

UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA 1

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biotechnologies

Thèse

En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences Agronomiques

Spécialité : Amélioration des productions végétales

Etude de comportement de cultivars introduits d'orge et des variétés locales Tichedrett et Saïda dans les conditions de la zone de culture de la Mitidja. Hybridation diallèle et analyse des descendances

Par

Houria SEDIRA

Devant le jury composé de :

Mr. BENMOUSSA. M	Professeur, U. BLIDA 1	Président de Jury
Mr. AISSAT. A	M.C.A, U. BLIDA 1	Directeur de thèse
Mr. MEFTI. M	Professeur, E.N.S.A. El-Harrach	Examineur
Mr. LAZALI. M	M.C.A, U. Khemis Miliana	Examineur

Avril 2021

Résumé

La présente étude a été conduite en zone sub-humide centre (Mitidja) : - Un essai de comportement de six (06) variétés d'orge (*Hordeum vulgare* L.). Le rendement grains, ses composantes et quelques caractères phéno-morphologiques ont été étudiés dans cette investigation pendant deux années d'expérimentation : 2012/2013 et 2013/2014.

- Le deuxième essai, réalisé durant la campagne 2014/2015, consiste à effectuer une hybridation selon un plan en diallèle complet, sans diagonale, entre les six variétés d'orge, l'hybridation s'est soldée par l'obtention de trente combinaisons F_0 pour produire la première génération F_1 et ensuite la deuxième F_2 . Ces deux générations ont fait l'objet d'une étude comparative des divers caractères phéno-agro-morphologiques.

Les résultats de l'étude comparative indiquent la présence de la variabilité pour les caractères étudiés, chez les génotypes parentaux et les deux générations F_1 et F_2 .

Les différentes analyses réalisées (Hayman et Griffing) montrent l'implication aussi bien les effets additifs et non additifs dans le contrôle génétique des caractères analysés. L'analyse de Hayman a montré aussi des possibilités de transgression des caractères à partir des formules parentales chez les deux générations F_1 et F_2 .

Le passage de la génération F_1 à celle de la F_2 , a montré une augmentation de l'effet hétérosis ce qui indique une bonne aptitude spécifique à la combinaison.

Les fortes valeurs de l'héritabilité au sens large associées avec des valeurs élevées de coefficients de variation génotypique, pour certains caractères, suggèrent la possibilité de sélection des lignées performantes.

Mots clés : *Hordeum vulgare* L., comportement, diallèle, aptitudes générale et spécifique à la combinaison, hétérosis, héritabilité, additivité.

Abstract

The present study was conducted in the central sub-humid zone (Mitidja): - A behavioral test of six (06) varieties of barley (*Hordeum vulgare* L.). The grain yield, its components and some characters were studied for certain pheno-morphological characters during two years of experimentation: 2012/2013 and 2013/2014.

- The second test, carried out during the 2014/2015 campaign, consists in carrying out a hybridization according to a complete diallel plan, without diagonal, between the six barley varieties, the hybridization ended in obtaining thirty combinations F_0 for produce the first generation F_1 and then the second F_2 . Both generations have been the subject of a comparative study of the various pheno-agro-morphological characters.

The results of the comparative study indicate the presence of variability for the traits studied, in the parental genotypes and the two generations F_1 and F_2 . The various analyses carried out (Hayman and Griffing) show the implication of both additive and non-additive effects in the genetic control of the traits analyzed. Hayman's analysis also showed possibilities of the transgression of the character from the parental formulas in the two generations F_1 and F_2 .

The transition from the F_1 generation to that of the F_2 , has shown an increase in the heterosis effect, which indicates a good specific combining ability.

The high values of heritability in the broad sense associated with high values of genotypic coefficients, for some traits, suggest the possibility of selecting efficient lines.

Key words: *Hordeum vulgare* L., behavior, diallel, general and specific combining ability, heterosis, heritability, additivity.

ملخص

أجريت هذه الدراسة في منطقة شبه رطبة (متيجة): التجربة الأولى هدفها دراسة سلوك 6 أصناف شعير من خلال المردود الحبي ومكوناته وبعض الخصائص الفيزيولوجية والمورفولوجية لمدة سنتين (2013/2012 و 2014 /2013). أما التجربة الثانية التي أجريت سنة 2015/2014 هدفها هو اجراء تصالب من نوع diallèle كامل، غيرقطري، بين الأصناف الستة من الشعير. التصالب نتج عنه 30 هجين F_0 بعد جني السنابل الملقحة تحصلنا على الجيل الأول F_1 ومنه الجيل الثاني F_2 وذلك من أجل معالجة بعض الخصائص الزراعية للجيلين.

المقارنة بين الاباء من صنف الشعير وبين الجيلين F_1 و F_2 أظهرت وجود اختلاف بينهم في بعض الخصائص المدروسة.

التحليل باستعمال الطريقتين (Griffing و Hayman) للجيلين F_1 و F_2 نتج وجود تأثيرات اضافية وغير اضافية لجينات الصفات المدروسة. كما أن التحليل باستخدام طريقة (Hayman) أثبت امكانية توريث بعض الخصائص من الجيل الأول F_1 الى الجيل الثاني F_2 .

الانتقال عبر الأجيال مكن من وجود فارق في التهجين *hétérosis* وقابلية الانتلاف بين الأصناف.

القيم المرتفعة للوراثة مع ارتفاع معاملات التغير الجيني لبعض الخصائص المدروسة ادى الى امكانية الانتقاء.

الكلمات المفتاحية: *Hordeum vulgare* L. سلوك، قابلية الانتلاف بين الأصناف الخاصة والعامية، فارق التهجين *hétérosis*, اضافية.

REMERCIEMENTS

Je remercie DIEU de m'avoir donné la force de faire ce travail.

Je tiens à exprimer particulièrement mes profonds remerciements à Monsieur AISSAT. A, maître de conférences A, d'avoir accepté l'encadrement de cette thèse, pour sa patience pendant tout le long de ces années d'étude, et son soutien moral. Je le remercie pour ses conseils précieux qui ont conduit à l'achèvement ce travail. Qu'il trouve ici l'expression de mon plus profond respect et ma profonde gratitude.

Mes remerciements les plus chaleureux vont à Monsieur le professeur BENMOUSSA. M, qui a bien voulu de présider le jury.

À Monsieur MEFTI. M, professeur à l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie d'avoir pris sur son temps pour examiner ce travail et d'être présent.

À Monsieur LAZALI. M, maître de conférences A, à l'université de Khemis Miliana qui a bien voulu de participer au jury et d'examiner cette thèse.

À Monsieur BOUSALHIH. B, maître de conférences A, à l'université de Khemis Miliana pour le meilleur accueil dans son laboratoire afin d'apprendre les méthodes d'analyse génétique.

À Monsieur SADEK BENABBES. H, pour son aide dans la traduction de l'article.

Mes remerciements vont aussi à tous mes enseignants d'Agronomie qui ont contribué à ma formation.

Je remercie profondément tous le personnel de la station expérimentale de département pour leur aide et leur soutien.

A Tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de cette thèse.

DEDICACES

Je dédie ce travail à :

- La mémoire de mon père.
- Ma mère, mes frères et sœurs.
- Toute ma famille.
- A tous (tes) mes amis (es) et spécialement ceux qui m'ont offert leur aide et leur soutien inoubliable.

TABLE DE MATIERES

Résumé.....	2
REMERCIEMENTS.....	5
TABLE DE MATIERES.....	7
LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX.....	15
INTRODUCTION.....	17
CHAPITRE1.....	20
GENERALITES SUR L'ORGE	20
1.1. Origines et classification de l'orge	20
1.2. Importance de l'orge.....	22
1.2.1. Dans le monde.....	22
1.2.2. Au Maghreb	23
1.2.3. En Algérie	23
1.3. Zones de production de l'orge	25
1.3.1. Dans le monde.....	25
1.3.2. En Algérie	25
1.4. Les contraintes de production	26
1.5. Cycle biologique de développement de l'orge	27
1.5.1. De semis à la levée	27
1.5.2. De la levée à la formation des ébauches d'épillets.....	27
1.5.3. De l'épi 1 cm à la floraison	27
1.5.4. Au cours de la période maturation du grain.....	28
CHAPITRE 2.....	30
AMELIORATION GENETIQUE DE L'ORGE	30
2.1. Méthodes de création variétale.....	30
2.1.1. Création de matériel de départ.....	30
2.1.1.1 Croisements interspécifiques.....	30
2.1.1.2. Croisements intraspécifiques	30
2.1.1.3. Croisements diallèles	31
2.1.1.3.1. Définition	31
2.1.1.3.2. Méthodes d'interprétation du diallèle	31
2.2. Effets génétiques	33

2.3.	Héritabilité des caractères	34
2.4.	Hétérosis	35
2.5.	Sélection de l'orge	36
2.5.1.	Sélection pour améliorer la productivité	36
2.5.2.	Sélection pour améliorer l'adaptation	37
CHAPITRE 3.....		38
STRUCTURE DE RENDEMENT DE L'ORGE.....		38
3.1.	Nombre d'épis par m ²	38
3.2.	Nombre de grain par épi.....	38
3.3.	Le poids de mille grains.....	38
3.4.	Formation des composantes	39
CHAPITRE 4.....		41
MATERIEL ET METHODES.....		41
4.1.	Matériel végétal.....	41
4.2.	Mise en place de l'expérimentation	42
4.3.	Conditions climatiques des trois campagnes d'étude	43
4.3.1.	Pluviométrie	44
4.3.2.	Températures	44
4.3.3.	Conditions édaphiques	45
4.4.	Dispositif expérimental	45
4.5.	Conduite des essais	49
4.5.1.	Précédent cultural	49
4.5.2.	Travail de sol	49
4.5.3.	Semis	49
4.5.4.	Fertilisation	49
4.5.5.	Désherbage	50
4.5.6.	Irrigation.....	50
4.5.7.	Récolte	50
4.6.	Hybridation	50
4.6.1.	Castration	51
4.6.2.	Pollinisation	51
4.7.	Mesures et comptages	53
4.7.1.	Etude des caractères phénologiques	53

4.7.2.	Etude des caractères morphologiques.....	53
4.7.2.1.	Longueur de la paille (LP)	53
4.7.2.2.	Longueur du col de l'épi (LCE)	53
4.7.2.3.	Longueur de l'épi (LE)	53
4.7.2.4.	Longueur des barbes (LB)	53
4.7.2.5.	Longueur de la feuille étendard (LFE)	53
4.7.3.	Etude des caractères agronomiques.....	54
4.7.3.1.	Nombre de plants par mètre carré (NP).....	54
4.7.3.2.	Nombre de talles par plant (NT)	54
4.7.3.3.	Nombre d'épis par plant (NE)	54
4.7.3.4.	Nombre d'épillets fertiles et stériles par épi (NEPF) et (NEPS).....	54
4.7.3.5.	Nombre de grains de l'épi (NGE).....	54
4.7.3.6.	Poids de grains de l'épi (PGE).....	54
4.7.3.7.	Poids de mille grains (PMG)	54
4.7.3.8.	Poids de la biomasse aérienne (BIO)	55
4.7.3.9.	Rendement en grains estimé (RG)	55
4.7.3.10.	Rendement en grains réel (RR).....	55
4.7.3.11.	Indice de récolte (IR)	55
4.8.	Analyse de données.....	55
4.8.1.	Analyse statistique	55
4.8.2.	Analyse génétique	56
4.8.2.1.	Analyse diallèle de Hayman (1954)	56
4.8.2.2.	Analyse diallèle de Griffing (1956).....	57
4.8.2.3.	Calcul de l'hétérosis moyen.....	58
4.8.2.4.	Calcul de l'héritabilité et des coefficients de variation	58
CHAPITRE 5.....		59
RESULTATS ET DISCUSSION		59
5.1.	Étude des caractéristiques des variétés parentales.....	59
5.1.1.	Etude de la première année.....	59
5.1.1.1.	Précocité à l'épiaison	59
5.1.1.2.	Étude des caractères morphologiques	60
-	Longueur de la paille.....	60
-	Longueur du col de l'épi.	60

