figure 20) coupe l'axe des ordonnées au-dessus de l'origine des axes au point (a=5.28). Cette position indique que le contenu en chlorophylle est sous contrôle génétique de la

dominance partielle. La distribution des coordonnées des parents le long de la droite de régression des W_r sur les V_r , qui définit leur position relativement à l'origine des axes, indique que chez Ofanto (P4) la fréquence des allèles dominants est plus élevée que celle des allèles récessifs. A l'inverse chez Zenati Bouteille/Flamingo (P2) la fréquence des allèles récessifs est plus importante. En effet Ofanto est positionné tout juste près de l'origine alors que Zenati/Bouteille//Flamingo est positionné plus loin. Le classement des parents du plus dominant au plus récessif est le suivant : $P4 > P1 > P6 > P3 > P5 > P2$ (Figure 20).

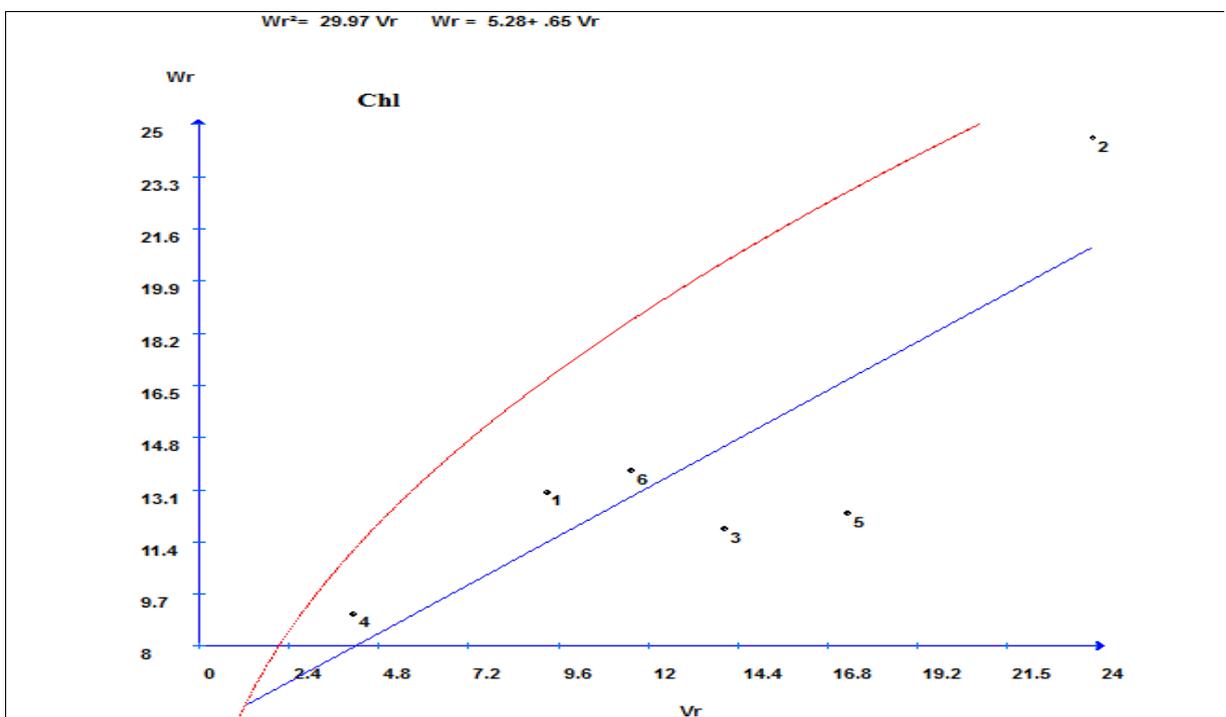


Figure 20. Droite de régression des W_r sur les V_r et courbe enveloppe $W_r^2 = V_p V_r$ de la teneur en chlorophylle (1= Waha, 2= Zb/Fg, 3= Mexicali, 4= Ofanto, 5= Gaviota durum, 6= Guemgoum Rkhem).

La corrélation entre les valeurs propres parentales et l'ordre de dominance indiqué par la somme $(W_r + V_r)$ est négative et non significative $r_{[Y_r, (W_r + V_r)]} = -0.08$. Ceci indique que les gènes dominants ont un effet positif chez certains parents alors que ce sont les gènes récessifs qui le sont chez d'autres parents. En effet le retrait des valeurs $(W_r + V_r)$ et Y_r des parents P4 et P1, produit une corrélation positive entre les valeurs $(W_r + V_r)$ et Y_r des parents P6, P5, P3 et P2, suggérant que les allèles récessifs ont un effet positif. A l'inverse, le retrait des valeurs $(W_r + V_r)$ et Y_r des parents P6 et P2, produit une corrélation négative entre les

valeurs (W_r+V_r) et Y_r des parents P5, P3, P1 et P4, suggérant que les allèles dominants ont un effet positif (Figure 21). Les parents théoriques qui représentent les limites de la sélection ont pour valeurs propres $Y_R= 32.57$ et $Y_D = 35.53$ unité spad.

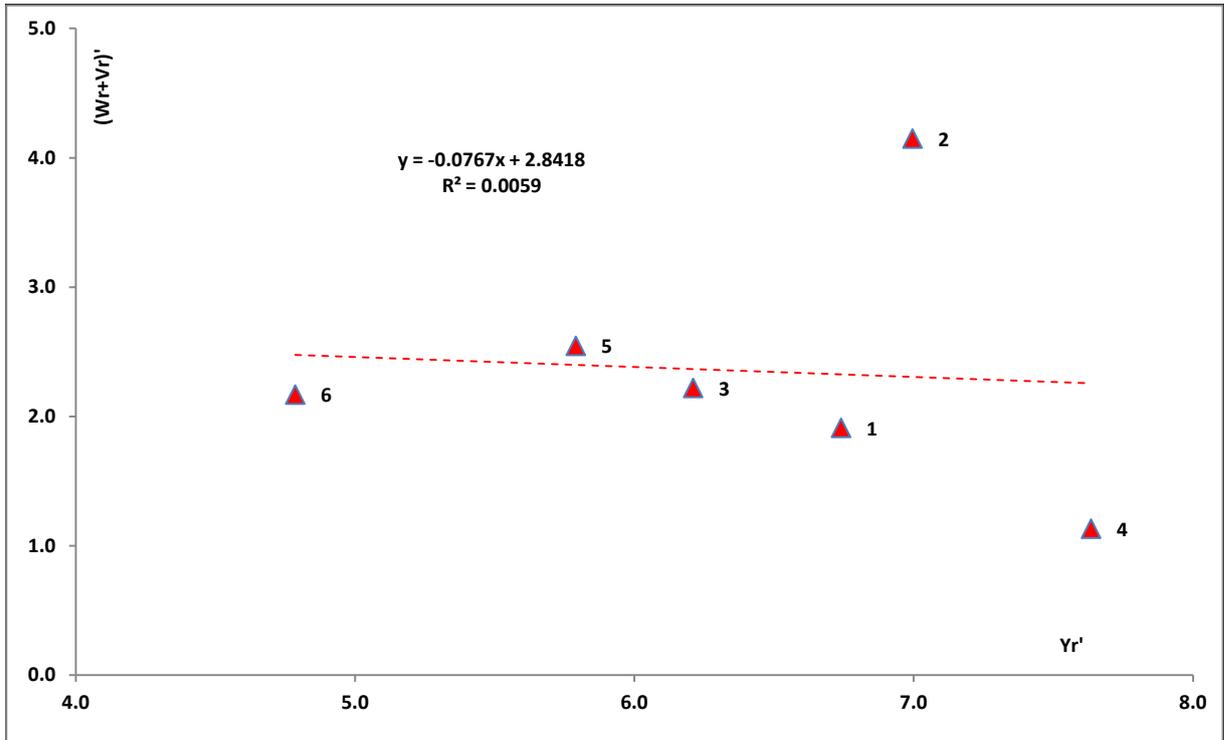


Figure 21. Droite de régression des W_r+V_r sur les valeurs propres parentales de la teneur en chlorophylle (1= Waha, 2= Zb/Fg, 3= Mexicali, 4= Ofanto, 5= Gaviota durum, 6= Guemgoum Rkhem).

3.3.9. PHASE VEGETATIVE

La droite de régression intercepte l'axe W_r au-dessus de l'origine des axes ($a=2.26$), suggérant que la durée de la phase végétative est sous contrôle génétique impliquant la dominance partielle (Figure 22). Guemgoum Rkhem (P6) porte le maximum d'allèles récessifs. Par contre, la fréquence maximale d'allèles dominants pour la durée de la phase végétative est observée chez Ofanto (P4) et Waha (P1) qui se positionnent près de l'origine des axes (Figure 22). L'ordre de dominance relative des parents est comme suit : $P_4 > P_1 > P_5 > P_2 > P_3 > P_6$. Le coefficient de corrélation ($r_{(Y_r, (W_r+V_r))} = 0.93^{**}$) entre les valeurs parentales Y_r et l'ordre de dominance (W_r+V_r) est hautement significatif, suggérant indique que les allèles récessifs ont un effet positif (Figure 23). Les parents théoriques qui

représentent les limites de la sélection ont pour valeurs propres YR= 146.62 et YD= 135.03 jours.

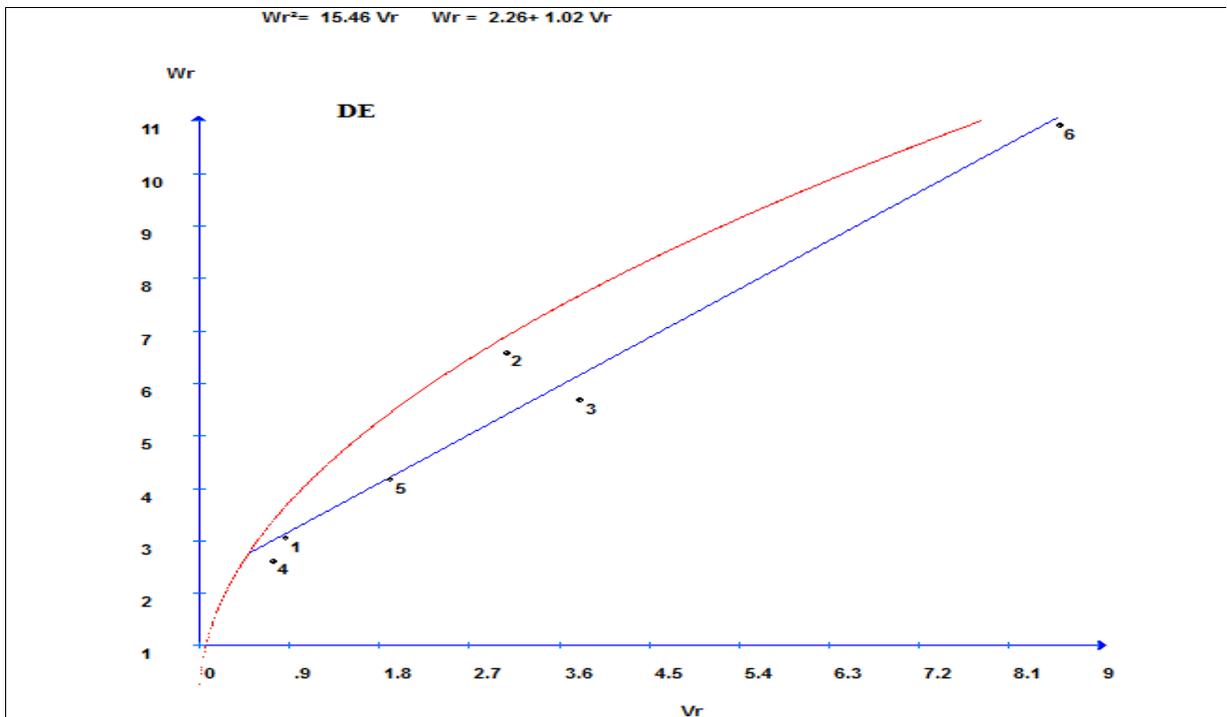


Figure 22. Droite de régression des Wr sur les Vr et courbe enveloppe $Wr^2 = VpVr$ de la durée de la phase végétative (1= Waha, 2= Zb/Fg, 3=Mexicali, 4=Ofanto, 5=Gaviota durum, 6= Guemgoum Rkhem).

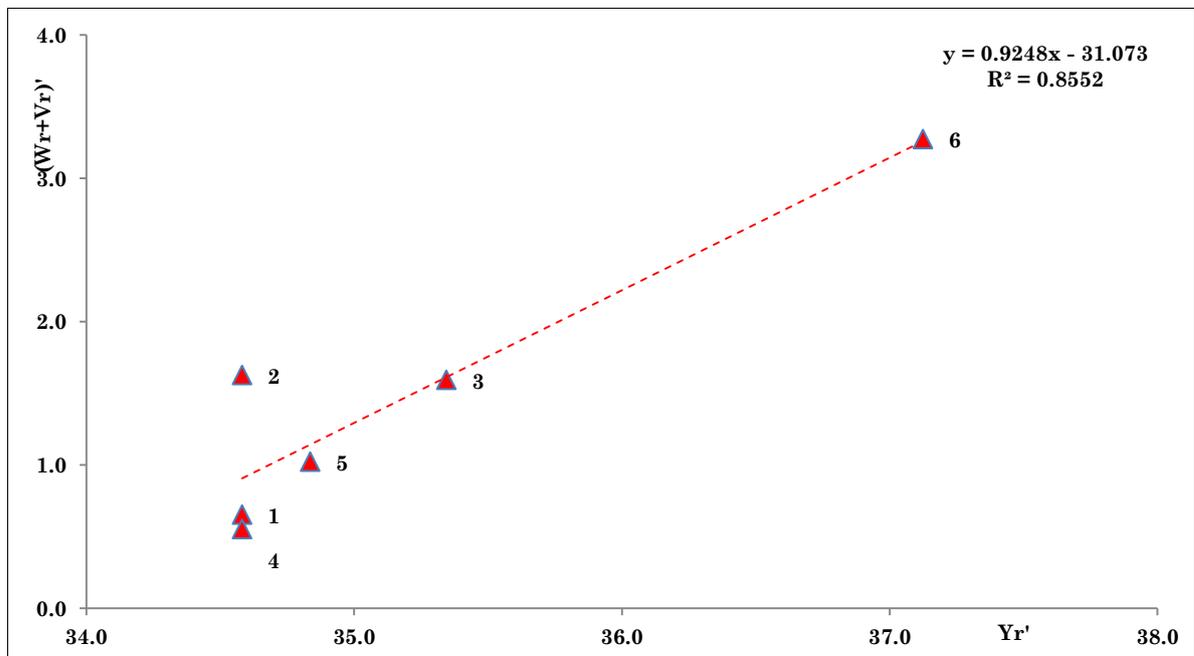


Figure 23. Droite de régression des $Wr+Vr$ sur les valeurs propres parentales de la durée de la phase végétative (1= Waha, 2= Zb/Fg, 3=Mexicali, 4=Ofanto, 5= Gaviota durum, 6= Guemgoum Rkhem).

3.3.10. SURFACE DE LA FEUILLE ETENDARD

La droite de régression des W_r sur les V_r de la surface de la feuille étendard coupe l'axe des ordonnées au-dessus de l'origine O, avec une ordonnée positive prenant une valeur de $a=1.56$. Ceci suggère que la surface de la feuille étendard est sous contrôle génétique de nature non additive impliquant la dominance partielle (Figure 24). Waha (P1) et Guemgoum Rkhem (P6) se caractérisent par des fréquences des allèles dominants plus élevées que les fréquences des allèles récessifs contrôlant la surface de la feuille étendard. Par contre Mexicali₇₅ (P3) suivi par Zenati Bouteille/Flamingo (P2) portent plus d'allèles récessifs que d'allèles dominants. Ceci est déduit de par la position des parents mentionnés le long de la droite de régression et relativement de l'origine O des axes (Figure 24). L'ordre relatif de dominance des parents est comme suit : $P1 > P6 > P4 > P5 > P2 > P3$.

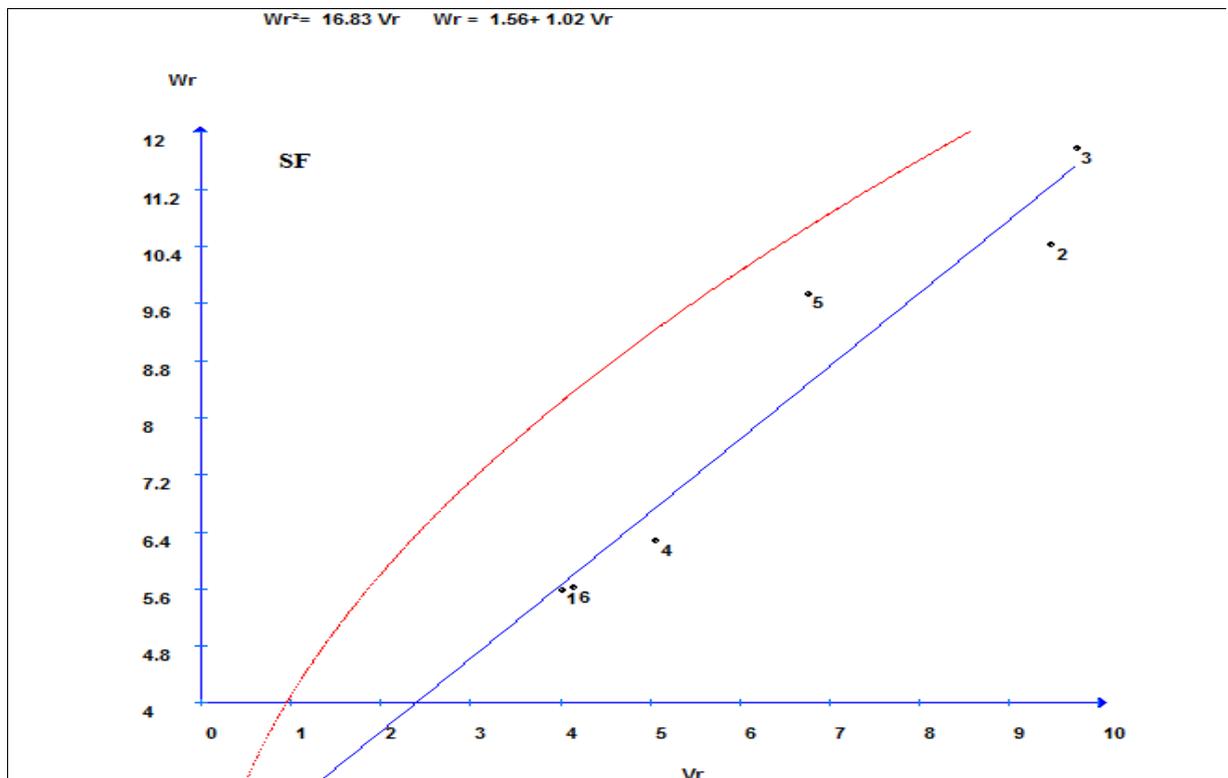


Figure 24. Droite de régression des W_r sur les V_r et courbe enveloppe $W_r^2 = V_p V_r$ de la surface de la feuille drapeau (1= Waha, 2= Zb/Fg, 3=Mexicali, 4=Ofanto, 5=Gaviota durum, 6= Guemgoum Rkhem).

Le coefficient de corrélation entre les valeurs parentales et l'ordre de dominance est positif mais non significatif ($r_{(Y_r, (W_r+V_r))}=0.28$), suite au comportement de Guemgoum (P6) et Zenati Bouteille/Flamingo (P2) dont les valeurs s'écartent trop de la droite moyenne, dans le cas d'effets positifs des allèles récessifs contrôlant la surface de la feuille étendard (Figure 25).

Dans le cas d'effets positifs des allèles dominants, ce sont les parents Mexicali (P3) et Waha (P1) dont les valeurs s'écartent trop de la droite moyenne. Ces résultats suggèrent que chez les parents croisés la surface de la feuille étendard est contrôlée par des allèles dominants chez certains parents et par des allèles récessifs chez d'autres parents (Figure 25). Les parents théoriques qui représentent les limites de la sélection ont pour valeurs propres $Y_R=67.88$ et $Y_D=71.38 \text{ cm}^2$.

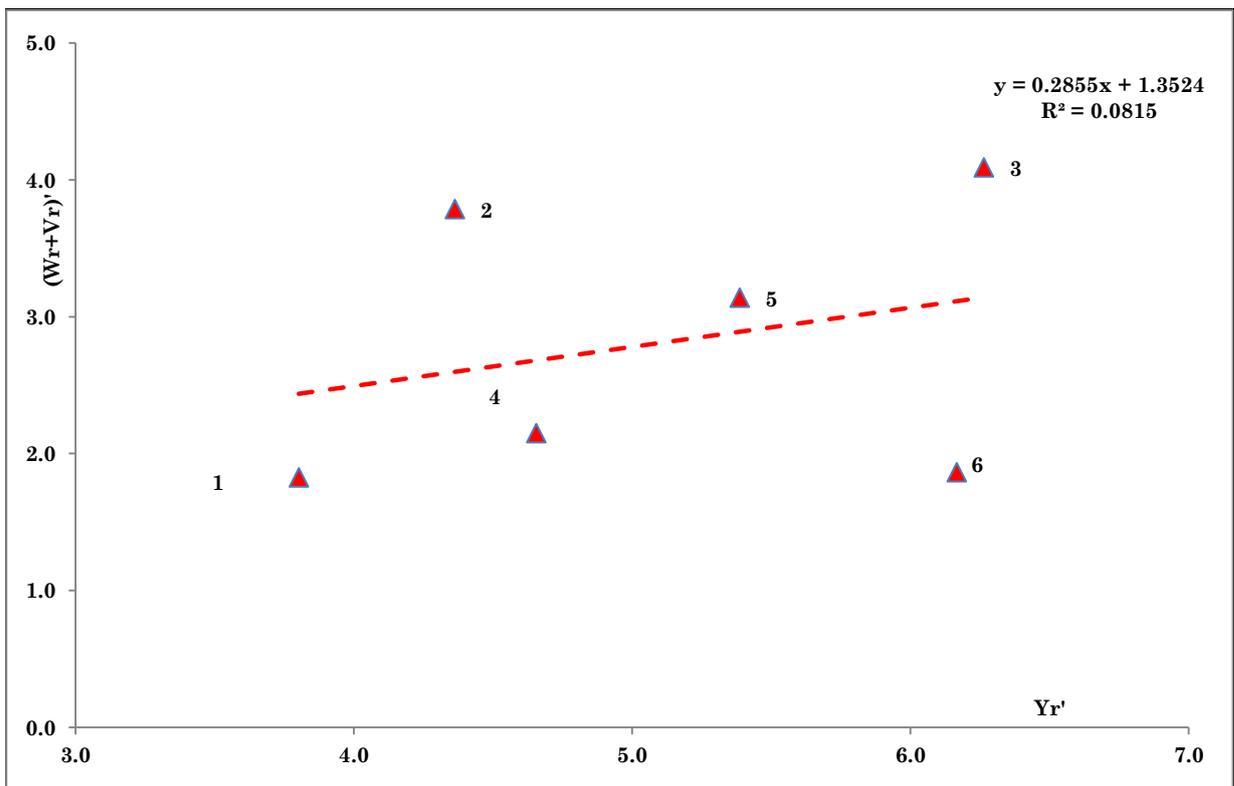


Figure 25. Droite de régression des W_r+V_r sur les valeurs propres parentales de la surface de la feuille drapeau (1= Waha, 2= Zb/Fg, 3=Mexicali, 4=Ofanto, 5= Gaviota durum, 6= Guemgoum Rkhem).

3.3.11. HAUTEUR DE LA PLANTE

La droite de régression des W_r sur les V_r de la hauteur de plante indique que ce caractère sous contrôle génétique impliquant la dominance partielle puisque la droite de régression coupe l'axe des W_r au-dessus de l'origine des axes, avec une ordonnée à l'origine positive de valeur $a=38.52$ cm (Figure 26). Le graphe des W_r et V_r indique que Waha (P1), Mexicali₇₅ (P3) et Zenati Bouteille /Flamingo (P2), étant plus éloignés de l'origine possédaient le maximum d'allèles récessifs. Par contre Gaviota durum (P5) porte plus d'allèles dominants car il est positionné plus proche de l'origine. Des fréquences égales d'allèles dominants et récessifs pour la hauteur de la plante sont notées chez Guemgoum Rkhem (P6) et Ofanto (P4). L'ordre relatif de dominance des parents est comme suit : $P5 > P4 > P6 > P1 > P3 > P2$ (Figure 26).

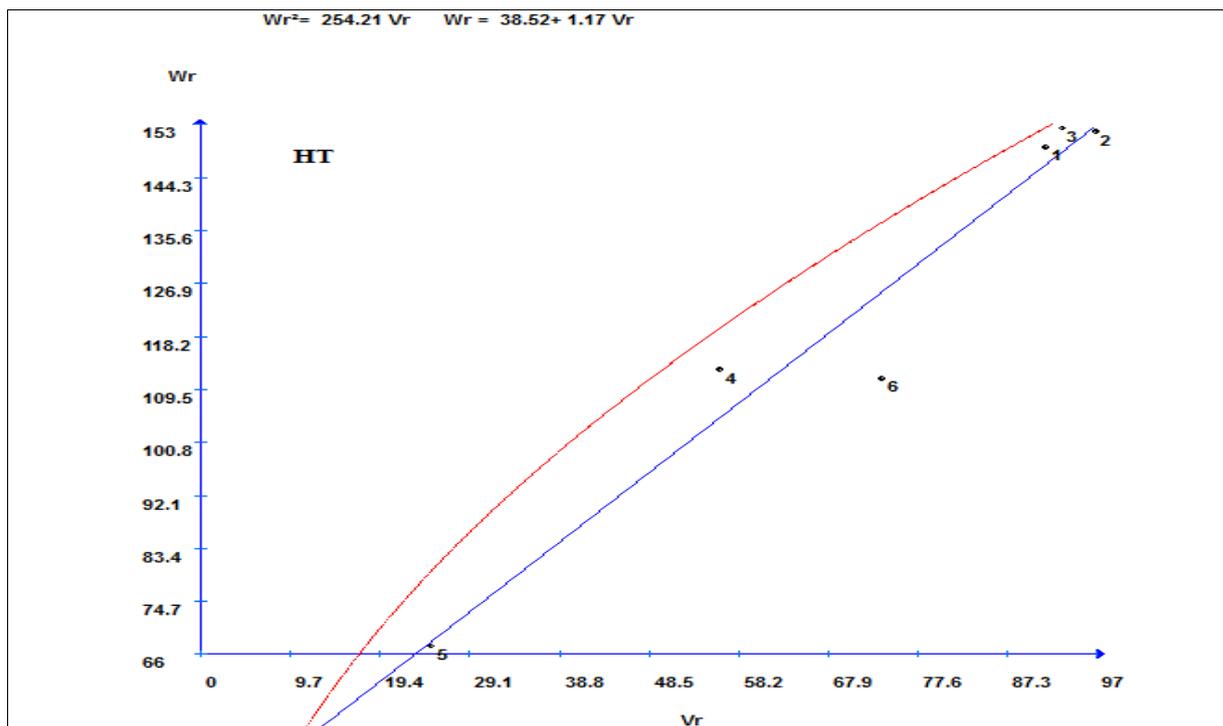


Figure 26. Droite de régression des W_r sur les V_r et courbe enveloppe $W_r^2 = V_p V_r$ de la hauteur de la plante (1= Waha, 2= Zb/Fg, 3=Mexicali, 4=Ofanto, 5=Gaviota durum, 6= Guemgoum Rkhem).

La corrélation entre les valeurs parentales et l'ordre de dominance est négative et non significative ($r_{(Y_r, (W_r + V_r))} = -0.06$) suite au comportement de Ofanto (P4) et Gaviota durum (P5) dont les valeurs s'écartent trop de la droite moyenne,

dans le cas d'effets positifs des allèles dominants contrôlant la hauteur de la plante (Figure 25). Dans le cas d'effets positifs des allèles récessifs ce sont les parents Mexicali (P3), Zb/Fg (P2) et Waha (P1) dont les valeurs s'écartent trop de la droite moyenne (Figure 27). Ces résultats suggèrent que chez les parents croisés la hauteur de la plante est contrôlée par des allèles dominants chez certains parents et par des allèles récessifs chez d'autres parents (Figure 27). Les parents théoriques qui représentent les limites de la sélection ont pour valeurs propres YR=67.88 cm et YD=71.38 cm.

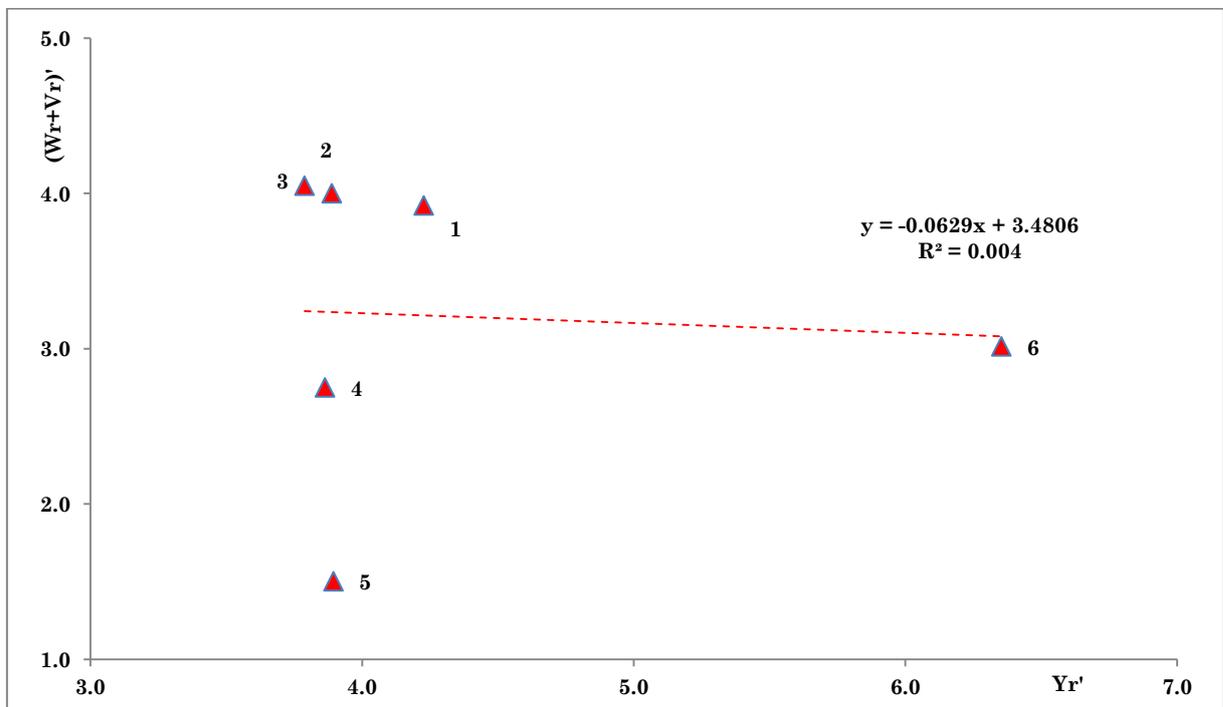


Figure 27. Droite de régression des W_r+V_r sur les valeurs propres parentales de la hauteur de la plante (1= Waha, 2= Zb/Fg, 3=Mexicali, 4=Ofanto, 5=Gaviota durum, 6= Guemgoum Rkhem).

3.3.12. LONGUEUR DE L'ÉPI

La valeur positive prise par l'ordonnée à l'origine indique que la longueur de l'épi est sous contrôle génétique de nature non additive impliquant la dominance partielle (Figure 28). Gaviota durum (P5) étant plus proche de l'origine porte un nombre maximal de gènes dominants tandis qu'Ofanto (P4), étant le plus éloigné de l'origine des axes possède le maximum de gènes récessifs. Waha (P1), Zenati

bouteille/Flamingo (P2) et Guemgoum Rkhem (P6) étant au centre de la droite de régression possèdent autant de gènes dominants que de récessifs (Figure 28).

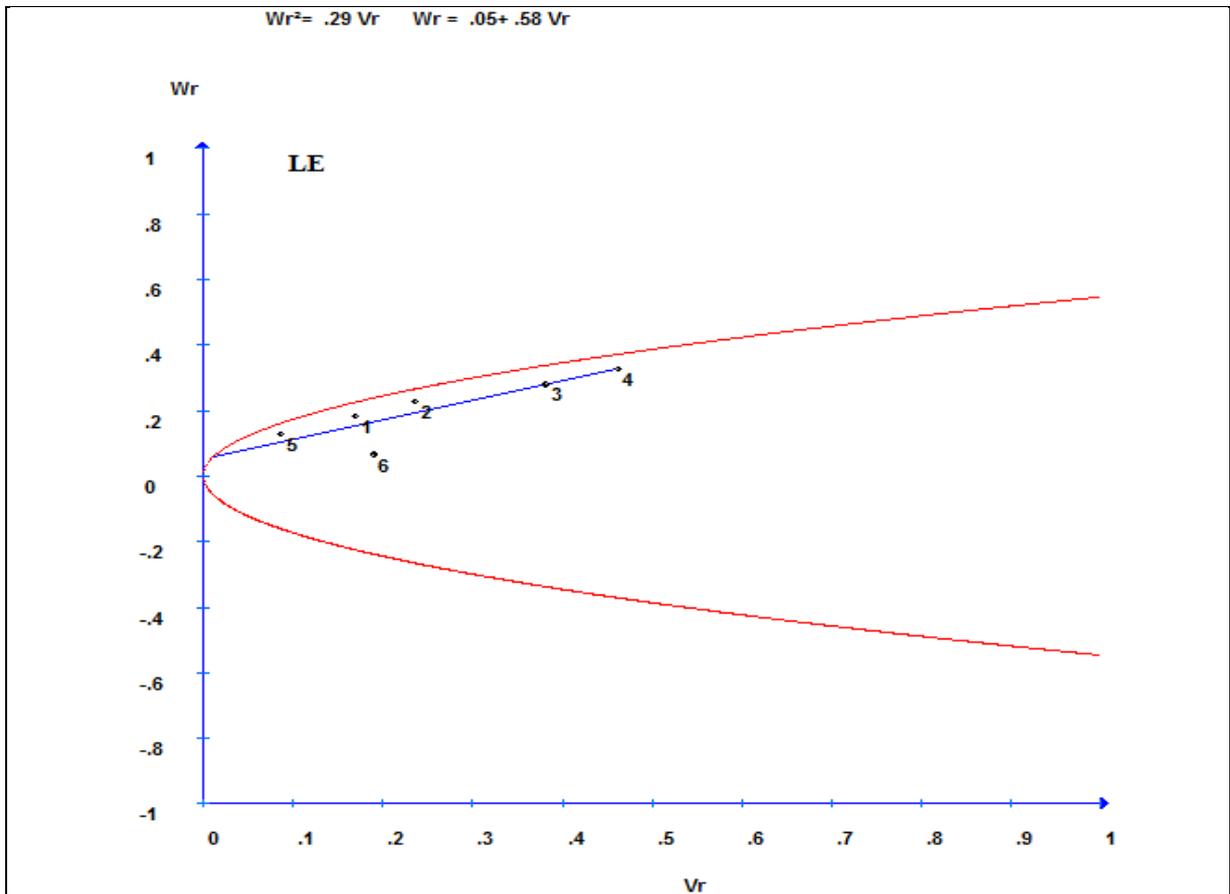


Figure 28. Droite de régression des W_r sur les V_r et courbe enveloppe $W_r^2 = V_p V_r$ de la longueur de l'épi (1= Waha, 2= Zb/Fg, 3=Mexicali, 4=Ofanto, 5=Gaviota durum, 6= Guemgoum Rkhem).

La dominance agit dans le sens de l'augmentation de la longueur de l'épi, comme le suggère la corrélation négative ($r = -0.28$) mais non significative entre les $(W_r + V_r)$ et les Y_r (figure 29) bien que non significative. L'ordre de dominance des parents était P5, P6, P1, P2, P3 et P4. Le parent Gaviota durum (P5) possédait un grand nombre de gènes dominants et le parent Ofanto (P4) détenait le maximum de gènes récessifs. La distribution des variétés parentales et l'ordre de dominance basées sur les valeurs standardisées indiquait que l'action des gènes dominants est négative et vu que le coefficient de corrélation est non significatif, les gènes dominants et récessifs agissent ensemble. Les valeurs limites de sélections sont $Y_R = 6.93$ cm et $Y_D = 7.62$ cm. L'équation de prédiction $Y_r = 7.666 - 0.656 (W_r + V_r)$.

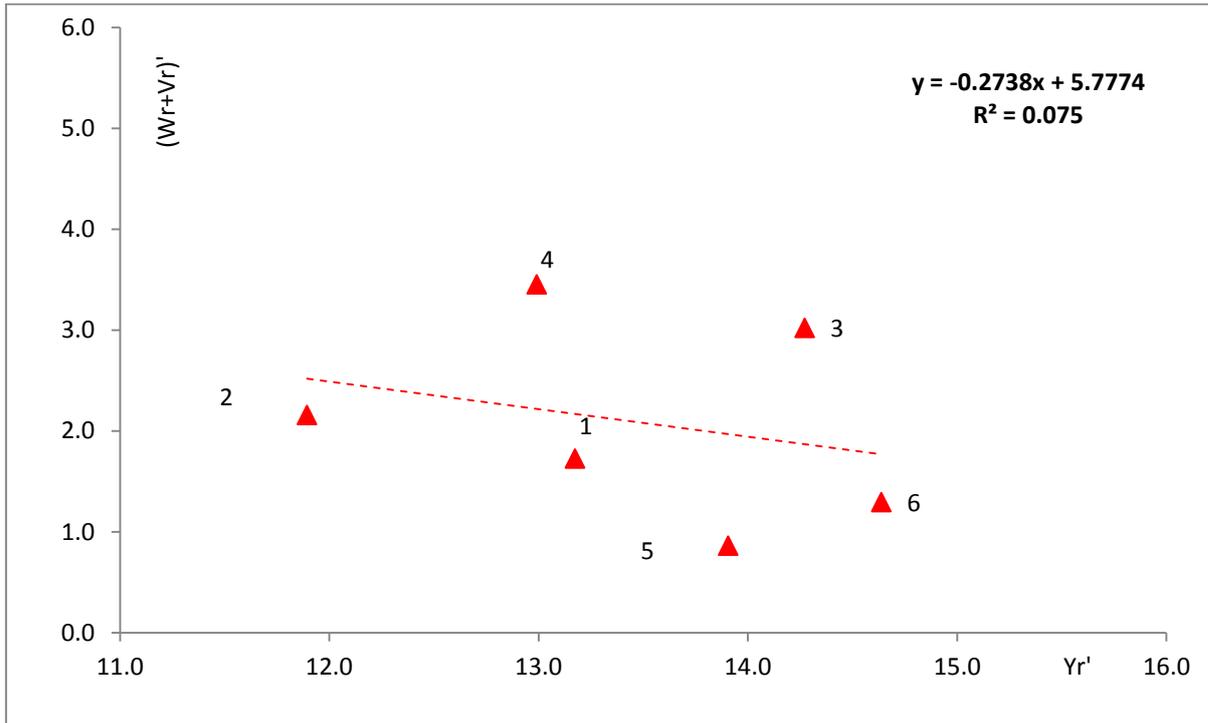


Figure 29. Droite de régression des W_r+V_r sur les valeurs propres parentales de la longueur de l'épi (1= Waha, 2= Zb/Fg, 3=Mexicali, 4=Ofanto, 5=Gaviota durum, 6= Guemgoum Rkhem).

Dans l'ensemble les coefficients de régression de W_r sur V_r et l'analyse de la variance des quantités (W_r+V_r) et (W_r-V_r) suggèrent que les hypothèses du modèle d'additivité - dominance sont satisfaites pour la majorité des caractères mesurés. L'analyse des paramètres génétiques et environnementaux calculés indique que le paramètre E est significativement différent de zéro, ce qui suggère un effet important de l'environnement sur l'expression des caractères mesurés.

Les résultats indiquent l'importance des effets génétiques additifs et non additifs dans le contrôle des caractères étudiés. On note la prépondérance de l'action de nature additive pour la hauteur de la plante et le poids de 1000 grains. Par contre, il y a prépondérance de l'action de nature non additive pour les autres caractères. La valeur positive prise par le paramètre génétique F des caractères NGE, BIO, PMG, HI, RDT, CHL, DPV, PHT indique l'important rôle des allèles dominants dans l'expression de ces caractères. Des valeurs négatives de ce paramètre ont été observées pour les caractères LE, SF, NE, PE ce qui indique la prépondérance des allèles récessifs dans l'expression de ces caractères.

Les valeurs prises par le paramètre génétique $[\sqrt{0.25(4DH1)+0.5F}/0.25\sqrt{(4DH1)-0.5F}]$ indiquent un excès de gènes récessifs contrôlant le nombre d'épis et la longueur des épis ; une égalité des fréquences des gènes dominants et récessifs dans le contrôle génétique de la surface de la feuille étandard et le poids des épis ; et un excès de gènes dominants dans le contrôle génétique du nombre de grains par épi, la biomasse, le poids de 1000 grains, le rendement en grains, l'indice de récolte, le contenu en chlorophylle, la durée de la phase végétative et la hauteur de la plante.

L'héritabilité au sens étroit prend des valeurs faibles pour le PE, NE, BIO, RDT, LE ; moyennes pour CHL, SF, HI, et élevées pour DPV, PHT, NGE et PMG. Les valeurs de ce paramètre suggèrent que la sélection précoce pour améliorer DPV, PHT, NGE et PMG devrait être efficace alors que celles des autres caractères doit être retardée. Ces résultats sont confirmés par l'analyse graphique qui indique la dominance partielle pour PHT, PMG, DPV, SF, CHL, HI, NGE, NE et la super dominance pour LE, PE, BIO et RDT. Ceci corrobore les résultats rapportés par Inamullah *et al.*, (2005) pour la surface de la feuille étandard ; Ullah *et al.* (2010) pour la hauteur de la plante, le nombre d'épis par plante ; Golparvar *et al.*, (2004) pour le poids de 1000 grains.

La superdominance pour ces caractères a été aussi rapportée, par Ajmal *et al.* (2011) et Kaukab *et al.* (2013) pour la hauteur de la plante ; Gurmani *et al.* (2007) et Nazeer *et al.* (2013) pour la surface de la feuille étandard, le nombre d'épi par plante, le poids de 1000 grains et le rendement en grains par plante. Khan *et al.*, (2003) ont rapporté que le nombre de grains par épis et le rendement en grains par plante étaient sous contrôle d'une superdominance. Rehman *et al.* (2003) ont également indiqué une dominance partielle pour ces caractères.

Le rendement est connu comme un caractère polygénique, fortement influencé par l'environnement, présentant une faible héritabilité avec l'implication de la superdominance (Kumar *et al.*, 2011). Une épiaison précoce est un objectif important dans les régions où les programmes de sélection du blé se caractérisent à la fois par des déficits en eau et des hautes températures en fin

du cycle (Mekhlouf *et al.*, 2006). Singh *et al.* (2003) ont signalé l'implication des gènes additifs et des gènes de dominance pour le contrôle génétique de la date d'épiaison dans le blé de printemps, tandis que Kumar *et al.*, (2011) ont noté que les actions de gènes additifs étaient plus importantes.

L'analyse graphique indique que Waha possède une majorité de gènes dominants pour le contenu en chlorophylle, le nombre d'épis, des grains par épi, le poids de 1000 grains, la surface de la feuille étendard et la durée de la phase végétative. Waha possède une majorité de gènes récessifs pour le poids des épis, la biomasse aérienne et la hauteur des plantes et des fréquences égales d'allèles dominants et récessifs pour le rendement en grains, la longueur de l'épi et l'indice de récolte.

Zenati bouteille/Flamenco contient plus d'allèles dominants pour la biomasse aérienne, le nombre de grains par épi, l'indice de récolte Il porte plus d'allèles récessifs pour le poids des épis, le poids de 1000 grains, la hauteur des plantes, la surface de la feuille étendard, le contenu en chlorophylle. Chez ce parent il y a un équilibre entre les fréquences des allèles dominants et des allèles récessifs pour la durée de la phase végétative, la longueur de l'épi, le rendement en grains et la biomasse aérienne.

Mexicali₇₅ possède plus d'allèles dominants pour le poids des épis, la biomasse aérienne. Il se caractérise par une plus grande fréquence des allèles récessifs pour la surface de la feuille étendard, la hauteur des plantes, la longueur de l'épi et des fréquences égales des allèles dominants et récessifs pour le rendement en grains, le nombre d'épis, le nombre de grains par épi, le poids de 1000 grains, l'indice de récolte, le contenu en chlorophylle et la durée de la phase végétative.

Ofanto contient plus d'allèles dominants pour le contenu en chlorophylle, la surface de la feuille étendard, la durée de la phase végétative, l'indice de récolte, le poids de 1000 grains, le nombre de grains par épi, plus d'allèles récessifs pour la longueur de l'épi, la biomasse aérienne et autant d'allèles dominants et que de

récessifs pour le rendement en grains, le nombre d'épis, le poids des épis et la hauteur des plantes.

Gaviota durum possède plus d'allèles dominants pour la hauteur des plantes, la longueur de l'épi, le rendement en grains, le poids des épis, l'indice de récolte, la durée de la phase végétative, plus d'allèles récessifs le nombre d'épis, la surface de la feuille étendard, le contenu en chlorophylle et une égalité entre les allèles dominants et récessifs pour le poids de 1000 grains, le nombre de grains par épi, la biomasse aérienne.

Guemgoum Rkhem porte plus d'allèles dominants pour la biomasse aérienne, la surface de la feuille étendard, la longueur de l'épi, plus d'allèles récessifs pour le nombre de grains par épi, l'indice de récolte, la durée de la phase végétative et autant d'allèles dominants que de récessifs pour le poids des épis, le nombre d'épis, le poids de 1000 grains, le rendement en grains, le contenu en chlorophylle, la hauteur des plantes.

4. CONCLUSION

Les résultats indiquent la présence de la variabilité pour les caractères étudiés à l'intérieur des populations F2 générées par le croisement diallèle incomplet. Ce qui suggère les possibilités d'améliorer, suite à la sélection précoce ou tardive, les caractères d'intérêt. Les effets d'AGC et d'ASC sont significatifs pour presque l'ensemble des variables analysées, suggérant que des effets aussi bien additifs et que non additifs sont impliqués dans le contrôle génétique des caractères soumis à l'analyse. Guemgoum Rkhem se présente comme un bon combineur pour améliorer, dans le sens de l'augmentation du caractère, le poids de 1000 grains, la hauteur, la biomasse, la longueur de l'épi, la surface de la feuille étendard et la durée de la phase végétative.

Ofanto est un bon combineur pour améliorer l'indice de récolte, la teneur en chlorophylle et le rendement en grains. Cette caractéristique est associée à une réduction de la durée de la phase végétative. Waha se présente comme un bon combineur pour améliorer le nombre d'épis par plante, et pour réduire de la

surface de la feuille étendard, mais il réduit aussi la taille du grain. Mexicali75 est un bon combineur pour améliorer simultanément le poids des épis et le nombre de grains par épi. Gaviota durum est un bon combineur pour améliorer le nombre de grains par épi, mais il induit une réduction de la hauteur de la plante.

Certaines populations F2 telles que Waha/ Mexicali₇₅, Waha/Ofanto, Zb/Fg//Gaviota durum, Zb/Fg//Guemgoum Rkhem, et Ofanto/Guemgoum Rkhem sont intéressantes pour plusieurs caractères à la fois, de par les effets d'ASC significatifs. Ainsi la F₂₁₃ présente des effets d'ASC positifs pour le poids des épis, la biomasse aérienne, le nombre d'épis, le poids de 1000, le rendement en grains et pour l'indice de récolte, en plus du contenu en chlorophylle. La population F₂₁₄ présente des effets d'ASC positifs pour le poids des épis, la biomasse aérienne, le nombre d'épis, le nombre de grains par épi, le rendement en grains et l'indice de récolte.

Ces résultats sont confirmés par l'analyse de Hayman qui a révélé que les composantes additive et non additive sont significatives pour l'ensemble des caractères étudiés. La composante additive est plus importante que la composante de dominance pour le nombre de grains par épi, l'indice de récolte, le poids de 1000 grains, la durée de la phase végétative, le contenu en chlorophylle et la surface de la feuille étendard. Ceci suggère que la sélection pour améliorer ces caractères peut être pratiquée sur générations précoces, dès la F2 voire F3.

La prépondérance des effets de dominance est, par contre, présente dans l'expression du poids des épis, de la biomasse aérienne, du rendement en grains, du nombre d'épis par plante et la longueur des épis. Ceci suggère de retarder la sélection pour améliorer ces caractères et ne l'entreprendre qu'en F4, F5 voir sur générations plus tardives, une fois les effets de dominance seront fortement réduits pour ne laisser place qu'aux effets uniquement additifs.

CHAPITRE III.
ANALYSE DE LA VARIABILITE ET DES RELATIONS ENTRE CARACTERES
DES GENERATIONS F3-F4 ET LEURS IMPLICATIONS POUR LA
SELECTION DU BLE DUR SOUS CONDITIONS SUD MEDITERRANEENNES

CHAPITRE III- ANALYSE DE LA VARIABILITE ET DES RELATIONS ENTRE CARACTERES
DES GENERATIONS F3-F4 ET LEURS IMPLICATIONS POUR LA SELECTION DU BLE DUR
SOUS CONDITIONS SUD MEDITERRANEENNE

1. INTRODUCTION

L'amélioration des plantes a contribué à promouvoir le développement agricole et a entraîné une augmentation significative des rendements et une amélioration de la qualité dans différentes cultures. Cela est dû au développement de variétés à haut rendement qui sont capables de répondre à des pratiques culturelles améliorées. L'amélioration de la qualité est également en cours dans plusieurs cultures. Les méthodes conventionnelles d'amélioration des plantes ont été efficaces pour réaliser ces améliorations, mais des efforts sont encore faits pour développer des méthodes d'amélioration plus efficaces pour surmonter des problèmes spécifiques.

Ainsi les essais de rendement des générations précoces peuvent aider le sélectionneur à identifier et à éliminer les populations non performantes à un stade précoce. Ceci induit des économies de temps, et de ressources, à conditions qu'un degré de reproductibilité élevé existe entre les comportements des générations précoces et les générations plus avancées. Briggs et Shebeski (1971) ainsi que DePaw et Shebeski (1973) rapportent des relations positives entre les performances des générations F3, F4 et F5 du blé tendre vu que les trois meilleures F5 sont issues des meilleures lignées F3. La corrélation entre le rendement des F3 et celui des F4 a une valeur significative de 0,59 ** et celle liant le rendement des F3 à celui des F5, était également significatif et de valeur de 0,56 *.

Dahiya *et al.* (1983) ont trouvé des corrélations positives et significatives entre les générations F2 et F3, F2 et F4 et F3 et F4. Dahiya *et al.* (1984) ont également rapporté que la sélection sur la base du rendement en grains en F3 a entraîné des augmentations significatives comparativement à la sélection aléatoire et visuelle qui étaient par contre inefficaces dans l'identification de lignées à haut rendement. Par contre McKenzie et Lambert (1961) ont conclu que

les essais de rendement en F3 avaient peu de valeur dans la prédiction des rendements de la F6 d'orge.

Knott (1972) a effectué un essai de rendement en F3 de blé tendre et a constaté que les valeurs parcellaires étaient représentatives que les valeurs prises par une plante. L'expression des valeurs parcellaires des lignées candidate à la sélection, en % des valeurs des témoins adjacents, selon la méthode des moyennes mobiles, améliore l'efficacité de la sélection. Knott et Kumar (1975) rapportent que le test de rendement des générations précoces est peu utile dans l'identification des meilleures lignées des générations plus avancées. Ces auteurs suggèrent que les tests de rendement en grains doivent être conduits sur un matériel végétal qui a atteint un degré d'homozygotie raisonnable (Knott et Kumar, 1975).

L'objectif de cette investigation est d'analyser les relations entre les performances des générations F3 et F4 issues d'un demi diallèle et leurs implications pour l'amélioration du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides sud méditerranéennes.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. SITE, MATERIEL VEGETAL ET DISPOSITIF EXPERIMENTAL

L'étude a été conduite durant les campagnes agricoles 2013/2014 et 2014/2015 au niveau du site expérimental relevant de l'Unité de Recherche de l'INRA de Sétif (UR, INRAA Sétif, 36°15' N, 5°37' E, 981 m). Le matériel végétal est constitué des générations F3, suivie en 2013/2014, et F4, suivie en 2014/2015. Ces générations sont constituées des familles de pleins frères et demi frères issues de la F2 du diallèle incomplet réalisé au niveau de la Station Expérimentale Agricole ITGC de Sétif, au cours de la campagne 2010/11 entre 6 géotypes de blé dur, Waha, Zenati-Bouteille/Flamingo, Mexicali75, Ofanto, Gaviota durum et Guemgoum Rkhem (Hannachi *et al.*, 2013a).

Chaque génération est constituée de 412 lignées pour la F3 et 420 lignées pour la F4. Les différentes lignées (produit d'une plante F2 pour la F3 et produit

d'un rang F3 pour la F4) ainsi que les parents sont semées manuellement, sur 2 rangs de 1.5m de long, avec un espace inter rangs de 30 cm. Seuls les parents sont répétés trois fois dans un dispositif en blocs.

L'essai a été fertilisé avec 100 kg/ha de superphosphate avant le semis et 70 kg/ha d'urée à 46% au stade tallage. Le désherbage chimique est effectué, juste après l'apport de l'engrais azoté, avec un herbicide anti-dicotylédones, Sekator® [100 g/L Amidosulfuron + 25 g/L Iodosulfuron + 250 g/L Mefenpyr-diéthyl] à raison de 0.15 L/ha, et un herbicide anti-graminées, Dopler plus® [20 g/L de Fenoxaprop-P-ethyl + 250 g/L de Diclofop-methyl + 40 g/L Mefenpyr-diethyl] à raison de 2 L/ha.

2.2. MESURES ET NOTATIONS

Les notations et mesures ont porté sur les caractéristiques suivantes : la durée de la phase végétative (DPV), en nombre de jours calendaires comptés à partir du 1^{ier} janvier à la date de sortie de 50% des épis, de moitié, hors de la gaine de la feuille étandard. La hauteur de la plante (PHT) est mesurée à la récolte. Elle est prise en cm du sol jusqu'à la pointe de l'épi, barbes non incluses.

La surface de la feuille étandard est estimée par le produit de la longueur et de la plus grande largeur, mesurées sur un échantillon de 5 feuilles étandards prises au hasard au stade épiaison : $SF (cm^2) = 0,607(L \times l)$ où SF est la surface foliaire, 0.607 est le coefficient de régression de la surface estimée à partir du papier grammage sur celle déduite par le produit (L × l), L et l sont la longueur et la largeur de la feuille moyenne (Spagnoletti-Zeuli et Qualset, 1990). La longueur de l'épi du maître brin (LE) a été mesurée en centimètre (cm) de la base de l'épi jusqu'au sommet, barbes exclus, à partir d'un échantillon de 5 épis.

La teneur relative en eau (TRE) a été mesurée sur la dernière feuille entièrement développée pour déterminer l'état hydrique des plantes. 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 distillée, à l'abri de la

lumière à la température ambiante du laboratoire pendant 4 heures, pour atteindre l'état turgide.

La feuille est à nouveau pesée, après avoir pris soin de l'essuyer de l'excès d'eau avec du papier buvard, pour obtenir le poids turgide (PT, mg). L'échantillon est enfin mis à sécher dans une étuve, à 65°C pendant 16 heures afin de déterminer le poids sec (PS, mg). Les valeurs de la teneur relative en eau sont calculées à partir de la formule :

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

La teneur en chlorophylle de la feuille étandard a été mesurée au stade épiaison avec le chlorophylle- mètre de marque SPAD-502 (MINOLTA, Osaka, Japon) à raison de cinq lectures par génotype, dont la moyenne est analysée.

Le nombre d'épis (NE, g/m²), le rendement en grains (RDT, g/m²), le poids des épis (PE, g/m²), la biomasse aérienne (BIO, g/m²), ont été déterminés à partir des échantillons de végétation récoltés au stade maturité d'un segment de rang de 0.5 m de long et ramenés au m². Le poids de 1000 grains est déterminé par comptage et pesage d'un échantillon de 200 graines prises de la récolte de chaque lignée. Les nombre de grains par épi (NGE) et par unité de surface (NGM, /m²), sont déduits par calcul en utilisant les valeurs parcellaires du rendement en grains, du nombre d'épis et du poids de 1000 grains. L'indice de récolte (HI) a été déduit par calcul comme le rapport du rendement en grains sur la biomasse aérienne.

2.3. ANALYSE DES DONNEES

Les données collectées ont été traitées par les statistiques descriptives pour obtenir :

La moyenne générale (μ)

La moyenne maximale (Maxi)

La moyenne minimale (Mini)

La variance phénotypique (σ^2p)

L'écart type phénotypique (σp)

Le coefficient de la variabilité phénotypique (CVp%)

Le coefficient de la variabilité génotypique (CVg%), Les valeurs des CVg et CVp sont classées comme faibles pour les valeurs incluses entre 0 et 10% ; moyennes pour celles incluses entre 11 et 20%, et élevées pour les valeurs au-delà de 21%, comme suggéré entre autres par Deshmukh *et al.* (1986).

La variance environnementale ou résiduelle (σ^2e) obtenue à partir de l'analyse de la variance des lignées parentales qui sont répétées trois fois,

La variance génotypique déduite par la différence : $\sigma^2g = \sigma^2p - \sigma^2e$,

Le degré de détermination génotypique (h^2bs) est déterminé par le rapport entre la variance génotype (σ^2g) et la variance phénotypique (σ^2p): $h^2bs = \sigma^2g/\sigma^2p$. L'héritabilité est classée comme faible pour des valeurs incluses entre 0 et 40%, moyenne pour des valeurs incluses entre 41 et 59%, modérément élevée, pour des valeurs comprises entre 60 à 79% et très élevée, pour des valeurs au-delà de 80%, comme suggéré par Singh (2001).

La plus petite différence significative au seuil de 5% a été déterminée de l'analyse de la variance des variables des parents, elle est utilisée pour évaluer la signification des différences entre les moyennes des lignées pour les différentes variables mesurées.

Les relations entre les différentes variables mesurées ont été étudiées par l'analyse des corrélations phénotypiques intra génération. La signification de la valeur observée prise par le coefficient de corrélation r est déduite par comparaison avec les valeurs seuils de la table avec $n-2$ degré de liberté au seuil de 5% et 1% de probabilité.

Les variables déterminantes de la biomasse aérienne et du rendement en grains sont identifiées par l'analyse de la régression. Les effets directs et indirects de ces variables ont été déterminés par l'analyse en chemin (Singh et Chaudhary, 1985).

Le gain génétique attendu (GGA) est calculé selon Allard (1960) :

$$GGA = K \times h^2bs \times \sigma p$$

Avec GGA : le gain génétique attendu, K : coefficient de sélection qui est égale à 2.06 au seuil de 5% de probabilité. h^2ns : L'héritabilité et. σp : L'écart type de la variance phénotypique. Le gain génétique attendu est exprimé par rapport à la moyenne du caractère comme suit : $GGA(\%) = \frac{GA}{\bar{x}} \times 100$, où \bar{x} : moyenne générale du caractère.

Le GGA de la sélection, réponse attendue et observée à la sélection mono et multi-caractères. Le rendement moyen de chaque génération et le rendement moyen de chaque entrée à travers les générations ont également été déterminés. Les associations entre différents caractères ont été calculées par générations F3 et F4 et pour un même caractère entre générations F3 et F4.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. VARIABILITE DES CARACTERES DES GENERATIONS F3 ET F4

3.1.1. GENERATION F3

3.1.1.1. PRECOCITE, HAUTEUR, BIOMASSE ET POIDS DES EPIS

L'analyse des données de la génération F3 montre la présence de la variabilité pour les caractères mesurés relatifs à la durée de phase végétative, la hauteur, la biomasse et le poids des épis (Tableau 19). La durée de la phase végétative varie de 120 à 138 jours avec une moyenne de 130.6 jours. L'analyse des fréquences a montré que seulement 6.5% des individus sont situés dans la classe 120 à 125 jours qui correspond à la précocité de Waha (Tableau 19, Figure 30).

La précocité de plus de 88% des individus se situe dans les classes de 125 à 135 jours au-dessus de celle de Waha. Ceci indique qu'il y a peu de possibilité de sélectionner des individus plus précoces que Waha. L'étude a montré que près de 5% des individus se situent dans les classes supérieures à 135 jours.

Ces individus tardifs sont des descendants des croisements dont la variété Guemgoum Rkhem est un parent. Les coefficients de variation, phénotypique et génotypique, sont faibles en valeur (2.5% et 2.2%) indiquant le peu de variabilité de ce caractère. L'héritabilité au sens largest modérément élevée, prenant une valeur de 79.6% par contre le gain génétique de 4.1 % est faible (Tableau 19).

La hauteur de la végétation varie d'un minimum de 27.0 cm à une valeur maximale de 81.0 cm, avec une moyenne générale de 50.3 cm et une plus petite différence significative de 14.3 cm (Tableau 19, Figure 30). Des possibilités de sélectionner des lignées plus hautes est plus faisable que celles de sélectionner des lignées courtes. Ceci est dû au fait que l'ensemble des parents croisés sont de type court à l'exception de Guemgoum Rkhem. En effet la plus part de la descendance de cette variété présente une paille haute.

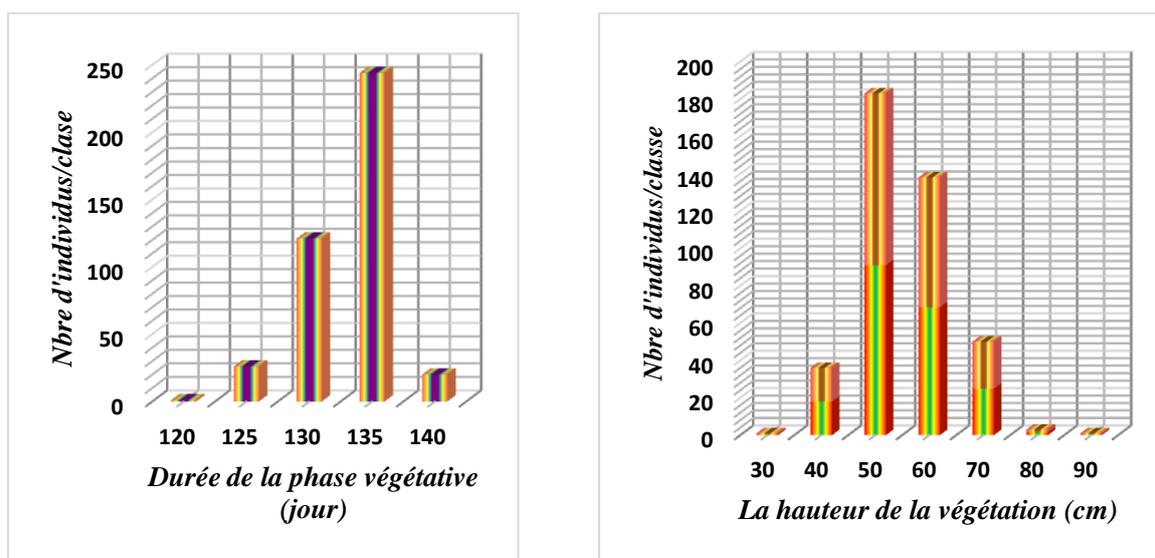


Figure 30. Variabilité phénotypique de la durée de la phase végétative et de la hauteur de la végétation de la génération F3 du diallèle incomplet ($n_{F3} = 412$).

Le coefficient de variation phénotypique présente une valeur moyenne de 16.4 % alors que le coefficient de variation génotypique montre une faible valeur de 5.1 %. L'héritabilité et le gain génétique sont faibles, prenant respectivement les valeurs de 9.7 % et 3.3 % (Tableau 19). Dans les zones semi-arides qui se caractérisent par un système de production céréales/élevage, ce caractère est aussi important que le rendement grain lui-même (Annicchiarico *et al.* 2005).

Les valeurs moyennes de la génération F3 pour la biomasse, et le poids des épis, varient largement d'un minimum de 100 g/m² et 41.7 g/m², à des maximas de 1800 g/m² et 1416.7 g/m² respectivement pour les deux variables (Tableau 19, Figures 31). L'effet de l'environnement a été très prépondérant comme ceci est suggéré par la valeur de la variance de l'erreur qui est supérieures à la variance phénotypique pour la biomasse (Tableau 19).

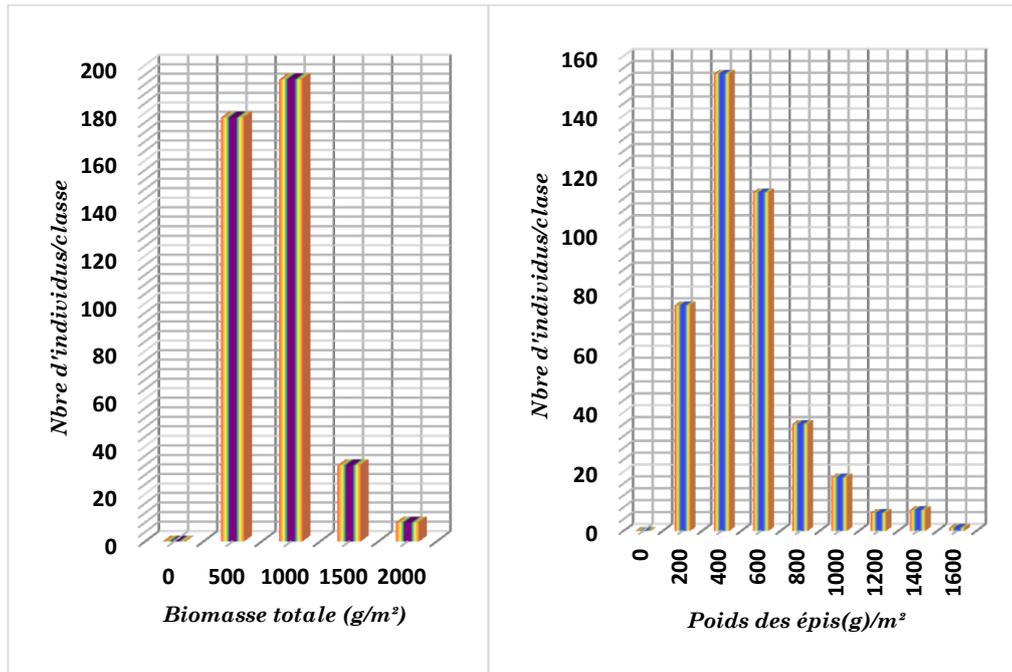


Figure 31. Variabilité phénotypique de la biomasse totale et du poids des épis de la génération F3 du diallèle incomplet (n_{F3} = 412).

Les coefficients de variation phénotypiques et génétiques pour le poids des épis ont pris les valeurs 59.4% et 21.9% respectivement. Ces valeurs élevées suggèrent une présence de la variabilité au sein de la population pour ce caractère ce qui donne la possibilité de sélectionner des génotypes désirables. Le degré détermination génétique est faible pour le poids des épis (13.5 %) et nul pour la biomasse dont la variance génétique est négative (Tableau 19).

3.1.1.2. SURFACE DE LA FEUILLE ETENDARD ET CONTENU EN CHLOROPHYLLE

Les valeurs moyennes enregistrées de la population F3 pour la surface de la feuille étendard et le contenu en chlorophylle varient largement d'un minimum

de 4.0 cm² et 29.4 % respectivement pour la surface foliaire et le contenu en chlorophylle, à des valeurs maximales de 26.6 cm² et 61.9% respectivement. Plus de 48% des individus de la population se classent dans la tranche des 10 à 15 cm² pour la surface foliaire et plus de 45% des individus se situent dans la tranche des 45 à 50% d'unité spad pour la teneur en chlorophylle (Figure 32). Les différences par rapport aux performances de la variété Waha sont significatives (Tableau 19) ce qui donne la possibilité de sélectionner des lignées dans le sens d'augmenter ces deux caractères

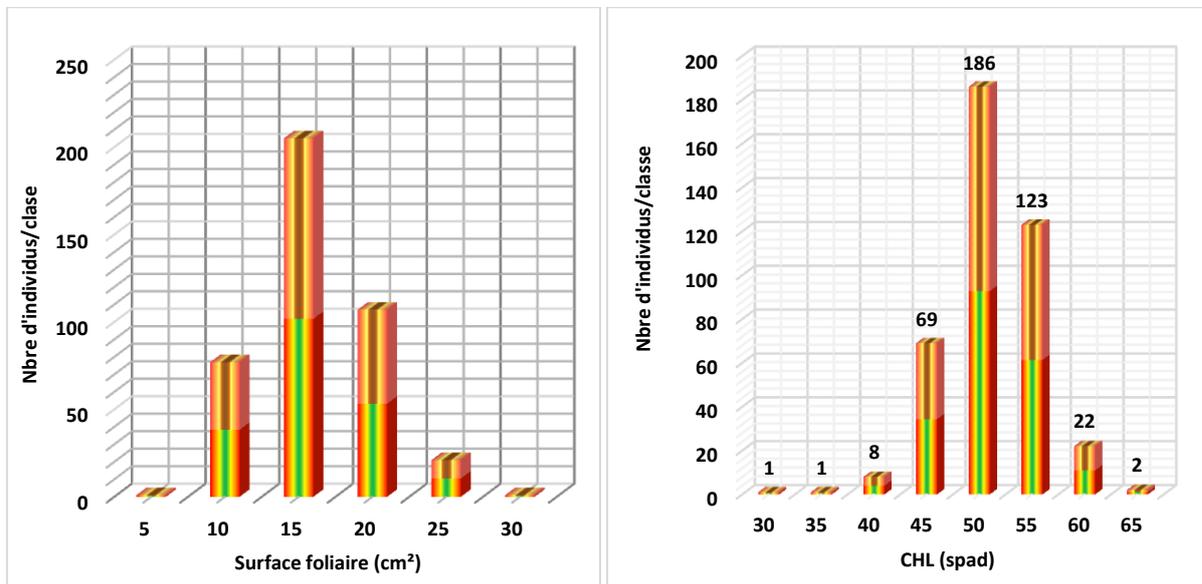


Figure 32. Variabilité phénotypique de la surface de la feuille étendard et le contenu de la chlorophylle de la génération F3 du diallèle incomplet ($n_{F3} = 412$).

Une variabilité génétique au sein de la population est évidente aux regards des valeurs prises par les coefficients de variation phénotypiques et génotypiques des deux caractères qui sont élevés (Tableau 19). Selon Ijaz *et al.* (2013), la surface foliaire a un effet indirect sur le rendement grain du blé. Plus elle est importante plus est grande sera la capacité photosynthétique de la plante qui exploite mieux les disponibilités du milieu notamment l'énergie lumineuse. Gallais (2015) suggère qu'une grande surface foliaire avec un port dressé permet une meilleure pénétration de la lumière dans le couvert végétal et augmente la surface d'interception.

Chez le blé, il a été ainsi démontré qu'un port dressé de la feuille drapeau était favorable à l'augmentation de la surface d'interception. Cette feuille joue un rôle important dans le remplissage des grains.

L'héritabilité au sens large des deux caractères est modérée prenant les valeurs de 30.4% et 39.5% respectivement pour la surface foliaire et la teneur en chlorophylle (Tableau 19). Le gain génétique est estimé à 17.3 % pour la surface foliaire et 7.0 % pour la teneur en chlorophylle. Saleem *et al.* (2016), étudiant sept populations de blé tendre, rapportent des résultats assez similaires à ceux de la présente étude et pour ce caractère.

3.1.1.3. NOMBRE D'ÉPIS, GRAINS/ÉPI, POIDS DE 1000 GRAINS, RENDEMENT ET INDICE DE RECOLTE.

L'analyse des données de la génération F3 pour les composantes principales du rendement indique une présence d'une diversité appréciable au sein de la population F 3 pour les caractères mesurés (Tableau 19). Le nombre d'épis varie de 67 à 716.7 épi/m² avec plus de 77% des individus qui se situent dans les classes de 300 à 400 épis/m² (Figure 33). Pour le caractère nombre de grains par épis l'analyse indique que 98% des individus se positionnent dans les classes 20 à 40 grains/épi et 2% se situent dans la classe supérieure à 40 grains/épi (Figure 33).

Les valeurs des coefficients de variation phénotypiques et génotypiques sont élevées 41.5% ,38.9 % et 25.5%, 35.3% respectivement pour les caractères nombre d'épis et nombre de grain par épi. L'héritabilité en sens large prend les valeurs 37.7 % et 82.3% pour les deux variables. Ces valeurs sont faibles pour le caractère nombre d'épis et élevées pour le caractère nombre de grains par épi. Le gain génétique par rapport à la moyenne pour ces deux caractères est respectivement 32.2 % pour le nombre d'épis et 66.0 % pour le nombre de grains par épi (Tableau 19).

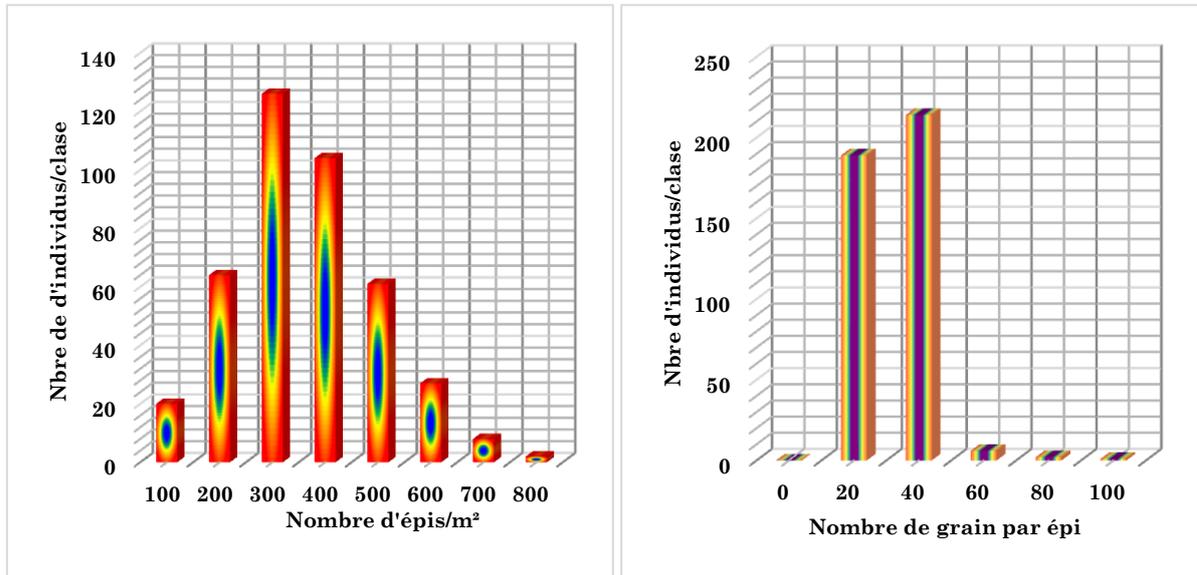


Figure 33. Variabilité phénotypique du nombre d'épis et le nombre de grain par épi de la génération F3 du diallèle incomplet ($n_{F3} = 412$).

Les valeurs enregistrées pour le rendement grain, l'indice de récolte et le poids de 1000 grains varient de 19.5 à 973.3 g pour le rendement grain, de 11.5 à 51.8 % pour l'indice de récolte et de 23.0 à 64.6g pour le poids de 1000 grains (Tableau 19, Figure 34). La distribution des fréquences pour le rendement grain indique que 52% des individus se situent dans les classes de 400 à 800 g et 46 % des individus dans la classe de 200g. Pour l'indice de récolte, la distribution montre que 53 % des individus se positionnent dans les classes de 35 à 45 g, 14 % dans les classes supérieures à 45g et 19% des individus se situent dans la classe 25 à 30g (Figure 34).

Le degré de détermination génétique au sens large pour ces caractères prend les valeurs 14.5 %, 90.2 % et 68.5% respectivement pour le rendement grain, l'indice de récolte et le poids de 1000 grains (Tableau 19). Le rendement est un caractère à faible héritabilité par contre les valeurs très élevées pour l'indice de récolte et élevées pour le poids de 1000 grain sont très intéressantes.

Le gain génétique par rapport à la moyenne prend les valeurs 20.3 % pour le rendement grain, 45.1 % pour l'indice de récolte et 21.2 % pour le poids de 1000 grains (Tableau 19, Figure 34). Des valeurs élevées de l'héritabilité et les estimations du gain génétique montrent que ces variables peuvent être améliorés grâce à une sélection judicieuse parmi les individus de la population.