- Longueur de l'épi.....	60
- Longueur de la barbe.....	60
- Longueur de la feuille étendard.....	60
5.1.1.3. Étude des caractères agronomiques	61
- Nombre de plants par mètre carré.....	62
- Nombre de talles par plant.....	62
- Nombre d'épis par plant.....	62
- Nombre d'épillets fertiles par épi.....	62
- Nombre d'épillets stériles par épi.....	62
- Nombre de grains de l'épi.....	63
- Poids de grains de l'épi.....	63
- Poids de mille grains.....	63
- Poids de la biomasse aérienne.....	63
- Rendement en grains estimé.....	63
- Rendement en grains réel.....	63
- Indice de récolte.....	63
5.1.2. Etude de la deuxième année	65
5.1.2.1. Précocité à l'épiaison	65
5.1.2.2. Étude des caractères morphologiques	66
- Longueur de la paille.....	66
- Longueur du col de l'épi.....	66
- Longueur de l'épi.....	66
- Longueur de la barbe.....	67
- Longueur de la feuille étendard.....	67
5.1.2.3. Étude des caractères agronomiques	68
- Nombre de plants par mètre carré.....	68
- Nombre de talles par plant.....	68
- Nombre d'épis par plant.....	68
- Nombre d'épillets fertiles par épi.....	68
- Nombre d'épillets stériles par épi.....	68
- Nombre de grains de l'épi.....	69
- Poids de grains de l'épi.....	69
- Poids de mille grains.....	69

- Poids de la biomasse aérienne.....	69
- Rendement en grains estimé.....	69
- Rendement en grains réel.....	69
- Indice de récolte.....	70
5.1.3. Etude de l'effet année.....	71
5.1.3.1. Nombre de talles par plant.....	71
5.1.3.2. Nombre d'épillets stériles par épi.....	72
5.1.4. Etude de l'interaction génotype x année.....	72
5.1.4.1. Précocité à l'épiaison.....	73
5.1.4.2. Étude des caractères morphologiques.....	73
- Longueur de la paille.....	73
- Longueur du col de l'épi.....	73
- Longueur de l'épi.....	73
- Longueur de la barbe.....	73
- Longueur de la feuille étendard.....	74
5.1.4.3. Étude des caractères agronomiques.....	75
- Nombre de grains de l'épi.....	75
- Poids de grains de l'épi.....	75
- Poids de la biomasse aérienne par mètre linéaire.....	75
- Indice de récolte.....	75
5.1.5. Etude des corrélations.....	76
5.1.5.1. Etude des corrélations des caractères phéno-agro-morphologiques (essai 2012 / 2013).....	76
5.1.5.2. Etude des corrélations des caractères phéno-agro-morphologiques (essai 2013 / 2014).....	77
5.1.6. Discussion sur l'essai de la première année.....	77
5.1.6.1. Précocité à l'épiaison.....	78
5.1.6.2. Caractères morphologiques.....	78
5.1.6.3. Caractères agronomiques.....	79
5.1.7. Discussion sur l'essai de la deuxième année.....	80
5.1.7.1. Précocité à l'épiaison.....	80
5.1.7.2. Caractères morphologiques.....	81
5.1.7.3. Caractères agronomiques.....	81
5.2. Etude des caractéristiques des hybrides.....	83

5.2.1.	Hybrides F ₁	83
5.2.1.1.	Précocité à l'épiaison	83
5.2.1.2.	Caractères morphologiques	84
	- Longueur de la paille (LP).	84
	- Longueur du col de l'épi (LCE).	84
	- Longueur de l'épi (LE).	84
	- Longueur de la barbe (LB).	84
	- Longueur de la feuille étendard (LFE).	84
5.2.1.3.	Caractères agronomiques	86
	- Nombre de talles par plant (NT).	86
	- Nombre d'épis par plant (NE).	86
	- Nombre d'épillets fertiles par épi (NEPF).	86
	- Nombre d'épillets stériles par épi (NEPS).	86
	- Nombre de grains de l'épi (NGE).	86
	- Poids de grains de l'épi (PGE).	86
	- Poids de mille grains (PMG).	87
	- Poids de la biomasse aérienne (BIO)	87
	- Rendement en grains estimé par plant (RG)	87
	- Rendement en grains estimé (RGE).	87
	- Indice de récolte (IR).	87
5.2.1.4.	Etude des corrélations	89
5.2.2.	Hybrides F ₂	90
5.2.2.1.	Précocité à l'épiaison	90
5.2.2.2.	Caractères morphologiques	90
	- Longueur de la paille (LP).	91
	- Longueur du col de l'épi (LCE)	91
	- Longueur de l'épi (LE).	91
	- Longueur de la barbe (LB).	91
	- Longueur de la feuille étendard (LFE).	91
5.2.2.3.	Caractères agronomiques	93
	- Nombre de talles par plant (NT).	93
	- Nombre d'épis par plant (NE).	93
	- Nombre d'épillets fertiles par épi (NEPF).	93

- Nombre d'épillets stériles par épi (NEPS).....	93
- Nombre de grains de l'épi (NGE).	93
- Poids de grains de l'épi (PGE).	94
- Poids de mille grains (PMG).....	94
- Poids de la biomasse aérienne (BIO).	94
- Rendement en grains estimé par plant (RG).	94
- Rendement en grains estimé (RGE).....	94
- Indice de récolte (IR).	94
5.2.2.4. Etude des corrélations.....	96
5.2.3. Discussion sur les hybrides F_1 et F_2	97
5.3. Comparaison entre les valeurs moyennes des parents et leurs hybrides F_1 et F_2 . 97	
5.3.1. Comparaison des hybrides F_1 et parent moyen	97
5.3.2. Comparaison des hybrides F_2 et parent moyen	98
5.4. Analyse des différents caractères étudiés au niveau du diallèle.	100
5.4.1. Analyse Hayman.....	100
5.4.1.1. Au niveau des hybrides F_1	100
5.4.1.2. Au niveau des hybrides F_2	110
5.4.1.3. Etude des F_1 et des F_2	118
5.4.2. Analyse Griffing	122
5.4.2.1. Au niveau F_1	122
- Etude des aptitudes générales à la combinaison (AGC)	122
- Etude des aptitudes spécifiques (ASC) à la combinaison	124
- Rapport AGC/ASC.....	125
5.4.2.2. Au niveau F_2	126
- Etude des aptitudes à la combinaison au niveau F_2	126
- Etude des aptitudes spécifiques (ASC) à la combinaison	128
- Rapport AGC/ASC.....	129
5.4.3. Etude des corrélations AGC - valeur propre (li).....	129
5.4.4. Etude des corrélations entre AGC (moyennes F_1 et réciproques) et ASC	131
5.4.5. Etude des corrélations entre $AGCF_1$ et $AGCF_2$	131
5.4.6. Etude de l'hétérosis	133
5.4.6.1. Au niveau F_1	133

5.4.6.2. Au niveau F_2	134
5.4.7. Héritabilité des caractères	135
5.4.8. Discussion	137
CONCLUSION GENERALE.....	142

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

Figure 1.1: Epi d'orge à 2 rangs et à 6 rangs, épillets et pièces florales d'une fleur d'orge.	21
Figure 1.2: Principaux pays producteurs d'orge en 2017.	23
Figure 1.3 : Rendements, productions et superficies récoltées d'orge en Algérie de la période 2007 à 2017.	25
Figure 2.1: Les effets géniques pour un locus donné.	32
Figure 4.1: Variétés d'orge étudiées.	41
Figure 4.2: Site de l'expérimentation.	43
Figure 4.3: Précipitations et températures moyennes des campagnes 2012/2013, 2013/2014 et 2014/2015.	44
Figure 4.4: Dispositif variétal.	47
Figure 4.5: Dispositif des hybrides.	48
Figure 5.1: Précocité à l'épiaison de six variétés d'orge en 1 ^{ière} année.	59
Figure 5.2: Moyennes des caractères morphologiques de six variétés d'orge en 1 ^{ère} année.	61
Figure 5.3: Moyennes des caractères agronomiques (NP, NE, NT, NEPF, NGE et NEPS) de six variétés d'orge en 1 ^{ère} année.	64
Figure 5.4: Moyennes des caractères agronomiques (PGE, PMG, BIO, RDT et IR) de six variétés d'orge en 1 ^{ère} année.	65
Figure 5.5: Précocité à l'épiaison de six variétés d'orge en 2 ^{ème} année.	66
Figure 5.6: Moyennes des caractères morphologiques de six variétés d'orge en 2 ^{ème} année.	67
Figure 5.7: Moyennes des caractères agronomiques (NP, NT, NE, NEPF, NEPS et NGE) de six variétés d'orge en 2 ^{ème} année.	70
Figure 5.8: Moyennes des caractères agronomiques (PGE, PMG, BIO, RGE, RDT et IR) de six variétés d'orge en 2 ^{ème} année.	71
Figure 5.9: Moyennes des caractères agronomiques : NT, NEPS de six variétés d'orge.	72
Figure 5.10: Moyennes des caractères morphologiques des génotypes parentaux (effet interaction).	74
Figure 5.11: Moyennes des caractères agronomiques des génotypes parentaux (effet interaction).	76

Figure 5.12: Relation entre F_1 , F_2 et leurs parents moyens.....	99
Figure 5.13: Paraboles et droites de régression des W_r sur les V_r en F_1	106
Figure 5.14 : Droites de régression des $(W_r + V_r)$ sur les valeurs propres parentales (t) en F_1	109
Figure 5.15: Paraboles et droites de régression des W_r sur les V_r en F_2	115
Figure 5.16: Droites de régression des $(W_r + V_r)$ sur les valeurs propres parentales (t) en F_2	118
Figure 5.17: Corrélations entre les valeurs $AGCF_1$ et $AGCF_2$	132
Tableau 4.1: Caractéristiques des variétés utilisées.....	42
Tableau 4.2 : Croisements réalisés entre les variétés parentales.....	43
Tableau 4.3 : Pluviométrie et températures des trois campagnes d'étude.....	43
Tableau 4.4 : Résultats des caractéristiques du sol.....	45
Tableau 4.5: Espérances des carrés moyens d'AGC, d'ASC et d'effets réciproques.	57
Tableau 5.1: Analyse de la variance des caractères phéno-morphologiques des hybrides F_1	85
Tableau 5.2: Analyse de la variance des caractères agronomiques des hybrides F_1	88
Tableau 5.3: Analyse de la variance des caractères phéno-morphologiques des hybrides F_2	92
Tableau 5.4: Analyse de la variance des caractères agronomiques des hybrides F_2	95
Tableau 5.5: Carrés moyens de l'analyse de la variance des aptitudes à la combinaison des caractères mesurés de la F_1	122
Tableau 5.6: Valeurs des AGC des différents caractères au niveau des parents....	123
Tableau 5.7: Valeurs des ASC des différents caractères au niveau F_1	124
Tableau 5.8: Composantes de la variation de l'aptitude à la combinaison en F_1	125
Tableau 5.9: Carrés moyens de l'analyse de la variance des aptitudes à la combinaison des caractères mesurés de la F_2	126
Tableau 5.10: Valeurs d'AGC des différents caractères au niveau des parents.	127
Tableau 5.11: Valeurs des ASC des différents caractères au niveau F_2	128
Tableau 5.12: Composantes de la variation de l'aptitude à la combinaison en F_2 ...	129
Tableau 5.13: Calcul des corrélations AGC - valeur propre (li).....	130

Tableau 5.14: Hétérosis des différents caractères par rapport au parent moyen en F_1	133
Tableau 5.15: Hétérosis des différents caractères par rapport au parent moyen en F_2	134
Tableau 5.16: Héritabilité au sens large (H^2), Coefficients de variation génétique et résiduelle au niveau des parents.	135

INTRODUCTION

L'orge (*Hordeum vulgare* L.) est probablement la plus ancienne espèce cultivée par l'homme, dont la culture monte, aux périodes 5000 à 7000 ans avant J.C. [1], elle était probablement d'abord utilisée pour l'alimentation humaine, mais elle est évoluée principalement dans l'alimentation pour bétail, le maltage et le brassage due en partie à la montée de l'importance du blé et du riz [2].

La culture de l'orge en Afrique du Nord serait aussi ancienne que l'activité agricole. La sélection naturelle aurait joué un grand rôle dans l'évolution de la structure génétique des populations d'orges cultivées et entretenues depuis très longtemps par les agriculteurs.

Selon Hakimi (1993) [3] la culture de l'orge est connue en Algérie depuis longtemps sous forme de mélanges des populations locales.

En matière de production céréalières, l'orge constitue l'une des céréales les plus cultivées au monde car elle occupe le quatrième rang après le riz, le maïs et le blé, avec une production qui dépasse 140 millions tonnes [4].

En Algérie l'orge a toujours occupé une place importante parmi les autres céréales. Elle était à la tête des cultures et destinée à l'autoconsommation humaine. Son rôle dans l'alimentation animale a toujours été et reste fondamental. La rusticité de l'espèce, ses capacités d'adaptation aux irrégularités du climat algérien, ses qualités nutritionnelles voire ses vertus sur la santé humaine font d'elle une culture qui mérite une attention particulière [5].