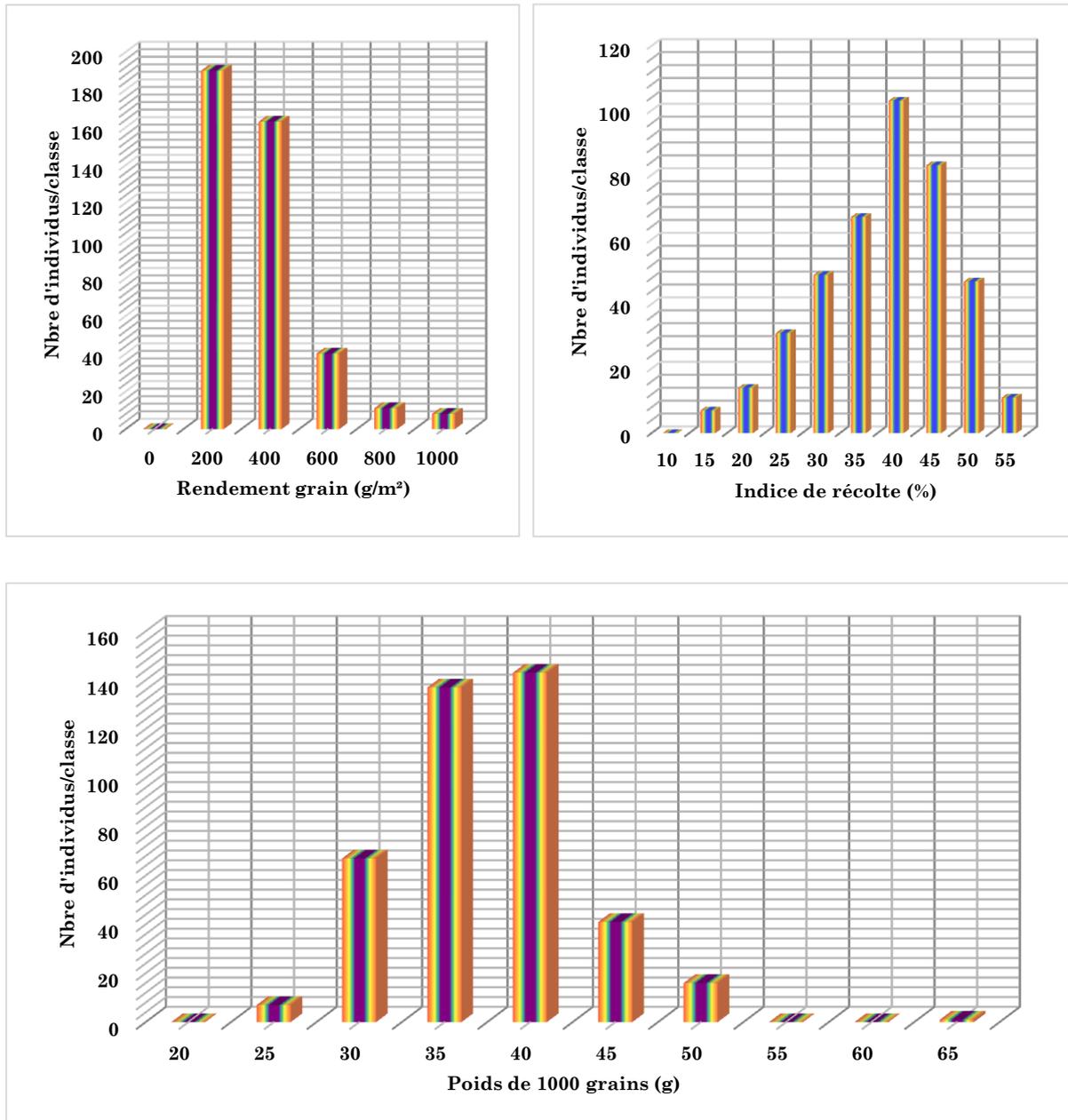


Figure 34. Variabilité phénotypique de rendement grain et l'indice de récolte de la génération F3 du diallèle incomplet ($n_{F4} = 412$).

Tableau 19. Valeurs moyennes, minimales, maximales, variances phénotypique, génotypique et environnementale, héritabilité au sens large (%), coefficients de variation (%) phénotypique et génotypique et plus petite différence significative au seuil de 5% des variables mesurées de la génération F3 générée par le diallèle incomplet.

F3	DPV	PHT	BIO	PE	SF	CHL	NE	PMG	NGE	NGM ²	RDT	HI
μ	130.6	50.3	619.9	416.2	13.4	48.5	317.0	34.9	21.7	7085.6	250.6	35.8
Max (X ₁)	138.0	81.0	1800.0	1416.7	26.6	61.9	716.7	64.6	91.6	33881.5	973.3	51.8
Min	120.0	27.0	100.0	41.7	4.0	29.4	66.7	23.0	5.6	666.7	19.5	11.5
Waha (X ₂)	124.0	61.6	2187.1	672.2	14.8	47.2	794.4	33.0	22.2	14971.4	527.3	40.3
X ₁ -X ₂	14.0	19.4	-387.1	744.4	11.8	14.7	-77.8	31.6	69.4	18910.1	446.1	11.5
σ^2_p	10.5	67.9	85959.1	61180.9	13.6	17.5	17294.6	27.4	71.3	20631380.2	29187.9	75.6
σ_p	3.2	8.2	293.2	247.3	3.7	4.2	131.5	5.2	8.4	4542.2	170.8	8.7
σ^2_e	2.1	61.4	225651.5	52901.8	9.5	10.6	10774.7	8.6	12.6	8616628.6	24961.8	7.4
σ^2_g	8.3	6.6	0.0†	8279.1	4.1	6.9	6519.9	18.8	58.7	12014751.6	4226.1	68.2
σ_g	2.9	2.6	0.0†	91.0	2.0	2.6	80.7	4.3	7.7	3466.2	65.0	8.3
CV _p %	2.5	16.4	47.3	59.4	27.5	8.6	41.5	15.0	38.9	64.1	68.2	24.3
CV _g %	2.2	5.1	0.0†	21.9	15.2	5.4	25.5	12.4	35.3	48.9	25.9	23.1
h ² _{bs}	79.6	9.7	0.0†	13.5	30.4	39.5	37.7	68.5	82.3	58.2	14.5	90.2
GGA	5.3	1.6	0.0†	69.0	2.3	3.4	102.1	7.4	14.3	5449.0	51.0	16.1
GGA (%)	4.1	3.3	0.0†	16.6	17.3	7.0	32.2	21.2	66.0	76.9	20.3	45.1
Ppds5%	2.7	14.3	864.2	188.8	5.6	5.9	418.4	5.3	6.5	5340.3	287.4	5.0
n	412.0	412.0	412.0	412.0	412.0	412.0	412.0	412.0	412.0	412.0	412.0	412.0

CHL= contenu en chlorophylle, DPV=durée de la phase végétative, SF=surface de la feuille étendard, PHT= hauteur de la plante, NGE=nombre de grains par épi, NE= nombre d'épis, PMG=poids de 1000 grains, PE= poids des épis, RDT=rendement en grains, BIO= biomasse aérienne, HI=indice de récolte.

3.1.2. GENERATION F4

3.1.2.1. PRECOCITE, HAUTEUR, BIOMASSE ET POIDS DES EPIS

L'analyse des données de la génération F4 indique la présence de la variabilité au sein de l'ensemble des variables mesurées (Tableau 20). La durée de la phase végétative varie de 125 à 138 jours, avec près de 87.0% des individus situés dans les classes des 127 à 129 jours. Ceci correspondant à la précocité de Waha (Tableau 20, Figure 35). Quoique la différence entre les moyennes extrêmes, et entre ces valeurs caractéristiques et la moyenne générale de la population, soient significatives, en comparaison avec la valeur prise par la plus petite différence significative, il y a peu ou pas de possibilités de sélectionner des sujets plus précoces que ce témoin.

Les individus tardifs, par contre, existent et sont surtout des descendants des croisements dont Guemgoum est un parent. Les coefficients de variation, phénotypique et génotypique, sont faibles en valeur indiquant le peu de variabilité de ce caractère. L'héritabilité et le gain génétique sont faibles à moyenne, prenant les valeurs de 42.6% et 1.2 % (Tableau 20).

Avec une moyenne de la population de 60.2 cm, la hauteur de la végétation varie d'un minimum de 40.0 cm à une valeur maximale de 105.0 cm pour une plus petite différence significative de 12.9 cm. Les possibilités des sélectionner des lignées plus hautes sont plus importantes que celles de sélectionner des lignées plus courtes que le cultivar Waha (Tableau 20, Figure 35).

Ceci provient probablement du fait que l'essentiel des parents croisés sont de type court et seul la variété Guemgoum est haute de paille. En effet la plus part de la descendance de cette variété présente une paille haute. Les coefficients de variation, phénotypique et génotypique, sont élevés en valeur indiquant la présence de la variabilité pour ce caractère. L'héritabilité est moyenne, prenant une valeur de 52 % et le gain génétique 18.6 % (Tableau 20).

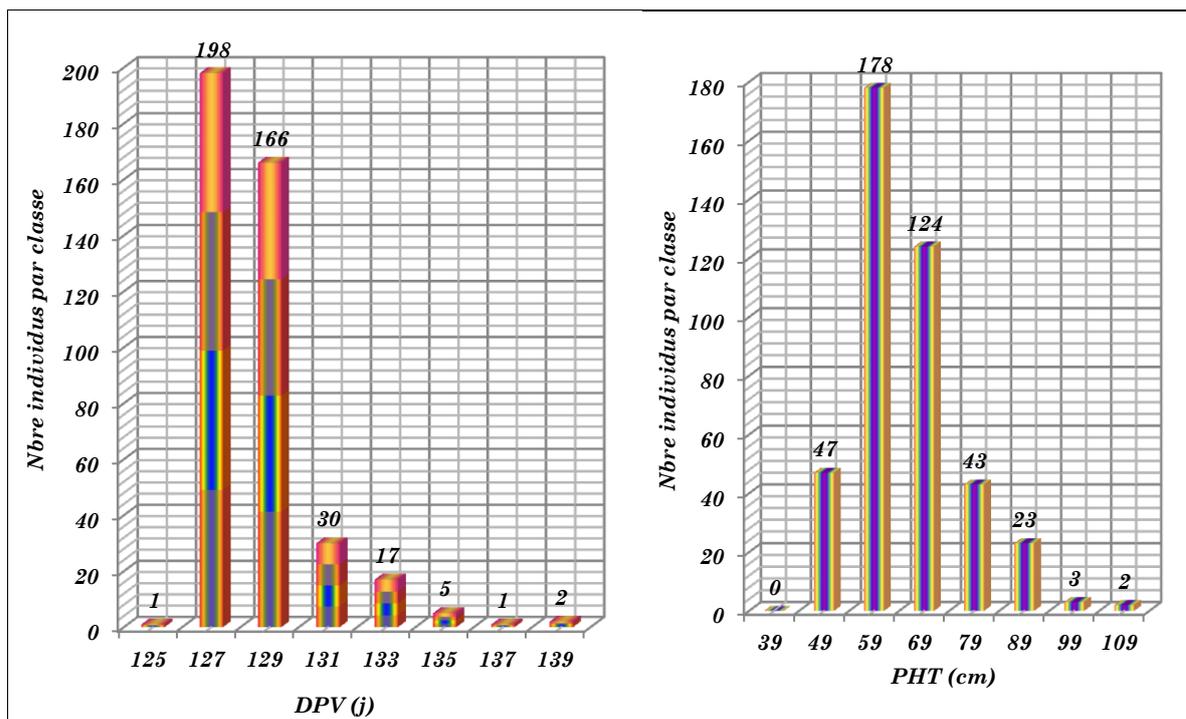


Figure 35. Variabilité phénotypique de la durée de la phase végétative et de la hauteur de la végétation de la génération F4 du diallèle incomplet ($n_{F4} = 420$).

La variabilité observée s'explique par la diversité des parents utilisés en croisement et mérite d'être exploitée à des fins de sélection pour le développement de variétés de blé dur adaptées à la variation des milieux de production semi-arides. En effet dans la zone de production ciblée par cette étude, la paille trouve une forte utilisation aussi bien comme aliment du bétail que comme litière.

La production de paille est aussi importante que celle du grain, et à rendement grain égale, les variétés qui produisent plus de paille sont mieux appréciées et vite adoptées, que celles qui en produisent moins. Quoiqu'une production élevée de paille ne soit pas forcément liée à une paille haute, une haute paille est désirable parce que sous stress hydrique elle est le siège de transfert des assimilés stockés pour le remplissage du grain (Belkherchouche *et al.* 2015).

Ainsi pour la biomasse, et le poids des épis, les valeurs moyennes de la génération F4 varient largement d'un minimum de 23.3 g/m² et 16.7 g/m², à des

maximas de 2560.0 g/m² et 1410.0 g/m² ; autour des moyennes de 857.0 g/m² et 498.0 g/m², respectivement pour deux variables citées dans cet ordre (Tableau 20, Figure 35). Les différences entre les valeurs moyennes caractéristiques sont largement significatives en comparaison avec les valeurs prises par la plus petite différence significative de ces variables, qui sont de 395.9 et 390.9 g/m², respectivement, pour la biomasse, et le poids des épis (Tableau 20, Figure 36).

Les possibilités de sélection dans le sens désirable de l'augmentation des valeurs de ces variables existent. Ces possibilités sont aussi suggérées par les valeurs prises par les différences entre les valeurs maximales et les valeurs du témoin Waha, pour ces deux caractères. Elles aussi suggérées par les valeurs prises par les coefficients de variation phénotypiques et génotypiques qui sont largement supérieurs à 35.4% avec un maximum de 55.8% pour le poids des épis (Tableau 20, Figure 36).

Au même titre que la paille produite, une biomasse élevée est une caractéristique désirable en milieux semi-arides, elle est la cause principale des rendements élevés enregistrés chez les variétés récentes (Bouzerzour *et al.*, 1998). La production de la biomasse aérienne est dépendante de plusieurs facteurs dont le nombre de feuilles produites, la capacité de tallage herbacées et celle de faire monter le plus d'épis par unité de surface emblavée. Elle est aussi sous certaines conditions, dépendante de la hauteur de la plante (Bouzerzour *et al.*, 1998).

Moragues *et al.* (2006) rapportent que les variétés locales du nord et du sud de la méditerranée divergent pour la biomasse aérienne et sa répartition. Les variétés du nord produisent plus de talles herbacées, conduisant à une biomasse aérienne et un indice foliaire élevés au stade épiaison. Les variétés du sud, mieux adaptées aux environnements secs, investissent plus de biomasse dans le maitre-brin. Ceci conduit à une meilleure contribution des réserves produites au cours de la pré-anthèse, au rendement.

Les résultats obtenus par Abbassene *et al.* (1997) indiquent, par contre que la biomasse accumulée, le poids de la matière sèche des épis/m², mesurés au stade épiaison, ne sont d'aucune utilité dans la prévision du rendement en grains, parce que ces caractères ne sont pas liés significativement avec ce dernier.

Le degré de détermination génétique au sens large et le gain génétique des deux variables en question, prennent respectivement les valeurs de (74.0%, 75.9%) pour la biomasse et (40.2%, 46.2 %) pour le poids des épis (Tableau 20, Figure 36). Ces valeurs au sens large sont juste moyenne à élevées. De plus calculées sur la base d'une seule génération, dont l'effet est confondu avec l'effet année, elles semblent affectées par l'effet de l'environnement aussi bien dans le sens positif que négatif. De toute évidence il serait intéressant d'inclure ces deux variables comme critères de sélection mono ou multi caractères.

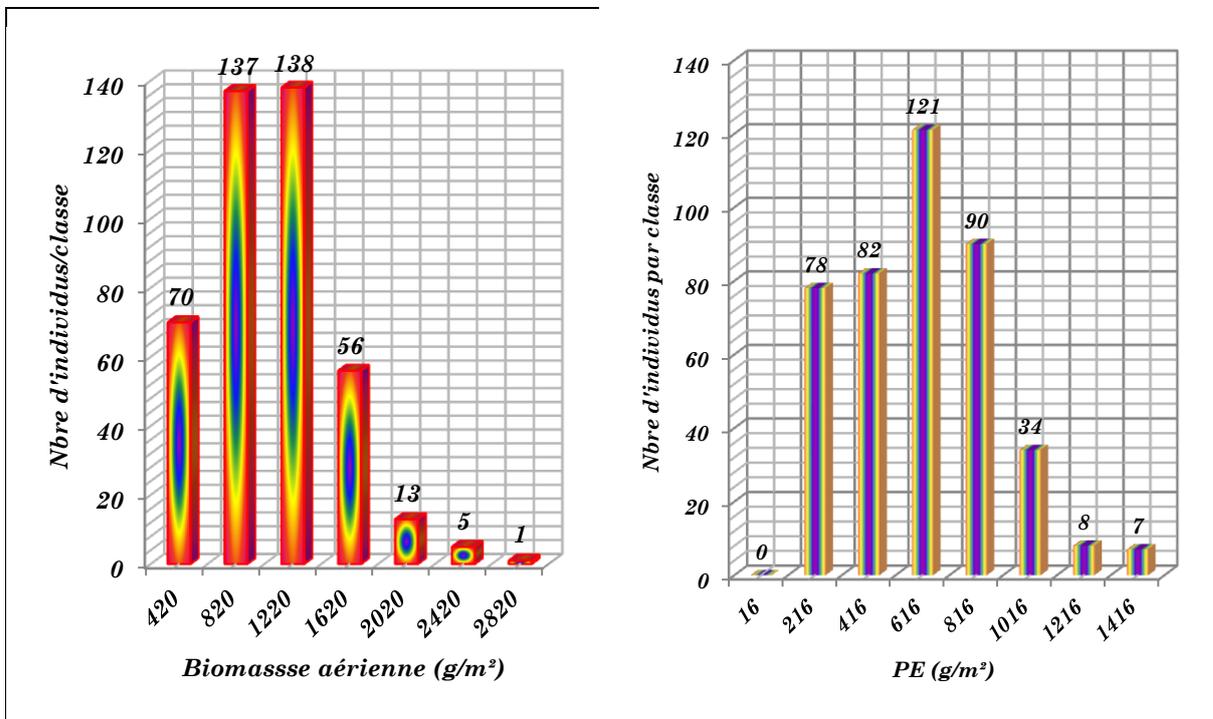


Figure 36. Variabilité phénotypique de la biomasse aérienne et du poids des épis de la génération F4 du diallèle incomplet ($n_{F4} = 420$).

Tableau 20. Valeurs moyennes, minimales, maximales, variances phénotypique, génotypique et environnementale, héritabilité au sens large (%), coefficients de variation (%) phénotypique et génotypique et plus petite différence significative au seuil de 5% des variables mesurées de la génération F4 générée par le diallèle incomplet.

F4	DPV	PHT	BIO	PNE	LE	SF	CHL	NE	PMG	NGE	NGM ²	RDT	HI
μ	128.0	60.2	857.0	498.0	8.0	22.9	48.4	291.2	46.2	29.7	8487.1	377.7	44.4
Max (X ₁)	138.0	105.0	2560.0	1410.0	11.5	47.8	59.3	1736.7	64.0	58.4	30958.6	1120.0	59.8
Min	125.0	40.0	23.3	16.7	2.7	8.3	39.0	6.7	32.0	6.6	628.8	6.7	16.2
Waha (X ₂)	127.0	58.7	976.7	734.4	8.6	19.6	50.5	367.8	39.3	43.9	14926.7	596.7	43.0
X ₁ -X ₂	11	46.3	1583.3	675.6	2.9	28.2	8.8	1368.9	24.7	14.5	16031.9	523.3	16.8
σ^2_p	3.4	105.8	182099.8	77198.1	1.2	35.3	13.9	38465.9	33.5	55.4	19.3	39227.4	96.7
σ_p	1.8	10.3	426.7	277.8	1.1	5.9	3.7	196.1	5.8	7.4	4.4	198.1	9.8
σ^2_e	1.9	50.3	47356.2	46171.7	0.5	25.9	6.6	7511.0	14.9	29.4	4.1	14225.1	15.6
σ^2_g	1.4	55.5	134743.6	31026.4	0.6	9.4	7.3	30954.9	18.6	26.0	15.1	25002.3	81.1
σ_g	1.2	7.4	367.1	176.1	0.8	3.1	2.7	175.9	4.3	5.1	3.9	158.1	9.0
CV _p %	1.4	17.1	49.8	55.8	13.7	25.9	7.7	67.3	12.5	25.1	53.3	52.4	22.1
CV _g %	0.9	12.4	42.8	35.4	10.1	13.4	5.6	60.4	9.3	17.2	47.2	41.9	20.3
h ² _{bs}	42.6	52.4	74.0	40.2	54.3	26.7	52.5	80.5	55.6	46.9	78.5	63.7	83.8
GGA	1.6	11.1	650.5	230.1	1.2	3.2	4.0	325.2	6.6	7.1	7.1	260.0	16.9
GGA (%)	1.2	18.5	75.9	46.2	15.4	14.2	8.3	111.7	14.4	24.1	86.8	68.8	38.1
Ppds5%	2.5	12.9	395.9	390.9	1.3	9.3	7.0	157.7	7.0	18.1	3.7	217.0	7.2
n	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420

CHL= contenu en chlorophylle, DPV=durée de la phase végétative, SF=surface de la feuille étandard, PHT= hauteur de la plante, NGE=nombre de grains par épi, NE= nombre d'épis, PMG=poids de 1000 grains, PE= poids des épis, RDT=rendement en grains, BIO= biomasse aérienne, HI=indice de récolte.

3.1.2.2. LONGUEUR DES EPIS, SURFACE DE LA FEUILLE ETENDARD ET CONTENU EN CHLOROPHYLLE

Les données recueillies en F4 pour les caractères longueur de l'épi, la surface de la feuille étendard et le contenu en chlorophylle sont présentées dans le Tableau 20. Une variabilité appréciable est observée pour ces variables. Ainsi la longueur de l'épi varie de 2.7 à 11.5 cm autour d'une moyenne de 8 cm avec 65 % des individus appartenant à la classe 9 cm (figure 37).

La surface de la feuille étendard oscille autour d'une moyenne de 22.9 cm² avec des valeurs extrêmes allant de 8.3 à 47.8 cm². 64 % des individus de la population se situent dans les classes 22 à 27 cm² (Figure 37) avec un écart très significatif par rapport au parent Waha (Tableau 20).

Le contenu en chlorophylle varie lui aussi de 39.0 % à 59.3 % avec 29 % des individus qui se situent dans les classes de 38% unité spad à 46% unité spad, 40 % des individus appartiennent à la classe 50% unité spad et 30 % des individus se positionnent dans les classes supérieures à 50% unité spad. Ceci indique une variabilité au sein de la population F4 permettant une sélection précoce pour ces caractères.

Les valeurs des coefficients de variation phénotypiques et génotypique sont faibles pour le contenu en chlorophylle (7.7 %, 5.6 %) et modérés pour les deux autres caractères, (13.7 %, 10.1 %) pour la longueur de l'épi et (25.9 %, 13.4 %) pour la surface de la feuille étendard. Les valeurs de l'héritabilité pour les trois caractères sont 26.7% pour la surface foliaire, 52.5 % pour la teneur en chlorophylle et 54.3 % pour la longueur de l'épi. Le gain génétique varie de 8.3 % pour le contenu en chlorophylle à 15.4 % pour la longueur de l'épi (Tableau 20).

Selon Johnson *et al.* (1955), les estimations de l'héritabilité et le gain génétique sont généralement plus utiles pour prédire le gain sous sélection que les estimations de l'héritabilité seules. Une héritabilité élevée accompagnée d'un progrès génétique élevé dans le cas de la surface foliaire, la teneur en chlorophylle et la longueur de l'épi indique que l'héritabilité est probablement due aux effets génétiques additifs et la sélection peut être efficace dans les premières générations pour ces caractères. Des résultats similaires ont été

rapportés par Dwivedi *et al.* (2002), Sharma et Garg (2002) et Yousaf *et al.* (2008).

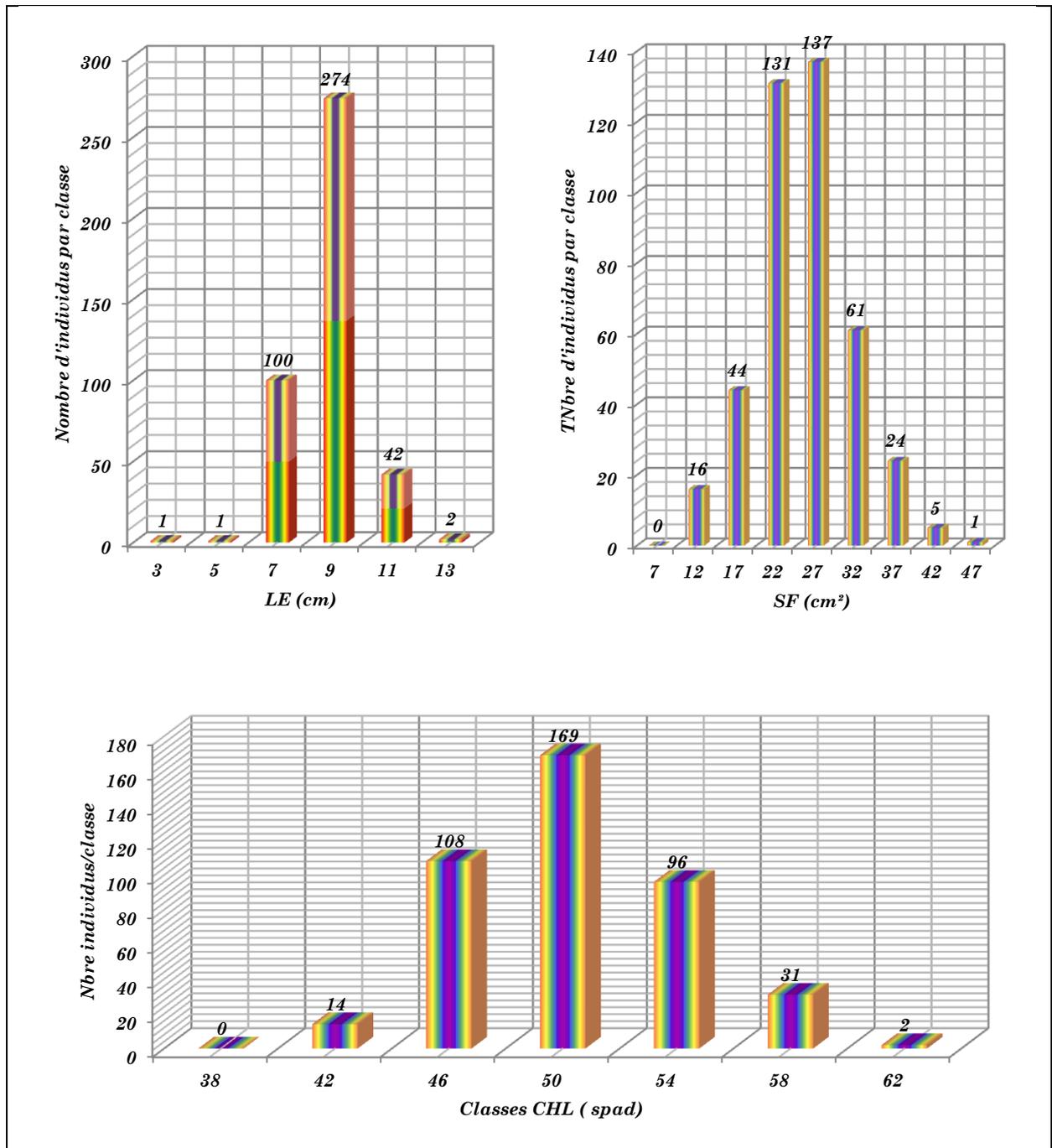


Figure 37. Variabilité phénotypique de la longueur des épis, la surface de la feuille étendard et du contenu en chlorophylle de la génération F4 du diallele incomplet (n_{F4} = 420).

3.1.2.3. COMPOSANTES DU RENDEMENT, RENDEMENT ET INDICE DE RECOLTE

Le rendement est un paramètre important et les sélectionneurs sont intéressés à développer des génotypes à haut rendement. En effet ce paramètre est l'objectif final de tout processus de sélection (Sahin et Yildirim 2006). Plusieurs paramètres contribuent à l'élaboration de ce caractère entre autres, Le nombre d'épi, le poids de 1000 grains et le nombre de grains par épi. L'augmentation du rendement peut être effective sur la base de la performance de ces composantes et d'autres caractères étroitement associés (Sharma et al 2003). Dans cette étude, le rendement grain varie de 6.7 g à 1120.0 g/m² avec une moyenne de 377.0 g/m², le nombre d'épi varie de 6.7 à 1736.7 épis/m² avec une moyenne de 291.2 épis/m², le poids de 1000 grains varie de 32.0 g à 64.0 g et une moyenne de 46.2 g, le nombre de grains par épi varie de 6.6 à 58.4 grains par épi et l'indice de récolte varie de 16.2% à 59.8 %. L'étude des fréquences révèle que pour le rendement grain 66.7 % des individus de la population se situent dans les classes 406 et 606 g/m², 22 % des individus se positionnent dans les classes inférieures à 400 g/m² et 12 % des individus se situent dans les classes supérieures à 600 g/m² (Figure 38).

Pour le nombre d'épis la distribution des fréquences montre que 50 % des individus sont dans la classe 406 épis /m², 33 % dans la classe de 200 épis /m² et 16 % dans les classes au-dessus de 406 épis/m². La distribution des fréquences pour le poids de 1000 grains est très proche d'une distribution normale. 40 % des individus se situent dans la classe 48 g, 26 % des individus sont dans les classes inférieures à la valeur moyenne et 33 % des individus sont situés dans les classe supérieures à la valeur moyenne. Pour le nombre de grain par épi 66 % des individus appartiennent aux classes de 30 à 36 grains/épi, 15 % appartient aux classes supérieures à 36 grains/épi et 35 % des individus sont dans les classes inférieures à 30 grains/épi (Figure 38). Pour l'indice de récolte l'étude montre que 53 % des individus de la population se situent dans la classe 40 à 50 % et 27 % sont situés dans la classe 30 à 40%.

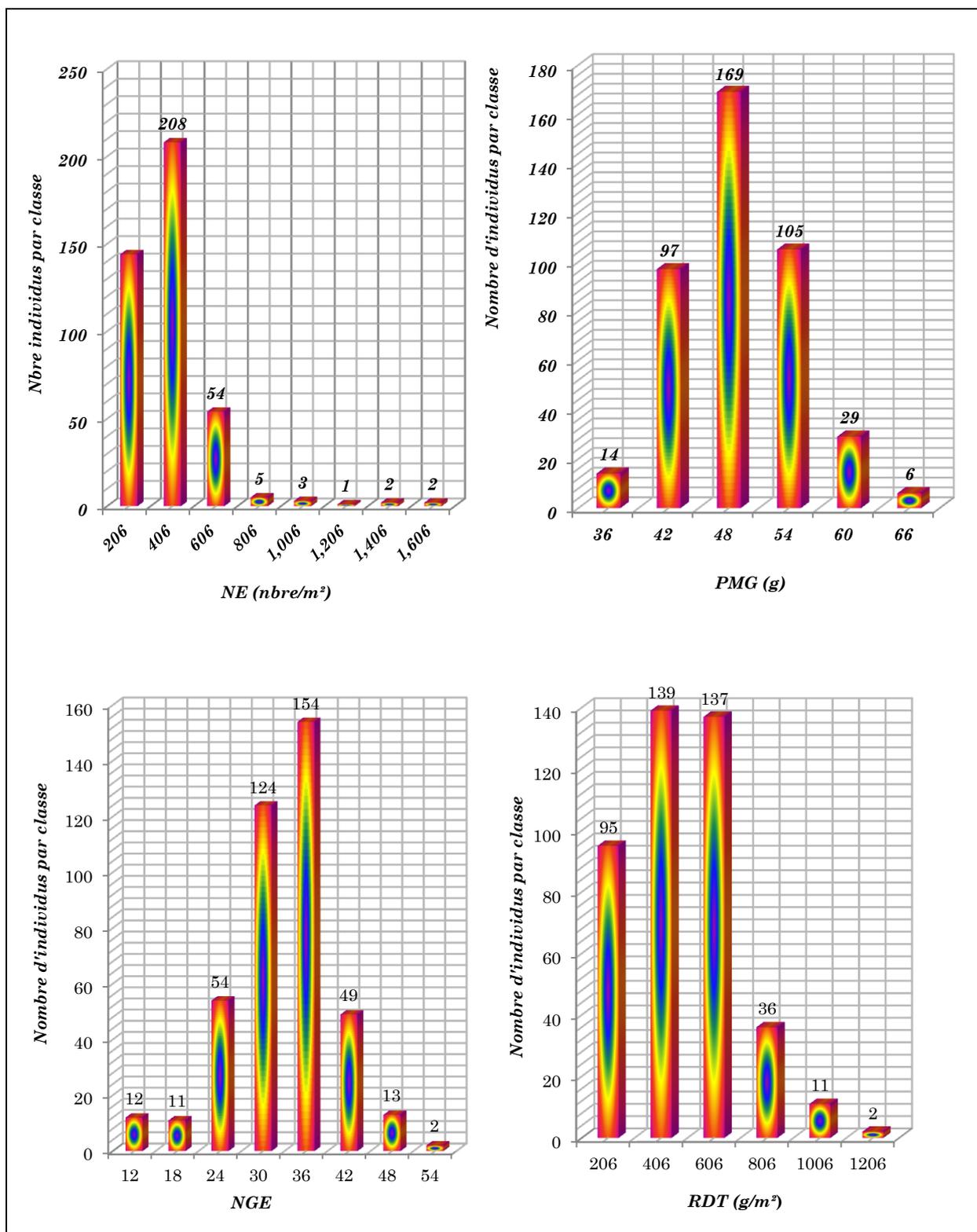


Figure 38. Variabilité phénotypique des composantes et du rendement en grains de la génération F4 du diallèle incomplet ($n_{F4} = 420$).

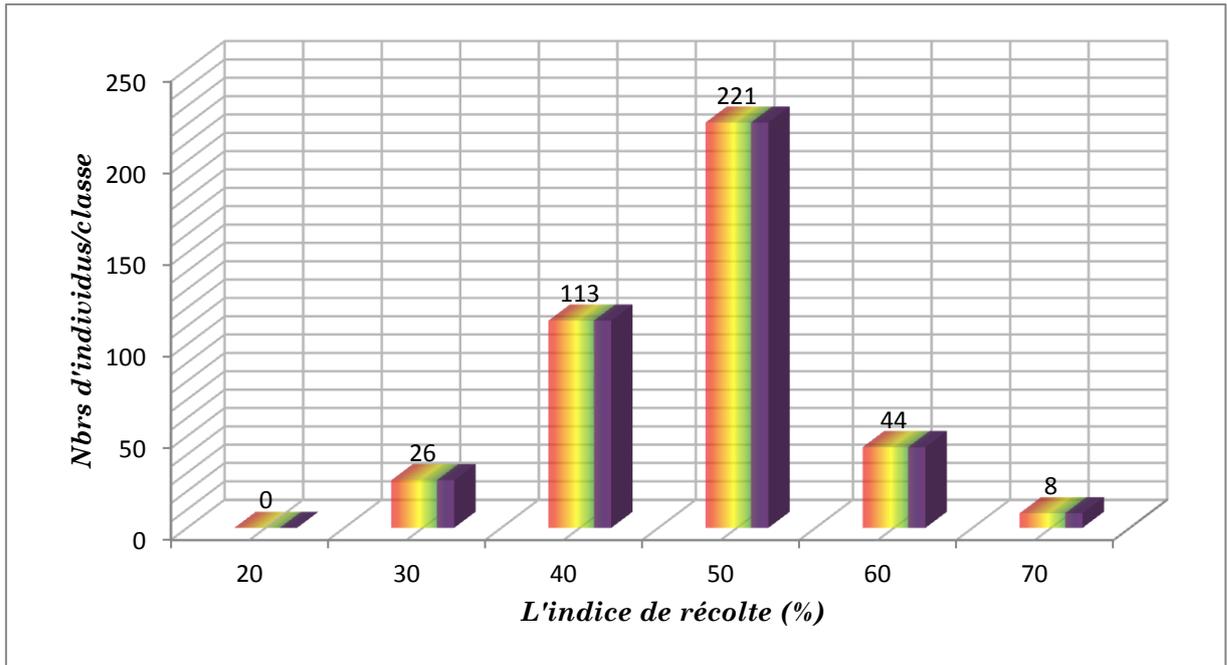


Figure 39. Variabilité phénotypique de l'indice de récolte de la génération F4 du diallèle incomplet ($n_{F4} = 420$).

Une grande variabilité phénotypique et génétique est observée pour la population d'étude. Ceci est confirmé par les valeurs des coefficients de variation phénotypiques et génotypique pour les composantes du rendement et le rendement lui-même. Les valeurs des coefficients de variation phénotypique et génotypique pour les composantes du rendement sont, respectivement 12.5 % et 9.3 % pour le poids de 1000 grains, 22.1 et 20.3 % pour l'indice de récolte, 25.1 et 17.2 % pour le nombre de grains par épi, 52.4 et 41.9 % pour le rendement grain et en fin 67.3 et 60.4 % pour le nombre d'épi par mètre carré (Tableau 20).

L'héritabilité au sens large enregistrée est élevée pour les quatre caractères étudiés. Elle varie de 46.9 % à 83.8 % (Tableau 20). Les valeurs élevées de l'héritabilité couplées avec des estimations élevées de gain génétique (Tableau 20) suggèrent qu'il y a des possibilités effectives de sélectionner des lignées performantes. Les résultats obtenus sont en accord avec ceux de Sachan et Singh (2003) et Affridi *et al.* (2014), et contrairement à ceux rapportés par Abinasa (2011) qui a observé une héritabilité modérée pour le rendement grain et Akçura (2009) qui a signalé une faible héritabilité pour le rendement grain.

3.2. LIAISONS DES CARACTERES INTRA ET INTER GENERATIONS

L'efficacité de la sélection des générations précoces dépend de l'aptitude et la capacité du sélectionneur à distinguer les différences entre les génotypes et la persistance de ces différences chez la descendance au cours des générations plus avancées. Par conséquent, une forte corrélation entre la performance des génotypes sélectionnés dans les premières générations et la performance de leur progéniture dans les générations avancées est un pré requis pour que la sélection précoce soit efficace (Nyquist, 1991).

En effet le succès de tout programme d'amélioration de blé dépend de l'efficacité de la sélection. Les sélectionneurs avaient longtemps tenté d'établir des relations fiables entre caractères, pour réaliser des sélections indirectes. Comme le rendement grain est le caractère d'intérêt le plus ciblé par la sélection, il est évident que la contribution des autres caractères au rendement devient objet de recherche. Par conséquent, l'information sur l'association du rendement avec ses composantes est utile pour élaborer des critères efficaces de sélection (Zhang, 1983).

3.2.1. LIAISONS EN F3

Les coefficients de corrélations phénotypiques des caractères mesurés de la génération F3 sont présentés au tableau 21. Suite au nombre de degrés de liberté, qui est de l'ordre de 400 lignées, presque l'ensemble des coefficients de corrélations calculés atteignent le seuil de signification au seuil de 5% de probabilité, hormis les relations qui lient le contenu en chlorophylle à la hauteur de la plante, au nombre d'épis et au poids de 1000 grains qui ne sont statistiquement significatives (Tableau 21).

Les coefficients de corrélations significatifs varient d'une valeur minimale de l'ordre de 0.100* à une valeur maximale de l'ordre de 0.985**. Sachant que plus la valeur du coefficient de corrélation approche l'unité, plus l'association, entre les deux caractères ciblés, est induite par des effets géniques plus qu'environnementaux. Sur cette base, les caractères mesurés peuvent être structurés en trois groupes différents.

Le premier groupe est constitué par le contenu en chlorophylle, la durée de la phase végétative et la hauteur de la plante qui présentent des corrélations, quoique significatives, mais de faibles valeurs, suggérant un effet de l'environnement et/ou l'indépendance de ces caractères. Ainsi un contenu en chlorophylle élevé est associé positivement à l'ensemble des caractères mesurés et négativement avec la durée de la phase végétative. Ce dernier caractère est négativement associé aussi à l'ensemble des caractères analysés. La hauteur de la végétation suit la même tendance (Tableau 21).

Les coefficients de ces caractères suggèrent les avantages d'un contenu en chlorophylle élevé, d'une durée réduite de la phase végétative et d'une végétation haute de paille, sur les performances des lignées F3, notamment, en termes de rendement grain, composantes de rendement, biomasse aérienne et indice de récolte. Leurs faibles valeurs laissent, cependant, planer le doute sur leur efficacité s'ils sont utilisés comme critères de sélection indirecte pour améliorer les caractères cités ci-dessus.

Les avantages, en termes de transfert des assimilats, de la paille produite et du rendement économique des variétés à haute paille sont rapportés par Malinga et al. (2004), Annicchiarico et al. (2006), Zanke et al. (2015), ainsi que Belkherchouche et al. (2015). Mekhlouf et al. (2006) discutent les pour et contre d'une durée réduite de la phase végétative chez le blé dur.

Au sujet du contenu en chlorophylle, Zarei et al. (2013) rapportent que ce caractère ainsi que la température de la canopée ne présentent pas de liaisons significatives avec les caractères morphologiques chez un jeu de 15 génotypes de blé. Ceci laisse penser que la corrélation est dépendante du fond génétique étudié, de la taille de la population et de l'effet de l'environnement.

Tableau 21. Coefficients de corrélations phénotypiques entre les différents caractères de la génération F3 du diallèle incomplet.

	CHL	DPV	SF	PHT	NGE	PNE	NE	PMG	RDT	BIO	HI
CHL	1.00										
DPV	-0.100*	1.00									
SF	0.275**	-0.153**	1.00								
PHT	0.009 ns	-0.105*	0.230**	1.00							
NGE	0.183**	-0.125**	0.250**	0.133**	1.00						
PNE	0.207**	-0.273**	0.509**	0.275**	0.433**	1.00					
NE	0.086 ns	-0.307**	0.405**	0.177**	0.192**	0.838**	1.00				
PMG	0.030 ns	-0.175**	0.219**	0.392**	0.209**	0.418**	0.237**	1.00			
RDT	0.175**	-0.318**	0.446**	0.270**	0.608**	0.932**	0.795**	0.483**	1.00		
BIO	0.192**	-0.306**	0.434**	0.248**	0.604**	0.916**	0.780**	0.469**	0.985**	1.00	
HI	0.160**	-0.342**	0.444**	0.240**	0.546**	0.842**	0.799**	0.445**	0.863**	0.844**	1.00
NGM	0.170**	-0.309**	0.420**	0.180**	0.710**	0.855**	0.786**	0.273**	0.929**	0.915**	0.832**

CHL= contenu en chlorophylle, DPV=durée de la phase végétative, SF=surface de la feuille étandard, PHT= hauteur de la plante, NGE=nombre de grains par épi, NE= nombre d'épis, PMG=poids de 1000 grains, PE= poids des épis, RDT=rendement en grains, BIO= biomasse aérienne, HI=indice de récolte. Ns, *, ** = corrélation non significative et significatives au deuil de 5 et 1% respectivement.

Le deuxième groupe de caractères est constitué par la surface de la feuille étendard et le poids de 1000 grains, qui présentent des corrélations, significatives, de valeurs assez élevées pour attirer l'attention sur le fait que la manipulation de ces caractères induit la variation des caractères nombre des épis, poids des épis, rendement grain, biomasse aérienne, l'indice de récolte et nombre de grains par m², en somme tous les déterminants du rendement en grains (Tableau 21).

Une feuille étendard aux larges dimensions, ainsi qu'un grain de masse élevée sont associés positivement avec le nombre des épis, le poids des épis, le rendement grains, la biomasse aérienne, l'indice de récolte et le nombre de grains par m² (Tableau 21). A ce sujet Rezgui (1993) rapporte des liaisons significatives entre le poids de 1000 grains, et le rendement, la biomasse aérienne, et la hauteur aussi bien en F3 qu'en F4 de blé tendre. Cet auteur propose de sélectionner sur la base du poids du grain pour améliorer indirectement le rendement grain.

Le troisième groupe de caractères est constitué du nombre et poids des épis, du nombre de grains par épi, du nombre de grains par m², de la biomasse aérienne, de l'indice de récolte et du rendement grain (Tableau 21). Ce groupe de caractères présentent des coefficients de corrélations élevés en valeurs qui les rendent d'un grand intérêt comme critères potentiels en sélection. Cette structuration des caractères est rapportée dans plusieurs travaux de recherche. Ainsi Fellahi et al. (2016) proposent la combinaison constituée de la biomasse aérienne, du poids et du nombre des épis, qui expliquent plus de 83.0% de la variation du rendement en grains, comme critère possible de sélection indirecte pour améliorer le rendement en grains. Salmi et al. (2015) rapportent la combinaison de la biomasse aérienne, l'indice de récolte et le nombre de d'épis qui avec le rendement sont fortement corrélés entre eux. Des résultats similaires sont aussi rapportés par Kumar (2004) ; Tazeen et al. (2009) ; Rashidi (2011) et par Zerga et al. (2016).

3.2.2. LIAISONS EN F4

En F4, les coefficients de corrélations entre les différents caractères analysés varient d'un minimum de 0.000ns à un maximum de 0.895** (Tableau 22).

On note que les différents caractères sont structurés, globalement de la même manière qu'en F3, avec cependant quelques changements qui suggèrent la complexité des liaisons inter caractères.

Ainsi le contenu en chlorophylle, s'il maintient sa liaison significative et négative avec la durée de la phase végétative, comme en F3, il n'est plus significativement corrélé avec plusieurs caractères comme ce fut le cas en F3. De plus si la corrélation est significative, elle change de signe, entre générations, ceci est le cas de la liaison avec la hauteur et avec le poids de 1000 grains (Tableaux 21 et 22).

On note aussi le même phénomène en ce qui concerne la durée de la phase végétative. Les corrélations de cette variable avec la surface de la feuille étendard, avec la hauteur de la plante, la biomasse et avec le poids de 1000 grains, changent de signes et de magnitudes. De négatif en F3, le signe des coefficients de corrélations devient positif en F4. L'association de ce caractère avec la hauteur et avec le poids de 1000 grains devient, relativement, plus puissante en F4 qu'elle ne l'était en F3 (Tableaux 21 et 22).

La surface de la feuille étendard et la hauteur de la végétation maintiennent, globalement, leurs degrés d'associations avec les autres caractères avec des valeurs des coefficients de corrélations moyennes. On note cependant que la liaison de la surface de la feuille étendard avec l'indice de récolte devient non significative en F4, et celles de la hauteur avec le poids de 1000 grains et avec la biomasse aérienne deviennent plus étroites et celle avec l'indice de récolte change de signe et de magnitude (Tableau 21 et 22).

Tableau 22. Coefficients de corrélations phénotypiques entre les différents caractères de la génération F4 du diallèle incomplet.

F4	CHL	DPV	SF	PHT	NGE	PNE	NE	PMG	RDT	BIO	HI
CHL	1.000										
DPV	-0.273**	1.000									
SF	-0.084 ^{ns}	0.173**	1.000								
PHT	-0.189**	0.393**	0.285**	1.000							
NGE	-0.025 ^{ns}	-0.168**	0.140**	-0.144**	1.000						
PNE	0.000 ^{ns}	-0.086 ^{ns}	0.310**	0.235**	0.256**	1.000					
NE	0.047 ^{ns}	-0.185**	0.235**	0.162**	0.109*	0.852**	1.000				
PMG	-0.199**	0.408**	0.201**	0.553**	-0.229**	0.128**	-0.0152 ^{ns}	1.000			
RDT	0.040 ^{ns}	-0.126*	0.307**	0.191**	0.320**	0.893**	0.891**	0.063 ^{ns}	1.000		
BIO	-0.032 ^{ns}	0.101*	0.365**	0.441**	0.050 ^{ns}	0.819**	0.844**	0.209**	0.850**	1.000	
HI	0.047 ^{ns}	-0.347**	-0.097*	-0.343**	0.541**	0.221**	0.183**	-0.205**	0.325**	-0.105*	1.000
NGM	0.019 ^{ns}	-0.219**	0.252**	0.076 ^{ns}	0.529**	0.827**	0.880**	-0.125*	0.895**	0.726**	0.364**

CHL= contenu en chlorophylle, DPV=durée de la phase végétative, SF=surface de la feuille étandard, PHT= hauteur de la plante, NGE=nombre de grains par épi, NE= nombre d'épis, PMG=poids de 1000 grains, PE= poids des épis, RDT=rendement en grains, BIO= biomasse aérienne, HI=indice de récolte. Ns, *, ** = corrélation non significative et significatives au deuil de 5 et 1% respectivement.

Les coefficients de corrélations des variables nombre et poids des épis, nombre de grains par épi et par m², le rendement grain, la biomasse aérienne et l'indice de récolte sont similaires à ceux notés en F3, quoique les valeurs des coefficients sont moins élevées. On note cependant un changement des liaisons de ces variables avec l'indice de récolte, qui deviennent moins en F4 qu'en F3 intenses (Tableau 21 et 22).

Ces résultats indiquent que seuls les caractères qui sont structurés avec le rendement en grains maintiennent un degré relativement élevé d'association avec ce dernier. Ces liaisons sont donc, relativement, moins affectées par l'environnement que celles des autres variables, telles que la durée de la phase végétative, la hauteur de la végétation, le contenu en chlorophylle et la surface de la feuille étandard. De ce fait ces derniers caractères sont susceptibles d'être efficaces s'ils sont utilisés comme critères de sélection pour améliorer indirectement le rendement en grains. Ces résultats sont en accord avec les travaux d'Amin *et al.* (1992) ; Singh *et al.* (2006) ; Arega *et al.* (2007) ; Tazeen *et al.* (2009) et Tsegaye *et al.* (2012).

Comme le coefficient de corrélation entre deux variables est la somme de l'effet direct de la variable indépendante sur la variable dépendante, et des effets indirects via les autres variables indépendantes intégrées dans le modèle, il est plus intéressant de décomposer les coefficients de corrélations en effets directs et indirects pour identifier les caractères les plus déterminants de la variable dépendante qui est dans le cas de la présente étude le rendement en grains.

3.3. ANALYSE DES EFFETS DIRECTS ET INDIRECTS PAR GENERATION

3.3.1. GENERATION F3

Parmi les 11 variables indépendantes incluses dans le modèle, seules 3 variables, et qui sont le poids des épis, la biomasse aérienne et le nombre de grains par m², présentent des effets directs de valeurs perceptibles variant de 0.189 à 0.579 relativement. Les effets directs des autres variables sont négligeables et leurs corrélations avec le rendement en grains est faite surtout d'effets indirects. Ceci est le cas du contenu en chlorophylle, de la durée de la phase végétative, de la

surface de la feuille étendard, des composantes du rendement ainsi que l'indice de récolte (Tableau 23). En plus de leurs effets directs assez conséquents, le poids des épis, et le nombre de grains par m² présentent aussi des effets indirects positifs plus importants en valeurs que les effets directs en dehors de celui de la biomasse aérienne (Tableau 23).

Tableau 23. Effets directs et indirect des variables mesurées sur le rendement en grains des générations F3 et F4 du diallèle incomplet.

	RDT _{F3}			RDT _{F4}			r _{F3,F4}	b _{F4,F3}	h ² ns
	Direct	Indirects	r _{RDT-y}	Direct	Indirects	r _{RDT-y}			
CHL	-0.015	0.190	0.175	0.038	0.002	0.04	0.302**	0.34	19.21
DPV	-0.013	-0.305	-0.318	-0.023	-0.103	-0.126	0.354**	0.55	31.17
SF	-0.009	0.455	0.446	0.030	0.277	0.307	0.040 ^{ns}	-0.05	0.00
PHT	0.008	0.262	0.270	-0.045	0.236	0.191	0.193**	0.22	12.32
NGE	0.019	0.589	0.608	-0.160	0.480	0.32	-0.039 ^{ns}	0.18	10.48
PNE	0.189	0.743	0.932	0.155	0.738	0.893	0.206**	0.11	6.40
NE	0.004	0.791	0.795	0.233	0.658	0.891	0.274**	0.39	22.26
PMG	0.067	0.416	0.483	0.045	0.018	0.063	0.272**	0.05	2.75
BIO	0.579	0.406	0.985	0.561	0.289	0.85	0.223**	0.03	1.82
HI	0.007	0.856	0.863	0.266	0.059	0.325	0.034 ^{ns}	0.89	50.83
NGM ²	0.198	0.731	0.929	0.548	0.347	0.895			
RDT	--	--	--	--	--	--	0.172	0.05	2.95

CHL= contenu en chlorophylle, DPV=durée de la phase végétative, SF=surface de la feuille étendard, PHT= hauteur de la plante, NGE=nombre de grains par épi, NE= nombre d'épis, PMG=poids de 1000 grains, PE= poids des épis, RDT=rendement en grains, BIO= biomasse aérienne, HI=indice de récolte. Ns, *, ** = corrélations non significatives et significatives au seuil de 5 et 1%, respectivement.

3.3.2. GENERATION F4

En F4, les trois caractères poids des épis, biomasse aérienne et nombre de grains par m² présentent, comme en F3, des valeurs d'effets directs et indirects positifs assez appréciables (Tableau 23). Le nombre de grains par épi et le nombre d'épis par m² présentent des effets directs et indirects appréciables. L'effet direct du nombre de grains par épi est négatif au contraire de celui du nombre d'épis. L'indice de récolte présente aussi un effet direct appréciable et des effets directs négligeables (Tableau 23).

Ces résultats attirent l'attention sur le poids des épis, la biomasse aérienne et le nombre de grains par m² et suggèrent leur utilisation comme critères de sélection pour améliorer indirectement le rendement en grains. Des résultats

similaires de l'effet positif direct de la biomasse aérienne sur le rendement grain sont rapportés par Mohammed *et al.* (2011), Tsegaye *et al.* (2012), Ismail et Abdallah (2016), Khalili et Neghavi (2016) et Desheva (2016).

3.4. RESSEMBLANCE ENTRE APPARENTE

3.4.1. LIAISONS INTER GENERATIONS

L'efficacité d'un caractère utilisable comme critère de sélection indirecte dépend aussi du maintien de sa capacité de discrimination entre les différentes lignées soumises à la sélection de la génération parentale à la génération descendante. Autrement dit, un tel caractère doit présenter un coefficient de corrélation inter générations élevé ($r_{F3,F4}$). En effet plus cette corrélation est étroite, plus efficace serait la sélection pratiquée sur la base de ce caractère.

Dans le cas de la présente étude, les coefficients de corrélations inter générations varient d'un minimum de 0.034ns pour l'indice de récolte à un maximum de 0.354** pour la durée de la phase végétative (Tableau 23). Ces valeurs sont faibles dans l'ensemble, laissant soupçonner la présence de l'interaction génotype x générations (générations confondues avec l'environnement). Ceci induit des changements de classement des apparentés évalués de la génération parentale à la génération des descendants.

Il est intéressant, cependant, de noter que le poids des épis et la biomasse aérienne présentent des corrélations significatives, en plus du fait que ces deux caractères présentent des effets directs et indirects positifs sur le rendement en grains (Tableau 23). Ceci attire l'attention sur les possibilités de générer des changements du potentiel de rendement en grains en manipulant ces deux caractères.

3.4.2. REGRESSION PARENTS-DESCENDANTS

Le degré de ressemblance entre apparentés est un facteur déterminant qui conditionne l'efficacité de la sélection. En effet les lignées retenues doivent maintenir, dans des limites acceptables, leurs performances au cours des

générations successives. Le coefficient de régression (b) de la descendance (F4) sur les parents (F3) varie d'une valeur minimale pratiquement nulle (0.03 g/m²) pour la biomasse aérienne à une valeur maximale de 0.89% pour l'indice de récolte.

Les caractères qui présentent un coefficient de régression de valeur appréciable relativement aux coefficients de régression des autres caractères sont l'indice de récolte (0.89 g/m²), la durée de la phase végétative (0.55 jours), le contenu en chlorophylle (0.34 unités spad) et le nombre d'épis (0.39 épis/m², Tableau 23). Le rendement en grains, comme la biomasse aérienne, les composantes du rendement présentent des coefficients de régression pratiquement nuls, ce qui suggère la présence de l'interaction des lignées avec l'environnement.

Comme le coefficient de régression est corrélé avec l'héritabilité au sens étroit (Smith et Kinman, 1965), les caractères qui présentent un degré d'héritabilité au sens étroit moyen sont la durée de la phase végétative et l'indice de récolte avec des valeurs de 50.83% et 31.17%, respectivement. Une faible héritabilité au sens étroit est notée pour le contenu en chlorophylle avec une valeur de 19.17% et une valeur de 22.26% pour le nombre d'épis. Les autres caractères dont le rendement grain, la biomasse aérienne et le poids des épis ont des héritabilités nulles (Tableau 23).

Les faibles valeurs de l'héritabilité enregistrées indiquent un effet environnement plus important que l'effet génétique dans l'expression des performances du rendement en grains, des composantes et de la biomasse aérienne. De ce fait il ressort que la sélection sur la base de ces caractères pour améliorer indirectement le rendement en grains n'est pas envisageable au sein des générations précoces, elle doit être retardée.

Whan *et al.* (1981) mentionnent que les caractères sensibles à la variation des environnements et présentant des interactions sont moins efficaces comme critères de sélection précoce. Il en est de même lorsque les environnements sont tellement différents, ils réduisent le degré de ressemblance entre les lignées

parentales et leurs descendance, si la génération parentale et la génération descendante sont conduites dans des environnements différents (irrigué vs non irrigué, années différentes, degrés de fertilité des sols ...).

Les résultats de la présente étude concordent partiellement avec ceux de Barman et Borah (2012) qui étudient la réponse à la sélection sur la base du rendement et des caractères agronomiques en F2, F3 et F4 du riz. Leurs résultats indiquent que les performances de rendements des familles F3 sélectionnées en F2 sur la base du rendement n'étaient pas tellement encourageantes et suggérant l'inefficacité de la sélection précoce directe. De plus il n'y avait pratiquement pas de relation significative entre le rendement des lignées F2 sélectionnées et leur descendants F3 comme l'indiquent les coefficients de régression de la descendance F3 sur les lignées parentales F2, et de corrélation inter générations F2/F3.

CHAPITRE IV

ANALYSE DE L'ADAPTABILITE DU BLE DUR AUX CONDITIONS SUD MEDITERRANEENNES

CHAPITRE IV. ANALYSE DE L'ADAPTABILITE DU BLE DUR AUX CONDITIONS SUD MEDITERRANEENNES.

1. INTRODUCTION

La sélection de géotypes possédant un haut potentiel de rendement en grains est certainement l'objectif principal du programme national d'amélioration du blé dur. Cependant lorsque les futures variétés sont destinées à être cultivées dans des environnements connues pour leurs contraintes souvent intenses, en termes de stress thermiques et hydrique, comme c'est le cas des hautes plaines orientales, un haut potentiel de rendement en grains n'est pas suffisant en lui-même s'il n'est pas associé à l'adaptabilité à la variation pédoclimatique des milieux de productions (Benmahammed et al., 2010 ; Kadi et al, 2010 ; Nouar et al., 2012 ; Haddad et al., 2016).

De ce fait, l'objectif d'amélioration du blé dur devient le développement de cultivars à haut rendement et adaptés aux conditions climatiques dominantes de la région ciblée. Ces futures variétés doivent avoir la capacité de valoriser, au mieux, les spécificités des différents terroirs et itinéraires techniques. Elles doivent réagir positivement à la diversité des situations dans lesquelles elles sont placées où dans lesquelles la variation de milieu les place (Annicchiarico et al., 2005 ; Kadi et al., 2010 ; Nouar et al., 2012 ; Adjabi et al., 2014).

En effet il est connu que le rendement d'un cultivar donné varie d'un lieu à l'autre, notion d'adaptabilité, et d'une année à l'autre, notion de stabilité (Lin et al., 1986). Des résultats de plusieurs recherches semblent indiquer que le potentiel de rendement est peu ou négativement lié à la stabilité et à l'adaptabilité (Benmahammed et al., 2010 ; Kadi et al, 2010 ; Nouar et al., 2012 ; Haddad et al., 2016).

Le potentiel de rendement est aisément mesuré en absence de stress dans un environnement donné, par contre la stabilité et l'adaptabilité sont des notions plus complexes et surtout plus difficiles à cerner surtout lorsqu'on cherche à cumuler chez un géotype donné stabilité, adaptabilité et potentiel de rendement (Lin et al., 1986). L'instabilité est induite par des interactions du géotype avec les milieux de culture qui sont causées par la sensibilité vis-à-vis des stress aussi biotiques qu'abiotique (Brancourt et al., 1997, Annicchiarico et al., 2005). Ainsi

la stratégie d'évaluation des comportements de matériel végétal sous sélection est multi locales pour prendre en compte la diversité des milieux représentative de celle sous laquelle les futures variétés doivent produire (Prost *et al.*, 2007 ; Menad *et al.*, 2011 ; Meziani *et al.*, 2011 ; Bendjamaa *et al.*, 2014).

Ceci suppose aussi que la sélection doit porter sur les caractéristiques qui augmentent, aussi bien le potentiel de rendement en grains, que la tolérance vis-à-vis des stress. Cependant certains résultats préliminaires obtenus avec du matériel végétal sensible, semblent indiquer que les deux objectifs sont difficilement associables, sous les conditions des hautes plaines orientales (Mekhlouf *et al.*, 2006 ; Benmahammed *et al.*, 2010 ; Nouar *et al.*, 2010, Nouar *et al.*, 2012 ; Haddad *et al.*, 2016).

Plusieurs méthodes statistiques ont été proposées pour étudier l'adaptabilité et la stabilité (Finlay et Wilkinson, 1963 ; Lin *et al.*, 1986 ; Becker et Léon 1988 ; Crossa 1990 ; Lin et Binns 1994). Plusieurs types de stabilité sont considérés selon les méthodes d'approches.

La stabilité statique ou biologique (Type 1) est approchée par la variance inter environnements (Becker et Léon 1988). La stabilité dynamique ou agronomique (Type 2) est approchée la régression conjointe (Finlay et Wilkinson, 1963) et l'AMMI (Crossa 1990). La stabilité de type 3 est approchée par la déviation de la régression (S^2_{di}) (Eberhart et Russell, 1966 ; Perkins et Jinks, 1968). La stabilité temporelle (Type 4).

L'objectif de cette étude est d'analyser les méthodes les plus usitées dont celles basées sur la régression conjointe, la variance, les paramètres multi variable (AMMI) et des méthodes non paramétriques basées sur le classement des génotypes dans chaque environnement.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. MATERIEL VEGETAL, DISPOSITIF

Le matériel végétal utilisé dans cette investigation se compose de six variétés de blé dur (Waha, Zenati Bouteille/Flamingo, Mexicali⁷⁵, Ofanto, Gaviota durum et Guemgoum Rkhem). Ces génotypes ont été utilisés comme parent dans l'étude du diallèle (chapitres précédents). Les génotypes ont été évalués durant cinq campagnes agricoles consécutives au niveau de la station de recherche de l'institut national de la recherche agronomique (INRAA) de Sétif de 2012 à 2016.

Les génotypes sont semés dans un dispositif en blocs avec trois répétitions, sur des parcelles élémentaires constituées de trois rangs de 1.5 m de long et 0.20 m espacement entre rangs. Les essais ont été fertilisés avec 100 kg ha⁻¹ d'engrais phosphaté à 46 % avant le semis et avec 100 kg ha⁻¹ d'engrais azoté (urée à 46 %) apporté en deux fractions, avant le semis et au stade tallage. Le contrôle des adventices est fait avec du Grand Star® à raison de 12 g ha⁻¹. Les notations ont porté sur les caractères du rendement et ses composantes.

2.2. ANALYSE DES DONNEES

2.2.1. L'ANALYSE DE LA VARIANCE

Un modèle combiné et fixe d'analyse de variance a été utilisé sur les données selon le modèle suivant :

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \rho_k(j) + \epsilon_{ijk}$$

$$i = 1, 2, \dots, g; j = 1, 2, \dots, e; k = 1, 2, \dots, r$$

Avec Y_{ijk} ; l'observation sur i ème génotype, dans j ème environnement et dans k ème bloc, μ ; la moyenne générale, α_i ; l'effet du génotype i , β_j ; l'effet de l'environnement j , $\alpha\beta_{ij}$; effet de l'interaction génotype i et l'environnement j , $\rho_k(j)$; effet bloc aléatoire avec l'environnement, ϵ_{ijk} ; résidus du modèle qui sont supposés être distribués de façon aléatoire à moyenne nulle et de variance homogène σ^2 . Les tests de signification statistiques pour les composantes

génotypique, environnementale et celle de l'interaction (génotype-environnement) ont été calculés en utilisant le F-test.

2.2.2. LES INDICES PARAMETRIQUES DE STABILITE

2.2.2.1. PARAMETRES BASES SUR LA REGRESSION CONJOINTE

La régression conjointe est l'une des techniques les plus employées pour analyser l'interaction génotype-milieu du rendement chez de nombreuses espèces et aborder les problèmes de stabilité (Brancourt-Hulmel *et al.*, 1997). Plusieurs auteurs ont décrit et élaboré cette méthode : Yates et Cochran (1938), Finlay et Wilkinson (1963), Eberhart et Russell (1966) et Perkins et Jinks (1968).

2.2.2.1.1. LE MODEL DE FINLAY ET WILKINSON (1963)

Finlay et Wilkinson (1963) ont mis en avant un brillant concept de la mesure de l'adaptabilité qui repose sur deux paramètres de stabilité ;

(i) la moyenne génotypique :

$$\bar{g} = \left(\sum_i^g \sum_j^e x_{ij} \right) / e$$

(ii) la stabilité phénotypique : $(bi) = \frac{\sum_i^g \sum_j^e x_{ij} \cdot \bar{y}}{\sum_j^e \bar{y}^2}$

Avec : $(\bar{y}_j) = \frac{(\sum_i^g \sum_j^e x_{ij})}{g}$; g = nb de variétés; e = nb d'environnements; et x_{ij} = la valeur phénotypique.

2.2.2.1.2. LE MODEL D'EBERHART ET RUSSELL (1966)

Eberhart et Russell (1966) ont présenté une version améliorée du model de Finlay et Wilkinson. Ainsi ils ont suggéré d'utiliser le carré moyen de déviation à la droite de régression (\bar{s}^2_{di}) en plus du coefficient de régression.

Le coefficient de régression :

$$bi = \frac{\sum_j x_{ij} \cdot I_j}{\sum_j I_j^2}$$

Avec I_j : l'indice environnemental qui est défini comme la déviation de la moyenne de toutes les variétés dans un environnement donné de la moyenne générale $= \left(\frac{\sum_i x_{ij}}{g} \right) - \left(\frac{\sum_i \sum_j x_{ij}}{ge} \right)$ et $\sum_j I_j = 0$,

b- le carré moyen de déviation ($\bar{s}^2 di$) : $= \left(\frac{\sum_j \delta^2_{ij}}{E-2} \right) - \frac{S_e^2}{r}$

Où $\sum_j \delta^2_{ij} = \left[\sum_j x_{ij}^2 - \frac{x_i^2}{g} \right] - \frac{(\sum_j x_{ij} \cdot I_j)^2}{\sum_j I_j^2}$, S_e^2 = estimation de l'erreur.

Le coefficient de détermination R^2 a été calculé et les génotypes qui ont des valeurs élevées de R^2 sont considérés qu'ils ont des performances prévisibles que ceux avec des coefficients de détermination faibles.

Le génotype est considéré stable selon Eberhart et Russell (1966) lorsque le coefficient de régression est égal à l'unité ($b_i=1$) et le carré moyen de la déviation est de valeur minimale ($\bar{s}^2 di = 0$). La déviation de l'unité du coefficient de régression est testée par rapport à l'écart-type du b_i . $\bar{s}^2 di$ est testée par rapport à l'erreur résiduelle de l'analyse de la variance combinée (Annicchiarico, 2002).

2.2.2.2. PARAMETRES BASES SUR LA VARIANCE

2.2.2.2.1. LA VARIANCE ENVIRONNEMENTALE

La variance environnementale (S_{env}^2) est une des principales mesures de la stabilité pour le concept statique de la stabilité (Lin *et al.*, 1986) et elle est calculée pour chaque génotype à travers les environnements testés. Le génotype ayant la variance minimale sous les différents environnements est considéré plus stable. Cette mesure est calculée comme suit :

$$S_{xi}^2 = \frac{\sum (X_{ij} - \bar{X}_i)^2}{E - 1}$$

Où X_{ij} ; le rendement du génotype i dans l'environnement j , \bar{X}_i ; est la moyenne des rendements du génotype i sur l'ensemble des environnements j et E ; le nombre des environnements tests.

2.2.2.2.2. LA VARIANCE DE SHUKLA (1972)

La variance de la stabilité phénotypique d'un génotype a été introduite par Shukla (1972). Elle est définie comme la variance du génotype à travers les environnements après la soustraction de l'effet environnement. Elle estimée comme suit :

$$\sigma_i^2 = \left[\frac{G}{(G-2)(E-1)} \right] W_i^2 - \frac{\sum W_i^2}{(G-1)(G-2)(E-1)}$$

Où : G= nombre de génotype, G= nombre d'environnements tests, W_i = écovalence du génotype i, $\sum W_i^2$ = somme des écovalences des génotypes testés.

L'inconvénient dans cette méthode est la possibilité d'obtenir une estimation négative de la composante de la variance du génotype (Ferreira et al., 2006)

2.2.2.2.3. L'ECOVALENCE DE WRICKE (W_i^2)

L'écovalence de Wricke (1962) est une mesure de la contribution du génotype à l'interaction génotype-environnement. C'est une mesure de la stabilité relative du génotype (Becker, 1981 ; Becker et Léon, 1988). Une valeur W_i nulle ou proche de zéro est indicatrice de la stabilité du génotype. L'écovalence variétale (W_i^2) est estimée par :

$$W_i^2 = \sum (X_{ij} - \bar{X}_{i.} - \bar{X}_{.j} + \bar{X}_{..})^2$$

2.2.2.2.4. L'INDICE DE SUPERIORITE (P_i)

L'indice de supériorité (P_i) traduit la moyenne des déviations du rendement du génotype par rapport au meilleur rendement des autres génotypes. Les génotypes ayant un faible (P_i) sont considérés les plus stables. Selon Lin et Binns (1988), (P_i) s'exprime par la formule suivante :

$$P_i = \frac{\sum (X_{ij} - M_j)^2}{2E}$$

Où : X_{ij} : est le rendement du génotype i dans l'environnement j , M_j : est le rendement du génotype maximal dans l'environnement j , E : est le nombre d'environnements.

2.2.2.2.5. LE MODEL D'ANNICCHIARICO

Annicchiarico (1992) estime que toute activité agricole comporte un risque, et cela peut être mesurée et aider à la prise de décision sur l'utilisation des cultivars. A cet effet, l'auteur a proposé une méthode qui permet de mesurer un indice de stabilité fiable appelé (ω_i) . Plus est élevé cet indice, plus le génotype est recommandé comme stable.

Les modalités de calcul sont : $\omega_{iAnn} = \bar{Y}_i - Z(1 - \alpha) \cdot \sigma_i$

Où (ω_i) est l'indice de stabilité (%), Y_i est la moyenne du génotype exprimé en pourcentage, Z est le percentile $(1 - \alpha)$ de la fonction cumulative de la distribution normale, (σ_i) est l'écart-type. L'intervalle de confiance était 75% ou $(\alpha=0.25)$. Cet indice est décomposé en deux termes : (i) indice à des environnements favorables, (ii) indice à des environnements défavorables Schmidt et Cruz (2005). L'indice de l'environnement est défini comme étant la différence entre la moyenne des cultivars dans chaque environnement, et la moyenne globale. Les valeurs positives de cet indice indiquent les environnements favorables.

$$\omega_{Ann.f} = \bar{Y}_{if} - Z(1 - \alpha) \cdot \sigma_{if}$$

Par contre les valeurs négatives indiquent des environnements défavorables :

$$\omega_{Ann.d} = \bar{Y}_{id} - Z(1 - \alpha) \cdot \sigma_{id}, Z = 1.6449.$$

2.2.2.2.6. LE MODEL DE SCHMILDT

La méthode de Schmidt *et al.* (2011) est basée sur l'utilisation de l'indice de confiance d'Annicchiarico (1992) modifié par Schmidt et Cruz (2005). Ils proposent l'utilisation de l'erreur-type de la moyenne et l'écart-type et d'augmenter le niveau de confiance de 75% à 95%. Les nouveaux indices modifiés sont :

a) Pour l'environnement général ; $I_{isch} = \bar{Y}_i - Z_{(1-\alpha)} \cdot \left(\frac{\hat{\sigma}_i}{\sqrt{n}}\right)$,

b) Pour un environnement favorable ; $I_{isch.f} = \bar{Y}_{if} - Z_{(1-\alpha)} \cdot \left(\frac{\hat{\sigma}_{if}}{\sqrt{f}}\right)$,

c) Pour l'environnement défavorable ; $I_{isch.d} = \bar{Y}_{id} - Z_{(1-\alpha)} \cdot \left(\frac{\hat{\sigma}_{id}}{\sqrt{df}}\right)$.

$$Z = 0.6745.$$

2.2.2.3. L'INDICE D'ADAPTABILITE GEOMETRIQUE (GAI)

L'indice d'adaptabilité géométrique (GAI) indique que les génotypes qui ont eu les valeurs de (GAI) les plus élevées sont les plus stables. Cet indice est calculé selon la formule :

$$GAI = \sqrt[E]{(\bar{X}_1)(\bar{X}_2) \dots (\bar{X}_i)}$$

Où \bar{X}_1 , \bar{X}_2 , et \bar{X}_i sont les performances moyennes du premier, du deuxième et du ième génotype à travers les environnements et E est le nombre des environnements.

2.2.2.4. PARAMETRES MULTI VARIABLE

2.2.2.4.1. LA VALEUR DE STABILITE AMMI (ASV)

L'ASV (AMMI Stability Value) est préconisé par Purchase *et al.* (2000) pour évaluer la stabilité d'un génotype en utilisant l'information fourni par les scores des composantes principales (IPCA1 et IPCA2) de chaque génotype. L'axe (IPCA1) contribue plus à la somme des carrés de la composante de l'interaction GE, une pondération est nécessaire. Cette pondération est calculée pour chaque génotype et chaque environnement. Les plus faibles valeurs des scores des IPCA indiquent plus de stabilité des génotypes dans les environnements.

L'ASV est déterminée pour chaque génotype et pour chaque environnement comme suit :

$$ASV_i = \sqrt{\left[\frac{SS_{IPCA1}}{SS_{IPCA2}} (IPCA1_{score})^2 + (IPCA2_{score})^2 \right]}$$

Où $\frac{SS_{IPCA1}}{SS_{IPCA2}}$; le poids donné à la valeur IPCA1.

2.2.3. LES INDICES NON PARAMETRIQUES DE STABILITE

Les indices non paramétriques proposés par Nassar et Huehn (1987), Kang (1988), Fox et al (1990), et Thennarasu (1995) sont basés sur les classements des génotypes dans chaque environnement et les génotypes avec un classement similaire dans chaque environnement sont considérés stables. Ainsi Huehn (1979) et Nassar et Huehn (1987) ont proposé quatre indices non paramétriques pour la mesure de la stabilité phénotypiques qui sont :

$$S_i^{(1)} = 2 \sum_{j=1}^{m-1} \sum_{j=j+1}^m |r_{ij} - r_{ij'}| / [m(m-1)] \dots (1)$$

$$S_i^{(2)} = \sum_{j=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_i)^2 / (m-1) \dots (2)$$

$$S_i^{(3)} = \sum_{j=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_i)^2 / \bar{r}_i \dots (3)$$

$$S_i^{(6)} = \sum_{j=1}^m |r_{ij} - \bar{r}_i| / \bar{r}_i \dots (4)$$

Avec : $S_i^{(1)}$ est La moyenne des différences de rang absolu d'un génotype sur m environnements, $S_i^{(2)}$; est la variance des rangs sur les m environnements ; $S_i^{(3)}$ et $S_i^{(6)}$ Sont la somme des carrés de rangs pour chaque génotype par rapport à la moyenne des rangs et la somme des écarts absolus respectivement ; r_i est le rang du génotype i dans l'environnement j et \bar{r}_i ; le rang moyen à travers tous les environnements pour le $i^{\text{ème}}$ génotype.

Thennarasu (1995) a proposé les quatre statistiques non paramétriques comme mesures de stabilité qui sont : $NP_i^{(1)}$, $NP_i^{(2)}$, $NP_i^{(3)}$, $NP_i^{(4)}$ basées sur les rangs des moyennes ajustées des génotypes.