Selon Boufenar et Zaghouane (2006) [6], les variétés Saïda 183, Rihane 03 et Tichedrett sont largement distribuées en Algérie. Le recours aux autres variétés est lié à leur zone de prédilection. Certaines variétés existent mais sont peu demandées comme celles de Jaidor (Dahbia), Barberousse (Hamra), Ascad 176, (Nailia), El-Fouara. Le choix de la variété à utiliser dépend de ses caractéristiques agronomiques et de la zone de culture.

Si l'orge suscite un intérêt certain de la communauté scientifique, c'est avant tout par son importance économique, de premier plan sur la scène internationale. Ainsi, une attention particulière lui est attribuée dans le cadre de programme d'amélioration. En effet, de nombreux enjeux sont à relever en ce qui a trait à l'augmentation de rendement, notamment sous influence de sécheresse et de résistance à certains agents pathogènes et maladies [7].

Ce programme a été initialement axé sur l'exploitation de la variabilité existante au sein des populations locales afin d'améliorer et de créer de nouveaux génotypes présentant des caractères intéressants.

L'hybridation est un outil remarquable pour accroître la variabilité génétique, qui permet de créer de nouveaux génotypes avec une productivité et une qualité meilleure ainsi qu'une meilleure adaptation aux contraintes biotiques et abiotiques.

Selon Ceccarelli et *al.* (1998) et Brancourt et *al.* (2003) [8, 9], l'amélioration génétique était et restera le moteur de l'accroissement des rendements de par le monde. Elle est la seule alternative capable d'améliorer la production nationale et limiter les importations et concilier l'intérêt de l'agriculteur et son environnement.

Les objectifs de notre travail portent sur :

- Etude de comportement de 06 variétés d'orge locales et introduites vis-à-vis des paramètres pédoclimatiques de la Mitidja. L'étude est réalisée pendant deux années successives, au niveau d'un même site, pour évaluer la stabilité des caractères au sein des génotypes parentaux (Interaction entre les fluctuations environnementales et les génotypes) ;
- Réalisation d'un plan de croisement diallèle 6 x 6, sans les autofécondations, afin d'introduire quelques caractères nouveaux chez les deux variétés locales : Saïda et Tichedrett en vue d'améliorer ce patrimoine national ;
- Valorisation de variétés parentales, à travers l'analyse du diallèle, en tant que géniteurs dans un programme de sélection, et ce dans les conditions de la zone Sub-humide ;

➤ Adoption d'une analyse génétique (hétérosis, Aptitude Générale et Spécifique à la Combinaison, Effets Réciproques Généraux et Spécifiques, à la Combinaison, transgression des caractères dans les générations ultérieures) au sein des descendances F_1 et F_2 en se basant sur l'étude de certains caractères morphologiques et agronomiques.

CHAPITRE1

GENERALITES SUR L'ORGE

1.1. Origines et classification de l'orge

L'orge fait partie des cultures céréalières les plus anciennes. Elle est issue des formes sauvages de l'espèce *Hordeum spontaneum* [10,11]. (Harlan et Zohary, 1966 ; Zohary, 1969 ; Jestin, 1992 ; Gallais et Bannerot, 1992 ; Nevo, 1992) [10, 11, 12,13 et 14] rapportent que *Hordeum spontaneum*, orge à 2 rangs, très répandue depuis la Grèce jusqu'au Moyen Orient, est reconnue comme étant la forme ancestrale de l'orge cultivée, avec laquelle, elle est parfaitement inter-fertile.

L'orge à 2 rangs, datant du néolithique, il y a plus de 10 000 ans, a été découverte dans le croissant fertile, au Moyen Orient, où se trouve encore jusqu'aujourd'hui.

L'histoire de domestication de l'orge est basée sur l'hypothèse que les populations sauvages sont génétiquement différentes et elles n'ont pas subi la modification importante depuis la domestication [15].

L'orge cultivée (*Hordeum vulgare* L.), de constitution génomique diploïde ($2n=14$) est une espèce dont les origines remontent à celles de l'agriculture elle-même [16].

D'après Harlan (1975) [17], l'orge cultivée comprend deux centres d'origines :

- Le premier couvre l'Ethiopie et l'Afrique du Nord où on rencontre les biotypes avec barbes, à grain couvert,
- Le second comprend la Chine, le Japon et le Tibet où on trouve les biotypes à grain nu et barbes plus au moins courtes voire absentes.

L'orge (*Hordeum vulgare* L.) est une plante herbacée annuelle de la famille des Poaceae (Ex graminées) sous famille des Festucoïdées, dans la tribu des Triticées (ex Hordes), l'espèce la plus cultivée est *Hordeum vulgare* L. [18,19 et 20].

Sa classification est basée sur la fertilité des épillets latéraux (figure 1.1), la densité de l'épi et la présence ou l'absence des barbes [21].

Les épillets latéraux peuvent se développer normalement et ainsi conférer la morphologie orge à "6 rangs" ou être stériles, réduits à des vestiges et caractériser les orges à "2 ou 4 rangs" [22].

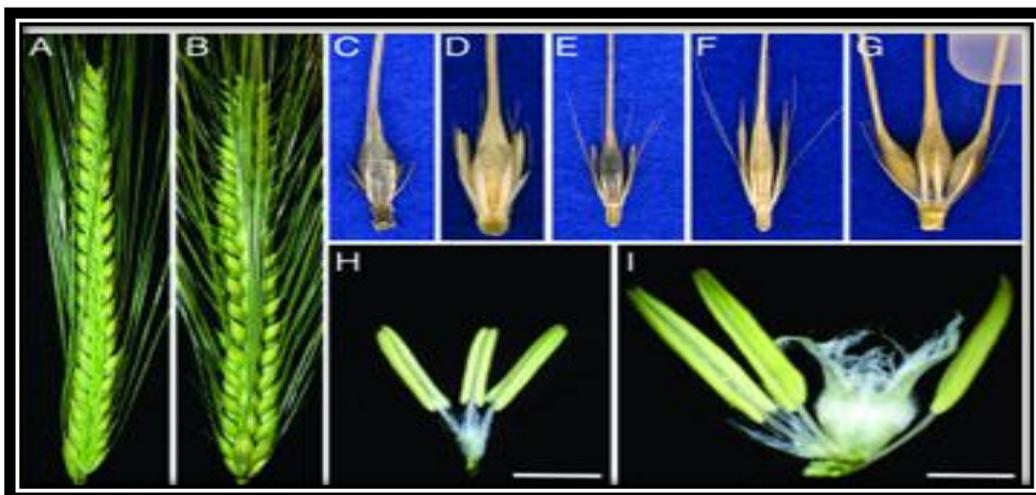


Figure 1.1: Epi d'orge à 2 rangs et à 6 rangs, épillets et pièces florales d'une fleur d'orge [20].

(A) : Épi d'orge à 2 rangs, (B) : Épi d'orge à 6 rangs, (C-G) : Un épillet central et deux épillets latéraux au niveau du rachis, (H et I) : Étamines et fleur hermaphrodite.

L'orge peut aussi être classée en deux sous-catégories suivant son cycle de culture : l'orge semée à l'automne ou au printemps [23].

L'orge est une espèce autogame qui se reproduit par autofécondation (autopollinisation). L'autogamie prédomine, mais on observe une certaine allogamie variable selon les génotypes et les conditions de production [24].

La majorité des espèces d'orge est diploïde ($2n = 14$), bien qu'il existe des espèces tétraploïdes ($2n = 28$) et des espèces hexaploïdes ($2n = 42$) [25]. Le pool génétique le plus couramment utilisé se limite à deux espèces : *Hordeum vulgare* L. et *Hordeum spontaneum*. L'information génétique de l'orge est répartie dans trois génomes différents : le génome nucléaire, le génome mitochondrial et le génome chloroplastique. Le génome principal est le génome nucléaire, la taille de son génome nucléaire est conséquent puisque estimé à 5,1 gigabases [26].

En recherche, l'orge peut être considérée comme une plante modèle d'étude expérimentale et plus particulièrement pour la compréhension de la biologie des Poaceae. D'où l'importance d'un programme d'amélioration génétique de l'orge basé sur la création et la recherche de géotypes performants et adaptés aux différents milieux de culture [27], et ainsi résistants à certains pathogènes et maladies, comme la fusariose de l'orge [28].

Le faible nombre de chromosomes et la facilité de croisement renforcent l'utilité de l'orge comme un modèle biologique pertinent [29].

1.2. Importance de l'orge

1.2.1. Dans le monde

L'importance de l'orge provient de sa capacité à pousser et à produire dans des environnements marginaux, caractérisés par la sécheresse, des températures élevées et la salinité [30].

Historiquement, l'orge a été une source importante de nourriture dans plusieurs régions du monde, y compris le Moyen-Orient, l'Afrique du Nord et Nordique, l'Europe de l'Est et en Asie [31]. Dans d'autres régions, le grain d'orge entre dans le processus de production du malt [1].

Ainsi, la culture de l'orge représente un enjeu économique très important. Selon l'Organisation Mondiale de l'Agriculture et de l'Alimentation (FAO) [4], en 2017 la production mondiale de l'orge avoisine les 148 millions de tonnes pour une superficie emblavée de près de 47 millions d'hectares. La production de quelques pays producteurs d'orge de l'année 2017 est donnée en figure 1.2.

L'orge est également considérée comme une espèce modèle pour les céréales en raison de l'information génétique largement disponible [32]. Les progrès réalisés en matière de recherche agronomique ont permis d'améliorer la production de cette espèce en se basant sur l'introduction de nouvelles variétés adaptées et l'amélioration des pratiques culturales. Par conséquent, l'amélioration de la tolérance au stress abiotique chez l'orge dépend largement de l'exploitation de la variation génétique disponible. De plus, l'utilisation de cultivars tolérants à la salinité permet la conservation de l'eau douce et son utilisation conservatrice, principalement dans les zones arides [33,34 et 35].

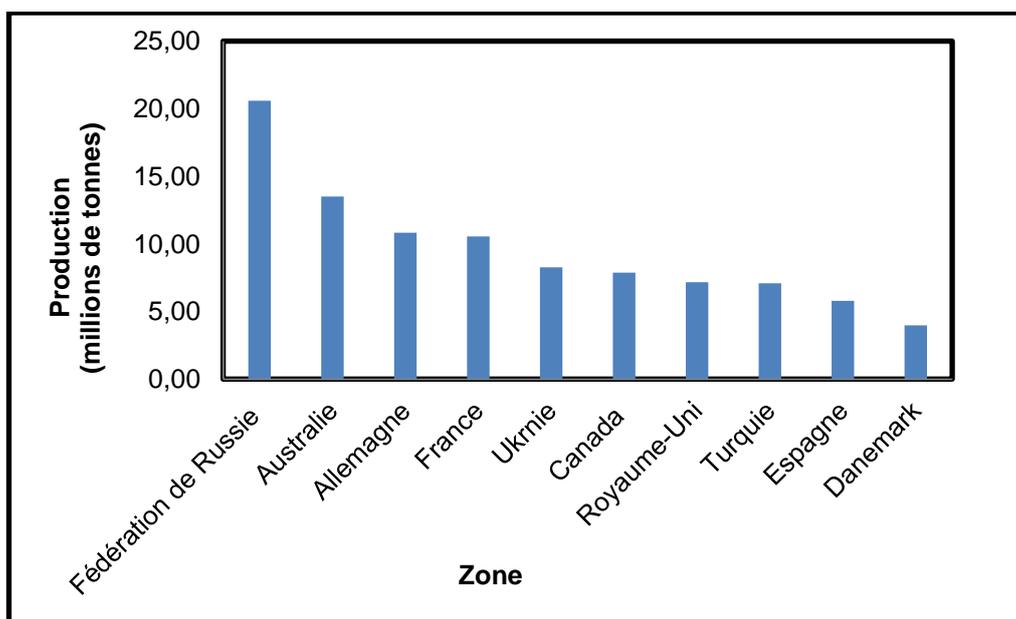


Figure 1.2: Principaux pays producteurs d'orge en 2017 [4].

1.2.2. Au Maghreb

Dans les pays du Maghreb son introduction s'est faite depuis le croissant fertile en passant par l'Égypte [36].

Au Maghreb, l'orge est cultivée principalement dans les zones arides, au Sud des pays, du fait de sa résistance à la sécheresse. C'est la céréale qui subit le plus les aléas climatiques et dont les fluctuations de production sont les plus fortes. L'orge garde un caractère plurifonctionnel (notamment au Maroc où la consommation humaine est encore relativement importante) mais c'est principalement une céréale fourragère [37].

1.2.3. En Algérie

En Algérie, l'orge est classée deuxième céréale après le blé dur du point de vue superficie ; elle est destinée essentiellement à l'alimentation animale, elle a l'avantage de pouvoir être menée en double exploitation : pâturage en vert, suivi d'une récolte en grains [38]. Les deux variétés locales (Saïda 1983 et Tichedrett) occupent respectivement 72% et 17% de la sole semencière d'orge [39]. La variété Tichedrett se distingue par une large adaptation aux hauts plateaux de l'Est [40].

Sur les 139 variétés de céréales autogames inscrites au catalogue officiel, au niveau du Centre National de Contrôle et de Certification des semences et plants (CNCC), on note 21 variétés d'orge listées (tableau1, annexe B).

L'orge a le plus souvent des usages mixtes. Elle constitue presque l'unique ressource des exploitations offertes aux animaux sous forme de grain, de paille, d'orge déprimée à pâturer en hiver et de chaume en été. L'orge offre dans ces écosystèmes, l'avantage d'une utilisation souple selon ce que sera le climat. Ceci explique l'attachement des agriculteurs à cette culture, bien que ses rendements soient souvent faibles [41].

L'amélioration des rendements à l'état immédiat pourrait se faire en cultivant cette espèce dans des conditions plus favorables au lieu des zones marginalisées où elle est souvent cultivée. Il devient important de sensibiliser à tous les niveaux quant à l'importance de cette espèce et l'utilité de la développer comme stratégie d'adaptation aux changements climatiques.

L'augmentation de la productivité rend possible le développement des industries locales à base d'orge. Il est également possible que l'orge alimentaire puisse être exportée vers les pays développés où l'intérêt est accordé à la nourriture saine pour la prévention des maladies coronariennes ayant augmenté de façon spectaculaire au cours des deux dernières décennies [42]. Selon FAO [4], au cours de la période 2007 à 2017, les superficies récoltées, d'orge en Algérie, ont varié de 0.44 à 1.30 millions d'hectares, la production a varié de 0.40 à 2.2 millions de tonnes et le rendement a oscillé de 7.44 à 17.62 qx/ha (figure 1.3).

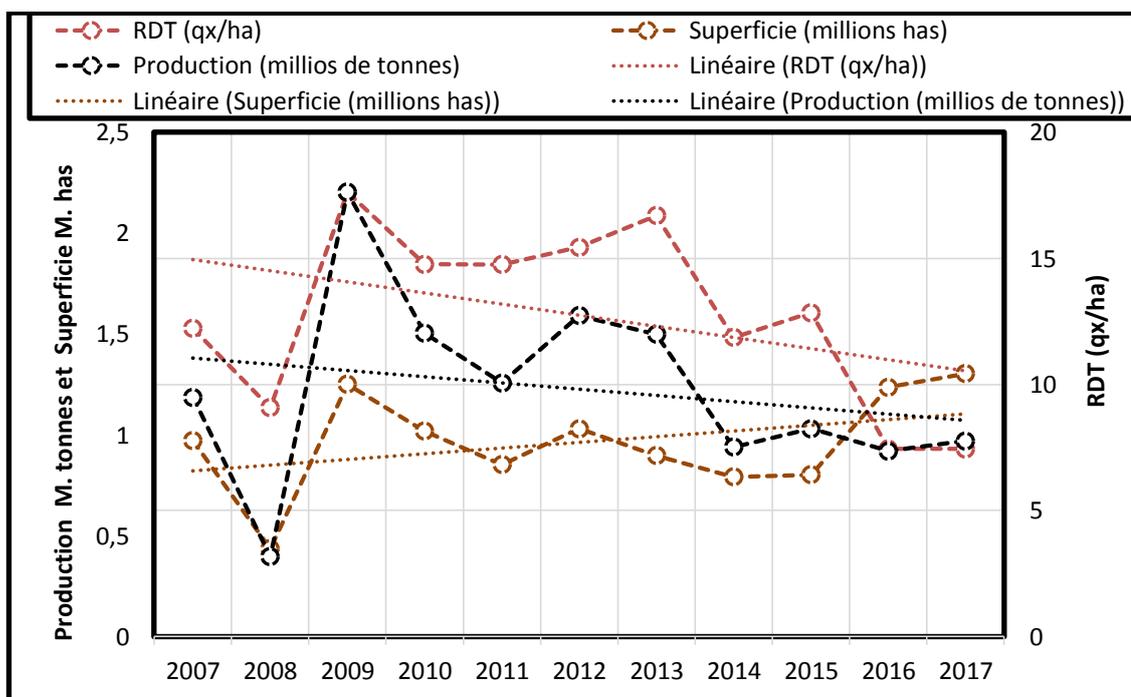


Figure 1.3 : Rendements, productions et superficies récoltées d'orge en Algérie de la période 2007 à 2017 [4].

1.3. Zones de production de l'orge

1.3.1. Dans le monde

L'orge est une culture des régions tempérées du globe, cultivée sur sols calcaires aux labours profonds. Elle est cultivée dans plusieurs régions du monde telles que l'Afrique du Nord, l'Europe du Sud et l'Asie [43]. Aux zones de hautes latitudes et dans les régions montagneuses, l'orge est semée au printemps pour éviter les gelées. Ces régions ont donc besoin de variétés de printemps pour pouvoir se développer. Par contre, dans les régions de basses latitudes les variétés d'orge d'hiver sont préconisées. Dans les régions des latitudes moyennes, notamment en Afrique du Nord, en Europe du Sud, au Népal, en Chine et au Japon, les variétés d'orge de printemps et d'hiver sont généralement cultivées en automne [44].

1.3.2. En Algérie

L'orge s'étend sur les zones marginales des plaines intérieures et des hauts plateaux [45]. Hakimi (1993) [46] situe la culture de l'orge en Algérie et son mode d'exploitation sur plusieurs régions bioclimatiques, à savoir la région subhumide, la région semi-aride, la région aride et la région du Sahara supérieur. Selon Malki et Hamadache (2002) [47], les régions agro-pastorales telles que Batna, Khenchela,

Tebessa et M'Sila représentent les principales zones de production de l'orge en Algérie.

1.4. Les contraintes de production

La production céréalière en Algérie demeure toujours irrégulière et semble être étroitement liée à un certain nombre de facteurs tant abiotiques (irrégularité dans les précipitations pluviales, techniques agricoles ; etc.) que biotiques (potentiel génétique, maladies, ravageurs), d'où la persistance d'un déficit important entre la consommation et la production.

La majeure partie des emblavures céréalières se trouve concentrée sur les hautes plaines. Ceux-ci sont caractérisés par des hivers froids, un régime pluviométrique irrégulier, et des gelées printanières, des vents chauds et desséchants [48 et 49]. Ces contraintes climatiques limitent du potentiel de production de ces zones, accentuée par le fait que la céréaliculture est conduite en pluviale [50].

Cette région, qui reste céréalière par nécessité, est confrontée à des sécheresses intermittentes s'accroissant au cours de la phase de remplissage du grain [51]. Ceci se répercute sur le rendement économique de la culture qui peut baisser de plus de 80% [52].

Il est rapporté par ailleurs, que 30% des productions végétales agricoles en Algérie sont perdues sous l'effet d'agents nuisibles [53].

L'importation des semences à haut rendement n'a pas résolu le déficit en graines d'orge mais a contribué à l'apparition de maladies (rouille jaune, etc....) et de plantes adventices jusqu'à la inconnues. La préservation des ressources naturelles des variétés d'orge peut être conçue à travers leurs intégrations dans les formules alimentaires de nos ruminants après caractérisation de leurs valeurs nutritives, et de ce fait contribuer même partiellement à diminuer la part des importations des produits alimentaires (viandes rouges et lait) en assurant un coût de revient des productions animales plus accessible aux consommateurs [54].

1.5. Cycle biologique de développement de l'orge

1.5.1. De semis à la levée

Cette phase débute par le passage du grain de l'état de vie ralentie à l'état de vie active au cours de la germination qui se traduit par l'émergence de la racicule et des racines séminales et celle du coléoptile. Dès que la première feuille a percé le coléoptile, ce dernier s'arrête de croître et se dessèche [55,56 et 06]. La réalisation de cette phase est sous la dépendance de facteurs propres à la semence (faculté et énergie germinatives) et de facteurs extérieurs (température et humidité du sol). Le zéro de germination de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) est de 0°C [57].

1.5.2. De la levée à la formation des ébauches d'épillets

Lors de la phase de levée, le nombre de plantes au m² se détermine. Après la levée, les ébauches foliaires croissent et émergent les unes après les autres selon un rythme constant.

Lorsque la plante a trois feuilles, une nouvelle tige apparaît à l'aisselle de la feuille la plus âgée, c'est le maître brin. L'émergence de cette première talle hors de la gaine de la première feuille est le repère conventionnel du début tallage [58].

La formation des ébauches d'épillets démarre au stade plein tallage, suivit par l'initiation florale et se termine par l'apparition des ébauches des futurs épillets.

L'apparition des talles se fait de façon synchrone avec le rythme d'émission des feuilles du maître brin [59]. La vitesse d'émission des feuilles dépendant de nombreux facteurs de l'environnement, comme la durée du jour, le rayonnement et la température du sol (le centre de formation des feuilles étant situé au niveau du sol en début de cycle) [60]. Le tallage s'arrête lorsque les tiges entrent en compétition pour l'eau, l'azote ou la lumière [61].

1.5.3. De l'épi 1cm à la floraison

Par définition, le stade épi 1cm est considéré atteint lorsque la distance entre le sommet de l'épi du maître brin et la base du plateau de tallage est en moyenne de 1 cm. A ce stade, la taille de l'épi est de 3 - 4 mm [58]. A partir de ce moment, la tige principale et les talles plus âgées commencent à s'allonger, suite à l'élongation des

entre-nœuds auparavant empilés sous l'épi. C'est le début du stade montaison au cours duquel le nombre final d'épis par plante se détermine [61].

Il prend fin lorsque les organes reproducteurs sont formés. Certaines tiges régressent en stoppant leur développement et leur croissance. Celles qui ne sont pas encore entrées en croissance restent à l'état de bourgeons dormants.

Le stade 2 nœuds est atteint quand les deux premiers nœuds à la base de la tige principale sont visibles sur 50 % des plantes [58].

L'apparition de la dernière feuille ligulée marque le début du stade méiose pollinique. L'épi poussé par l'allongement de la tige, provoque un renflement au moment où il a rejoint la gaine de la dernière feuille, c'est le stade gonflement qui apparaît 10 jours avant l'épiaison. Par la suite, le sommet de l'épi se dégage de la dernière gaine qui a alors atteint sa longueur définitive, on parle de stade épiaison. Les glumelles des fleurs s'ouvrent largement et les sacs polliniques se libèrent, c'est le stade floraison (anthèse) ; La tige et l'épi ont quasiment atteint leur croissance définitive [58].

Les composantes de rendement tels le nombre d'épillets par épi et celui de grains par épillet sont définis au cours de la réalisation du stade épiaison qui prend fin à la floraison [62]. Cependant, Masle (1985) [63] considère que ces composantes seraient fixées à la floraison. Gate et Grimaud (1989) [64] dissocient la mise en place du nombre d'épis, fixé à la montaison et l'élaboration du nombre de grains par épi, conditionnée par la fertilité de l'épi.

Coïc et *al.* (1950) [65] ont constaté que le nombre de grains par épillet peut encore évoluer après floraison et qu'un apport d'azote à ce stade l'augmente significativement à la récolte. La fécondation des ovules ayant déjà eu lieu à ce stade, l'azote apporté aurait une action bénéfique sur la diminution du nombre d'avortement de jeunes ovules fécondés.

1.5.4. Au cours de la période maturation du grain

La maturation s'étale sur environ 50 jours et marque la fin de la période végétative. La phase de remplissage du grain se caractérise par la multiplication cellulaire suivie par l'accumulation des réserves (amidon et protéines) dans les

cellules du grain. C'est une étape déterminante pour le poids de mille grains (PMG) et la teneur en protéines du grain [66].