Le rang ajusté, r_{ij}^* , est déterminé sur la base des valeurs ajustées $X_{ij}^* = (X_{ij} - \bar{X}_i)$, où \bar{X}_i est la performance moyenne du i^{th} génotype, X_{ij} est la performance du $i^{\text{ème}}$ génotype dans le $j^{\text{ème}}$ environnement. Les rangs obtenus à partir de ces valeurs ajustées; (X_{ij}^*) dépendent uniquement des effets d'interaction génotype-environnement et l'effet d'erreur. Le génotype avec le

rendement ajusté le plus élevé a reçu un rang de 1 et celui avec le rendement ajusté le plus bas a été attribué à un rang de 6. Les quatre paramètres basés sur les rangs de rendement des génotypes dans chaque environnement sont dérivés comme suit :

$$NP_i^{(1)} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m |r_{ij}^* - M_{di}^*|$$

$$NP_i^{(2)} = \frac{1}{m} \left[\sum_{j=1}^m |r_{ij}^* - M_{di}^*| \right] / M_{di}$$

$$NP_i^{(3)} = \frac{\sqrt{\sum (r_{ij}^* - \bar{r}_i)^2 / m}}{\bar{r}_i}$$

$$NP_i^{(4)} = \frac{2}{m(m-1)} \left[\sum_{j'}^{m-1} \sum_{j=j+1}^m |r_{ij}^* - r_{ij'}^*| / \bar{r}_i \right]$$

Dans les formules ci-dessus, r_{ij}^* est le rang de X_{ij}^* , et \bar{r}_i^* et M_{di}^* sont les rangs moyens et médians pour les valeurs ajustées, où : \bar{r}_i et M_{di} sont les mêmes paramètres calculés à partir des valeurs originales (non ajustées).

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. PERFORMANCE MOYENNE ET ANALYSE DE LA VARIANCE

Les analyses statistiques présentées dans ce chapitre ont été effectuées à l'aide du logiciel GENES (Cruz 2013) pour l'analyse des indices paramétrique, Microsoft Excel pour les analyses non paramétriques (Thennarasu, 1995) et GENSTAT (12th Edition) pour l'analyse AMMI.

La performance relative des génotypes basée sur le rendement grain moyen dans tous les environnements est présentée sur le tableau 24.

Tableau 24. Rendement grain moyen (g/m²) et classement des six géotypes sur cinq années.

N°	Géotype	Rendement grain moyen	Rang
1	Waha	501.28	1
2	Zenati bouteille / Flamingo	417.75	4
3	Mexicali75	439.11	3
4	Ofanto	443.39	2
5	Gta dur	374.88	5
6	Guemgoum Rkhem	374.19	6

Le géotype Waha occupe le premier rang suivi par Ofanto. Le géotype Guemgoum Rkhem a exhibé la plus faible performance. En absence de l'interaction GXE, les moyennes des rendements à travers les environnements sont des indicateurs adéquats de la performance génotypique. Si l'interaction GXE est présente, les moyennes à travers les environnements ne nous renseignent pas comment les géotypes se distinguent pour la performance relative sur tous les environnements.

L'analyse de la variance combinée est présentée sur le tableau 25. Cette analyse de variance combinée a été effectuée pour déterminer les effets de l'environnement, du géotype et leurs interactions sur le rendement grains des six géotypes. Les résultats de cette analyse ont révélé des différences hautement significatives parmi les environnements ($p < 0.01$) et significatives pour l'interaction géotype-environnement ($p < 0.05$) pour le rendement grain qui reflète une réponse différentielle des géotypes dans différents environnements.

L'effet de l'environnement explique 70 pourcent de la variation totale, l'interaction géotype-environnement explique 10 pourcent de la variation et le géotype explique 3 pourcent (tableau 25). Le pourcentage élevé de l'effet de l'environnement est une indication que le facteur majeur qui influence la performance des géotypes pour le rendement est le facteur environnement.

Etant donné que l'interaction génotype-environnement (G×E) était significative, le rendement moyen du génotype a été soumis à différentes analyses de stabilité.

Tableau 25. Analyse de la variance combinée

SV	ddl	S. Carré	C. Moyen	F	% S. Carré
Blocs	2	38625.74	19312.87		
Génotype	5	172526.04	34505.21 ^{ns}	1.29	03.0
Environnement	4	3621154.82	905288.71 ^{**}	33.84	70.0
G X E	20	535081.72	26754.09 [*]	2.11	10.0
Erreur	58	734828.23	12669.45		14.0
Total	89	5102216.55			

- ns,*,** : non significatif, significatif à 5% et significatif à 1%

3.2. LES INDICES PARAMETRIQUES DE STABILITE

3.2.1. STABILITE BASEE SUR L'ANALYSE DE LA REGRESSION CONJOINTE

Les procédures de Finlay et Wilkinson (1963) et Eberhart et Russell (1966) impliquent l'utilisation d'une régression conjointe où le rendement de chaque génotype est régressé sur le rendement moyen de l'environnement. Ces techniques sont très largement utilisées par les améliorateurs pour évaluer la stabilité génotypique. La performance du génotype est généralement exprimée par trois paramètres, le rendement moyen (Rdt_{moy}), le coefficient de régression (b_i) et la déviation (\bar{s}^2_{di}) de la régression. Les coefficients de régression se rangent de 0.76 à 1.33 (Tableau 26). Les génotypes Ofanto, Mexicali, Gta dur et Guemgoum Rkhem ont un coefficient de régression supérieur à l'unité ($b_i > 1$). Par contre, Waha et Zb/ Flamingo ont un coefficient de régression qui est inférieur à l'unité ($b_i < 1$). Le carré moyen de déviation à la droite de régression (\bar{s}^2_{di}) a varié de -1.45 à 11.03. La régression conjointe de la performance génotypique moyenne sur l'indice l'environnemental a montré que les résultats des deux paramètres de stabilité (b_i) et (\bar{s}^2_{di}) n'étaient pas consistant en évaluant la réaction des génotypes face à la variation des conditions environnementales. Les six génotypes ont un coefficient de régression qui ne dévie pas significativement de l'unité mais, en revanche, certains génotypes ont montré une déviation de

régression (\bar{s}^2_{di}) significative (Tableau 26). Ainsi, en se basant sur les coefficients de régression, tous les génotypes ont une réponse moyenne pour tous les environnements testés. Selon Becker et Leon (1988), les génotypes avec des valeurs du coefficient (b_i) proche de l'unité montrent une réponse moyenne aux variations des conditions environnementales. Eberhart et Russell (1966) et Finlay et Wilkinson 1963 ont trouvés que les génotypes ayant une performance moyenne élevée, un coefficient de régression ($b_i=1$), et une déviation moyenne de la régression ($\bar{s}^2_{di}=0$) montrent une adaptabilité générale élevée à travers les environnements. Ainsi, les génotypes Waha, Ofanto et Mexicali ayant des performances de rendement grain supérieures à la moyenne générale, des valeurs de coefficient de régression qui ne dévient pas significativement de l'unité, et des valeurs de la déviation moyenne de la régression (\bar{s}^2_{di}) non significativement différent de zéro, sauf pour Mexicali₇₅, se sont avérés plus stables que les autres génotypes.

3.2.2. STABILITE BASEE SUR L'ANALYSE DE LA VARIANCE

3.2.2.1. LA VARIANCE ENVIRONNEMENTALE

En présence des stress abiotiques variables en intensité et durée, le génotype désirable est celui qui donne une production régulière et une bonne performance de rendement dans la région pour laquelle il est destiné (Kadi, 2012). La variance environnementale (S^2_i) est l'une des mesures principales de stabilité pour le concept statique de la stabilité (Sisay, 2013), c'est-à-dire, la variance des rendements du génotype enregistrée à travers les environnements testés. Plus petite est la valeur de la variance (S^2_i), plus le génotype est stable. Les variances des génotypes et leurs coefficients de variation respective sont listés sur le tableau 26. En se basant sur ces deux mesures, les génotypes Ofanto, Guemgoum Rkhem et Gta dur peuvent être considéré relativement plus stable.

Tableau 26. Rendement grain moyen, les statistiques paramétriques et non paramétriques de l'analyse de la stabilité de six variétés de blé dur évaluées durant cinq campagnes agricole dans la région de sétif.

Génotyp e	Rdt moye, rang	Indices Paramétriques											Indices nonparamétriques								
		b_i	\bar{S}_{di}^2 X10 ^{^3}	S_{xi}^2 X10 ^{^3} + CV	P_i X10 ^{^3}	$\omega_{i. Ann. G}$	$I_{i. Sch. G}$	W_i^2 (%), rang	δ_i^2 (Shukla)	GAI X10 ^{^3}	AMMI			$S_i^{(1)}$	$S_i^{(2)}$	$S_i^{(3)}$	$S_i^{(6)}$	$NP_i^{(1)}$	$NP_i^{(2)}$	$NP_i^{(3)}$	$NP_i^{(4)}$
											ASV	IPCA 1	IPCA 2								
Waha	501.3 (1)	0.76 ^{ns}	3.61 ^{ns}	15.95 (14%)	5.45	110.82	104.92	19.51 (4)	86.53	0.47	42.71	8.69	1.62	2.00	3.20	5.82	3.27	1.6	0.03	0.84	0.03
Zb/Fg	417.8 (4)	0.87 ^{ns}	11.03*	12.31 (26%)	14.77	82.97	75.92	27.45 (5)	129.04	1.60	50.93	10.33	4.61	2.20	3.50	3.50	2.00	1.6	0.04	0.46	0.04
Mexicali	439.1 (3)	1.33 ^{ns}	8.10*	15.49 (20%)	14.19	79.68	72.32	34.19 (6)	165.12	1.55	61.40	-12.46	4.64	2.60	4.70	5.88	2.75	2	0.05	0.77	0.05
Ofanto	443.4 (2)	1.00 ^{ns}	-1.45 ^{ns}	2.50 (11%)	8.82	97.85	94.66	4.66 (2)	7.10	1.76	18.00	-3.66	-1.02	1.00	0.80	1.23	1.38	0.6	0.02	0.31	0.02
Gtadur	374.9 (5)	1.01 ^{ns}	2.69 ^{ns}	8.35 (22%)	19.74	75.11	70.37	11.62 (3)	44.35	1.36	10.97	0.42	-10.77	2.00	2.70	2.57	1.62	1.4	0.05	0.40	0.05
Guemg.	374.2 (6)	1.04 ^{ns}	-2.78 ^{ns}	4.39 (17%)	18.54	69.41	70.86	2.57 (1)	-4.08	0.47	16.29	-3.31	0.93	1.00	0.70	0.58	0.67	0.6	0.02	0.17	0.02
Grande moyenne	425.10																				

Rdt: rendement en garin moyen, b_i : coefficient de regression (Finlay et Wilkinson), \bar{S}_{di}^2 : le carré moyen de la déviation, S_{xi}^2 : la variance environnementale, P_i : indice de superiorité, W_i^2 (%): l'ecovalence de Wrike (1962) en pourcent, $\omega_{i. Ann. G}$: indice de stabilité d'annicchiarico (1992), $I_{i. Sch. G}$: indice de stabilité de Schmildt at al 2011), GAI : indice d'adaptabilité géométrique, ASV : valeur de stabilité de l'AMMI, $IPCA1$: score de la composante principale de l'axe 1, $IPCA2$: score de la composante principale de l'axe 2, $S_i^{(1)}$, $S_i^{(2)}$, $S_i^{(3)}$, $S_i^{(6)}$: sont les indices nonparamétrique développés par Nassar et Huehn (1987), $NP_i^{(1)}$, $NP_i^{(2)}$, $NP_i^{(3)}$, $NP_i^{(4)}$: sont les indices nparamétriques proposés par Thenarasu (1995).

Parmi ces génotypes Ofanto a eu un rendement grain moyen de 443.4 g/m² qui est supérieur au grand rendement moyen général, en revanche les génotypes Gta dur et Guemgoum Rkhem ont eu respectivement 374.9 g/m² et 374.2 g/m² qui sont en dessous de la grande moyenne.

Le problème avec cette méthode est que, en général, les génotypes ayant une stabilité phénotypique élevée mesurée à travers la variance environnementale montrent un faible rendement. Sisay (2013) a signalé des résultats similaires pour le blé tendre.

3.2.2.2. LA VARIANCE DE STABILITE DE SHUKLA

Les valeurs de la variance de stabilité de Shukla (1972) sont données sur le tableau 26. Les génotypes stables selon ce paramètre de stabilité sont Guemgoum Rkhem, Ofanto et Gta dur et les génotypes de faible stabilité selon cette procédure sont Zb/Flamingo et Mexicali. Ofanto, Gta dur et Guemgoum Rkhem sont classés respectivement pour le rendement moyen second, cinquième et sixième. Le génotype Waha avec une stabilité intermédiaire est classé premier pour le rendement moyen.

3.2.2.3. LE MODEL DE WRICKE

Wricke (1962) a défini le concept d'écovalence, pour décrire la stabilité d'un génotype, comme la contribution de chaque génotype à la somme des carrés de l'interaction génotype environnement. L'écovalence (W_i) ou la stabilité du génotype (i) est la somme carré de son interaction avec l'environnement. Les génotypes avec de faibles valeurs d'écovalence ont moins de fluctuations à travers les environnements et ainsi ils sont stables. Les génotypes les plus stables selon la méthode de Wricke (1962) sont Guemgoum Rkhem, Ofanto et Gta dur. Ces génotypes, mis à part Ofanto, n'étaient pas les mieux classés pour le rendement moyen, étant 6ème, 2ème et 5ème respectivement. Les génotypes instables selon cette méthode étaient Waha, Zb/Flamingo et Mexicali ces génotypes étaient classés pour le rendement moyen 1er, 4ème et 3ème respectivement.

3.2.2.4. LE MODEL D'ANNICCHIARICO

Dans la méthode proposée par Annicchiarico (1992), la mesure de la stabilité est donnée par la supériorité du génotype comparée à la moyenne de chaque environnement. Cette méthode est basée sur l'estimation d'un indice de recommandation ou de confiance, qui mesure la probabilité que la performance d'un génotype donné est supérieure aux autres (Vasconcelos et al., 2010). Elle permet aussi de classer les environnements selon un indice soit en un environnement favorable ou défavorable (Tableau 27).

Tableau 27. L'indice environnemental.

Environnement	Rendement moyen	indice	classe
1	775.15	350.05	Favorable
2	367.36	-57.75	Défavorable
3	432.59	7.49	Favorable
4	398.31	-26.79	Défavorable
5	152.09	-273.01	Défavorable

Les résultats pour les conditions de l'environnement général sont présentés sur les tableaux 26. Il ressort que, dans les conditions de l'environnement général, le génotype Waha a enregistré une performance 10.82 % plus élevée que la moyenne environnementale (avec une probabilité de 75 %), avec un indice de confiance (ω_i) le plus élevé. Ainsi selon cette méthode ce génotype présente une meilleure adaptabilité. Pour les conditions des environnements favorables les valeurs de l'indice de confiance (ω_i) étaient élevées pour les génotypes Waha, Zb/Flamingo et Ofanto (92.85, 91.32 et 90.69 % respectivement). Pour les conditions défavorables, les valeurs (ω_i) étaient élevées pour les variétés Waha et Ofanto (122.49 et 105.34 respectivement). Par les résultats obtenus par la méthodologie d'Annicchiarico (1992), on a vérifié que les variétés Waha et Ofanto ont une adaptation spécifique aux environnements défavorables; bien que ces deux variétés se classent aussi en premier dans les environnements favorables.

Tableau 28. Les mesures du rendement grain, de l'écart type des valeurs de pourcentage du rendement comparées au moyen des environnements et de l'indice de confiance (ω_i) selon la méthodologie d'Annicchiarico (1992).

Environnement	mesure	moyenne	Génotypes						
			1	2	3	4	5	6	
Favorable ($\alpha=0.75$, $z=0.675$)	Rdt	603.87	654.13	643.28	652.4	593.35	533.67	546.4	
	Rdt (%)	100	114.87	112.95	102.90	96.52	84.40	88.37	
	Déviation (%)			32.62	32.05	25.64	8.65	19.83	10.55
	ω_i			92.85	91.32	85.59	90.69	71.01	81.25
Défavorable ($\alpha=0.75$, $z=0.675$)	Rdt	305.92	399.38	267.40	296.91	343.42	269.02	259.39	
	Rdt (%)	100	132.39	92.03	94.50	111.90	88.47	80.72	
	Déviation (%)			14.66	23.59	32.87	9.72	19.93	16.74
	ω_i			122.49	76.10	72.32	105.34	75.01	69.41

3.2.2.5. LE MODEL DE SCHMILDT

La méthode de Schmildt *et al.*, (2011) est une amélioration de la méthode d'Annicchiarico (1992) l'intervalle de confiance est à 95 % au lieu de 75 % pour la méthode d'Annicchiarico. Les résultats pour l'environnement général classe la variété Waha en premier et Ofanto en seconde place avec des valeurs de 104.92 et 94.66 %. On peut dire qu'avec un intervalle de confiance de 95 % le génotype Waha sera 4.92 % supérieur à la moyenne des environnements.

Tableau 29. Les mesures du rendement grain, de l'écart type des valeurs de pourcentage du rendement comparées au moyen des environnements et de l'indice de confiance (ω_i) selon la méthodologie de Schmildt *et al.*, (2011).

Environnement	mesure	moyenne	Génotypes						
			1	2	3	4	5	6	
avorable alpha = 0.05 t(alfa) = 2.12	Rdt	603.87	654.13	643.28	652.40	593.35	533.67	546.4	
	Rdt (%)	100	114.87	112.95	102.90	96.52	84.40	88.38	
	Déviation (%)			32.62	32.05	25.64	8.65	19.83	10.55
	ω_i			83.94	82.57	78.59	88.32	65.60	78.37
Défavorable alpha = 0.05 t(alfa) = 2.12	Rdt	305.92	399.38	267.40	296.91	343.42	269.02	259.39	
	Rdt (%)	100	132.39	92.028	94.50	111.90	88.46	80.72	
	Déviation (%)			14.66	23.59	32.87	9.7186	19.929	16.74
	ω_i			118.49	69.659	63.34	102.69	69.570	64.84

Pour les environnements favorable aucun génotype n'a dépassé la moyenne des environnements. Pour les environnements défavorables, le génotype Waha se

distingue sa performance qui peut dépasser de 18.49 % la moyennes des environnements suivi par Ofanto qui réalise 2.69 % (Tableau 34). De cette étude il ressort que les deux méthodes donnent presque les même résultats et le classement des génotypes ne change pas. Ainsi il suffit d'utilisation l'une ou de l'autre méthode. Les méthodes d'Annicchiarico et de Schmildt ont permis une interprétation facile, basée sur l'analyse d'un seul paramètre, et ont également permis de classer les génotypes les plus adaptés et les plus stables.

3.2.2.6. L'INDICE DE SUPERIORITE (Pi)

L'indice de la supériorité (Pi) est une estimation de l'adaptabilité du génotype sur une gamme d'environnements. Il est calculé en utilisant le génotype à rendement élevé dans chaque environnement comme point de référence. Les génotypes ayant la plus grande différence de rendement par rapport au génotype de référence auraient la plus haute valeur Pi (Lin et Binns 1988). Les génotypes les plus intéressants seraient ceux avec les valeurs Pi les plus faibles, dont la plus part seraient attribués à l'écart génétique (Lin et Binns, 1988). En conséquence, seuls les génotypes Waha et Ofanto avaient les performances de rendement modéré à élevé et les valeurs de Pi les plus faibles (Tableau 26). Selon Crossa et al., (2002), cet indice intègre les notions de performance et de stabilité. Cependant la stabilité et le potentiel de performance sont mesurés par rapport au meilleur génotype par environnement et non pas par rapport à la moyenne de l'ensemble des génotypes testés .

3.2.3. L'INDICE D'ADAPTABILITE GEOMETRIQUE (GAI)

L'indice d'adaptabilité géométrique (GAI) a été utilisé pour évaluer l'adaptabilité des génotypes (Mohammadi et al., 2008). Selon cet indice, le génotype Ofanto enregistre la valeur la plus élevée (Tableau 31) et par conséquent il est le plus stable, par contre les génotypes Guemgoum Rkhem et Waha sont identifiés comme instables.

3.2.4. PARAMETRES MULTI VARIABLE

Les Techniques multivariables sont largement usitées dans l'analyse de la stabilité pour fournir des informations sur la réponse multivariable des génotypes aux environnements. Parmi les techniques d'analyse multivariable, le model AMMI est

une technique puissante pour l'évaluation de l'interaction génotype-environnement et la stabilité et l'adaptabilité des génotypes testés dans les essais multi-environnements.

Le model AMMI est essentiellement efficace lorsque l'hypothèse de la linéarité des réponses des du génotype à un changement de l'environnement n'est pas réunie , ce qui est important dans l'analyse de stabilité. Les résultats peuvent être représentés graphiquement (Gauch et Zobel, 1996).

3.2.4.1. LE DES EFFETS MOYENS ADDITIFS ET L'INTERACTION MULTIPLICATIVE (AMMI).

Le logiciel GenStat (12th Edition) a été utilisé pour les analyses de l'AMMI. Le graphe « Biplot » des deux premières composantes principales a été construit et utilisé pour illustrer les relations existantes parmi les génotypes et les environnements. La projection orthogonale des génotypes sur les vecteurs d'environnement indique la performance relative des génotypes dans un environnement donné ; plus grande est la projection du génotype dans la direction positive, meilleure est la performance de ce génotype dans cet environnement.

Tableau 30 : L'analyse de la variance basée sur le model AMMI pour le rendement grain.

Source	Df	SS	MS	F	(%) variance totale
Block	10	113869	11387	0.86	2.23
Treatments	29	4328747	149267	11.32**	84.84
Genotypes	5	172514	34503	2.62*	3.38
Environments	4	3621177	905294	79.5**	70.97
Interactions	20	535057	26753	2.03*	10.49
IPCA1	8	392926	49116	3.72**	73.44⊗
IPCA2	6	79979	13330	1.01 ^{ns}	14.95⊗
Residuals	6	62151	10359	0.79	
Error	50	659496	13190		
Total	89	5102112	57327		

⊗: pourcentage par rapport à la SS de l'Interaction; *, **, ns: significatif à 5%, 1% et non significatif

L'analyse de variance combiné des six génotypes évalués durant cinq campagnes agricole selon model AMMI est présenté sur le tableau 35. L'analyse de la variance a indiqué des différences hautement significatives ($P < 0.01$) pour les environnements, significative ($P < 0.05$) pour les génotypes et l'interaction génotypes X environnement ceci indique que toutes les sources de variation sont

importantes. Les IPCA (la composante principale de l'interaction des Axes) sont ordonnés selon l'importance décroissante. Le F-test était hautement significatif ($P < 0.01$) pour le premier axe IPCA1 et non significatif pour le second axe IPCA2 (Tableau 35). La variation totale est expliquée à 3.38 % par génotypes, 70.97 % par l'environnement, 10.49 % par l'interaction génotype-environnement. 88.39 % de la variation de l'interaction génotype-environnement est expliquée par les deux premiers IPCA soit, 73.44 % par IPCA1 et 14.95 % par IPCA2 (Tableau 35). Ainsi le bi-plot AMMI peut expliquer l'interaction $G \times E$. Le pourcentage élevé pour l'environnement est une indication que le facteur principal qui influence la performance du rendement de blé dur en Algérie est l'environnement. Le tableau 31 et le tableau 35 présentent les données de l'analyse AMMI avec les scores des IPCA1 et IPCA2 pour les génotypes et les cinq environnements.

Tableau 31. Rendement moyen et scores IPCA1 et IPCA2 pour les 5 environnements.

Environnement	Rendement moyen	IPCA1	IPCA2
E1	775.1	-10.56824	-1.48264
E2	367.4	7.98531	-8.21058
E3	432.6	10.27108	8.49250
E4	398.8	-8.91377	3.82701
E5	152.1	1.22563	-2.62630

En traçant sur le même graphique à la fois, les scores des génotypes et des environnements, les associations entre les génotypes et les environnements peuvent être vue plus clairement. Dans l'analyse AMMI, les scores IPCA d'un génotype sont une indication de la stabilité ou de l'adaptation de celui-ci dans tous les environnements (Gauch et Zobel, 1996). Selon Crossa *et al.*, 1990, les valeurs élevées des scores des génotypes (positives ou négatives) indiquent une adaptation spécifique aux environnements proches de la position du génotype considéré. Les scores des axes dont les valeurs sont proches de zéro indiquent une adaptation plutôt générale à tous les environnements. Plus le positionnement sur le graphe d'un génotype ou d'un environnement est loin du centre des axes, plus l'interaction $G \times E$ est grande. Dans la figure 40, les scores de l'IPCA1 pour le génotype et les environnements ont été tracés contre le rendement moyen pour les génotypes et les environnements respectivement. De ce graphe il ressort que les environnements

testés classent les génotypes évalués différemment. Ainsi les environnements E1 et E4 s'opposent aux environnements E2 et E3 et de par la taille de leurs scores élevés, ces environnements sont les plus interactifs.

Le biplot AMMI 2 généré à partir des scores des deux premiers axes IPCA1 et IPCA2 a montré une association claire entre les génotypes et les environnements (Figure 41). Le biplot a montré que l'environnement E3 et l'environnement E2 sont les plus discriminants Pour les génotypes comme indiqué par la distance la plus longue entre leurs positions et le point d'origine.

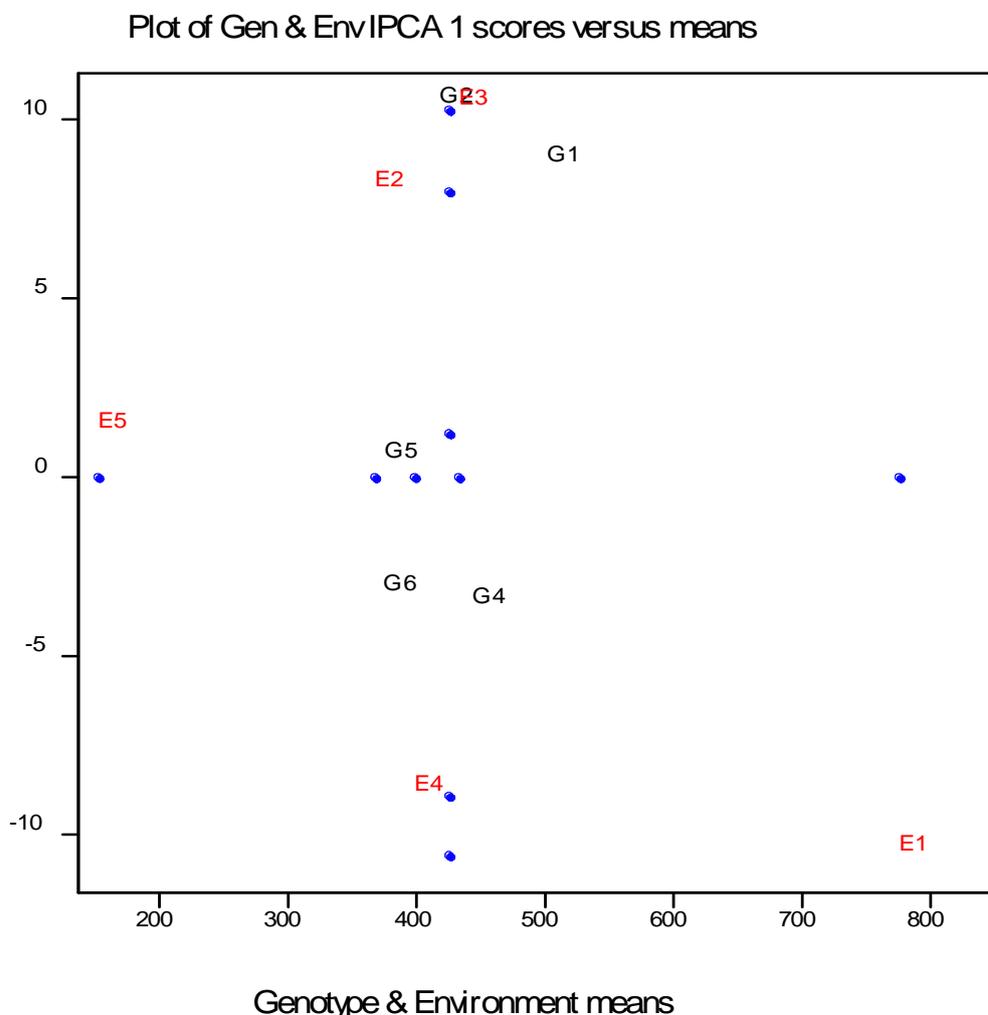


Figure 40 AMMI 1 rendement grain moyen des génotypes et des environnements et leurs scores IPCA1.

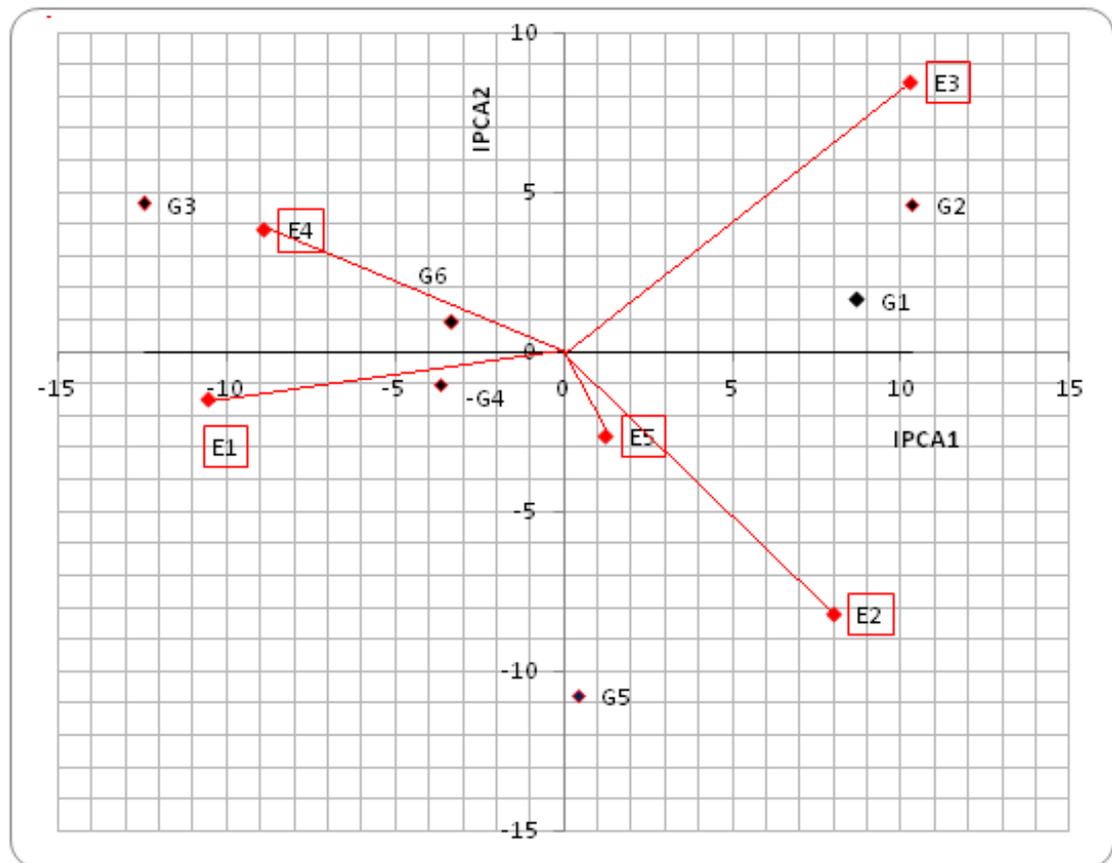


Figure 41 l'interaction G×E basée sur le biplot AMMI2 pour les deux axes IPCA1 et IPCA2.

Cependant, en raison de leurs scores élevés, la variabilité des génotypes dans ces environnements peuvent ne pas refléter exactement les performances moyennes des génotypes. Le biplot AMMI2 a également indiqué la relation entre les génotypes du blé dur. Par leurs positions éloignées du centre, les génotypes G2, G3 et G5 sont différents des autres génotypes du biplot. Ils sont aussi instables. Les génotypes G4, G6 et G1 ont été positionnés plus près du point d'origine du biplot, ce qui indique leur stabilité dans la performance à travers les environnements. La direction de G6 montre la stabilité du génotype dans un environnement à faible rendement, tandis que G4 montre la stabilité dans un environnement à rendement élevée. Mohammadi et Amri (2008) dans une étude de l'interaction génotype × environnement dans le blé dur ont révélé que les génotypes qui sont loin du centre de biplot, ont une interaction $G \times E$ élevée et ceux plus proches du centre de biplot ont une grande stabilité. Nos résultats corroborent avec ceux de Sissay(2013), Mohammadi (2016), Haddad (2017). Les environnements ayant un rendement élevé sont E1 et E3 par contre, les environnements E2, E4 et E5 marquent le plus faible rendement (Tableau 32).

Tableau 32. Classement des géotypes par environnement.

<i>Géotype</i>	<i>E1</i>	<i>E2</i>	<i>E3</i>	<i>E4</i>	<i>E5</i>
<i>Waha (G1)</i>	4	1	1	3	1
<i>Zb/Fg (G2)</i>	6	3	2	5	3
<i>Mexicali (G3)</i>	1	6	4	1	4
<i>Ofanto (G4)</i>	2	4	3	2	2
<i>Gtadur (G5)</i>	5	2	6	6	5
<i>Guengoum rkhem (G6)</i>	3	5	5	4	6

Les géotypes ayant un rendement supérieur au rendement moyen sont Waha, Zb/Flamingo, Mexicali et Ofanto en revanche, les géotypes Gta dur et Guengoum Rkhem, leurs performance est au dessous de la moyenne générale.

Sur le tableau 33 sont présentés les classements des estimations AMMI pour les géotypes par environnement. Ainsi les géotypes Waha et Ofanto sont les mieux classés. Waha et Ofanto sont classés premier et second respectivement dans trois environnement sur cinq (Tableau 33) et par conséquent sont les plus stable selon l'analyse AMMI.

L'analyse AMMI donne aussi les quatre premiers géotypes sélectionnés par environnement.

Tableau 33. Les quatre premières sélections AMMI par environnement.

N° Env.	Environnement	Rdt moyen	Score	1	2	3	4
3	E3	432.6	10.271	G1	G2	G4	G3
2	E2	367.4	7.985	G1	G5	G2	G4
5	E5	152.1	1.226	G1	G4	G2	G3
4	E4	398.3	-8.914	G3	G4	G1	G6
1	E1	775.1	-10.568	G3	G4	G6	G1

En effet, le géotype Waha (G1) se classe premier dans trois environnements, le géotype Mexicali se classe premier dans deux environnements et géotype Ofanto se classe deuxième dans trois environnements.

3.2.4.2. LA VALEUR DE STABILITE AMMI (ASV)

La valeur de stabilité AMMI développée par Purchase et al., (2000), a été calculé pour chaque géotype et présentées sur le tableau 26. Ce paramètre est basé sur les scores IPCA1 et IPCA2 du model AMMI de chaque géotype. En effet l'ASV est la distance entre la position du géotype considéré sur le plan formé par les axes IPCA1 et IPCA2 à l'origine de ces axes. Les géotypes ayant les plus faibles valeurs de l'ASV sont les plus stables (Purchase et al., 2000). Les valeurs de

la stabilité AMMI (ASV) confirment les résultats des scores IPCA1 et IPCA2 (Tableau 31). Cependant, elles ont classé le génotype Gta dur (G5), Guemgoum Rkhem (G6) et Ofanto (G4) comme les plus stables, bien que les génotypes Guemgoum Rkhem et Gta dur aient les rendements le plus faibles (374.2 et 374.9 g/m² respectivement). Selon l'ASV, les génotypes les moins stables sont Mexicali (G3), Zb/Flamingo (G2) et Waha (G1). Sabaghnia et al., 2013 ; Mohammadi et al., 2015, en étudiant la stabilité de vingt génotype de blé dur ont mentionné que le model AMMI est l'outil efficace pour l'étude de la complexité de l'interaction génotype × environnement.

La stabilité en soi ne devrait pas être le seul critère de sélection, car les génotypes les plus stables ne donneraient pas nécessairement la meilleure performance (Mohammadi et al., 2007; Mohammadi et Amri, 2008), il faut donc des approches qui intègrent simultanément le rendement grain et la stabilité dans un seul index (Farshadfar et al., 2011).

3.3. LES INDICES NON PARAMETRIQUES DE STABILITE

La stabilité des génotypes a été approchée également par des méthodes non paramétriques, basée sur le l'ordre de classement des génotypes par environnement, elles sont moins exigeantes en termes d'hypothèses restrictives notamment l'homogénéité des variances, la normalité de la distribution et l'additivité des effets. Les résultats des huit mesures de stabilité non paramétriques sont résumés sur le tableau 26.

3.3.1. LA MOYENNE DES DIFFERENCES DE RANG ABSOLU ($S_i^{(1)}$) ET LA VARIANCE DES RANGS SUR LES M ENVIRONNEMENTS ($S_i^{(2)}$).

Les statistiques (Si1) et (Si2) proposées par Huehn (1979) sont basées sur le classement des génotypes dans les divers environnements et donnent un poids égal pour chaque environnement. Les génotypes avec moins de changement de leurs rangs sont considérés plus stables. Selon les indices (Si1) et (Si2), les génotypes Guemgoum Rkhem (G6) et Ofanto (G4) ont eu les plus petits changements dans les rangs et sont ainsi considérés les génotypes les plus stables. Le génotype Ofanto (G4) se distingue par la performance et la stabilité étant classé deuxième pour la performance de rendement et la stabilité. En revanche (G6) est le moins

performant pour le rendement grain mais considéré le plus stable. L'indice (S_{i1}) peut perdre de l'efficacité lorsque les génotypes sont similaires dans leurs interactions avec les environnements (Rasoli et al., 2015).

3.3.2. LA DEVIATION RELATIVE PAR RAPPORT A LA MOYENNE DES RANGS ($S_i^{(3)}$) DES GENOTYPES ET LA SOMME DES ECARTS ABSOLUS DES RANGS POUR CHAQUE GENOTYPE PAR RAPPORT LA MOYENNE DES RANGS ($S_i^{(6)}$).

Les indices ($S_i^{(3)}$) et ($S_i^{(6)}$) sont deux autres statistiques non paramétriques qui intègrent simultanément l'estimation de la performance et la stabilité en se basant sur les rangs des génotypes pour le rendement dans chaque environnement (Nassar et Huehn, 1987).