Les cinétiques de l'accumulation de la matière sèche et de l'eau varient au cours des différentes phases de la période maturation. Le début de la phase palier hydrique concorde avec la fin de la multiplication cellulaire au sein du grain [58]. Le stockage maximal des réserves s'effectue au moment où la quantité d'eau dans le grain est stable. Lorsque toutes les cellules du grain ont atteint leur poids final, le grain atteint sa taille définitive (maturité physiologique, qui traduit l'arrêt de la croissance en matière sèche du grain). Il entame ensuite la phase dessiccation (maturité récolte) qui correspond à un état de dessiccation permettant un battage mécanique (teneur en eau du grain avoisine le 15%) [58].

CHAPITRE 2

AMELIORATION GENETIQUE DE L'ORGE

2.1. Méthodes de création variétale

Le processus de création de la variabilité commence par des croisements entre deux parents voire plus. Les parents sont choisis généralement sur la base de leurs performances et leurs caractéristiques agronomiques qu'on cherche à regrouper chez la descendance du croisement réalisé et par conséquent chez les futures variétés.

2.1.1. Création de matériel de départ

2.1.1.1 Croisements interspécifiques

Le principe de cette méthode est basé sur le sauvetage par culture in vitro d'embryons immatures issus de croisements interspécifiques. Chez l'orge, le croisement est réalisé entre *Hordeum bulbosum*, qui sert de parent mâle et *Hordeum vulgare* L., qui sert de parent femelle [67]. Après fécondation, les chromosomes de *H. bulbosum* sont éliminés au cours du développement embryonnaire, ce qui conduit à l'obtention d'une plante haploïde [68]. Le doublement chromosomique permet l'obtention de plantes haploïdes doublées (HD) présentant tous les caractères d'*H. vulgare* L. [68]. Cette technique est couramment utilisée pour l'amélioration et la sélection variétale des céréales [67].

2.1.1.2. Croisements intraspécifiques

Les génotypes sont croisés à l'intérieur d'une même espèce avec un ou plusieurs partenaires qui apporte des qualités complémentaires ou qui intensifient, par effet cumulatif, les performances [69]. Des formes parentales seront choisies et serviront de base aux croisements. La connaissance du patrimoine héréditaire (génotype) de chaque variété est essentielle car elle détermine la nature des produits qui seront issus de ces croisements [70].

La variabilité intra spécifique du patrimoine local, pour la tolérance aux différents stress, est un atout des génotypes locaux pour leur prise en charge dans un programme d'amélioration [71].

2.1.1.3. Croisements diallèles

2.1.1.3.1. Définition

Les croisements diallèles s'appliquent aux espèces autogames et aux espèces allogames [72].

Ils conduisent à un schéma d'interprétation très complet qui permet d'obtenir le maximum de renseignements génétiques sur certains caractères quantitatifs [73]. Cependant ils demandent plus de travail : chaque lignée est croisée avec chacune des autres ; les croisements réciproques sont réalisés si une influence maternelle est suspectée [74].

2.1.1.3.2. Méthodes d'interprétation du diallèle

Il existe deux voies classiques d'interprétation des résultats de croisements diallèles, l'analyse de Hayman (1954) [75] qui repose sur le modèle génétique de Mather (1949) et s'interprète graphiquement mais aussi par l'analyse de la variance, et celle présentée par Griffing (1956) [76] repose essentiellement sur l'analyse de la variance.

L'analyse de Griffing (1956) [76] permet de tester les effets fixés (modèle 1) ou aléatoire (modèle 2) en terme d'aptitude à la combinaison. Quatre méthodes d'interprétation de croisements diallèles sont proposées :

- * Méthode 1 (diallèle complet) : Les parents, F_1 et réciproques soit p^2 combinaisons 2 à 2, ou p est le nombre de parents ;
- * Méthode 2 (demi-diallèle) : Les parents et les F_1 sont inclus mais pas les réciproques, soit $(p(p + 1) / 2)$ combinaisons ;
- * Méthode 3 : Les F_1 et les réciproques sont inclus mais pas les parents, soit $(p^2 - p)$ combinaisons ;
- * Méthode 4 : Seules les F_1 sont inclus, mais pas les réciproques ni les parents, soit $(p(p - 1) / 2)$ combinaisons.

La méthode d'analyse génétique de Griffing (1956) [76] permet de déterminer la nature des actions géniques et les aptitudes à la combinaison.

Le concept des aptitudes à la combinaison, formulé par Sprague et Tatum (1942) [77], apporte des éléments très précis quant à la qualité de la transmission des caractères d'un parent à sa descendance.

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 : $Aa = [(AA + aa) / 2]$. 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 [78].

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 2.1).

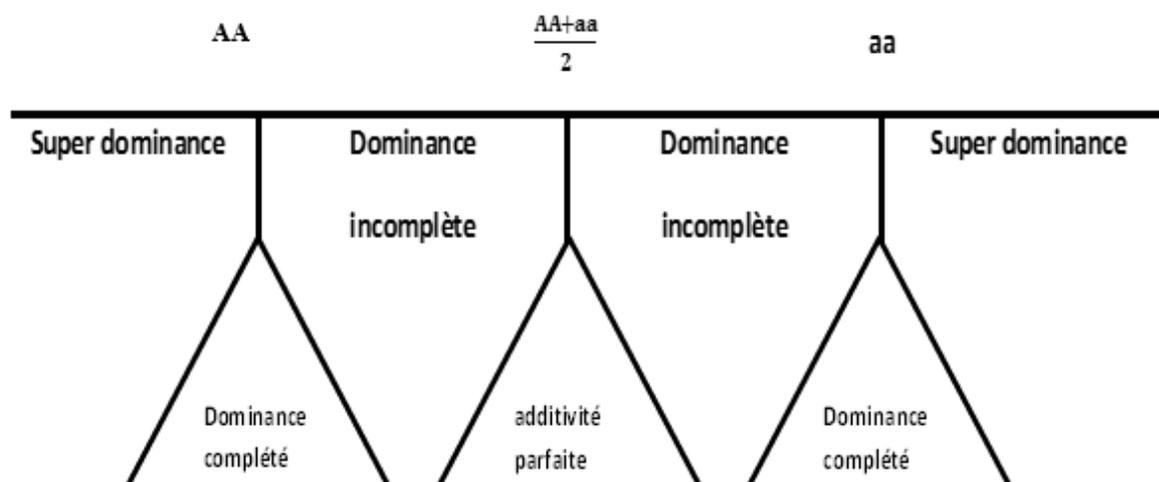


Figure 2.1: Les effets géniques pour un locus donné [73].

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 [78, 79].

2.2. Effets génétiques

Les effets génétiques comprennent les effets d'additivité, de dominance et d'épistasie. La dominance apparaît comme la somme d'interaction entre des segments homologues [73].

Selon Gallais (1990) [80], deux hypothèses ont été formulées pour expliquer le mécanisme de la supériorité obtenue :

L'hypothèse de la superdominance et de la dominance, une troisième hypothèse est proposée par Zahour (1992) [81] : l'épistasie. L'hypothèse de la superdominance se base sur la supériorité des hétérozygotes par rapport aux homozygotes. Elle considère l'hétérosis comme le résultat d'interaction complexe entre allèles situés sur un grand nombre de loci [82].

L'hypothèse de la dominance suppose la dominance complète. Selon Le Cohec et Soreau (1992) [82], l'hétérosis serait la conséquence d'une dispersion de gènes dominants complémentaires chez les deux parents. Cette théorie expliquerait seulement l'apparition de tares ou de qualités contrôlées par les gènes majeurs [73].

L'hypothèse de l'épistasie couvre un ensemble d'activités géniques, gènes complémentaires, interaction entre effets additifs ou dominants, gènes modificateurs, gènes régulateurs ...etc.

Selon Demarly (1977) [73], l'interaction de deux gènes complémentaires peut intervenir comme source de la supériorité de l'hybride par rapport à la moyenne des deux parents ou par rapport à la meilleure lignée parentale [83]. Si l'on tient compte des théories géniques, en se référant à la moyenne des deux parents ou parent

moyen, on met en évidence les écarts liés à l'additivité et à la dominance. En se référant au meilleur parent, on met en évidence les effets de la super dominance.

Afin d'optimiser la diversité génétique des génotypes, il est important d'étudier l'héritabilité des caractères.

2.3. Héritabilité des caractères

L'héritabilité exprime le mécanisme de transfert de l'information génétique des parents à la descendance.

L'importance de l'héritabilité permet de prédire le comportement de la descendance, de choisir le caractère le plus héritable à utiliser comme critère de sélection, d'évaluer le gain génétique attendu après sélection et de choisir la méthode de sélection la plus appropriée [78 et 84].

La sélection simple par plant au cours des générations précoces est plus efficace pour les caractères à hérabilité élevée. Par contre la sélection de génotypes stables et à haut potentiel de rendement est compliquée par la faible hérabilité du rendement en grain, par la présence de l'interaction génotype x environnement et par l'absence de stratégie de sélection pour la résistance aux stress abiotiques [85 et 86].

L'héritabilité est basée sur la décomposition de la variation totale en variation génétique et en variation environnementale.

L'estimation de la variabilité, existante dans une population, est approchée par le calcul des coefficients de la variation phénotypique et génotypique. La partie héritable de cette variabilité est estimée par le calcul de l'héritabilité aux sens large et étroit.

L'héritabilité au sens large est déterminée par le rapport de la variance génétique totale, qui est la somme des variances additive, de dominance et épistatique, à la variance phénotypique. Par contre l'héritabilité au sens étroit est déduite par le ratio de la variance additive sur la variance phénotypique [79].

L'héritabilité au sens étroit est plus fiable et plus importante pour les programmes de sélection, parce qu'elle mesure l'importance relative de la partie additive de la variance génétique, qui est transmissible à la descendance. Les

estimations de l'héritabilité donnent une indication du degré d'expression du génotype à travers le phénotype et de la réponse attendue de la sélection dans les populations en ségrégation [87]. Plus les estimations de l'héritabilité sont fortes plus les procédures de la sélection deviennent simples [88].

2.4. Hétérosis

L'hétérosis ou vigueur hybride est la supériorité phénotypique d'un croisement par rapport au phénotype du meilleur de ses parents (hétérosis meilleur parent) ou par rapport au phénotype moyen de ses parents (hétérosis parent moyen) [89].

L'hétérosis est un phénomène qui se produit à partir d'un croisement entre parents proches ou éloignés. Cet effet est d'autant plus accentué lorsque les parents sont éloignés génétiquement. L'hétérosis peut s'expliquer par les effets de dominance ou de superdominance que renferment les deux parents [90].

L'hétérosis est considérée comme un outil de choix pour augmenter ou dépasser les limites conventionnelles du rendement [91].

La première évaluation de l'hétérosis pour le rendement chez l'orge a été décrite par Immer (1941) [92], avec une augmentation de rendement de 27%. Dès lors, une large gamme d'hétérosis pour le rendement en grains a été reportée, ne s'étendant d'aucun effet hétérosis chez 17 hybrides, pour l'augmentation de rendements à plus de 100% de croisements des lignes de printemps et d'hiver [93].

Selon JESTIN (1987) [94], des effets d'hétérosis par rapport au meilleur parent atteignent 20 à 40% en conditions de sécheresse et de culture extensive chez l'orge.

Sur 398 lignées d'haploïdes doublées (HDs), Choo et *al.* [95] en distinguent 07 supérieures au meilleur parent pour le rendement en grains. Dans une étude Gomez-Pando et *al.* [96] évaluant des lignées HDs, issues de trois croisements, pour un certain nombre de caractères dont le rendement, identifient 04 lignées HDs, sur un total de 120, supérieures aux parents. Selon Ramla et *al.* (2017) [97], 5 lignées d'orge en deuxième génération (HD2) sur 18, évaluées en conditions défavorables, ont excédé le parent local Tichedrett pour les caractères : longueur des barbes et de l'épi, poids des grains/ épis, rendement en grains et biologique.

2.5. Sélection de l'orge

Les variétés nouvelles sont le plus souvent sélectionnées sur la base de leur niveau de rendement sans tenir compte des caractères adaptatifs qui sont des régulateurs de la production en milieux variables. Dans les milieux semi-arides, la présence d'interactions génotype x milieu très fortes rend le rendement moins intéressant comme seul critère de sélection [98, 99 et 100].

2.5.1. Sélection pour améliorer la productivité

Le rendement en grains est un caractère génétiquement complexe et son amélioration passe par la sélection conjointe de la productivité et des caractères adaptatifs aux milieux biotiques et abiotiques. L'amélioration génétique du rendement se fait de manière progressive et continue, suite à la modification des composantes [101].

La capacité de sélection est si importante pour les pays en développement car ils doivent accroître leur production pour garantir la sécurité alimentaire.

La variété sélectionnée est une source d'augmentation des rendements quantitatifs et qualitatifs lorsqu'elle est bien utilisée. L'amélioration génétique du rendement se fait de manière progressive et continue, suite à la modification des composantes [102].

L'efficacité de la sélection en sera diminuée du fait d'interactions génotype x milieu plus nombreuses et d'une héritabilité plus faible : il faudrait donc trouver des critères de sélection liés au rendement, mais moins affectés par le milieu.

Les sélectionneurs se tournent vers d'autres caractères potentiels et moins fluctuant qui peuvent être utilisés en parallèle ou indépendamment du rendement dans une approche multi caractères [103, 104]. Parmi la multitude de caractères possibles figurent la précocité d'épiaison, la biomasse aérienne, la hauteur du chaume, le nombre, le poids des épis et l'indice de récolte [105, 106 et 107].

La production en grains apparaît, en moyenne, plus étroitement associée avec le tallage-épis par unité de surface et la hauteur de la plante. Ces caractères, en zones semi-arides, seraient plus pertinents pour la sélection de génotypes mieux adaptés à la sécheresse [108].

Dans les zones semi-arides, les efforts de recherches convergent vers l'obtention de cultivars ayant une bonne tolérance à la sécheresse et un rendement stable et satisfaisant [109].

2.5.2. Sélection pour améliorer l'adaptation

En sélection, comme en production, le génotype performant est désirable, il l'est encore mieux si ses performances sont stables [110]. Pour le sélectionneur une bonne variété doit être stable dans le temps et adaptée dans l'espace.

La stabilité dans le temps la rend attractive pour l'agriculteur dont l'objectif est d'obtenir un haut rendement régulièrement. Par contre le semencier cherche une variété qui soit adaptée à une large zone de production pour intéresser le plus grand nombre d'agriculteurs [111]. Cependant adaptabilité, stabilité et haut rendement grain ne sont pas toujours positivement corrélées [112].

La sélection pour l'adaptation ou pour la tolérance aux stressés abiotiques ; de nature ionique, hydrique, thermique et lumineuse ; suit plusieurs voies dont entre l'utilisation de la phénologie [113], la morphologie [114 ,115] et la physiologie [116,117 et 118], ainsi que le comportement global de la plante vis à vis de la variation environnementale, telle que mesurée par les indices [110].

En Algérie, il y'a plus de dix ans (2005-2006), un programme de sélection participative de l'orge (PBB) a été lancé dans la région de l'Ouest. L'objectif de cette sélection n'est pas uniquement d'obtenir de bon rendement avec des variétés bien adaptées, mais également d'améliorer la culture de l'orge [119 ,120].

CHAPITRE 3

STRUCTURE DE RENDEMENT DE L'ORGE

Le rendement grains est la résultante des composantes qui se matérialisent à différentes périodes du cycle de la plante.

Prévoist (1999) et Vilain (1987) [121 et 122] mentionnent que le rendement grain est la résultante du produit des trois principales composantes : le nombre d'épis / m², le nombre de grains / épi et le poids de 1000 grains.

3.1. Nombre d'épis par m²

Le nombre d'épis par unité de surface est un paramètre important qui conditionne le rendement il varie plus en fonction des conditions pédoclimatiques qu'en fonction des variétés [123].

Le nombre d'épis s'élabore au cours de la montaison il est immédiatement suivi du nombre de sites des grains par épi qui se détermine au stade épiaison. Le nombre de grains / m² est un caractère étroitement lié avec le rendement en grains, sous différents lieux et pour différents géotypes [124].

3.2. Nombre de grain par épi

Le nombre de grains / épi est une caractéristique variétale, très influencé par le nombre d'épis / m² [125].

Le nombre de grains par épi joue un rôle important dans la variabilité du rendement [126]. Fischer (1985) et Nachit (1986) [127, 128] ont indiqué que le nombre de grains par épi a un effet direct significatif et positif sur le rendement en grains. Ledent (1978) [129] note que la fertilité est la composante du rendement la plus importante. Grignac (1973) [130] a trouvé qu'elle est la composante la plus étroitement liée au rendement

3.3. Le poids de mille grains

Chez les céréales, le poids de mille grains (PMG) est un paramètre qui décrit la capacité d'accumulation des substances de réserves en conditions environnementales optimales. Le poids du grain s'élabore au cours de la phase

active du remplissage. Le remplissage des grains se fait essentiellement par les assimilats récemment photosynthétisés [131]. Dans les conditions de stress et dans certains cas, la diminution du nombre de grains est compensée par l'expression du composant poids de mille grains (PMG).

3.4. Formation des composantes

La formation des composantes est étalée dans le temps, elle est donc soumise à différentes conditions de croissance, comme elle subit aussi les effets de compensation entre composantes [58, 132]. En zone méditerranéenne, les meilleurs rendements sont essentiellement déterminés par le nombre d'épis et surtout par le nombre de grains produits par unité de surface de sol qui est le produit des épis par le nombre de grains par épi.

Un manque d'eau durant la phase de montaison réduit du nombre d'épis par suite de l'arrêt de croissance des tiges et le flétrissement des talles. Au stade épiaison, le déficit hydrique provoque la stérilité des fleurs et la réduction de la viabilité de pollen, diminuant ainsi le nombre de grain par épi. Le déficit hydrique au cours de la phase de remplissage du grain, affecte la durée et la vitesse de remplissage du grain [133, 134]. Les stress thermiques au cours de la montaison provoquent la déformation et la stérilité des épis [135]. Ainsi, les gelées tardives de printemps affectent la formation des organes de reproduction et donc la fertilité de l'épi [136].

Le rendement dans un environnement donné est directement et indirectement influencé par des facteurs morphologiques, physiologiques, et environnementaux [137].

La stabilité du rendement est un objectif très important dans les environnements stressants [138]. Les nouvelles variétés d'orge montrent en générale une faible stabilité spatio-temporelle des rendements. Elles se caractérisent par des rendements élevés en bonnes années et des rendements faibles en années problématiques, comparativement aux variétés locales qu'elles sont censées remplacer. De sorte que les variétés les moins variables ne sont pas les plus productives [139]. Ce qui laisse apparaître que le rendement potentiel et la stabilité du rendement sont deux paramètres indépendants qu'il faut concilier pour obtenir

une meilleure adaptation du génotype à la variation environnementale du lieu de production.

L'augmentation du rendement a toujours été un des principaux buts de l'amélioration des plantes.

Avec l'augmentation de l'intérêt accordé à cette stabilité du rendement dans les objectifs des programmes de sélection, l'importance du tallage a été montrée, Donald (1968) [140] pense qu'un coefficient de tallage entre 1 et 3 devrait suffire dans des conditions du milieu stressantes, qui sont fluctuantes d'une année à l'autre.

On peut aussi juger le tallage comme un mécanisme de stockage des assimilats pendant une période où une croissance générative serait trop exposée aux risques climatiques.

La tendance observée est toutefois d'avoir des plantes qui ont un tallage modéré. Rasmusson (1987) [141] propose un idéotype pour l'orge qui n'a que 1,28 talle par plante car il considère qu'un tallage plus élevé est incompatible avec une bonne résistance à la verse et des grains bien remplis.

A cause de l'observation largement reconnue de l'association entre le nombre de grains et rendement dans les cultivars modernes la sélection favorise la création de variétés qui ont un nombre de grains élevé [142].

Fischer et *al.* (1977) [142] ont montré que le nombre de grains qui permet le rendement maximal n'est pas atteint en pratique car le poids de mille grains est alors trop diminué pour que le grain soit accepté commercialement.

Deux hypothèses sont évoquées pour expliquer la baisse du poids de mille grains si le nombre de grains est élevé. La première affirme que les sites où sont formés les grains supplémentaires (talles secondaires, fleurs distales, épillets des extrémités de l'épi) produisent en général des grains de poids inférieurs. La deuxième suppose que la source d'assimilats est le facteur limitant [142].

CHAPITRE 4

MATERIEL ET METHODES

4.1. Matériel végétal

L'étude est basée sur six lignées parentales d'orge (*Hordeum vulgare* L.) et des populations F₁ et F₂ issues du croisement diallèle 6x6 sans les autofécondations.

Les parents sont : Bahia, Fouara, Soufara's', Rihane et les deux variétés autochtones Saïda et Tichedrett, dont la variété Soufara 's' à 2 rangs (tableau 4.1 et figure 4.1).

Les lignées parentales ont été choisies pour assurer une grande variabilité génétique et géographique.

Les croisements sont : Tichedrett x Saïda (T x SA), Tichedrett x Bahia (T x B), Tichedrett x Fouara (T x F), Tichedrett x Soufara (T x SO), Tichedrett x Rihane (T x R), Saïda x Tichedrett (SA x T), Saïda x Bahia (SA x B), Saïda x Fouara (SA x F), Saïda x Soufara (SA x SO), Saïda x Rihane (SA x R), Bahia x Tichedrett (B x T), Bahia x Saïda (B x SA), Bahia x Fouara (B x F), Bahia x Soufara (B x SO), Bahia x Rihane (B x R), Fouara x Tichedrett (F x T), Fouara x Saïda (F x SA), Fouara x Bahia (F x B), Fouara x Soufara (F x SO), Fouara x Rihane (F x R), Soufara x Tichedrett (SO x T), Soufara x Saïda (SO x SA), Soufara x Bahia (SO x B), Soufara x Fouara (SO x F), Soufara x Rihane (SO x R), Rihane x Tichedrett (R x T), Rihane x Saïda (R x SA), Rihane x Bahia (R x B), Rihane x Fouara (R x F), Rihane x Soufara (R x SO).



Figure 4.1: Variétés d'orge étudiées.

Tableau 4.1: Caractéristiques des variétés utilisées

Variétés	Pédigrée	Caractéristiques	Origine	Provenance
Tichedrett	C95203S F4N°21 1998/99	Epi à six rangs, résistante au froid et à la sécheresse, sensible aux maladies, moyennement résistante à la verse, précoce.	Lignée pure Origine : station d'amélioration des plantes de grandes cultures en 1931.	ITGC (ferme de démonstration et de production de semences de Sétif).
Saïda183	Sélection dans la population locale	Epi à six rangs, résistante au froid et à la sécheresse, sensible aux maladies, et à la verse, semi-précoce.	Lignée pure. Origine : locale.	ITGC (ferme de démonstration et de production de semences de Saïda).
Soufara 's'	Soufara 's' sel 5AP-0AP	Epis à deux rangs, tolérante à l'helminthosporiose, et le rynchosporiose, précoce.	Station expérimentale : SETIF En 1984/1985	ICARDA/Syrie
Elfouara	Deir Alla 106/strain205// Gerbel ICB 85-1376- 0AP-2AP-0AP.	Epi à six rangs, résistante à la verse, tolérante au froid et à la sécheresse, résistante aux maladies, tardive.	Lignée pure. Origine: ICARDA (Syrie).	ITGC (ferme de démonstration et de production de semences de Sétif).
Elbahia	Tichedrett/RebelleC5 95203 SF4	Epi compact à six rangs, plante à paille longue	Algérie	ITGC Sétif
Rihane 03	AS 46/AVT11ATHS 2L- 1AP-3AP-0AP.	Epi à six rangs, résistante à la verse, tolérante au froid et à la sécheresse, tolérante aux maladies, sensible à l'oïdium, précoce.	Lignée pure. Origine: ICARDA (Syrie).	ITGC (sélection)

Source : (ZEGHOUANE et al. 2006) [143].

4.2. Mise en place de l'expérimentation

L'expérimentation a été conduite sur le site expérimental du département de Biotechnologies (Université. BLIDA1) (figure 4.2) qui est un site représentant une zone sublittorale à climat relativement doux et ayant reçu une pluviométrie, variant entre 550 mm et 650 mm. Cette expérimentation comporte l'étude de comportement de six variétés d'orge, en plus la réalisation des croisements selon un plan en diallèle $n(n-1)$ au cours de la campagne 2012/13 (tableau 4.2). L'opération s'est réalisée par l'obtention de trente hybrides F_1 , le suivi des parents et des hybrides F_1 est réalisé au cours de la campagne 2013/14, celui des parents, des hybrides F_1 et de la génération F_2 , en 2014/15.



Figure 4.2 : Site de l'expérimentation.

Tableau 4.2 : Croisements réalisés entre les variétés parentales.