Tableau 34. Les rangs des génotypes pour les indices non paramétriques.

génotype	Rdt et rang	Rang pour les Indices non-paramétriques (Huehn, 1979, Nassar et Huehn , 1987)				Rang pour les Indices non-paramétriques (Thennarasu, 1995)			
		$S_i^{(1)}$	$S_i^{(2)}$	$S_i^{(3)}$	$S_i^{(6)}$	$NP_i^{(1)}$	$NP_i^{(2)}$	$NP_i^{(3)}$	$NP_i^{(4)}$
Waha	501.3	4	4	5	6	3	2	6	2
Zb/Fg	417.8 (4)	5	6	4	4	3	3	4	3
Mexicali	439.1	6	6	6	5	4	4	5	4
Ofanto	443.4	2	2	2	2	1	1	2	1
Gta dur	374.9	3	3	3	3	2	4	3	4
Guemgoum	374.2	1	1	1	1	1	1	1	1

La valeur la plus basse pour chacune de ces statistiques révèle une stabilité maximale pour le génotype. Les valeurs sont illustrées sur le tableau 26 et les rangs des génotypes sont présentés sur le tableau 34. Les résultats de ($S_i^{(3)}$) et ($S_i^{(6)}$) ont indiqué que les génotypes Guemgoum Rkhem (G6), Ofanto (G4) et Gta dur (G5) étaient respectivement classés premier, deuxième et troisième. Selon ces deux statistiques, les génotypes G6, G4 et G5 se sont révélés stable et adaptés à tous les environnements.

3.3.3. LES INDICES NON PARAMETRIQUES DE THENNARASU (1995)

Les indices non paramétriques proposés par Thennarasu (1995) $NP_i^{(1)}$, $NP_i^{(2)}$, $NP_i^{(3)}$, $NP_i^{(4)}$, sont basées sur les rangs des moyennes ajustées des génotypes. Les

résultats des statistiques non paramétriques de la stabilité de Thennarasu (1995) qui ont été calculés à partir des rangs des rendements ajustés sont présentés sur les tableaux 26 et les rangs des génotypes selon ces mesures sont donnés dans le tableau 39. Selon les paramètres $NP_i^{(1)}$, $NP_i^{(2)}$, $NP_i^{(3)}$ et $NP_i^{(4)}$, les génotypes Guemgoum Rkhem (G6) et Ofanto (4) ont été considérés plus stable par rapport aux autres. Les génotypes Waha (G1), Mexicali (G3) et Zb/Flamingo (G2) sont considérés plus instable selon le paramètre $NP_i^{(4)}$. Les résultats des statistiques non paramétriques de Thennarasu étaient très semblables les uns aux autres. Nos résultats confirment ceux de Mohammadi *et al.*, (2007) et Kaya et Turkoz (2016).

3.4. LES COEFFICIENTS DE CORRELATION ENTRE DIFFERENTS PARAMETRES DE STABILITE PARAMETRIQUES ET NON PARAMETRIQUES POUR LE RENDEMENT EN GRAINS DE SIX VARIETES DE BLE DUR.

Les résultats du coefficient de corrélation de rang de Spearman parmi les 20 statistiques de stabilité paramétriques et non paramétriques et le rendement moyen en grains sont présentés dans le tableau 35. La performance moyenne du rendement dans les environnements a été significativement et positivement corrélée avec les paramètres ω_i (indice d'Annicchiarico 1992), $I_{i.Sch.}$ (Indice de Schmildt *et al.*, 2011) et l'indice $S_i^{(6)}$ ($P < 0.01$ pour ω_i et $P < 0.05$ pour $I_{i.Sch.}$ et $S_i^{(6)}$), et significativement et négativement corrélée ($P < 0.01$) avec P_i (l'indice de supériorité). Des corrélations négative mais non significatives entre le rendement grains et les paramètres b_i , GAI , $NP_i^{(2)}$ et $NP_i^{(4)}$ ont été enregistrées. Le coefficient de régression (b_i) était significativement corrélé avec (IPCA1) ($P < 0.01$). la déviation moyenne de la régression d'Eberhart et Russell (S^2_{di}) était corrélé positivement et significativement avec l'indice de Wricke (Wi^2), la variance de Shukla (δ^2), l'ASV, $S_i^{(1)}$, $S_i^{(2)}$ et $NP_i^{(1)}$ ($P < 0.01$ et $P < 0.05$). La variance environnementale (S^2_{xi}) a montré une corrélation positive et significative avec l'indice de Wricke (Wi^2), la variance de Shukla (δ^2), l'ASV, $S_i^{(1)}$, $S_i^{(2)}$, $S_i^{(3)}$, $S_i^{(6)}$, $NP_i^{(1)}$ et $NP_i^{(3)}$ ($P < 0.01$ et $P < 0.05$). L'indice de supériorité (P_i) était lié aux indices d'Annicchiarico (ω_i) et de Schmildt *et al.*, (2011) ($I_{i.Sch.}$) par une corrélation négative et hautement significative ($P < 0.01$). L'indice de supériorité est corrélé négativement avec tous les paramètres à l'exception de l'indice d'adaptabilité géométrique (GAI) où la corrélation est positive et non significative. L'indice

d'Annicchiarico (ω_i) était corrélé significativement avec l'indice de Schmildt *et al.*, (2011) avec ($P < 0.01$). L'indice d'éco-valence de Wricke était corrélé avec la variance de Shukla, l'ASV, $S_i^{(1)}$, $S_i^{(2)}$, $S_i^{(3)}$ et $NP_i^{(1)}$ ($P < 0.01$). La variance de Shukla était corrélé positivement et significativement avec les indices ASV, $S_i^{(1)}$, $S_i^{(2)}$, $S_i^{(3)}$ et $NP_i^{(1)}$ ($P < 0.01$ et $P < 0.05$). L'ASV est corrélé avec les indices non paramétriques $S_i^{(2)}$ et $S_i^{(3)}$ ($P < 0.05$). L'indice non paramétrique $S_i^{(1)}$ était fortement corrélé avec les autres indices non paramétriques $S_i^{(2)}$, $S_i^{(3)}$, $NP_i^{(1)}$, $NP_i^{(2)}$ et $NP_i^{(4)}$. L'indice $S_i^{(2)}$ était corrélé avec $S_i^{(3)}$, $NP_i^{(1)}$, $NP_i^{(2)}$, $NP_i^{(3)}$ et $NP_i^{(4)}$. L'indice $S_i^{(3)}$ était lié aux indices $S_i^{(6)}$, $NP_i^{(1)}$ et $NP_i^{(3)}$ ($P < 0.01$). L'indice $S_i^{(6)}$ était fortement corrélé avec $NP_i^{(1)}$ et $NP_i^{(4)}$. Les indices non paramétriques de Thennarasu (1995) étaient fortement corrélés entre eux.

Dans cette étude, les résultats de la matrice de corrélation du rendement grain et les indices de stabilité paramétrique et non paramétriques ont montré que plusieurs indices paramétrique et non paramétrique peuvent être recommandées pou l'évaluation de la stabilité du rendement grain des variétés de blé dur dans différents environnement. Pourdad et Ghaffari (2009), en étudiant la stabilité du rendement en utilisant des mesures paramétriques et non paramétriques, ont rapporté des résultats similaires.

Tableau 35. Les coefficients de corrélation de rang de Spearman entre différents paramètres de stabilité paramétrique et non paramétrique pour le rendement en grains de six variétés de blé dur.

	<i>Rdt</i>	<i>bi</i>	\bar{s}^2_{di}	S^2_{xi}	P_i	ω_i	$I_{i.Sch}$	Wi^2	(Shukla)	<i>GAI</i>	<i>ASV</i>	<i>IPCA1</i>	<i>IPCA2</i>	$S_i^{(1)}$	$S_i^{(2)}$	$S_i^{(3)}$	$S_i^{(6)}$	$NP_i^{(1)}$	$NP_i^{(2)}$	$NP_i^{(3)}$	$NP_i^{(4)}$	
<i>Rdt</i>	1.000																					
<i>bi</i>	-0.331	1.000																				
\bar{s}^2_{di}	0.225	0.049	1.000																			
S^2_{xi}	0.547	-0.029	0.772	1.000																		
P_i	-0.956**	0.424	-0.012	-0.284	1.000																	
ω_i	0.924**	-0.565	9.013	0.291	-0.969**	1.000																
$I_{i.Sch}$	0.864*	-0.600	-0.181	0.133	-0.953**	0.978**	1.000															
Wi^2	0.374	0.254	0.931**	0.879*	-0.124	0.075	-0.115	1.000														
(Shukla)	0.374	0.254	0.931**	0.879*	-0.124	0.075	-0.115	1.000**	1.000													
<i>GAI</i>	-0.103	0.378	0.401	-0.113	0.082	-0.101	-0.216	0.303	0.303	1.000												
<i>ASV</i>	0.533	0.189	0.826*	0.834*	-0.322	0.213	0.060	0.937**	0.937**	0.169	1.000											
<i>IPCA1</i>	0.242	-0.937**	0.264	0.217	-0.265	0.410	0.389	0.012	0.012	-0.248	0.019	1.000										
<i>IPCA2</i>	0.459	0.086	0.421	0.407	-0.390	0.196	0.158	0.523	0.523	-0.041	0.778	0.000	1.000									
$S_i^{(1)}$	0.251	0.212	0.886*	0.893*	0.023	0.006	-0.190	0.933**	0.933**	0.242	0.764	0.056	0.202	1.000								
$S_i^{(2)}$	0.337	0.235	0.885*	0.920**	-0.063	0.066	-0.128	0.964**	0.964**	0.230	0.833*	0.019	0.307	0.992**	1.000							
$S_i^{(3)}$	0.675	0.049	0.693	0.965**	-0.431	0.426	0.267	0.854*	0.854*	-0.023	0.821*	0.085	0.380	0.858*	0.899*	1.000						
$S_i^{(6)}$	0.807*	-0.125	0.608	0.909*	-0.607	0.624	0.478	0.751	0.751	-0.037	0.742	0.204	0.335	0.754	0.798	0.971**	1.000					
$NP_i^{(1)}$	0.349	0.168	0.864*	0.938**	-0.074	0.097	-0.094	0.937**	0.937**	0.168	0.795	0.078	0.249	0.993**	0.995**	0.912**	0.821*	1.000				
$NP_i^{(2)}$	-0.143	0.381	0.713	0.603	0.381	-0.306	-0.483	0.710	0.710	0.396	0.423	-0.116	-0.192	0.883*	0.828*	0.568	0.437	0.831*	1.000			
$NP_i^{(3)}$	0.767	-0.006	0.581	0.919**	-0.550	0.549	0.407	0.765	0.765	-0.067	0.755	0.083	0.344	0.770	0.818*	0.985**	0.990**	0.837*	0.467	1.000		
$NP_i^{(4)}$	-0.143	0.381	0.713	0.603	0.381	-0.306	-0.483	0.710	0.710	0.396	0.423	-0.116	-0.192	0.883*	0.828*	0.568	0.437	0.831*	1.000**	0.467	1.000	

*, **: significative à 5% et à 1% respectivement.

4. CONCLUSION

Le processus de sélection des génotypes performants et stables est particulièrement compliqué par le phénomène de l'interaction génotype-environnement (G×E). Cette interaction est une expression génotypique différente dans les environnements. Le classement relatif des génotypes d'une localité à une autre ou d'une année à l'autre est dû à l'occurrence des interactions G×E. Par conséquent, il est impératif d'avoir une compréhension des effets de ces interactions sur l'évaluation des génotypes, ce qui aidera à appliquer des méthodes analytiques appropriées. La présente étude a été menée afin d'analyser l'interaction génotype-environnement et d'étudier la stabilité du rendement de six génotypes de blé dur durant cinq campagnes agricoles. Ces variétés ont constitué le pool génétique utilisé dans le croisement diallèle étudié dans les chapitres précédents.

L'analyse de la variance combinée a montré un effet significatif de l'interaction G×E, de plus les effets de l'environnement étaient hautement significatifs. De ces résultats il a été conclu que le principal facteur qui influence les rendements du blé dur est l'environnement. Cela implique la nécessité d'étudier la réponse différentielle des génotypes aux différents environnements. Plusieurs méthodes, paramétriques et non paramétriques, ont été employées dans cette étude pour quantifier la stabilité du rendement des génotypes. L'étude comparative de ces méthodes a permis d'identifier les génotypes Ofanto et Guemgoum Rkhem comme génotype stable. Le génotype Ofanto est très intéressant car il détient à la fois la performance du rendement et la stabilité. Par contre, Guemgoum Rkhem qui qu'il soit stable sa performance du rendement est la plus faible parmi les génotypes étudiés.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVE

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVE

La présente étude s'est fixé comme objectif l'étude des aptitudes à la combinaison de six variétés contrastées de blé dur croisées selon un dispositif de croisement diallèle incomplet, l'analyse de la variabilité, la réponse à la sélection sur générations précoces et l'étude l'adaptabilité et la stabilité des variétés de blé dur utilisées comme parent dans le diallèle objet de cette étude .

Les résultats de cette investigation indiquent la présence de la variabilité pour les caractères étudiés à l'intérieur des quinze populations F2. Ce qui suggère les possibilités d'améliorer les caractères d'intérêt, soit par la sélection précoce ou tardive,. Les effets d'AGC et d'ASC sont significatifs pour presque l'ensemble des variables analysées, suggérant que des effets aussi bien additifs que non additifs sont impliqués dans le contrôle génétique des caractères soumis à l'analyse.

Guemgoum Rkhem se présente comme un bon combineur pour améliorer, dans le sens de l'augmentation du caractère, le poids de 1000 grains, la hauteur, la biomasse, la longueur de l'épi, la surface de la feuille étendard et la durée de la phase végétative.

Ofanto est un bon combineur pour améliorer l'indice de récolte, la teneur en chlorophylle et le rendement en grains. Cette caractéristique est associée à une réduction de la durée de la phase végétative.

Waha se présente comme un bon combineur pour améliorer le nombre d'épis par plante, et pour réduire de la surface de la feuille étendard, mais il réduit aussi la taille du grain.

Mexicali75 est un bon combineur pour améliorer simultanément le poids des épis et le nombre de grains par épi.

Gaviota durum est un bon combineur pour améliorer le nombre de grains par épi, mais il induit une réduction de la hauteur de la plante.

Certaines populations F2 telles que Waha//Mexicali75, Waha//Ofanto, Zb/Fg//Gaviota durum, Zb/Fg//Guemgoum Rkhem, et Ofanto//Guemgoum Rkhem sont intéressantes pour plusieurs caractères à la fois, de par les effets d'ASC significatifs. Ainsi la F2₁₃ présente des effets d'ASC positifs pour le poids des épis, la biomasse aérienne, le nombre d'épis, le poids de 1000, le rendement en grains et pour l'indice de récolte, en plus du contenu en chlorophylle. La population F2₁₄ présente des effets d'ASC positifs pour le poids des épis, la biomasse aérienne, le nombre d'épis, le nombre de grains par épi, le rendement en grains et l'indice de récolte.

Ces résultats sont confirmés par l'analyse de Hayman qui a révélé que les composantes additive et non additive sont significatives pour l'ensemble des caractères étudiés. La composante additive est plus importante que la composante de dominance pour le nombre de grains par épi, l'indice de récolte, le poids de 1000 grains, la durée de la phase végétative, le contenu en chlorophylle et la surface de la feuille étandard. Ceci suggère que la sélection pour améliorer ces caractères peut être pratiquée sur générations précoces, dès la F2 voire F3.

La prépondérance des effets de dominance est, par contre, présente dans l'expression du poids des épis, de la biomasse aérienne, du rendement en grains, du nombre d'épis par plante et la longueur des épis. Ceci suggère de retarder la sélection pour ces caractères et ne l'entreprendre qu'en F₄, F₅ voir sur générations plus tardives, une fois les effets de dominance seront fortement réduits pour ne laisser place qu'aux effets uniquement additifs.

Les résultats de l'analyse des données des générations F3 et F4 pour les caractères mesurés indiquent la présence d'une diversité appréciable au sein des populations de ces générations. Ceci est confirmé par les valeurs des coefficients de variation génotypique et phénotypique pour certain caractères. Le degré de détermination génétique en F3, était faible pour le poids des épis, le rendement grain et la hauteur des plantes, moyen pour le nombre des épis et la teneur en chlorophylle et élevé pour les la durée de la phase végétative, le poids de 1000 grains et le nombre de grains par épi. Le gain génétique attendu était

élevé pour le nombre des épis, le poids de 1000 grain le nombre de grains par épi et l'indice de récolte. En F4, l'héritabilité au sens large enregistrée est élevée pour les caractères du rendement et ses composantes. Elle varie de 46.9 % à 83.8 %. Les valeurs élevées de l'héritabilité couplées avec des estimations élevées de gain génétique suggèrent qu'il y a des possibilités effectives de sélectionner des lignées performantes.

L'étude des corrélations a révélé des liaisons significatives entre certains caractères. Ainsi, le groupe de caractères constitué du nombre et poids des épis, du nombre de grains par épi, du nombre de grains par m², de la biomasse aérienne, de l'indice de récolte et du rendement grain présentent des coefficients de corrélations élevés en valeurs qui les rendent d'un grand intérêt comme critères potentiels en sélection.

Les coefficients de corrélations inter générations ont varié d'un minimum de 0.034ns pour l'indice de récolte à un maximum de 0.354** pour la durée de la phase végétative. Ces valeurs sont faibles dans l'ensemble, laissant soupçonner la présence de l'interaction génotype x générations (générations confondues avec l'environnement). Ceci induit des changements de classement des apparentés évalués de la génération parentale à la génération des descendants.

Il est intéressant, cependant, de noter que le poids des épis et la biomasse aérienne présentent des corrélations significatives, en plus du fait que ces deux caractères présentent des effets directs et indirects positifs sur le rendement en grains. Ceci attire l'attention sur les possibilités de générer des changements du potentiel de rendement en grains en manipulant ces deux caractères.

Comme Perspectives, nous pouvons suggérer d'approfondir l'étude et continuer à suivre les lignées qui ont montré des performances et des potentialités. Elargir l'investigation à d'autres caractères d'importance économique notamment les caractères de qualité et de tolérance et /ou de résistance aux maladies.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Abbassene, F, Bouzerzour, H, & Hachemi, L. (1997). Phénologie et production du blé dur (*T. durum* Desf.) en zone semi-aride d'altitude. *Annales Agronomiques. INA*, 18(1 & 2), 24-36.
2. Abdel-Sabour, M. S, Hassan, A. M., Abdel-Shafi, A. A., Sherif, H.S. & Hamada, A.A. (1996). Genetic analysis of diallel crosses in bread wheat under different environment conditions in Egypt. 2. F2 and parents. *Indian J. Gen. and Pl. Breed.* 56(1): 49-61.
3. Abinasa, M., Amsalu, A. & Geremew, B. (2011). Genetic variability, heritability and trait associations in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) genotypes. *African Journal of Agricultural Research*, 6(17): 3972-3979.
4. Acquaah, G. (2007). Principals of Plant Genetics and Breeding. Blackwell Publishing, Oxford, UK.
5. Adel, M.M. & Ali, E.A. (2013). Gene action and combining ability in a six parent diallel cross of wheat. *Asian J. Crop Sci.*, 5(1): 14-23.
6. Adjabi, A., Bouzerzour, H., Lelarge, C., Benmahammed, A., Mekhlouf A. & Hannachi, A. (2007). Relationships between grains yield performance, temporal stability and carbon isotope discrimination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under Mediterranean conditions. *Journal of agronomy* 6 (2), 294-301.
7. Adjabi, A., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., (2014). Stability Analysis of Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.) Grain Yield. *Journal of Agronomy*, 13: 131-139.
8. Afridi, K., Ahmad, G., Ishaq, M., Khalil, I.N., Shah, I.A., Saeed, M. & Ahmad, N. (2014). Genetic potential and variability for morpho-yield traits in durum wheat (*Triticum turgidum* L var *Durum*). *International Journal of Farming and Allied Sciences*, Vol., 3 (12): 1206-1212.
9. Ahmad, I., Mahmood, N., Khaliq, I. & Khan, N. (2016). Genetic analysis for five important morphological attributes in wheat (*Triticum aestivum* L.). *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 26(3): 725-730.
10. Ajlouni, M.M., AL-Ghzawi, A.A. & Ghosheh, H.Z. (2011). Inheritance of grain filling rate and duration, and yield components in five durum wheat crosses. *International journal of plant breeding*. 5 (1): 21-24.
11. Ajmal, S., Asif, M. & Munir, M. (2003). Implication of Combining Ability: Analysis of Some Characteristics of Spring Wheat. *Quarterly Science Vision Vol.9 No.1-2: 1-5*.
12. Ajmal, S., Khaliq, I. & Rehman, A. (2011). Genetic analysis for yield and some yield traits in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. Agric. Res.* 49:447-454.

13. Akbar, M., Anwar, J., Hussain, M., Qureshi, M.H. & Khan, S. (2009). Line × tester analysis in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. Agric, Res.* 47(1):21-30.
14. Akram, Z., Ajmal, S.U. & Munir M. (2004). Gene action study of some agronomic traits in spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *Pak. J. Arid Agric.*, 7:39-43.
15. Akram, Z., Ajmal, S.U. & Munir, M. (2008). Estimation of correlation coefficient among some yield parameters of wheat under rainfed conditions. *Pakistan J. Bot.*, 40(4): 1777-1781.
16. Aksel, R. & Johnson, L.P.V. (1955). Analysis of a diallel crosses: a worked example. *Can. Journal Genetics and Cytology* 1: 208-220.
17. Aksel, R. & Johnson, L.P.V. (1961). The inheritances of malting quality and agronomic characters in diallel cross barley. *Can. J. Gen. Cytol.* 6: 178-200.
18. Allard, R.W. (1960). Principles of Plant Breeding. *John Wiley and Sons Inc. New York.* pp. 485.
19. Amin, M.R., Barma, N.C. & Razzague, M.A. (1992). Variability, heritability, genetic advance and correlation study in some quantitative characters in durum wheat. *Rachis.* 1(2): 30-32.
20. Ammar, K. (2015). Enhancing the Sustainability of Global Durum Wheat Production. <http://www.openfields.it/category/docs/2015>.
21. Annicchiarico, P. (1992). Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy. *Genet. Breed.* 46: 269-278.
22. Annicchiarico, P. (2002). Genotype x environment interactions. Challenges and opportunities for plant breeding and cultivar recommendations. *FAO. Plant production and protection, Paper, 174. Rome.*
23. Annicchiarico, P., Bellah, F. & Chiari, T. (2005). Defining sub regions estimating benefits for a specific adaptation strategy by breeding programs: a case study. *Crop science*, 45: 1741 -1749.
24. Anwar, J., Akbar, M., Hussain, M., Asghar, S., Ahmad, J. & Owais, M. (2011). Combining ability estimates for grain yield in wheat. *J. Agric. Res.* 49(4):437-445.
25. Arega, G., Hussein, M. & Harjit, S. (2007). Selection Criterion for improved grains yields in Ethiopian durum wheat genotypes. *African Crop Science Journal*, 15(1): 25 – 31.
26. Ayer, D.K., Sharma, A., Ojha, B.R., Paudel, A. & Dhakal, K. (2017). Correlation and path coefficient analysis in advanced wheat genotypes. *SAARC J. Agri.*, 15(1): 1-12.
27. Baker, R.J. (1978). Issues in diallel analysis. *Crop Sci.*, 18(4): 533-536.
28. Balalić, I., Zorić, M., Miklič, V., Dušanić, N., Terzić, S. & Radić, V. (2011). Non-parametric stability analysis of sunflower oil yield trials. *HELIA*, 34(54): 67-78.

29. Baric, M. (1996). Combining ability and heritability of some quantitative traits in wheat (*Triticum aestivum*. L). *Poljoprivredna Znanstvena Smotra*. 61(3-4): 215-238.
30. Baril, C. & Bergonzini, J.C. (1994). De la génétique des populations à la génétique quantitative. *Document Biométrie CIRAD- Forêt*. 75 pages.
31. Barman, D. & Borah, S.P. (2012). Effect of selection response on F3 and F4 generation for yield and yield component characters in mutant rice strain (*Oryza sativa* L.). *APCBEE Procedia*, 4: 183 – 187.
32. Becker, H.C. (1981). Correlations among some statistical measures of phenotypic stability. *Euphytica* 30: 835–840.
33. Becker, H.C. & Leon, J. (1988). Stability analysis in plant breeding, *Plant Breed*. 101: 1–23.
34. Belkherchouche, H. (2015). Analyse de la contribution des hydrates de carbone au remplissage du grain du blé dur (*Triticum turgidum* L. var. durum)) sous conditions semi arides. *Thèse de doctorat des sciences Université Sétif-1*. 150 pages.
35. Belkherchouche, H., Benbelkacem, A., Bouzerzour, H. & Benmahammed A. (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.
36. Benbelkacem, A. (2013). Rapport des résultats du projet “Enhancing Food Security in Arab Countries” *Icarda-INRAA*. 35 pages.
37. Bendjama, A., Bouzerzour, H. & Benbelkacem, A. (2014). Adaptability of Durum Wheat Genotypes (*Triticum turgidum* L. Var *durum*) to Contrasted Locations. *Australian Journal of Basic and Applied Science*. 8(6), 390-396.
38. Benmahammed, A. (2005). Hétérosis, Transgression et efficacité de la sélection précoce et retardée de la biomasse du nombre d'épis et l'utilisation des indices chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.). *Thèse doctorat d'Etat. Université Mentouri- Constantine*. 125 pages
39. Benmahammed, A., Nouar, H., Haddad, L., Laala, Z., Oulmi, A. & Bouzerzour, H. (2010). Analyse de la stabilité des performances de rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides. *BASE*, 14: 177-186.
40. Bensemmane, 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. *Advances in Environmental Biology*, 5(7): 1454-1460, 2011.
41. Bensemmane, L. (2015). Analyse de l'adaptation de l'orge (*Hordeum Vulgare* L.) sous conditions semi-arides. *Thèse doctorat des sciences, Université Sétif 1*, 177 pages.

42. Bouzerzour, H. (1997). Sélection pour le Rendement, la Précocité, la Biomasse et l'Indice de Récolte chez l'Orge (*Hordeum Vulgare*). *Thèse de doctorat d'Etat, Institut des Sciences de la Nature, Université de Constantine. 137 pages.*
43. Bouzerzour, H. & Djekoun, A. (1998). Inheritance of grain yield and grain yield components in barley. *Rachis, 16: 9-16.*
44. Bozzini, A. (1988). Origin, distribution, and production of durum wheat in the world. *In: Durum Wheat: Chemistry & Technology. Fabriani G., Lintas C. (eds), Am. Assoc. Cereal Chem.: St. Paul, MN., pp. 1-16.*
45. Brancourt-Hulmel, M., Biarne`s-Dumoulin, V. & Denis, J.B. (1997). Points de repère dans l'analyse de la stabilité et de l'interaction génotype-milieu en amélioration des plants. *Agronomie 17:219-246.*
46. Briggs, K.G. & Shebeski, L.H. (1970). Visual selection for yielding ability of F3 lines in hard red spring wheat breeding programme. *Crop Science 10: 400-402.*
47. Cahaner, A. & Hillel, J. (1980). Estimating heritability and genetic correlation between traits from generation F2 and F3 of self-fertilizing species: a comparison of three methods. *Theor. Appl. Genet. 58: 33-38.*
48. Cattivelli, L.F., Rizza, F.W., Badeck-Mazzucotelli, E., Mastrangelo, A.M. Francia, E., Marè, C., Tondelli, A. & Stanca A.M. (2008). Drought tolerance improvement in crop plants: an integrated view from breeding to genomic. *Field Crop Res. 105:1-14.*
49. Chenafi, H., Aïdaoui, A., Bouzerzour, H. & Saci, A. (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.*
50. Cooper, J.K. (2010). Synthetic hexaploid wheat as a source of improvement for winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in Texas. *Thesis of Master of Science, Texas A & M University 142 pages.*
51. Crop stat 7.3. (2009). Software package for windows. *International Rice Research Institute, IRRI, Manila.*
52. Crossa, J., Gauch, H.G. & Zobel, R.W. (1990). Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Analysis of Two International Maize Cultivar Trials. *Crop Science 30:493-500.*
53. Crossa, J., Cornelius, P.L. & Yan, W. (2002). Biplots of linear-bilinear models for studying crossover genotype \times environment interaction. *Crop Science 42: 619-633.*
54. Cruz, C.D. & Regazzi, A.J. (1994). Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. *Viçosa, UFV 390 pages.*
55. Cruz, C.D. (2013). GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative. *Acta Sci. Agron. 35(3): 271-276.*

56. Curtis, B.C., Rajaram, S. & Gómez Macpherson, H. (2002). Bread wheat. Improvement and production. *FAO Plant Production and Protection Series No. 30. FAO, Rome.*
57. Dahiya, B.S. Solanki, I.S. & Ram, K. (1983). F2, F3 and F4 bulk yields as indications of cross performance. *International Chickpea Newsletter*, 8:12-13.
58. Dahiya, B.S., Waldia, R.S., Kaushik, L.S. & Solanki, I.S. (1984). Early generation yield testing versus visual selection in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Theor. Appl. Genet.*, 68 (6): 525-529.
59. De Pauw, R.M. & Shebeski, I. H. (1973). An evaluation of early generation yield testing procedure in *Triticum aestivum*. *Canadian Journal of Plant Science*, 53: 465-470.
60. De Vita, P., Nicosia, O.L.D., Nigro, F., Platani, C., Riefolo, C., Di Fonso, N. & Cattivelli, L. (2007). Breeding progress in morpho-physiological, agronomical and qualitative traits of durum wheat cultivars released in Italy during the 20th century. *Europ. J. Agronomy* 26: 39-53.
61. Dere, S. & Yildirim, M.B. (2006). Inheritance of Grain Yield per Plant, Flag Leaf Width, and Length in an 8×8 Diallel Cross Population of Bread Wheat (*T. aestivum* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 30: 339-345.
62. Desheva, G. (2016). Correlation and path-coefficient analysis of quantitative characters in winter bread wheat varieties. *Trakia Journal of Sciences*, No 1: 24-29.
63. Deshmukh, S.N.N., Basu, M.S. & Reddy, P.S. (1986). Genetic variability, character association and path coefficient analysis of quantitative traits in Virginia bunch varieties of groundnut. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, vol. 56: 516 – 521.
64. Dwivedi, A.N., Pawar, I.S., Shashi, M. & Madan, S. (2002). Studies on variability parameters and character association among yield and quality attributing traits in wheat. *Haryana Agric. Univ. J. Res.*, 32(2): 77-80.
65. Eberhart, S.A. & Russel, W.A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.*, 6: 36-40.
66. Eid, M.H. (2009). Estimates of heritability and genetic advance of yield traits in wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought conditions. *International Journal of Genetics and Molecular Biology* 1(7): 115 – 120.
67. Eunus, A.M. (1964). Inheritance of earliness in barley. *Euphytica* 13 (1): 49-56.
68. Falconer, D.S. & Mackey, F.C. (1996). Introduction to quantitative genetics. *Longman Scientific & Technical (Ed.), London, 340 pages.*
69. Faostat. 2015. Statistical database of the food and agriculture organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org>

70. Farooq, J., Khaliq, I., Khan, A.S. & Pervez, M.A. (2010). Studying the genetic mechanism of some yield contributing traits in wheat. (*Triticum aestivum* L). *Int. J. Agri. Biol.*, 12: 241-246.
71. Farshadfar, E., Sabaghpour, S.H. & Zali, H. (2012). Comparison of parametric and non-parametric stability statistics for selecting stable chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes under diverse environments. *Australian journal of crop science (AJCS)* 6(3):514-524.
72. Farshadfar, E, Farshadfar, M. & Sutka, J. (2000). Combining ability analysis of drought tolerance in wheat over different water regimes. *Acta Agron Hung* 48(4): 353–361
73. Farshadfar, E., Mahmodi, N. & Yaghotipoor, A. (2011). AMMI stability value and simultaneous estimation of yield and yield stability in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Australian journal of crop science (AJCS)*, 5(13):1837-1844.
74. Feldman, M. & Sears, E.R. (1981). The wild gene resources of wheat. *Sci. Am.*, 244: 98-108.
75. Fellahi, Z. (2013). Aptitude à la combinaison et héritabilité de quelques caractères agronomiques du blé tendre (*Triticum aestivum* L.). *Mémoire de Magister, Université Saad Dahlab - Blida*, 136 pages.
76. Fellahi, Z., Hannachi, A., Bouzerzour, H. & Boutekrab, A. (2013a). Line × Tester Mating Design Analysis for Grain Yield and Yield Related Traits in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Agronomy*, Volume 2013, Article ID 201851, 9 pages.
77. Fellahi, Z., Hannachi, A., Guendouz, A., Bouzerzour, H. & Boutekrabt, A. (2013b). Genetic variability, heritability and association studies in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Elec. J. Plant Breed.* 4(2): 1161-1166.
78. Fellahi, Z., Hannachi, A., Bouzerzour, H. & Benbelkacem, A. (2015). Inheritance pattern of metric characters affecting grain yield in two bread wheat (*Triticum aestivum* L.) crosses under rainfed conditions. *Jordan J. Biol. Sci.*, 8(3): 175-181.
79. Fellahi, Z., Hannachi, A., Bouzerzour, H. & Benbelkacem, A. (2016). Genetic control of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) traits. *Songklanakarinn J. Sci.Technol.* 38 (1): 91-97.
80. Fellahi, Z., Hannachi, A., Bouzerzour, H., Dreisigacker, S., Yahyaoui, A. & Sehgal, D. (2017). Genetic analysis of morpho-physiological traits and

- yield components in F2 partial diallel crosses of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Rev.Fac.Nac.Agron.* 70(3): 8237-8250.
81. Ferreira, F.D., Demétrio, C.G.B., Frederick, J.M.B., Amauri, A.M. & Roland, V. (2006). Statistical models in agriculture: biometrical methods for evaluating phenotypic stability in plant Breeding. *CERNE*, 12(4): 373-388.
 82. Feyt, H. (1976). Etude critique de l'analyse des croisements diallèles au moyen de la simulation. *Ann. Amélior. Plante*, 26:173-193.
 83. Finlay, K.W. & Wilkinson, G.H. (1963). The analysis of adaptation in a plant breeding programme. *Aust. J. Agric. Res.* 14: 742-754.
 84. Fischer, R.A. & Maurer, R., (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Aust. J. Agric. Res.*, 29: 897-912.
 85. Fox, P.N., Skovmand, B., Thompson, B.K., Braun, H.J. & Cormier, R. (1990). Yield and adaptation of hexaploid spring triticale. *Euphytica* 47: 57-64.
 86. Frey, K.J. & Horner, T. (1957). Heritability in standard units. *Agronomy journal*, Volume 49(2): 59-62.
 87. Gallais, A. (2015). Comprendre l'amélioration des plantes : Enjeu, méthodes, objectifs et critères de sélection. *Editions Quae*, 231 pages.
 88. Gauch, H.G & Zobel, R.W. (1996). AMMI Analysis of Yield Trials. In *Genotype by Environment Interaction*, Kang, M.S. & Gauch H.G. (Eds). Boca Raton CRC. New York, USA, 85-122.
 89. Giunta, F., Motzo, R. & Pruneddu, G., (2007). Trends since 1900 in the yield potential of Italian-bred durum wheat cultivars. *Eur. J. Agron.* 27: 12-24.
 90. Golparvar, A.R., Islam, M.H., Darvish, F., Abdolmajid, R. & Abdollah, G.P. (2004). Genetic assessment of some morpho-physiological traits in bread wheat under drought conditions. *Pajouhesh – Va – Sazandegi – In – Agron. Hort.* 62: 90-95.
 91. Golparvar, A.R., Ghsemi-Pirbalouti, A. & Madani, V. (2006). Genetic control of some physiological attributes in wheat under drought stress conditions. *Pakistan J. Biol. Sci.*, 9 (8):1442- 1446.
 92. Gorjanović, B. & Kraljević-Balalić, M. (2005): Inheritance of plant height and spike length in wheat. *Genetika*, 37(1): 25-31.
 93. Griffing, B. (1956). Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing system. *Aust. J. Biol. Sci.* 9: 463-493.
 94. Guerra, E.P., Oliveira, R.A. de Daros, E., Zambon J.L.C., Ido O.T. & Bespalhok Filho, J.C. (2009). Stability and adaptability of early maturing sugarcane clones by AMMI analysis. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 9: 260-267.