♀ \ ♂	Tichedrett	Saïda	Bahia	Fouara	Soufara	Rihane
Tichedrett	-	T x SA	T x B	T x F	T x SO	T x R
Saïda	SA x T	-	SA x B	SA x F	SA x SO	SA x R
Bahia	B x T	B x SA	-	B x F	B x SO	B x R
Fouara	F x T	F x SA	F x B	-	F x SO	F x R
Soufara	SO x T	SO x SA	SO x B	SO x F	-	SO x R
Rihane	R x T	R x SA	R x B	R x F	R x SO	-

T : Tichedrett, SA : Saïda, B: Bahia, F: Fouara, SO: Soufara, R: Rihane

4.3. Conditions climatiques des trois campagnes d'étude

Les conditions climatiques qui ont caractérisé les campagnes agricoles 2012/2013, 2013/2014 et 2014 / 2015 sont représentées dans le tableau 4.3 et figure 4.3.

Tableau 4.3 : Pluviométrie et températures des trois campagnes d'étude.

Campagnes		Mois									Total (mm)
		Sép	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	
2012/13	Précipitations	7.80	53.20	80.70	38.00	106.50	98.10	57.50	77.6	145.6	665
	T. max (°C)	30.55	28.00	21.65	18.73	17.36	15.70	21.20	21.87	21.20	
	T. min (°C)	16.69	12.50	12.83	10.92	6.85	10.20	12.70	14.28	18.27	
	T. moy (°C)	23.62	20.26	17.24	14.83	12.11	12.95	16.95	18.08	19.74	
2013/14	Précipitations	12.20	16.20	148.30	95.70	74.70	63.4	109.90	2.00	14.4	536.8
	T. max (°C)	28.70	20.90	21.30	16.70	17.50	16.6	18.00	25.00	25.7	
	T. min (°C)	19.10	13.40	12.60	8.20	9.30	7.00	8.00	12.10	12.7	
	T. moy (°C)	23.90	17.15	16.95	12.45	13.40	11.80	13.00	18.55	19.2	
2014/15	Précipitations	31.20	64.90	100.30	127.90	112.90	87.90	63.80	00	9.5	598.4
	T. max (°C)	31.37	26.00	21.58	20.17	16.68	15.38	20.38	24.60	28.80	
	T. min (°C)	24.48	19.42	12.93	7.60	5.93	7.93	11.30	15.43	21.29	
	T. moy (°C)	27.93	22.71	17.26	13.89	11.31	11.66	15.84	20.02	25.05	

Source : ANRH, 2016.

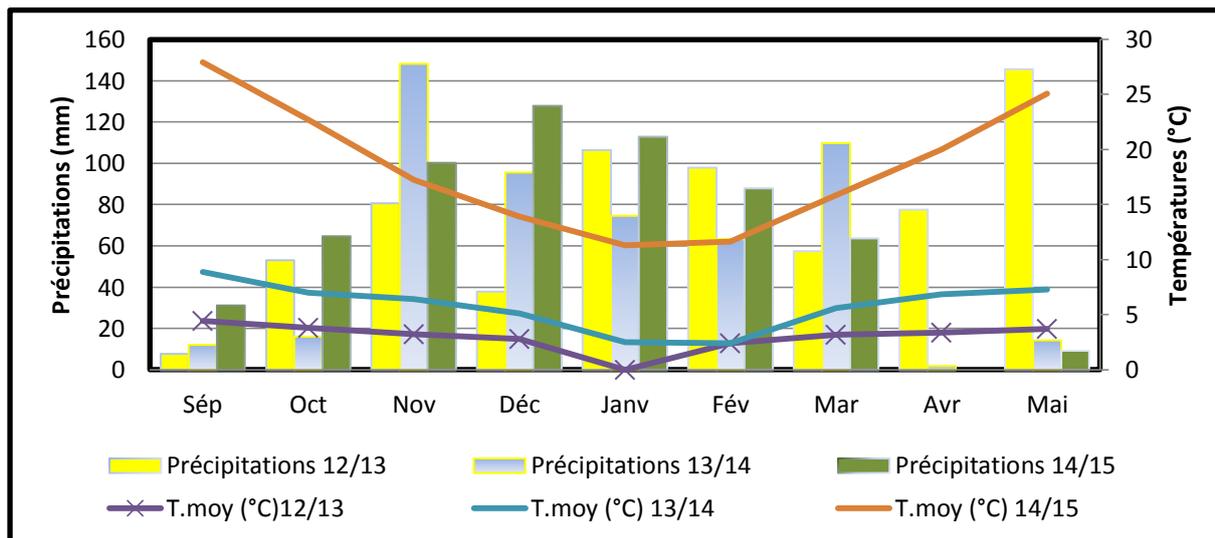


Figure 4.3: Précipitations et températures moyennes des campagnes 2012/2013, 2013/2014 et 2014/2015.

4.3.1. Pluviométrie

Les trois campagnes étaient favorables pour notre culture.

Le climat de la campagne 2012/13 est caractérisé par une pluviométrie annuelle de 665 mm, le cumul le plus élevé est enregistré durant le mois de mai avec 145.6 mm ce qui était favorable durant la période du pallier hydrique.

Le total des précipitations durant la campagne 2013/2014 est de 536.8 mm, avec une abondance de pluie durant le mois de novembre soit 148.3 mm.

Le cumul pluviométrique enregistré durant la campagne 2014/2015 est de 598.4 mm, aucun mm n'a été enregistré durant le mois d'avril ce qui a agi négativement sur la production de notre culture.

4.3.2. Températures

Les températures moyennes de la campagne 2012/13 varient de 12.11°C pour le mois de janvier à 23.62°C pour le mois de septembre, ce qui correspond successivement au mois le plus froid et au mois le plus chaud de la campagne.

Au cours de la campagne 2013/14, les températures moyennes les plus basses ont été enregistrées au mois de février avec 11.8°C, et les températures

moyennes les plus élevées ont été notées au cours du mois de septembre avec 23.9°C.

La campagne 2014/15 est caractérisée par des températures moyennes qui ne dépassent pas les 25°C pendant la phase du pallier hydrique, avec 20.02°C enregistrée au mois d'avril.

4.3.3. Conditions édaphiques

Dans le but de bien connaître les caractères physico-chimiques de notre parcelle expérimentale, une série d'analyses granulométriques et chimiques a été effectuée. Le prélèvement a été réalisé à la tarière sur une profondeur de 0-30 cm.

Les résultats analytiques sont notés dans le tableau 4.4.

Tableau 4.4 : Résultats des caractéristiques du sol

Caractéristiques du sol	Résultats analytiques
Caractéristiques chimiques	
CaCo ₃ total (%)	8.19
C.E (mmohs/cm)	0.93
pH	7.63
M.O (%)	2.32
Caractéristiques physiques	
Argile (%)	35
Limon fin (%)	13
Limon grossier (%)	40.12
Sable fin (%)	1
Sable grossier (%)	0.25
Classe texturale	Argilo-limoneuse

D'après les résultats du tableau 4.4, le sol analysé est moyennement calcaire (8.19%), sa conductivité électrique présente un taux très faible (0.93<2 mmohs/cm). De ce fait notre sol est non sale avec un pH légèrement basique (7.63) et un taux de matière organique relativement faible (2.32%).

Selon le triangle de texture de Henin et *al.* (1969) [144], notre sol a une texture Argilo-limoneuse.

4.4. Dispositif expérimental

Nous avons réalisé trois essais en blocs aléatoires complets comportant entre 03 et 04 répétitions.

1^{er} essai :

Le semis des variétés a été effectué au cours de la campagne 2012/2013, selon un dispositif en blocs avec 04 répétitions. La parcelle élémentaire étant constituée de 06 lignes de 03 m espacées de 20 cm. Un croisement diallèle avec réciproques entre les six (06) génotypes d'orge a été réalisé durant la même campagne.

2^{ème} essai :

Dans le deuxième essai figuraient les six parents du croisement diallèle et les trente hybrides F_1 . La parcelle élémentaire étant constituée de 06 lignes de 03 m espacées de 20 cm, et celles des hybrides compte 1 rang d'une longueur de 2 m.

Les distances entre les plants et inter rangs ont été respectivement de 0.05 m et 0.20 m.

3^{ème} essai :

Les générations F_1 et F_2 ont été semées au milieu de leurs parents respectifs en adoptant un dispositif en blocs aléatoires complets avec 03 répétitions. La parcelle élémentaire compte 1 rang d'une longueur de 2 m. Les distances entre les plants et inter rangs ont été respectivement de 0.05 m et 0.20 m.

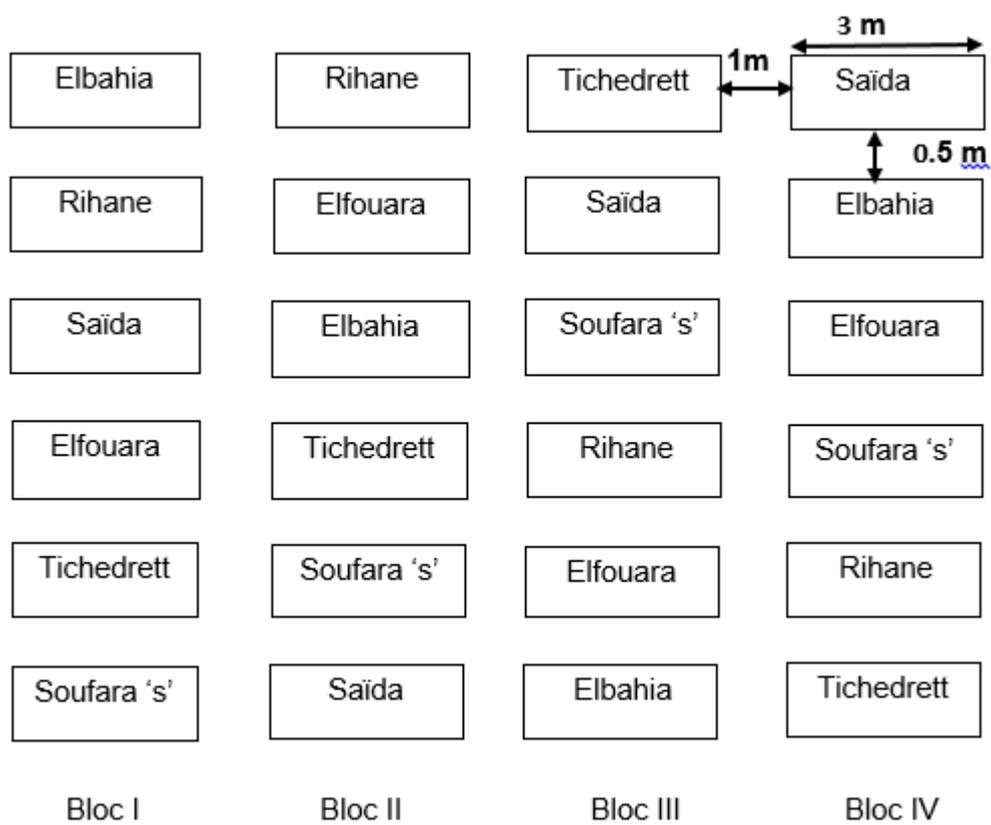


Figure 4.4 : Dispositif variétal.