95. Gurmani, R.R., Khan, S.J., Khan, k Z.A.S.R., Shakee, A. & Ullah, M. (2007). Genetic evaluation of some yield and yield related traits in wheat. *Pakistan J. Agric. Sci.* 44: 6-11.
96. Habib, I. & Khan, A.S. (2003). Genetic model of some economic traits in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Asian. J. Pl. Sci.* 2(17): 1153- 1155.
97. Haddad, L., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Zerargui, H., Hannachi, A., Bachir, A., Salmi, M., Oulmi, A., Fellahi, Z., Nouar, H. & Laala, Z. (2016). Analysis of Genotype × Environment Interaction for Grain Yield in Early and Late Sowing Date on Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.) Genotypes. *Jordan journal of biological sciences Volume 9(3): 139-146.*
98. Haddad, L. 2017: Analyses AMMI et GGE de l'interaction génotype x milieux du blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) et indentification des facteurs explicatifs de l'interaction. Thèse de doctorat science, *Université Sétif 1, 183 pages.*
99. Hamli, S., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Oulmi, A., Kadi, K. & Addad D. (2015). Déterminisme génétique des caractères morpho-physiologiques liés au rendement chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride des hauts plateaux Sétifiens, Algérie. *European Scientific Journal.* 12: 146-160.
100. Hannachi, A. (2013). Analyse diallèle de quelques caractères associés à l'adaptation du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. Mémoire de Magister, *Université Saad Dahlab, Blida, 2013, 106 pages.*
101. Hannachi, A., Fellahi, Z., Bouzerzour, H. & Boutekrabt, A. (2013a). Diallel-cross analysis of grain yield and stress tolerance-related traits under semi-arid conditions in Durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Electronic Journal of Plant Breeding.* 4 (1): 1027-1033.
102. Hannachi, A., Fellahi, Z., Bouzerzour, H. & Boutkrabt A. (2013b): Correlation, Path Analysis and Stepwise Regression in Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.) under Rainfed Conditions. *J. Agr. Sust.,* 3(2): 122-131.
103. Hannachi, A., Fellahi, Z., Rabti B., Guendouz, A. & Bouzerzour, H. (2017). Combining ability and gene action estimates for some yield attributes in durum wheat (*Triticum Turgidum* L. var. *durum*). *J. Fundam. Appl. Sci.,* 2017, 9(3): 1519-1534.
104. Hannachi, A, Fellahi, Z. & Bouzerzour, H. (2017). Genetic analysis of some metric traits in 6X6 half-diallel crosses of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var *durum*) under semi-arid conditions. *Comm. In second international workshop management and genetic improvement of plant and microbial resources (GRPM2017), 19 to 21 march 2017, Faculty of medicine, University of Tlemcen, Algeria.*

105. Hassan, G., Mohammad, F., Afridi, S.S. & 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.
106. Hayman, B.I., (1954). The theory and analysis of diallel crosses. *Genetics.* 39, 789-809.
107. Heidari, B. Saeidi, G., Sayed-Tabatabaei, B.E. & Suenaga, K. (2005). The Interrelationships of Agronomic Characters in a Doubled Haploid Population of Wheat. *Czech J. Genet. Plant Breed.*, 41, 2005 (Special Issue).
108. Huehn, M. (1979). Beitrage zur erfassung der phantypischen Stabilität. *EDV Med. Biol* 10:112-117.
109. Huehn, M. (1990). Nonparametric measures of phenotypic stability. Part 1: Theory. *Euphytica*, v. 47(3):189-194.
110. Hurd, E.A., (1974). Phenotype and drought tolerance in wheat. *Agric. Meteo.*, 14: 39-55.
111. Hussain, F., Rafiq, M., Iqbal, Z., Iqbal, J., & Chowdhry, M. A. (2013). Estimates of heritability and advance for grain yield and its components in different segregating populations of wheat. *J. Agric. Res.*, 2013, 51(4), 349-360.
112. Ijaz, F., Khaliq, I., Shahzad, M.T. & Saleem, B. (2013). Computation of heritability of yield and some morphological traits in F2 populations of bread wheat. *International Journal of Modern Agriculture* 2(3):102-107.
113. Inamullah, F., Mohammad, G., Hassan, S.D. & Akbar, S. (2005). Genetics of important traits in bread wheat using diallel analysis. *Sarhad J. Agric.* 21: 617-622.
114. International Grains Council (IGC). (2013). World Grains Statistics. <http://www.igc.int/en/grainsupdate/sd.aspx?crop=Wheat>
115. Iqbal, M., Navabi, A., Salmon, D.F., Yang, R.C. & Spaner, D.A. (2006). Genetic examination of early flowering and maturity in Canadian spring wheat. *Canadian J. Plant Sci.*, 86(4): 995-1004.
116. Iqbal, M., Navabi, A., Salmon, D.F., Yang, R.C., Murdoch, B.M., Moore, S.S. & Spaner, D. (2007). Genetic analysis of flowering and maturity time in high latitude spring wheat. *Euphytica* 154:207-218
117. Jadoon, S.A., Mohammad, F., Ullah, H. & Khalil, I.H. (2012). Gene action for pre and post harvest traits in F2 wheat populations, *QScience Connect* 2012:11 <http://dx.doi.org/10.5339/>.
118. Johnson, H.W., Robinson, H.F. & Cosmtock, R.G. (1955). Estimates of genetic and environmental variability in soybean. *Agronomy J.*, 47: 314-318.
119. Johnson, L.P.V., & Paul, G.I. (1958). Inheritance of earliness in barley. *Can. J. Plant Sci.* 38: 219- 233

120. Joshi, S.K., Sharma, S.N., Singhania, D.L. & Sain, R.S. (2004). Combining ability in the F1 and F2 generations of diallel cross in hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.). *Hereditas*, 141(2): 115-121.
121. Kadi, Z. (2012). Sélection de l'orge (*Hordeum Vulgare* L.) pour la tolérance aux stress abiotiques. *Thèse de doctorat sciences, Université Sétif 1*. 134 pages.
122. Kadi, Z., Adjel, F. & Bouzerzour, H. (2010). Analysis of the genotype × environment interaction of barley grain yield (*Hordeum Vulgare* L.) under semi-arid conditions. *Advances in environmental biology*, 4:30-40.
123. Kandil, A.A., Sharief, A.E. & Hasnaa, S.M. (2016). Estimates of gene action for yield and its components in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Agronomy and Agricultural Research (IJAAR) Vol. 8: 34-40*.
124. Kang, M.S. (1998). Using genotype-by-environment interaction for crop cultivar development. *Advanced Agronomy* 62: 199–252.
125. Kashif, M. & Khaliq, I. (2003). Mechanism of genetic control of some quantitative traits in bread wheat. *Pak. J. Biol. Sci.*, 6(18): 1586-1590.
126. Kathiria, K.B. & Sharma, R.K. (1994). Diallel crosses analysis for tillering ability and kernel weight in bread wheat (*Triticum aestivum* L. em. Thell) under normal sodic and saline sodic soils. *Gujarat Agri. Uni. Res. J.* 20(1): 79-83.
127. Kaukab, S., Ijaz, S., Khaliq, I., Mahmood, K. & Saleem, U. (2013). Genetic analysis for yield and yield related traits in spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. Agric. Res.* 51: 221-230.
128. Kaya, Y. & Turkoz, M. (2016). Evaluation of genotype by environment interaction for grain yield in durum wheat using non-parametric stability statistics. *Turkish Journal of field crops.* 21 (1): 51-59.
129. Khalili, M. & Naghavi, M.R., (2017). Interrelationships between characteristics of F4 wheat families under rain-fed conditions. *Inter J Agri Biosci*, 6(1): 37-41.
130. Khan, A.S. & Ali, Z. (1998). General and specific combining ability estimates for plant height and some yield components in wheat. *Pak. J. Agric. Sci.* 35: 1-4.
131. Khan, M.U., Chowdhry, M.A., Khaliq, I. & Ahmad, R. (2003). Morphological response of various genotypes to drought conditions. *Asian. J. Pl. Sci.* 2(4): 392-394.
132. Khan, A.S. & Habib, I., (2003). Gene actions in a five parent diallel cross of spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *Pak. J. Biol. Sci.*, 6: 1945-1948.
133. Knott, D.R. & Kumar, J. (1975). Comparison of early generation yield testing and a single seed descent procedure in wheat breeding. *Crop Science* 15: 295-299.

134. Knott, D.R. (1972). Effects of selection for F₂ plant yield on subsequent generations in wheat. *Canadian Journal of plant Science* 52: 721-726.
135. Kumar, A., Mishra, V.K., Vyas, R.P. & Singh, V. (2011). Heterosis and combining ability analysis in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Plant Breeding and Crop Science Vol. 3(10): 209-217.*
136. Kumar, S. (2004). Methods of early generation selection in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) *PhD Thesis, Ch. Charan Singh University, Meerut (U.P.)*
137. Kumar, S. (2004). Methods of early generation selection in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *PhD Thesis, Ch. Charan Singh University, Meerut, (U.P.)*.
138. Laala, Z. (2010). Analyse en chemin des relations entre le rendement en grains et les composantes chez des populations F₃ de blé dur (*Triticum durum* Desf.) Sous conditions semi-arides. *Mémoire de Magister Université Sétif 1, 97 pages.*
139. Lenka, D. & Mishra, B. (1973). Path coefficient analysis of yield in rice varieties. *Ind. J. Agric. Sci.* 43: 376-379.
140. Lin, C.S. & Binns M.R. (1994). Concepts and Methods for Analyzing Regional Trial Data for Cultivar and Location selection. *Plant Breed. Review* 12: 271-297.
141. Lin, C.S., Binns, M.R. & Lefkovitch, L.P. (1986). Stability analysis: Where do we stand? *Crop Sci.* 26: 894– 900.
142. Mahmood, N., Chowdhry, M.A. & Kashif, M. (2003). Genetic analysis of some physio morphic traits of wheat under drought condition (*Triticum aestivum* L.). *Pak. J. Genet. Breed.* 57: 385-391.
143. Malik, M.F.A., Iqbal, S. & Ali, S. (2005). Genetic behavior and analysis of quantitative traits in five wheat genotypes. *J. Agric. Soc. Sci.* 1(4): 313-315.
144. Maling'a, J., Kinyua, M.G., Kamau, A., Wanjama, J.K., Njau, P. & Kamundia, J. (2004). Evaluation of Kenyan Bread wheat (*Triticum aestivum* L.) Varieties for Resistance to Russian Wheat Aphid in Multi-location Trials. In M.G. Kinyua, J. Kamwaga, J.O. Owuoche, A. C.Ndiema, P.N. Njau, D. K. Friesen, D. Ouya (Editors) 2006. *Proceedings of the 12th Regional Wheat Workshop for Eastern, Central, and Southern Africa. Nakuru, Kenya, 22–26 November 2004. Mexico, D.F.; CIMMYT and KARI.*
145. Mandal, S., Bakshi, A., Barai, B.K., & Murmu, K. (2008). Genetic variability in wheat (*Triticum aestivum* L.) under new alluvial zone of West Bengal. *Environment and Ecology*, 26(1): 58-60
146. Mann, M.S., Sharma, S.N. & Bhatnagar, V.K. (1995). Combining ability and nature of gene effects for grain yield and harvest index in macaroni wheat. *Crop Improv.* 22: 65-68.

147. Mann, M.S., & Sharma, S.N. (1994). Combining ability in the F1 and F2 generations of diallel crosses in macaroni wheat (*Triticum durum* Desf.). *Ind. J. Gen. and Pl. Breed.* 55(2):160-165.
148. Mather, K. & Jinks, J.L. (2013). Introduction to biometrical genetics: the study of continuous variation. (3rd Ed), Springer, Nov. 2013: 396 pages.
149. Mckenzie, R.I.H. & Lambert, J.W. (1961). A comparison of F3 lines and their related F6 lines in two barley crosses. *Crop Sci.*, 1(4):246-249.
150. Mehta, B., Sharma, S.K. & Luthra O.P. (1998). Studies on combining ability in wheat. *Haryana Agric. Univ. J. Res.* 28: 2-3.
151. Mekhlouf, A., Dehbi F., Bouzerzour, H., Hannachi, A., Benmahammed, A. & Adjabi, A. (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.
152. Menad, A., Meziani, N., Bouzerzour, H. & Benmahammed, A. (2011). Analyse de l'interaction génotype x milieux du rendement de l'orge (*Hordeum Vulgare* L.): application des modèles AMMI et la régression Conjointe. *Nature & Technologie*, 5 99-106.
153. Meziani, N., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Menad A. & Benbelkacem, A. (2011). Performance And Adaptation of Barley Genotypes (*Hordeum Vulgare* L.) to Diverse Locations. *Advances in Environmental Biology*, 5(7): 1465-1472.
154. Mishra, P.C., Singh T.B., Singh, O.P. & Jain, S.K. (1994). Combining ability analysis of grain yield and some of its attributes in bread wheat under timely sown condition. *Intern. J. Trop. Agric.* 12(3-4): 188-194.
155. Mohammadi, M., Sharifi, P., Karimzadeh, R., Alt Jafarby, J., Khanzadeh, H., Houseinpour T., Mahi Poursiabidi M., Roustataii, M., Hassanpour Hosni, M. & Mohammadi, P. (2015). Stability of grain yield of durum wheat genotypes by AMMI model. *Agriculture & Forestry*, Vol. 61(3): 181-193.
156. Mohammadi, R. (2016). Interpretation of genotype × year interaction in rainfed durum wheat under moderate cold conditions of Iran, *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 21pages.
157. Mohammadi, R., Abdulahi, A., Haghparast, R. & Armion, M. (2007). Interpreting genotype × environment interactions for durum wheat grain yields using nonparametric methods. *Euphytica* 157:239–251.
158. Mohammadi, R. & Amri, A. (2011). Genotype × Environment Interaction for Durum Wheat Grain Yield and Selection for Drought Tolerance in Irrigated and Droughted Environments in Iran. *J. Crop Sci. Biotech.* 14 (4): 265-274.

159. Mohammadi, R., Roostaei, M., Ansari, Y., Aghaee, M., & Amri, A. (2010). Relationships of phenotypic stability measures for genotypes of three cereal crops. *Can. J. Plant Sci.* 90: 819-830.
160. Mohammadi, R. & Amri, A. (2008). Comparison of parametric and non-parametric methods for selecting stable and adapted durum wheat genotypes in variable environments. *Euphytica* 159: 419-432.
161. Mohammadi, R., Abdulahi, A. & Amri, A. (2008). Repeatability of some agronomic traits in durum wheat. *Int. J. Plant Breed.* 2: 39-42.
162. Moragues, M., Zarco-Hernández, J., Moralejo, M.A. & Royo, C. (2006). Genetic diversity of glutenin protein subunits composition in durum wheat landraces [*Triticum turgidum* ssp. *turgidum* convar. *durum* (Desf.) Mackey] from the Mediterranean basin. *Genet. Resour. Crop Evol.* 53: 993-1002.
163. Murphy, K., Balow, K., Lyon, S.R., & Jones, S.S. (2008). Response to selection, combining ability and heritability of coleoptiles length in winter wheat. *Euphytica.* 164(3): 709-718.
164. Nassar, R. & Huehn, M. (1987). Studies on Estimation of Phenotypic Stability: Tests of Significance for Nonparametric Measures of Phenotypic Stability. *BIOMETRICS* 43: 45-53.
165. Nazeer, W., Hussain, T., Khan, M.A., Naeem, M., Amjad, M.W. & Hussain, K. (2013). Mechanism of inheritance for quantitative traits in inter-specific crosses of *Triticum aestivum* L. *World Appl. Sci. J.* 22: 1440-1448.
166. Nouar, H., Bouzerzour, H., Haddad, L., Menad, M., Hazmoune, H. & Zerargui, H. (2012). Genotype × environment interaction assessment in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) using AMMI and GGE models. *Advances in Environmental Biology.* 6: 3007 - 3015.
167. Nouar, H., Haddad, L., Laala, Z., Oulmi, A., Zerargui, H. Benmahammed, A. & Bouzerzour, H. (2010). Performances comparées des variétés de blé dur: Mohammed Ben Bachir, Waha et Boussalam dans la wilaya de Sétif. *Céréaliculture*, 54: 23-28.
168. Nyquist Wymen, E. (1991). Estimation of heritability and prediction of selection response in plant populations, in *Critical Review in Plant Science* 10(3): 235-322.
169. Ojaghi, J. & Akhundova, E. (2010). Genetic analysis for yield and its components in doubled haploid wheat. *Afr J Agric Res* 5(4): 306-315.
170. Oulmi, A., Chems-edine, N., Fellahi, Z., Salmi, M. Laala, Z. Rabti, B. & Benmahammad, A. (2016). Etude de l'effet de la sélection précoce mono et multi caractères chez trois populations de blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans les régions semi-arides. *Revue Agriculture.* 11: 86-103.
171. Padhar, P.R., Madaria R.B., Vachhani J.H. & Dobariya K.L. (2010). Release of 33 grain sorghum seed parent germplasms (A-Lines) N279-

- N311 and their respective maintainers. (B-Lines). *Intern. Sorghum and Intern. J. of Agric. Sci.*, 6:267-272.
172. Paroda, R.S. & Hayes, J.D. (1971). An investigation of genotype-environment interactions for rate of ear emergence in spring barley. *Heredity* 26: 157-175.
 173. Patil, H.S., Manake, B.S., Chavan, V.W. & Kachole, U.G. (1995). Diallel analysis in bread wheat. *Ind. J. Gen. and Pl. Breed.* 55(3): 320-323.
 174. Payne, R.W., Murray, D.A., Harding, S.A., Baird, D.B. & Soutar, D.M. (2009). *GenStat for Windows (12th Edition)*.
 175. Perkins, J.M., & Jinks, J.L. (1968). Environmental and genotype environmental components of variability. III. Multiple lines and crosses. *Heredity*, 23(2): 39-256.
 176. Pourdad S.S. & Ghaffari A.A. (2009). Comparison of parametric and non-parametric yield stability measures and their relationship in spring rapeseed (*Brassica napus* L.) in warm dry-lands of Iran. *Middle Eastern and Russian Journal of Plant Science and Biotechnology*. 3 (special issue 1): 35-40.
 177. Prost, L., Lecomte, C., Meynard, JM. & Cerf, M. (2007). Conception d'un outil d'analyse du comportement de systèmes biologiques: le cas de l'évaluation des variétés de blé tendre. *Activités*, 4: 30-53.
 178. Purchase, J.L., Hatting, H., & Van Deventer, C.S. (2000). Genotype × environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in South Africa: II. Stability analysis of yield performance. *South African Journal of Plant and Soil* 17:101-107.
 179. Rabbani, G., Munir, M., Ajmal, S.U., Hassan, F., Shabbir G. & Mahmood, A. (2009). Inheritance of yield attributes in bread wheat under irrigated and rainfed conditions. *Sarhad J. Agric.*, 25(3): 429-438.
 180. Rahman, M.A., Sidique, N.A. Robiul Alam, M. Khan, A.S.M.M.R. & Alam, M.S. (2003). Genetic analysis of some yield contributing and quality characters in spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *Asian Journal of plant sciences* 2 (3): 277-282.
 181. Ranieri, R. (2015). Geography of the durum wheat crop. *Pastaria international* 6/2015. <http://www.openfields.it/category/docs/2015>.
 182. Rashidi, V. (2011). Genetic parameters of some morphological and physiological traits in durum wheat genotypes (*Triticum durum* L.). *African J. of Agric. Res.*, 6 (10):2285-2288.
 183. Rasoli, V., Farshadfar, E. & Ahmadi, J. (2015). Evaluation of Genotype × Environment Interaction of Grapevine Genotypes (*Vitis vinifera* L.) By Non Parametric Method. *J. Agr. Sci. Tech.* (2015), 17: 1279-1289.
 184. Rastoin, J.L. & Benabderrazik, E.L. (2014). Céréales et oléagineux au Maghreb. document de l'Institut de prospective économique du monde méditerranéen (*Ipemed*). 136 pages.

185. Rathod, S.K.K., Dobariya, L., Jivani, L.L. & Ponkia, H.P. (2008). Analysis for test weight, protein content and grain yield in six crosses of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Advances in Plant Sci.*, 2008, 21(1): 99-101.
186. Rea, R., De Sousa-Vieira, O., Díaz, A., Ramón, M., Briceño, R., George, J., Niño, M. & Demey, J. (2015). Assessment of yield stability in sugarcane genotypes using non-parametric methods. *Agronomía Colombiana* 33(2): 131-138.
187. Rebetzke, G.J., Richards, R.A., Fettell, N.A., Long, M., Condon, A.G. & Forrester, R.I., (2007). Genotypic increases in coleoptiles length improves stand establishment, vigour and grain yield of deep-sown wheat. *Field Crops Res.* 100: 10–23.
188. Rebulard, S. (2015). Nourrir 9 milliards de personnes en 2050 : le défi alimentaire Quelques données du problème <http://edu.mnhn.fr/mod/page/view.php?id=1429>.
189. Rehman, M.A., Siddiquie, N.A., Alam, M.R., Khan, S.M.R. & Alam, M.S. (2003). Genetic analysis of some yield contributing and quality characteristics in spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *Asian J. Plant Sci.* 2(3): 277-282.
190. Reynolds, M., Dreccer, F. & Trethowan, R. (2007). Drought-adaptative traits derived from wheat wild relatives and landraces. *Journal of experimental botany.* Vol 58(2): 177-186.
191. Rezgui, S. (1993). Estimates of Genetic Variability and Efficiency of Early Generation Selection for Grain Yield and Protein Content in Durum Wheat Crosses (*Triticum turgidum*. L. var. *durum*). *PhD thesis, Oregon State University, 117 pages*
192. Riaz, R. & Chowdhry, M.A. (2003). Genetic analysis of some economic traits of wheat under drought conditions. *Asian J. Pl. Sci.* 2: 790-796.
193. Riaz, U.D., Subhani, G.M., Ahmad, N., Hussain, M. & UR Rehman, A. (2010). Effect of temperature on development and grain formation in spring wheat. *Pak. J. Bot.*, 42(2): 899-906.
194. Richards, R.A., Rebetzke, G.J., Condon, A.G. & Van Herwaarden, A.F. (2002). Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. *Crop Sci.*, 42: 111–121.
195. Royo, C., Elias, E. & Manthey, F. (2009). Durum Wheat Breeding. In: Carena M. (eds) Cereals. Handbook of Plant Breeding, vol 3. Springer, New York, NY
196. Sabaghnia, N., Mohammadi, M. & Karimizadeh, R. (2013). Parameters of AMMI model for yield stability analysis in durum wheat. *Agric. Cons. Sci.* 78: 119-124.
197. Sachan, M.S. & Singh, S. P. (2003). Genetics of yield and its components in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *J. Interacademia, India*, 7(2):140-143.

198. Saleem, B., Khan, A.S., Shahzad, M.T. & Ijaz, F. (2016). Estimation of heritability and genetic advance for various metric traits in seven F2 populations of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Agricultural Sciences* Vol. 61, No. 1, Pages 1-9
199. Salman, Q.Q. & Brinkman, M.A. (1990). Inheritance of growth and other agronomic traits in two Oat (*Avena sativa* L.) crosses. *Qatar Univ. Sci. Bull.*, 10: 133-144.
200. Salmi, M., Haddad, L., Oulmi, A., Benmahammed, A. & Benbelkacem, A. (2015). Variabilité phénotypique et sélection des caractères agronomiques du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi arides. *European Scientific Journal*, 11(21): 99-111.
201. Schmildt, E.R. & Cruz, C.D. (2005). Análise da adaptabilidade e estabilidade do milho pelos métodos de Eberhart e Russell (1966) e de Annicchiarico (1992). *Revista Ceres*, 52(299): 45-58.
202. Schmildt, E.R., Nascimento, A.L., Cruz C.D. & Oliveira, J.A.R. (2011). Evaluation of methodologies of adaptability and stability in corn cultivars. *Maringá*, 33(1): 51-58.
203. Schulthess, A., Matus, I., & Schwember, A.R. (2013). Genotypic and environmental factors and their interactions determine semolina color of elite genotypes of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) grown in different environments of Chile. *Field Crop Res.* 149:234–244.
204. Sepahi, A. (1972). Heritability of yield stability in barley (*Hordeum Vulgare* L.). *PhD Thesis, Macdonald College McGill University Montreal* 143 pages.
205. Shahid, N., Abduslam, K. & Zuflqar, A. (2015). Combining ability analysis for yield and yield contributing traits in bread wheat. *J. Agric. Social Sci.*, 2: 129-132.
206. Shahzad, K. & Chowdhry, M. A. (1998). Study of combining ability for plant height, yield and some leaf characteristics in bread wheat. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 8(1): 23-25.
207. Sharma, A.K. & Garg, D.K. (2002). Genetic variability in wheat (*Triticum aestivum* L.) crosses under different normal and saline environments. *Annals Agric. Res.*, 23(3): 497- 499.
208. Sharma, J.R. (2008). Statistical and Biometrical Techniques in Plant Breeding. *New Age International, India*, 440 pages.
209. Sharma, S.N., Sain, R.S. & Sharma, R.K. (2003). The genetic control of the flag leaf length in normal and late sown durum wheat. *Journal of Agricultural Science* 141: 323-331.
210. Shukla, G.K. (1972). Some aspects of partitioning genotype × environmental components of variability. *Heredity*. 29: 237–245.
211. Singh, B. (2001). Plant Breeding: Principles and Methods, 6th ed., *Kalyani Publishers, New Delhi, India*.

212. Singh, B.N., Vishwakarma, S.R. & Singh, V.K. (2010). Character association and path analysis in elite lines of wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. Plant Arch.*, 10(2): 845-847.
213. Singh, G.P. & Chaudhary, H.B. (2006). Selection parameters and yield enhancement of wheat (*Triticum aestivum* L.) under different moisture stress conditions. *Asian Journal of Plant Sciences*, 5:894-898.
214. Singh, H., Sharma, S.N., Sain, R.S. & Singhania, D.L. (2003). The inheritance of production traits in bread wheat by diallel analysis. *Sabrao J. Breed. And Gen.*, 35(1): 1-9.
215. Singh, R.K. & Chaudhary, B.D. (2012). Biometrical methods in quantitative genetic analysis. *Kalyani, New Delhi*. 318 pages.
216. Singh, S.P., Singh, L.R., Yadav, V.K., Geeta, S., Kumar, R., Singh, P.B. & Singh, G. (2002). Combining ability analysis for yield traits in bread wheat. (*Triticum aestivum* L.). *Progressive Agriculture*. 2(2): 119-121.
217. Sisay, A. (2013). Comparison of parametric and non parametric methods to describe genotype by environment interaction and grain yield stability of bread wheat. *Master Thesis Addis Ababa University College of natural science department of statistics, Ethiopia*.
218. Smith, J.D. & Kinman, M.L. (1965). The use of parent-offspring regression as an estimator of heritability. *Crop Sci*. 5:595-596.
219. Spagnoletti-Zeuli, T.L. & Qualset, P. O. (1990). Flag leaf variation and the analysis of diversity in durum wheat. *Plant Breeding*. 105: 189 – 202.
220. Steel, R.G.D. & Torrie, J. (1980). Principles and Procedures of Statistics, A Biometric Approach. *McGraw-Hill Book Company, NY.*, 633 pages.
221. Subira, J., Ammar, K., Alvaro, F., Garcia del Moral, L.F., Dreisigacker, S. & Royo, C. (2016). Changes in durum wheat root and aerial biomass caused by introduction of the *Rht-B1b* dwarfing allele and their effects on yield formation. *Plant Soil* 403:291-304.
222. Tazeen, M., Khan, N. & Naqvi, F.N. (2009). Heritability, phenotypic correlation and path coefficient studies for some agronomic characters in synthetic elite lines of wheat. *J. of Food, Agric. & Enviro.*, 7 (3,4):278-282.
223. Temesgen, T., Keneni, G., Sefera, T. & Jarsob, M. (2015). Yield stability and relationships among stability parameters in faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. *The crop journal*, 3: 258-268.
224. Thennarasu, K., (1995). On certain non-parametric procedures for studying genotype-environment interactions and yield stability. *PhD Theses, P. J. School, IARI. New Delhi, India*.
225. Tsegaye, D., Dessalegn, T., Dessalegn, Y. & Getnet, S. (2012). Genetic variability, correlation and path analysis in durum wheat germplasm (*Triticum durum* Desf). *Agricultural Research and Reviews Vol. 1(4): 107 – 112*.

226. Ullah, S., Khan, A.S., Raza, A. & Sadique, S. (2010). Gene action analysis of yield and yield related traits in spring wheat (*Triticum aestivum*). *Int. J. Agric. Biol.* 12: 125-128.
227. Vasconcelos, E.S., Reis, M.S., Cruz, C.D., Sedyama, T. & Scapim C.A. (2010). Adaptability and stability of semi-late and late maturing soybean genotypes in Minas Gerais state. *Acta Scientiarum. Agronomy Maringá*, 32(3): 411-415.
228. Vogel, K.P., Haskins, F.A. & Gorz, H.J. (1980). Parent-Progeny Regression in Indian grass: Inflation of Heritability Estimates by Environmental Co variances. *Crop Sci.* 20(5): 580-582.
229. Whan, B.R., Rathjen, A.J. & Night, R. (1981). The relation between wheat lines derived from F1, F3, F4 and F5 generations for grain yield and harvest index. *Euphytica* 30: 419-430.
230. Wricke, G. (1962). Über eine Methode zur Erfassung der ökologischen Streubreite in Feldversuchen. *Z. Pflanzenzücht.* 47: 92–96.
231. Wright, A.J. (1985). Diallel designs, analyses, and references populations. *Heredity* 54:307-311.
232. Yates, F. & Cochran, W.G. (1938). The analysis of groups of experiments. *J. Agric. Sci.* 28: 556-580.
233. Yousaf, A., Babar, M.A., Javed, A., Monneveux, P. & Zahid, L. (2008). Genetic variability, association and diversity studies in wheat (*Triticum aestivum* L.) germplasm. *Pak. J. Bot.*, 40(5): 2087-2097.
234. Zanganeh, A.Y., Khodarahmi, M., Mahmoud, N.S., Mohamadi, A. & Peyghambari, A.S. (2012). Genetic Study of Grain Yield and its Components in Bread Wheat Using Generation Mean Analysis under Water Stress Condition. *Journal of Plant Physiology and Breeding*, 2(2): 55-60.
235. Zanke, C.D., Ling, J., Plieske, J., Kollers, S., Ebmeyer, E., Korzun, V., Argilli, O., Gunther, S., Maike, H.M., Neumann, F., Eichhorn, A., Polley, A., Jaenecke, C., Martin, W. & Marions, G. (2015). Analysis of main effect QTL for thousand grain weight in European winter wheat (*Triticum aestivum* L.) by genome-wide association mapping . *Röder Front Plant Sci.* 6: 644.
236. Zarei, B., Naderi, A., Jalal Kamali, M.R., Lack, S.h. & Modhej, A. (2013). Determination of physiological traits related to terminal drought and heat stress tolerance in spring wheat genotypes. *Intl J Agri Crop Sci.* 5 (21): 2511-2520.
237. Zerga, K., Mekbib, F. & Dessalegn, T. (2016). Estimation of Association among Growth and Yield related Traits in Bread Wheat (*Triticum aestivum*. L.) Genotypes at Gurage Zone, Ethiopia. *International Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 3(2):123-134.

238. Zhan, K.H., Wang, F.T., Cui, D.Q. & Fan, L. (1996). Analysis of the combining ability of some quality characteristics in wheat. *Acta Agriculturae Boreali Sinica*. 11: Supplement, 10-15.
239. Zhang, Z.F. (1983). Studies on the effectiveness of selection for quantitative characters in wheat. I. Heritability and direct selection. *Acta Agronomica Sinica*, 9: 129-138.

ANNEXE

COMBINING ABILITY AND GENE ACTION ESTIMATES FOR SOME YIELD ATTRIBUTES IN DURUM WHEAT (*Triticum turgidum* L. var. durum)

A. Hannachi^{1,2*}, Z. Fellahi^{1,3}, A. Rabti¹, A. Guendouz² and H. Bouzerzour⁴

¹Département d'Agronomie, Fac. Sci. Nat. Vie, UFA Sétif 1, Algérie.

²Institut National de la Recherche Agronomique (INRAA), Unité de Recherche de Sétif, Algérie.

³Département d'Agronomie, Fac. Sci. Nat. Vie Sci. Univers, UMBI Bordj Bou Arréridj, Algérie.

⁴Département d'Ecologie et Biologie Végétale, Fac. Sci. Nat. Vie, Laboratoire VRBN, UFA Sétif 1, Algérie.

Received: 22 January 2017 / Accepted: 19 August 2017 / Published online: 01 September 2017

ABSTRACT

Combining ability and gene action of a set of durum wheat characters were studied using 6 x 6 half diallel crosses. Results revealed that general (GCA) and specific (SCA) combining ability mean squares were significant for all studied traits, suggesting the importance of both additive and nonadditive components in the inheritance of these traits. Baker ratio indicated the predominance of additive gene effects for the majority of traits studied except grain yield. From the GCA effect, it was observed that none of the six parents was a good general combiner for all yield components. Among the fifteen crosses, Zenati-Bouteille/Flamengo x Gta/durum followed by Waha x Ofanto, Waha x Mexicali₇₅ and Ofanto x Guemgoum Rkhem expressed the greatest positive SCA effect for grain yield. Days to heading and spikes number index could be used as an indirect selection criterion for better grain yield. Therefore, selecting early heading genotypes having high fertile tillers number could improve grain yield.

Keywords: durum wheat; diallel cross; GCA; SCA; yield.

*Author Correspondence, e-mail: abderhannachi@yahoo.fr

doi: <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v9i3.17>



1. INTRODUCTION

Dans le monde, le blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) est cultivé sur environ 17 millions d'hectares. Le bassin méditerranéen est la plus grande zone de production et de consommation du blé tout comme où elle est, aussi, la principale culture. Sa conduite est réalisée sous conditions pluviales ce qui l'expose souvent aux effets des divers stress tant biotiques qu'abiotiques générés par la dominance, en fin de cycle, par les hautes températures et le déficit hydrique [1]. L'amélioration des rendements de cette espèce peut être réalisée à travers l'adoption des techniques de cultures adéquates et/ou par l'amélioration génétique pour le développement de génotypes performants et adaptés à la variation des milieux de production [2]. Le rendement en grains est un caractère à hérédité complexe et il est fortement affecté par l'environnement [3]. Il est la résultante de l'interaction de plusieurs caractéristiques morpho-physio-agronomiques, dont les composantes du rendement sont les plus déterminantes [4]. L'amélioration des caractères complexes comme le rendement est accomplie via l'amélioration des différentes composantes. Ces caractères montrent une hérédité moins complexe et sont liés au rendement [5]. Ainsi pour parvenir à améliorer de tels caractères, le sélectionneur se doit de connaître la nature des actions géniques impliquées dans leur contrôle génétique [6]. En effet seule l'action génique de nature additive et les interactions de nature additive x additive sont exploitables en sélection chez les espèces autogames comme le blé [7]. De telles informations, ainsi que les relations entre les composantes et le rendement, déterminent la méthode de sélection à déployer pour développer des variétés de blé à haut potentiel de rendement [8, 9]. Le dispositif diallèle est employé par les sélectionneurs pour déterminer les effets d'aptitudes à la combinaison [10].

L'aptitude générale à la combinaison est la capacité d'un génotype à transmettre ses caractéristiques désirables à sa descendance. Cette capacité est largement déterminée par les actions de nature additive. Par contre l'aptitude spécifique à la combinaison est la capacité de certaines combinaisons hybrides à montrer des performances significativement plus élevées ou plus faibles que celles prédites sur la base de la performance moyenne des parents. Des résultats de diverses recherches suggèrent que la sélection précoce est effective pour les caractères à hérédité simple et qui sont sous contrôle génétique de nature additive. Par contre,

elle doit être retardée pour les caractères complexes qui sont sous contrôle polygénique de nature non additive [11]. Des effets d'AGC et d'ASC significatifs, avec prédominance de la dominance sont observés pour la biomasse, le rendement, le poids des épis et le nombre d'épis, suggérant de retarder la sélection de ces caractères [11]. Par contre, la prépondérance des effets additifs est rapportée par Kashif et Khaliq [12], Mahmood *et al.* [13] et Rathod *et al.* [14] lesquels suggèrent que des croisements simples soient réalisés entre parents de bonnes valeurs propres, suivis de la sélection précoce, pour isoler des lignées de bonnes valeurs pour les caractères ciblés. La présence d'effets additifs et de dominance est rapportée par Rabbani *et al.* [15], Farooq *et al.* [16], Fellahi *et al.* [2, 8, 17]. L'objectif de cette investigation est de déterminer les aptitudes à la combinaison, le mode d'action des gènes, l'héritabilité et l'association génétique entre les caractères agronomiques des populations F_2 générées à partir d'un plan de croisement en demi-diallèle entre six génotypes de blé dur.

2. EQUIPEMENTS ET METHODES

L'expérimentation a été conduite sur le site expérimental de l'unité de recherche de l'INRAA, Station de Sétif ($36^{\circ} 15' N$ et $5^{\circ} 37' E$, 981 m) au cours de la campagne agricole 2013/14. Le matériel végétal est constitué de quinze populations F_2 issues d'un croisement demi-diallèle (6×6) réalisé entre six variétés de blé dur [8]. Ces variétés sont Waha (P_1), Zenati-Bouteille/Flamengo (P_2), Mexicali₇₅ (P_3), Ofanto (P_4), Gta/durum (P_5) et Guemgoum Rkhem (P_6). Les parents et les populations F_2 ont été semés dans un dispositif en blocs complètement randomisés avec trois répétitions. La parcelle élémentaire est constituée d'un rang de 10 m de long, avec un espace inter rangs de 30 cm. L'espace entre graines sur le rang est de 15 cm. Les notations et mesures ont porté sur la détermination de la teneur en chlorophylle (Chl, Spad), la date d'épiaison (DE, jours), la hauteur de la plante (HT, cm), la longueur de l'épi (LE, cm), le nombre d'épis par plante (NE), le nombre de grains par épi (NGE), le poids de mille grains (PMG, g), le rendement en grains par plante (RDT, g) et l'indice de récolte (IR, %). Les données collectées sur les parents et leurs hybrides ont été soumises à une analyse de la variance selon Steel et Torrie [18] pour déterminer l'effet génotype. Les caractères, qui montrent un effet génotype significatif sont soumis à une

analyse génétique selon la méthode II, modèle I de Griffing [19].

La variance additive (σ^2_A), représentant la proportion de la variation génétique due aux effets des gènes additifs, et la variance de dominance (σ^2_D), qui exprime la variation génétique non additive, sont déterminées par : $\sigma^2_A = 2\sigma^2_{AGC}$, $\sigma^2_D = \sigma^2_{ASC}$

Les variances [génétique (σ^2_G), phénotypique (σ^2_P) et environnementale (σ^2_E)] sont calculées par : $\sigma^2_G = \sigma^2_A + \sigma^2_D$, $\sigma^2_P = \sigma^2_G + \sigma^2_E$, $\sigma^2_E = CM_{erreur}$

Le ratio génétique de Baker (RG) [20] a été calculé pour déterminer le mode d'action des gènes :

$$RG = 2\sigma^2_{AGC} / (2\sigma^2_{AGC} + \sigma^2_{ASC})$$

Où : σ^2_{AGC} et σ^2_{ASC} sont respectivement les variances de l'AGC et de l'ASC.

Un ratio proche de l'unité suggère la prépondérance des effets géniques de nature additive. Des valeurs proches de zéro ($0 \leq RG \leq 0.5$) expriment, par contre, la dominance des effets géniques non additifs.

L'héritabilité au sens large (h_b^2) et au sens étroit (h_n^2) sont calculées par [21] :

$$h_b^2 = \frac{\sigma^2_G}{\sigma^2_P} \quad ; \quad h_n^2 = \frac{\sigma^2_A}{\sigma^2_P}$$

Les valeurs prises par l'héritabilité sont classées comme faibles (< 0.30), modérées ($0.30 - 0.60$) et élevées (> 0.60).

Les analyses statistiques sont faites par le logiciel GENES [22].

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Analyse de la variance et performances moyennes

L'analyse de la variance a révélé un effet génotype hautement significatif suggérant la présence de la variabilité pour l'ensemble des caractères étudiés, justifiant ainsi l'analyse génétique (Table 1). Les valeurs moyennes des différents caractères mesurés des parents et des F_2 sont présentées dans la table 2. Chez les parents, Guemgoum Rkhem (P_6) s'est distingué par des valeurs moyennes élevées pour la date d'épiaison (146.00 jours), la hauteur de la végétation (101.28 cm), la longueur de l'épi (8.03 cm) et le poids de mille grains (63.63 g). Cette variété a, par contre, affiché les plus faibles valeurs de la teneur en chlorophylle (26.22 unité Spad), la fertilité des épis (31.59 grains) et l'indice de récolte (30.44 %). La

variété Ofanto (P₄) a montré des performances pour la teneur en chlorophylle (41.76 unité Spad) et l'indice de récolte (43.59 %).

Table 1. Carrés moyens de l'analyse de la variance des caractères mesurés en F₂.

Source	DF	Chl	DE	HT	LE	NE	NGE	PMG	RDT	IR
Blocs	2	4.8	6.3	0.5	0.06	0.9	8.9	6.3	5.7	0.66
Génotypes	20	60.6**	17.8**	400.9**	1.08**	1.6**	148.2**	173.7**	5.9**	35.64**
Erreur	40	7.4	1.0	1.6	0.09	0.18	15.3	5.7	1.7	3.19
CV (%)		7.86	0.76	1.81	3.90	8.40	8.17	5.49	13.22	4.44

Chl: Teneur en chlorophylle (unité Spad); DE: Date d'épiaison (jours); HT: Hauteur de la plante (cm); NE: Nombre d'épi par plante; NGE: Nombre de grains par épi; PMG: Poids de mille grains (g); RDT: Rendement en grains par plante (g); IR: Indice de récolte (%); **: Effet significatif au seuil de 1%; CV: Coefficient de variation (%).

Les moyennes les plus élevées du nombre d'épis par plante (5.70 épis), du nombre de grains par épi (58.22 graines) et du rendement en grains (12.61 g) sont notées, respectivement chez Waha (P₁), Gta/durum (P₅) et Mexicali₇₅ (P₃). D'autre part, Waha (P₁), Zenati Bouteille/Flamengo (P₂) et Ofanto (P₄) sont les parents les plus précoces avec 136 jours, soit une différence de 10 jours relativement au cultivar le plus tardif, Guemgoum Rkhem (P₆). Zenati Bouteille/Flamengo (P₂) se distingue aussi par une hauteur (60.43 cm) et un épi (6.49 cm) les plus courts. Le potentiel de tallage-épi le plus faible (5 épis/plante) est mesuré chez Ofanto (P₄) alors que le poids moyen de 1000 grains le plus faible (36.47 g) est exprimé chez Mexicali₇₅.

Chez les populations F₂, l'étude des valeurs moyennes montre que les meilleures valeurs sont variables, selon le caractère, et aucune population ne présente des valeurs élevées pour l'ensemble des caractères mesurés. Ainsi, la population Waha x Ofanto (P₁ x P₄) présente les meilleures performances pour la teneur en chlorophylle (40.54 unité Spad), le rendement en grains (12.61 g) et l'indice de récolte (46.54 g). Mexicali₇₅ x Guemgoum Rkhem (P₃ x P₆) se caractérise par sa tardivité (141.00 jours) et la longueur de l'épi (9.02 cm), alors que Waha x Guemgoum Rkhem (P₁ x P₆), Mexicali₇₅ x Gta/durum (P₃ x P₅) et Ofanto x Guemgoum Rkhem (P₄ x P₆) expriment les meilleures performances pour la hauteur (90.22 cm), le nombre de grains par épi (60.06 graines) et le poids de mille grains (52.05 g). Globalement, les populations ayant Guemgoum Rkhem (P₆) comme géniteur sont intéressantes pour

améliorer la hauteur de la plante, la longueur de l'épi et le poids de mille grains. Celles ayant Ofanto (P₄) comme parent sont intéressantes pour réduire la durée du cycle végétatif et améliorer la teneur en chlorophylle et le rendement en grains. Relativement aux valeurs moyennes observées chez les parents, les populations F₂ présentent des améliorations notables des caractères mesurés (Table 2).

Table 2. Valeurs moyennes des caractères mesurés chez les parents et les populations F₂.

Génotype	Chl	DE	HT	LE	NE	NGE	PMG	RDT	IR
P ₁	36.89	136.00	67.41	7.18	5.70	41.64	37.27	7.91	41.19
P ₂	38.30	136.00	60.43	6.49	5.27	36.92	37.20	7.78	38.69
P ₃	34.00	139.00	61.98	7.77	4.80	55.85	36.47	10.42	39.02
P ₄	41.76	136.00	61.57	7.10	5.00	45.60	50.77	8.84	43.59
P ₅	31.71	137.00	62.12	7.57	3.97	58.22	38.30	8.48	43.04
P ₆	26.22	146.00	101.28	8.03	4.17	31.59	63.63	8.25	30.44
P ₁ x P ₂	36.83	137.00	68.72	7.31	6.13	45.49	37.17	9.56	37.80
P ₁ x P ₃	39.45	136.33	66.73	7.68	6.27	50.28	38.89	12.21	41.73
P ₁ x P ₄	40.54	135.67	64.67	7.26	6.23	50.04	40.20	12.61	46.54
P ₁ x P ₅	37.60	136.67	67.52	7.67	5.97	48.68	37.50	10.45	41.45
P ₁ x P ₆	31.80	138.33	90.22	8.28	5.63	41.20	48.57	10.67	38.52
P ₂ x P ₃	30.55	138.67	63.43	7.13	5.13	45.47	38.40	8.92	39.10
P ₂ x P ₄	39.11	136.67	67.42	6.92	4.33	47.18	45.60	9.96	43.19
P ₂ x P ₅	29.11	136.67	67.73	7.45	5.90	50.60	37.33	11.54	39.43
P ₂ x P ₆	28.44	140.67	88.42	7.95	4.00	46.56	54.22	10.71	36.75
P ₃ x P ₄	37.66	136.00	64.72	7.73	5.07	47.75	42.45	11.22	41.71
P ₃ x P ₅	32.23	139.67	61.55	7.84	5.33	60.06	36.69	8.98	43.14
P ₃ x P ₆	30.75	141.00	86.87	9.02	4.47	57.01	51.20	9.76	36.04
P ₄ x P ₅	40.01	137.00	66.82	7.62	4.63	56.18	42.40	10.38	43.59
P ₄ x P ₆	36.20	138.00	82.73	8.76	5.03	44.50	52.05	12.07	40.73
P ₅ x P ₆	31.59	139.33	75.43	8.28	4.30	48.01	50.37	10.40	38.57
Moy. Parents	34.81	138.33	69.13	7.36	4.82	44.97	43.94	8.61	39.33
Moy. F₂	34.79	137.85	72.20	7.79	5.23	49.27	43.54	10.63	40.55
Ppds_{5%}	5.56	1.79	5.72	0.61	0.88	8.89	5.24	2.56	3.80

Chl: Teneur en chlorophylle (unité Spad); DE: Date d'épiaison (jours); HT: Hauteur de la plante (cm); NE: Nombre d'épi par plante; NGE: Nombre de grains par épi; PMG: Poids de mille grains (g); RDT: Rendement en grains par plante (g); IR: Indice de récolte (%).

3.2. Analyse des aptitudes à la combinaison et l'héritabilité

Les carrés moyens des AGC et ASC sont donnés dans la table 3. Les effets d'AGC et ASC des variables étudiées sont significatifs pour la majorité des caractères mesurés. Ces résultats

indiquent que les actions géniques de nature additive et non additive sont impliquées dans l'expression de ces caractères à l'exception de l'AGC du rendement et l'ASC du poids de mille grains pour lesquels les effets sont non significatifs. Le ratio génétique de Baker pour la teneur en chlorophylle, la date d'épiaison, la hauteur, la longueur de l'épi, le nombre d'épi, le nombre de grains par épi, le poids de mille grains et l'indice de récolte indique la prépondérance des effets additifs dans le contrôle génétique de ces caractères (Table 3). Par conséquent il est suggéré que la sélection précoce pour l'amélioration de ces caractères serait efficace. D'ailleurs, des résultats similaires ont été rapportés par Adel et Ali [5], Iqbal *et al.* [23], Shahid *et al.* [24] et Bouzerzour et Djekoun [25]. La prépondérance des effets de dominance pour le rendement en grains par plant suggère la complexité du système génique impliqué dans l'expression de ce caractère pour lequel la sélection doit être tardive.

L'héritabilité au sens large est élevée pour l'ensemble des caractères étudiés à l'exception du rendement en grains pour lequel ce paramètre génétique est modéré (Table 6). Les valeurs prises par l'héritabilité au sens étroit sont faibles pour le rendement en grains, moyennes pour la teneur en chlorophylle des feuilles, la longueur et le nombre d'épis et le nombre de grains par épi, et élevées pour la date d'épiaison, la hauteur de la végétation et le poids de mille grains indiquant une réponse élevée à la sélection pour ces caractères (Table 6). Selon Falconer [26] et Dabholkar [27], l'héritabilité au sens étroit mesure l'ampleur de la variation génotypique qui est principalement responsable de la modification de la composition génétique de la population par sélection. De plus, l'héritabilité au sens étroit est directement proportionnelle à la variance génétique additive et est maximale pour les caractères contrôlés par des effets additifs que de dominance [28]. Des valeurs élevées de l'héritabilité ont été rapportées, pour ces mêmes caractères, par plusieurs chercheurs dont Riaz *et al.* [29] et Ali *et al.* [30]. La date d'épiaison, la hauteur de la végétation et le poids de mille grains pourraient être utiles comme des critères de sélection précoce des génotypes d'élite à l'intérieur de ce matériel génétique en ségrégation.

Table 3. Analyse de la variance des aptitudes générale (AGC) et spécifique (ASC) à la combinaison, l'héritabilité et le ratio de Baker des caractères mesurés en F₂.

Source	ddl	Chl	DE	HT	LE	NE	NGE	PMG	RDT	IR
AGC	5	192.19**	59.81**	1491.34**	3.13**	4.02**	414.33**	663.60**	2.69 ^{ns}	119.23**
ASC	15	16.84*	3.82**	37.50**	0.39**	0.89**	59.59**	10.47 ^{ns}	7.09**	7.78*
Erreur	40	7.47	1.10	1.67	0.09	0.18	15.39	5.75	1.77	3.19
σ^2_{AGC}		23.71	7.43	186.35	0.39	0.50	51.15	82.71	0.26	14.77
σ^2_{ASC}		7.18	1.73	18.47	0.18	0.42	27.23	4.28	3.25	3.36
AGC/ASC		11.4	15.7	39.8	8.0	4.5	7.0	63.4	0.4	15.3
RG		0.87	0.90	0.95	0.81	0.70	0.79	0.97	0.14	0.90
h^2_b		0.71	0.84	0.99	0.80	0.75	0.76	0.91	0.51	0.78
h^2_n		0.59	0.70	0.90	0.56	0.44	0.53	0.88	0.02	0.67

Chl: Teneur en chlorophylle (unité Spad); DE: Date d'épiaison (jours); HT: Hauteur de la plante (cm); NE: Nombre d'épi par plante; NGE: Nombre de grains par épi; PMG: Poids de mille grains (g); RDT: Rendement en grains par plante (g); IR: Indice de récolte (%); ** et *: Effets significatifs au seuil de 1% et 5%, respectivement; h^2_b : Héritabilité au sens large; h^2_n : Héritabilité au sens étroit; RG: ratio génétique de Baker.

3.4. Analyse des effets des aptitudes à la combinaison

La valeur et le signe des effets d'aptitude à la combinaison sont utiles à connaître car ils servent d'aides à la sélection, dans les programmes d'amélioration, des parents qui combinent bien et des meilleures combinaisons hybrides pour les caractères d'intérêts [31]. Waha (P₁) et Ofanto (P₄) présentent un effet d'AGC positif et significatif pour la chlorophylle et un effet d'AGC négatif et significatif pour la durée de la phase végétative (Table 4). Ces variétés sont donc à privilégier comme géniteurs dans les cas où on cible l'amélioration du contenu en chlorophylle et la réduction de la durée de la phase végétative. Dans le cas où la sélection se fait dans le sens de l'allongement de la durée de la phase végétative Guemgoum Rkhem (P₆) est le géniteur à considérer en croisement car il présente un effet d'AGC significatif et de signe positif, de valeur 2.93 jours. Sur les hautes plaines orientales la sélection est faite dans le sens de la réduction de la durée de la phase végétative pour minimiser les effets des stress de fin de cycle en termes de réduction du rendement en grains [32].

Pour la hauteur de la végétation, Zenati-Bouteille/Flamengo (P₂), Mexicali₇₅ (P₃), Ofanto (P₄) et Gta/durum (P₅) présentent des effets d'AGC significatifs et de signes négatifs, à l'inverse de Guemgoum Rkhem (P₆) qui présente un effet d'AGC positif et significatif. Ces résultats suggèrent les parents qui combinent le mieux pour réduire ou augmenter la hauteur de la végétation. La hauteur d'une variété est une caractéristique désirable pour les agriculteurs,

notamment ceux qui pratiquent l'association céréales-élevage ovin ainsi que ceux qui adoptent la technique du semis direct. Elle détermine la quantité de paille à prélever comme litière et celle des résidus à laisser en plein champ pour protéger le sol de l'érosion hydrique et éolienne. Elle a des effets positifs sur le rendement en grains, notamment par la quantité de sucres solubles stockés temporairement au niveau du col de l'épi et remobilisée vers le grain au cours de la période de remplissage. Sous conditions semi-arides, les risques de verse, souvent avancés pour justifier l'utilisation des variétés courtes, sont rarement observés même chez les variétés locales les plus hautes.

Table 4. Valeurs des effets de l'aptitude générale à la combinaison (AGC).

Géotype	Chl	DE	HT	LE	NE	NGE	PMG	RDT	IR
P ₁	2.05**	-1.24**	-0.82	-0.14	0.73**	-2.16*	-3.50**	0.12	0.88*
P ₂	-0.37	-0.53	-2.83**	-0.49**	0.03	-3.39**	-2.30**	-0.52	-0.97*
P ₃	-0.62	0.47	-4.00**	0.16*	0.01	4.50**	-3.12**	0.20	-0.208
P ₄	4.18**	-1.32**	-3.72**	-0.15*	-0.06	0.07	2.33**	0.44	2.69**
P ₅	-1.20	-0.32	-4.49**	0.04	-0.21*	5.46**	-3.08**	-0.21	1.36**
P ₆	-4.05**	2.93**	15.87**	0.56**	-0.50**	-4.48	9.77**	-0.03	-3.74**
SE	0.51	0.195	0.241	0.06	0.08	0.731	0.447	0.25	0.333

Chl: Teneur en chlorophylle (unité Spad); DE: Date d'épiaison (jours); HT: Hauteur de la plante (cm); NE: Nombre d'épi par plante; NGE: Nombre de grains par épi; PMG: Poids de mille grains (g); RDT: Rendement en grains par plante (g); IR: Indice de récolte (%); ** et *: Effets significatifs au seuil de 1% et 5%, respectivement; SE: Erreur standard.

Suite à l'effet d'AGC significatif et positif, pour la longueur de l'épi, Guemgoum Rkhem (P₆) se présente comme un bon combineur pour l'amélioration de cette caractéristique. Zenati-Bouteille/Flamengo (P₂) et Ofanto (P₄) montrent, par contre, des effets d'AGC de signes négatifs pour cette caractéristique. Pour le nombre d'épi, Waha (P₁) est conseillé comme géniteur dans les situations où l'on cherche à améliorer ce caractère. Pour la fertilité de l'épi, Ofanto (P₄) et Gta/durum (P₅) présentent des effets d'AGC significatifs et positifs alors que Waha (P₁) et Zenati-Bouteille/Flamengo (P₂) présentent des effets d'AGC négatifs et significatifs. Pour le poids de mille grains, tous les parents ont montré des effets d'AGC significatifs. Néanmoins, seuls Guemgoum Rkhem (P₆) et Ofanto (P₄) présentent des effets d'AGC significatifs et positifs avec des valeurs d'AGC de 2.33 et 9.77, respectivement. Pour l'indice de récolte, Waha (P₁), Ofanto (P₄) et Gta/durum (P₅) présentent des effets d'AGC

significatifs et positifs. A l'opposé, Zenati-Bouteille/Flamengo (P_2) et Guemgoum Rkhem (P_6) présentent des effets significatifs et négatifs. Pour le rendement en grains, aucun parent ne présente d'effet d'AGC significatif. Ces résultats suggèrent qu'il est difficile d'améliorer le rendement, en utilisant le jeu des parents croisés.

L'aptitude spécifique à la combinaison (ASC) est considérée comme un bon critère pour sélectionner les meilleures populations F_2 pour un ou plusieurs caractères d'intérêts. Les valeurs de l'ASC indiquent que plusieurs populations F_2 se distinguent par des effets significatifs (Table 5). Ainsi, la population Zenati-Bouteille/Flamengo x Gta/durum ($P_2 \times P_5$) présente des effets d'ASC significatifs et positifs pour la hauteur de la végétation (3.74), le nombre d'épis par plante (0.97) et le rendement (2.21). Waha x Ofanto ($P_1 \times P_4$) présente aussi des effets d'ASC, négatif pour la hauteur de la végétation (-2.11) et positifs pour le rendement (2.00) et l'indice de récolte (2.77).

Table 5. Valeurs des effets de l'aptitude spécifique à la combinaison (ASC).

Croisement	Chl	DE	HT	LE	NE	NGE	PMG	RDT	IR
$P_1 \times P_2$	0.34	0.78	1.05	0.27	0.258	3.01	-0.587	-0.10	-2.31*
$P_1 \times P_3$	3.22	-0.89	0.23	-0.002	0.412	-0.10	1.953	1.84*	0.856
$P_1 \times P_4$	-0.49	0.24	-2.11**	-0.12	0.45	4.09	-2.199	2.00*	2.77**
$P_1 \times P_5$	1.96	0.24	1.52*	0.10	0.337	-2.66	0.516	0.49	-0.99
$P_1 \times P_6$	-1.01	-1.35*	3.85**	0.17	0.292	-0.20	-1.263	0.53	1.18
$P_2 \times P_3$	-3.26*	0.74	-1.057	-0.2	-0.021	-3.68	0.18	-0.81	0.08
$P_2 \times P_4$	0.50	0.53	2.65**	-0.11	-0.75**	2.46	1.915	-0.02	1.27
$P_2 \times P_5$	-4.16*	-0.47	3.74**	0.23	0.97**	0.49	-0.933	2.21**	-1.15
$P_2 \times P_6$	-1.94	0.28	4.06**	0.19	-0.64*	6.39**	3.11*	1.21	1.26
$P_3 \times P_4$	-0.70	-1.14	1.114	0.05	0.004	-4.86*	-0.41	0.53	-0.98
$P_3 \times P_5$	-0.75	1.53	-1.277	-0.024	0.43	2.06	-0.75	-1.06	1.79
$P_3 \times P_6$	0.62	-0.39	3.67**	0.606	-0.15	8.95**	0.90	-0.46	-0.28
$P_4 \times P_5$	2.23	0.66	3.71**	0.064	-0.20	2.61	-0.50	0.089	-0.66
$P_4 \times P_6$	1.26	-1.60**	-0.74	0.657	0.48*	0.86	-3.70**	1.61*	1.58
$P_5 \times P_6$	2.04	-1.26*	-7.27**	-0.01	-0.10	-1.01	0.04	0.59	0.75
SE	1.40	0.54	0.66	0.15	0.22	2.01	1.23	0.68	0.91

Chl: Teneur en chlorophylle (unité Spad); DE: Date d'épiaison (jours); HT: Hauteur de la plante (cm); NE: Nombre d'épi par plante; NGE: Nombre de grains par épi; PMG: Poids de mille grains (g); RDT: Rendement en grains par plante (g); IR: Indice de récolte (%); ** et *: Effets significatifs au seuil de 1% et 5%, respectivement; SE: Erreur standard.

Les F_2 Zenati-Bouteille/Flamengo x Guemgoum Rkhem ($P_2 \times P_6$), Mexicali₇₅ x Guemgoum Rkhem ($P_3 \times P_6$) et Ofanto x Guemgoum Rkhem ($P_4 \times P_6$) présentent des effets d'ASC

significatifs et positifs pour la hauteur, le nombre de grains par épi, le nombre d'épis et le rendement par plante. La sélection tardive est à suggérer pour les caractères des populations F₂ montrant des effets d'ASC significatifs.

3.5. Relations entre les caractères

Considéré comme étant complexe, sous contrôle polygénique et fortement influencé par l'environnement, la sélection basée sur le rendement est peu efficace. L'étude des corrélations génétiques fournit des informations clés sur la contribution relative des différents caractères dans l'élaboration du rendement en grains et aide à définir celui qui pourrait être utilisé comme critère de sélection pour identifier des lignées supérieures. La sélection indirecte sur la base des caractères qui présentent une héritabilité élevée associée à une forte corrélation avec le rendement est extrêmement recommandée. La matrice des corrélations entre les caractères mesurés en F₂ met en évidence de nombreuses relations significatives (Table 6). Le poids de mille grains est positivement et significativement corrélé avec la date d'épiaison, la hauteur de la végétation et la longueur de l'épi mais négativement lié au nombre d'épis par plante, au nombre de grains par épi et à l'indice de récolte.

Table 6. Coefficients de corrélations génotypiques entre les caractères mesurés en F₂.

	Chl	DE	HT	LE	NE	NGE	PMG	RDT	IR
Chl	1.000						r _{5%} = 0.432		
DE	-0.810**	1.000					r _{1%} = 0.548		
HT	-0.637**	0.790**	1.000						
LE	-0.534*	0.584**	0.694**	1.000					
NE	0.502*	-0.579**	-0.364	-0.326	1.000				
NGE	0.045	-0.217	-0.457*	0.236	-0.054	1.000			
PMG	-0.422	0.727**	0.857**	0.561**	-0.594**	-0.485*	1.000		
RDT	0.172	-0.232	0.084	0.370	0.373	0.281	-0.035	1.000	
HI	0.809**	-0.868**	-0.772**	-0.378	0.387	0.499*	-0.619**	0.322	1.000

Chl: Teneur en chlorophylle (unité Spad); DE: Date d'épiaison (jours); HT: Hauteur de la plante (cm); NE: Nombre d'épi par plante; NGE: Nombre de grains par épi; PMG: Poids de mille grains (g); RDT: Rendement en grains par plante (g); IR: Indice de récolte (%); ** et *: corrélation significatifs au seuil de 1% et 5%, respectivement.

De cette étude, il ressort que la durée de la phase végétative semble être associée d'une part à un poids de mille grains et une hauteur élevés et d'autre part à une production réduite du nombre de talles fertiles et de la fertilité des épis. Ces résultats corroborent avec ceux obtenus

par Abbessene *et al.* [33] et Hannachi *et al.* [34]. Des corrélations hautement significatives sont enregistrées entre l'indice de récolte et la teneur en chlorophylle, la date d'épiaison, la hauteur des plantes et le poids de mille grains. L'augmentation de l'indice de récolte demeure la modification majeure intervenue en termes de progrès génétique réalisé chez les variétés de blé modernes par rapport aux variétés anciennes pendant la révolution verte [35]. Cette augmentation s'est traduite par une amélioration spectaculaire des rendements céréaliers. Aucune corrélation statistiquement significative n'est, par contre, observée entre le rendement et le reste des caractères étudiés. Ce résultat prouve la difficulté d'identifier un/des critère (s) de sélection indirecte autre que le rendement final. Néanmoins, les corrélations positives entre le rendement et le nombre d'épis d'une part et négatives entre le rendement et la date d'épiaison d'autre part, même avec faible amplitude, suggère que ces deux variables devraient être considérées comme étant de bons indicateurs d'une productivité élevée. Dans ce contexte, plusieurs auteurs dont Fellahi *et al.* [36] sur blé tendre et Guendouz *et al.* [37] sur blé dur attribuent à ces deux caractères une importance primordiale au regard de leurs contributions majeures au rendement sous conditions pluviales où les stress postfloraison sont omniprésents.

4. CONCLUSION

Les résultats montrent que les actions géniques de nature aussi bien additives que non additives sont impliquées dans le contrôle génétique des caractères étudiés, avec prépondérance des actions géniques de nature additive. Par conséquent, la sélection précoce pour améliorer la teneur en chlorophylle, la précocité à l'épiaison, la hauteur de la végétation, le nombre de grains par épi et le poids de mille grains pourrait être efficace. Quant à la sélection du rendement, elle doit être faite sur des générations tardives plus homogènes et ce, après fixation des effets géniques de dominance. La sélection à l'intérieure des croisements Waha x Ofanto ($P_1 \times P_4$), Zenati-Bouteille/Flamengo x Gta/durum ($P_2 \times P_5$) et Ofanto x Guemgoum Rkhem ($P_4 \times P_6$) pourraient apporter des améliorations de plusieurs caractéristiques à la fois dont le rendement suite aux effets positifs et significatifs enregistrés pour les ASC chez ces populations. Sous des conditions semi-arides, la sélection de génotypes

précoces ayant un nombre de talles fertiles élevé pourrait améliorer le rendement en grains chez le matériel génétique évalué.

5. REFERENCES

- [1] Nazco R, Villegas D, Ammar K, Pena R J, Moragues M, and Roy C. Can Mediterranean durum wheat landraces contribute to improved grain quality attributes in modern cultivars? *Euphytica*, 2012, 185: 1-17.
- [2] Fellahi Z, Hannachi A, Rabti A, Benmahammed A, et Bouzerzour H. Analyse graphique d'un croisement Lignées x Testeurs de blé tendre. Séminaire national sur la Problématique et les enjeux de l'agriculture Algérienne INRA Algérie- Université Abou Bakr Belkaid-Tlemcen - 11 Avril 2016.
- [3] Singh B N, Vishwakarma S R, and Singh V K. Character association and path analysis in elite lines of wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. Plant Arch.*, 2010, 10(2): 845-847.
- [4] Farshadfar E, Hasheminasab H, and Yaghotipoor A. Estimation of combining ability and gene action for improvement drought tolerance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) using GGE biplot techniques. *J. Agric. Sci.*, 2012, 4(9): 1-10.
- [5] Adel M M, and Ali E A. Gene action and combining ability in a six parent diallel cross of wheat. *Asian J. Crop Sci.*, 2013, 5(1): 14-23.
- [6] Singh R K, and Chaudhary B D. Biometrical methods in quantitative genetic analysis, Kalyani Publishers, New Delhi, India, 1985. 318 pages
- [7] Gallais A. Génétique quantitative et méthodes de sélection chez les espèces autopolyploïdes. Editions Quae, 2003, 515 pages.
- [8] Fellahi Z, Hannachi A, Bouzerzour H, and Boutekrabort A. Line \times Tester Mating Design Analysis for Grain Yield and Yield Related Traits in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Int. J. Agron.*, 2013, Article ID 201851, 9 pages.
- [9] Hannachi A, Fellahi Z, Bouzerzour H, and Boutekrabort A. Diallel-cross analysis of grain yield and stress tolerance-related traits under semi-arid conditions in Durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Elect. J. Plant Breed.*, 2013, 4(1): 1027-1033.
- [10] Nduwumuremyi A, Tongoona P, and Habimana S. Mating designs: helpful tool for

quantitative plant breeding analysis. J. Plant Breed. Genet., 2013, 1(3), 117-129.

[11] Hannachi A. Analyse diallèle de quelques caractères associés à l'adaptation du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. Mémoire de Magister, Université Saad Dahlab, Blida, 2013, 106 pages.

[12] Kashif M, and Khaliq I. Mechanism of genetic control of some quantitative traits in bread wheat. Pak. J. Biol. Sci., 2003, 6(18): 1586-1590.

[13] Mahmood N, Chowdhry M A, and Kashif M. Genetic analysis of some physio-morphic traits of wheat under drought condition (*Triticum aestivum* L.). Pak. J. Genet. Breed., 2003, 57: 385-391.

[14] Rathod S K K, Dobariya L, Jivani L L, and Ponkia H P. Analysis for test weight, protein content and grain yield in six crosses of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Advances in Plant Sci., 2008, 21(1): 99-101.

[15] Rabbani G M, Munir S U, Ajmal F, Hassan G, Shabbir, and Mahmood A. Inheritance of yield attributes in bread wheat under irrigated and rainfed conditions. Sarhad J. Agric., 2009, 25(3): 429-438.

[16] Farooq J, Khaliq I, Khan A S, and Pervez M A. Studying the genetic mechanism of some yield contributing traits in wheat. (*Triticum aestivum* L). Int. J. Agri. Biol., 2010, 12: 241-246.

[17] Fellahi Z, Hannachi A, Bouzerzour H, and Benbelkacem A. Inheritance Pattern of Metric Characters Affecting Grain Yield in Two Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Crosses Under Rainfed Conditions. 2015, Jordan J. Biol. Sci., 8(3): 175-181.

[18] Steel R G D, and Torrie J. Principles and Procedures of Statistics, A Biometric Approach. McGraw-Hill Book Company, NY., 1980, 633 pages.

[19] Griffing B. Concepts of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. Aust. J. Biol. Sci., 1956, 9: 463-493.

[20] Cruz C D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative. Acta Sci. Agron., 2013, 35(3): 271-276.

[21] Baker R J, Issues in diallel analysis. Crop Sci., 1978, 18(4): 533-536.

[22] Teklewold A, Becker H C. Heterosis and combining ability in a diallel cross of Ethiopian mustard inbred lines. Crop Sci., 2005, 45: 2629-2635.

-
- [23] Iqbal M, Navabi A, Salmon D F, Yang R C, and Spaner D. A genetic examination of early flowering and maturity in Canadian spring wheats. *Canadian J. Plant Sci.*, 2006, 86(4): 995-1004.
- [24] Shahid N, Abduslam K, and Zuflqar A. Combining ability analysis for yield and yield contributing traits in bread wheat. *J. Agric. Social Sci.*, 2015, 2: 129-132.
- [25] Bouzerzour H, and Djekoun A. Inheritance of grain yield and grain yield components in barley. *Rachis*, 1998, 16: 9-16.
- [26] Falconer D S. Introduction to quantitative genetics. Longman Scientific & Technical (Ed.), London, 1981, 340 pages.
- [27] Dabholkar A R. Elements of bio metrical genetics. Revised and enlarged edition. New Delhi: Concept Publishing Company, 1999, 493 pages.
- [28] Al-Tabbal J A, and Al-Fraihat A H. Heritability Studies of Yield and Yield Associated Traits in Wheat Genotypes, *J. Agric. Sci.*, 2012, 4(4): 11-22.
- [29] Riaz U D, Subhani G M, Ahmad N, Hussain M, and UR Rehman A. Effect of temperature on development and grain formation in spring wheat. *Pak. J. Bot.*, 2010, 42(2): 899-906.
- [30] Ali Y, Atta B M, Akhter J, Monneveux P, and Lateef Z. Genetic variability, association and diversity studies in wheat (*Triticum aestivum* L.) germplasm. *Pak. J. Bot.*, 2008, 40(5): 2087-2097.
- [31] Mather K, and Jinks J L. Biometrical Genetics. London, Chapman & Hall, 1971, 231 pages.
- [32] Bensemane L, et Bouzerzour H. Rythme de développement des variétés contrastées de blé dur (*Triticum durum* Desf). I- Analyse de la croissance-développement. *Rec. Agr.*, 2006, 18: 30-52.
- [33] Abbassene F, Bouzerzour H, et Hachemi L. Phénologie et production du blé dur (*T. durum* Desf.) en zone semi-aride d'altitude. *Annales Agronomiques. INA*, 1997, 18(1 et 2), 24-36.
- [34] Hannachi A, Fellahi Z, Bouzerzour H, and Boutkrabt A. Correlation, Path Analysis and Stepwise Regression in Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.) under Rainfed Conditions.

2013, J. Agr. Sust., 3(2): 122-131.

[35] Gallais A. Comprendre l'amélioration des plantes : Enjeu, methodes, objectifs et critères de sélection. Editions Quae, 2015, 231 p.

[36] Fellahi Z, Hannachi A, Guendouz A, Bouzerzour H, and Boutekrabt A. Genetic variability, heritability and association studies in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. Elec. J. Plant Breed., 2013, 4(2): 1161-1166.

[37] Guendouz A, Djoudi M., Guessoum S, Maamri K, Hannachi A, Fellahi Z, and Hafsi M. Genotypic and phenotypic correlations among yield and yield components in Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.) under different water treatments in Eastern Algeria. Ann. Res. & Review in Biol., 2014, 4(2): 432-442.

How to cite this article:

Hannachi A, Fellahi Z, Rabti A, Guendouz A, and Bouzerzour H. Combining ability and gene action estimates for some yield attributes in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*). J. Fundam. Appl. Sci., 2017, 9(3), 1519-1534.

ملخص:

أجريت هذه الدراسة على مستوى وحدة البحث بسطيف التابعة للمعهد الوطني الجزائري للأبحاث الزراعية (INRAA)، خلال خمسة مواسم زراعية متتالية (2012، 2013، 2014، 2015، 2016). استعملت في هذه الدراسة ستة اصناف من القمح الصلب وهجن الجيل الثاني (F2)، الثالث (F3) والرابع (F4) الناتجة من التهجين النصف التبادلي (halfdiallel) الذي تم تنفيذه سنة 2010. الصفات المدروسة تتعلق بالمرود الحبي و مكوناته بالإضافة الى بعض الصفات المورفولوجية و الفيزيولوجية. تهدف دراسة عشائر الجيل الثاني التي تمت خلال الموسم الزراعي (2012/2013) الى تحليل قابلية الاتلاف العامة والخاصة (AGC, ASC)، الفعل الجيني، مكونات التباين الظاهري و التباين الوراثي، نسبة التوريث بالمعنيين الواسع والضيق ومعدل درجة السيادة للصفات المدروسة و ذلك باستعمال الطريقة الثانية - النموذج الاول ل Griffing و طريقة التحليل البياني ل Hayman. خلال الموسمين (2013/2014 - 2014/2015)، تمت على التوالي زراعة سلالات 15 عشيرة من الجيل الثالث و الرابع. الهدف من هذه الدراسة هو تحليل العلاقات بين أداء أجيال F3 و F4 من نصف الهجين التبادلي و التحسين الوراثي المتوقع و آثارهما على تحسين القمح القاسي تحت ظروف الزراعة المطرية. أما بالنسبة الي دراسة و تحليل قابلية التكيف و استقرار المرود الحبي و التفاعل الوراثي البيئي للأصناف المستخدمة كأباء في التهجين النصف تبادلي فقد تمت خلال خمسة مواسم زراعية متتالية (2012 الي 2016) باستخدام بعض مؤشرات الاستقرار بالنسبة للمرود. تشير النتائج الى وجود تباين في الصفات المدروسة ضمن عشائر F2. وهذا يدل على إمكانية تحسين الخصائص ذات الأهمية. آثار AGC و ASC كبيرة لجميع المتغيرات تقريبا مما يؤكد وجود التأثيرات الإضافية و غير الإضافية للجينات على الصفات المدروسة. التحليل البياني دعم هذه النتائج. تراوحت قيم التوريث بالمعنى الضيق ما بين 2.20 للمرود الحبيبي 87.30 لوزن 1000 حبة و تبين من تقديرات معدل درجة السيادة و تحليل خط الانحدار وجود السيادة الجزئية للجينات التي بعض الصفات و السيادة الفاتكة للجينات لبعض الاخر. لوحظ وجود تباين ظاهري و تباين وراثي كبير في مجتمع الدراسة للجيلين F3 و F4. وهذا ما تؤكد قيم معاملات التباين المظهرية. قيم التوريث إلى جانب تقديرات عالية التحسين الوراثي المتوقع تشير إلى أن هناك إمكانيات فعالة لاختيار أنماط عالية الغلة. أظهر تحليل التباين المشترك تأثيرا كبيرا للتفاعل $G \times E$ ، وكانت آثار البيئة ذات أهمية كبيرة. واستنتج من هذه النتائج أن العامل الرئيسي الذي يؤثر على محصول القمح هو البيئة. وهذا يعني ضرورة دراسة الاستجابة التفاضلية من الأنماط الجينية إلى بيئات مختلفة. في هذه الدراسة تم استخدام العديد من الطرق لقياس استقرار غلة النمط الجيني. الدراسة المقارنة لهذه الأساليب جعلت من الممكن تحديد الصنفين Ofanto و Guemgoum Rkhem كأصناف مستقرة. النمط الوراثي Ofanto مثير جدا للاهتمام لأنه يحمل كلا من أداء المرود والاستقرار. من ناحية أخرى، Guemgoum Rkhem مهما كان مستقرا أداءه إلا ان مردوده هو الأدنى بين الأنماط الجينية المدروسة.

الكلمات المفتاحية: القمح الصلب - الهجين التبادلي - قابلية الإلتلاف - الانتخاب - استقرار المرود.

RESUME:

L'étude a été réalisée sur le site de l'unité de recherche de Sétif relevant de l'INRAA durant cinq campagnes agricoles successives (2012 à 2016). Six géotypes de blé dur et 15 populations F2, F3 et F4 obtenus par l'autofécondation de la F1 issue d'un croisement demi-diallele réalisé en 2010 ont été analysés. Le rendement grain et ses composantes et quelques caractères morfo-physiologiques ont été étudiés dans cette investigation. L'étude des populations F2, réalisée durant la campagne 2012/2013, a pour objectif l'analyse des aptitudes à la combinaison générale et spécifique, le mode d'action des gènes, les composantes de la variance, l'héritabilité et le degré de dominance en utilisant la méthode 2 - model 1 de Griffing et la méthode graphique de Hayman. Les quinze populations F3 et F4 ont été semées consécutivement durant les campagnes (2013/14 et 2014/15). L'objectif de l'étude est d'analyser les relations entre les performances des F3 et F4, le gain génétique attendu et leurs implications pour l'amélioration du blé dur sous conditions pluviales. Une étude de l'interaction $G \times E$, de l'adaptabilité et la stabilité du rendement des six variétés, utilisées comme parents dans le diallele incomplet, a été menée durant cinq campagnes agricoles (2012 à 2016) en utilisant certains indices de stabilité paramétriques et non paramétriques. Les résultats indiquent la présence de la variabilité pour les caractères étudiés. Ce qui suggère les possibilités d'améliorer les caractères d'intérêt. Les effets d'AGC et d'ASC sont significatifs pour l'ensemble des variables, suggérant l'implication aussi bien les effets additifs et non additifs dans le contrôle génétique des caractères étudiés. L'analyse graphique a confirmé ces résultats. Les valeurs de l'héritabilité au sens étroit ont oscillés entre 2.20 pour le RDT et 87.30 pour le PMG. L'estimation du degré de dominance et l'analyse de la courbe de régression montrent que certains caractères sont sous l'action de la dominance partielle alors que d'autres sont régi par la super dominance. Les variances phénotypiques et génotypiques significatives ont été observées en F3 et F4, ceci est confirmé par les valeurs des CVP et CVG. Des valeurs élevées d'héritabilité et du gain génétique attendu suggèrent qu'il existe des possibilités efficaces de sélection. L'analyse de la variance a montré des effets significatifs de l'interaction $G \times E$ et de l'environnement. Plusieurs méthodes, paramétriques et non paramétrique, ont été employées dans cette étude pour quantifier la stabilité du rendement des géotypes. L'étude comparative de ces méthodes a permis d'identifier les géotypes Ofanto et Guemgoum Rkhem comme géotype stable. Le géotype Ofanto détient à la fois la performance du rendement et la stabilité. Par contre, Guemgoum Rkhem quoi qu'il soit stable sa performance du rendement est la plus faible parmi les géotypes étudiés.

Mots-clés : Blé dur- diallele- aptitude à la combinaison- sélection- stabilité du rendement.