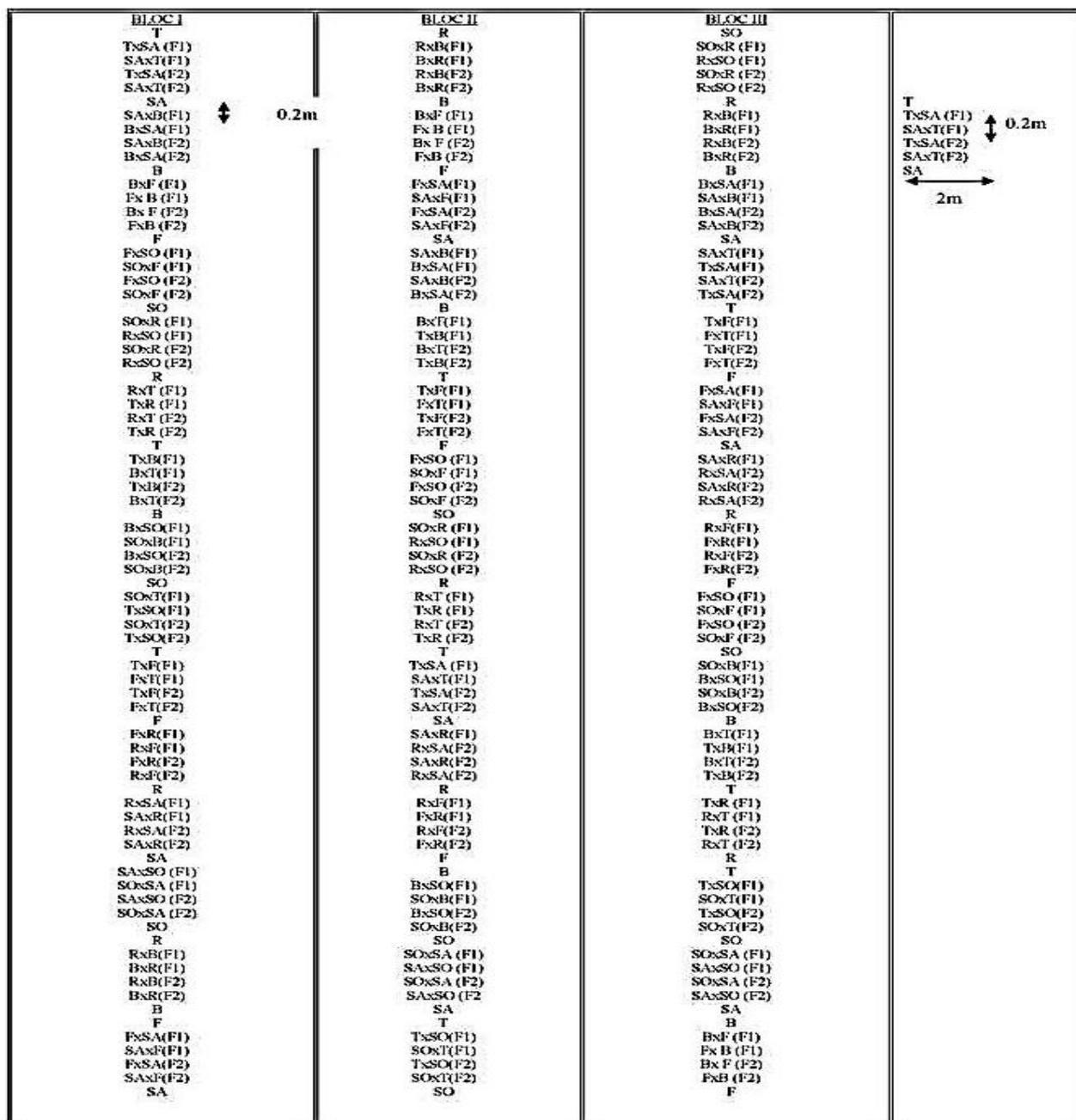


Figure 4.5 : Dispositif des hybrides.

4.5. Conduite des essais

4.5.1. Précédent cultural

Le précédent cultural était une culture de l'orge.

4.5.2. Travail de sol

Le travail de sol a été effectué dans l'ordre suivant :

- Un labour avec une charrue à soc ;
- Passage croisé avec un cover-crop ;
- Passage avec une herse ;
- Un travail manuel à l'aide des râteliers et des binettes a été effectué pour la préparation de lit de semence et le traçage des parcelles élémentaires.

4.5.3. Semis

Nous avons réalisé un semis manuel, au mois de décembre, d'une manière à répartir les grains régulièrement selon des lignes parallèles, avec une profondeur de 3 à 4 cm.

Par souci de faire coïncider le stade floraison des différentes variétés nous avons procédé à un semis échelonné avec un écart de 07 jours, pour faciliter l'hybridation entre génotypes à cycle long (tardifs) et génotypes à cycle court (précoces).

La semence F_0 (30 combinaisons) obtenue après hybridation, pour produire la génération F_1 , a été subdivisée en deux lots, l'un a été semé au cours de l'année 2013/14 pour produire de la semence F_2 et le second a été semé au cours de la saison suivante 2014/15.

4.5.4. Fertilisation

Trois apports d'engrais azoté ont été effectués avec l'urée 46% à raison de 1ql/ha : le premier apport a été réalisé le mois de février, au début de tallage, le deuxième apport à la deuxième quinzaine du mois de mars et le troisième apport au début du mois d'avril (début de floraison).

4.5.5. Désherbage

Les plantes adventices sont éliminées manuellement au fur et à mesure de leur apparition.

4.5.6. Irrigation

Dans le but d'atténuer la contrainte hydrique enregistrée durant le mois d'avril de la campagne 2014/2015, le recours à l'irrigation d'appoint (un apport de 40 mm) est devenu nécessaire pour le développement de la culture. L'irrigation a été faite en fonction de l'humidité du sol.

4.5.7. Récolte

La récolte des variétés parentales, à maturité complète du grain, a été faite manuellement, au début du mois de juin. Chaque variété a été récoltée séparément pour les 04 répétitions et chaque répétition a été récoltée à part.

Les épis hybridés sont récoltés manuellement à la maturité totale des grains, et ils sont mis dans des sachets séparément ;

La récolte des hybrides F_1 lorsque les grains sont devenus cassables. Chacune des trois répétitions a été récoltée à part

Pour les hybrides F_2 les meilleurs plants ont été récoltés individuellement, et le reste a été récolté en mélange pour chaque hybride.

Le battage a été réalisé manuellement.

4.6. Hybridation

Les semis échelonnés nous ont permis la coïncidence du moment de l'anthèse pour l'ensemble des variétés de l'essai.

La technique d'hybridation consiste à croiser les six variétés entre elle chacune d'elle est considérée tantôt comme parent mâle tantôt comme parent femelle.

Pour réaliser cette technique nous avons procédé à la castration de la variété choisie comme parent femelle pour être pollinisée manuellement par le pollen du parent mâle.

4.6.1. Castration

La castration est effectuée selon les étapes suivantes :

- * Elimination du tiers supérieur des épillets fertiles ;
- * Supprimer les épillets infertiles de la base et du sommet puis les fleurs latérales avec une pince ;
- * Ouvrir la fleur par écartement des glumes et glumelles pour ôter toutes les étamines avec la pince sans endommager le stigmate ;
- * L'épi castré est aussitôt couvert avec un sachet (figure 4.6).

4.6.2. Pollinisation

Deux à trois jours plus tard et après le choix de meilleurs épis mâles, la pollinisation a été réalisée comme suit :

- * La récolte des épis choisis comme parent mâles au stade début de floraison ;
- * Préparation des épis pollinisateurs en coupant le haut des épillets avec des ciseaux ;
- * Prélèvement des anthères matures à l'aide d'une pince et les faire déposer sur les stigmates de chaque fleur de l'épi castré ;
- * Protection de l'épi pollinisé par un sachet en papier glacé pour éviter l'introduction du pollen étranger ;
- * A la fin, le nom de croisement, la date de pollinisation et le nombre des fleurs pollinisées sont mentionnés sur le sachet (figure 4.7).



Figure 4.6 : Etapes de castration.



Figure 4.7 : Etapes de pollinisation.

4.7. Mesures et comptages

Toutes les mesures ont été portées sur 10 plants par répétition.

4.7.1. Etude des caractères phénologiques

La précocité à l'épiaison a été mesurée, pour chaque génotype, en calculant le nombre de jours depuis la levée jusqu'au stade épiaison qui est atteint lorsque 50% des épis sont sortis.

4.7.2. Etude des caractères morphologiques

4.7.2.1. Longueur de la paille (LP)

Nous avons mesuré la longueur (en cm) de la surface du sol jusqu'à la base de l'épi.

4.7.2.2. Longueur du col de l'épi (LCE)

Ce caractère est mesuré en centimètre à partir du dernier nœud jusqu'à la base de l'épi.

4.7.2.3. Longueur de l'épi (LE)

Nous avons mesuré la longueur de l'épi (en cm), de sa base jusqu'au sommet.

4.7.2.4. Longueur des barbes (LB)

La longueur de la barbe est exprimée en centimètre du sommet de l'épi vers l'extrémité des barbes.

4.7.2.5. Longueur de la feuille étendard (LFE)

Nous avons mesuré la longueur de la feuille (en cm) de sa base jusqu'au sommet.

4.7.3. Etude des caractères agronomiques

4.7.3.1. Nombre de plants par mètre carré (NP)

La densité de peuplement a été déterminée au stade levée des plants par le comptage des plants à l'aide d'un carré en bois de 1m² déposé en diagonale dans les parcelles élémentaires.

4.7.3.2. Nombre de talles par plant (NT)

Ce paramètre a été mesuré au stade plein tallage. Le comptage de nombre de talles par plant a été effectué sur 10 plants pris au hasard au niveau de chaque parcelle élémentaire.

4.7.3.3. Nombre d'épis par plant (NE)

Le dénombrement des épis a été effectué sur 10 plants pris au hasard au niveau de chaque parcelle élémentaire.

4.7.3.4. Nombre d'épillets fertiles et stériles par épi (NEPF) et (NEPS)

Pour chaque épi, nous avons compté le nombre d'épillets fertiles et stériles.

4.7.3.5. Nombre de grains de l'épi (NGE)

Ce paramètre très important a été déterminé après l'égrenage manuel des 10 épis prélevés auparavant.

4.7.3.6. Poids de grains de l'épi (PGE)

Les épillets ont été dégrainés et les grains ont été pesés avec une balance de précision en grammes.

4.7.3.7. Poids de mille grains (PMG)

Nous avons pesé mille grains (en g) issus des plantes de chacune des parcelles élémentaires.

4.7.3.8. Poids de la biomasse aérienne (BIO)

Renferme le rendement en paille et le rendement en grains. Les deux paramètres ont été évalués par le poids des plants (grains + paille) en grammes par mètre linéaire.

4.7.3.9. Rendement en grains estimé (RG)

Ce paramètre a été déterminé par le poids des grains en grammes par mètre linéaire.

4.7.3.10. Rendement en grains réel (RR)

Après la récolte, le battage et le nettoyage manuel, les grains de chaque parcelle élémentaire ont été pesés et les valeurs obtenues en kilogramme sont converties en qx/ha.

4.7.3.11. Indice de récolte (IR)

Cet indice est obtenu par le rapport du rendement en grains estimé (RG) récolté au mètre linéaire sur la biomasse aérienne à la récolte au mètre linéaire :

$$IR = RG / BIO.$$

4.8. Analyse de données

4.8.1. Analyse statistique

Le traitement statistique des données est réalisé à l'aide du logiciel CoStat 6.400 (Statistical Software, New Anova Style) pour l'effet génotype (variétés parentales et hybrides F₁ et F₂).

L'analyse de la variance est faite pour chaque essai séparément dans le but de dégager les différences existantes entre les génotypes cultivés durant les trois campagnes d'étude.

Pour l'essai variétal nous avons cherché la présence des différences entre les génotypes sous l'effet interaction entre les deux facteurs : génotype et campagne.

Le test de NEWMAN-KEULS permet de constituer les groupes de traitement homogènes en se basant sur les plus petites amplitudes significatives (P.P.A.S).

Les corrélations de Pearson entre les paramètres étudiées (variétés parentales et hybrides F_1 et F_2) sont faites par usage du logiciel SPSS. 20.

4.8.2. Analyse génétique

Les résultats du croisement diallèle ont été soumis aux analyses de Hayman (1954) et de Griffing (1956), pour préciser la diversité des génotypes utilisés dans notre essai.

4.8.2.1. Analyse diallèle de Hayman (1954)

Cette méthode nécessite le calcul de la covariance parent-descendants (W_r) et des variances (V_r) de chaque famille. Les covariances et les variances permettent l'établissement et l'interprétation d'une parabole et des droites de régression dont les formules sont les suivantes :

* Parabole : $W_r^2 = V_0 V_r$;

* Droite de régression : $W_r = b V_r + c$;

* Droite de régression : $(W_r + V_r) = b t + c$.

Cette méthode permet l'estimation en gènes dominants et en gènes récessifs des lignées du diallèle, ainsi que la détection des combinaisons transgressives. Cependant, Les hypothèses sur lesquelles notre modèle biométrique simple est basé sont :

- 1- Les plantes doivent avoir des ségrégations de diploïdes ;
- 2- Les croisements réciproques doivent être identiques ;
- 3- Action indépendante des gènes (pas d'épistasie) ;
- 4- Pas de multiallélisme;
- 5- Les parents doivent être homozygotes ;
- 6- Les différents gènes en cause doivent être distribués indépendamment chez les parents.

À l'exception de l'hypothèse (1) les autres apparaissent comme difficiles à contrôler avant la réalisation des croisements.

4.8.2.2. Analyse diallèle de Griffing (1956)

Le modèle utilisé dans l'analyse diallèle Griffing est le modèle 1 où les effets variétés et blocs sont considérés comme des variables fixes selon la méthode 3 (F_1 , F_2 et réciproques sans les parents) pour l'analyse de la variance des effets d'aptitudes générale et spécifique à la combinaison (AGC et ASC) et des effets réciproques (effets maternels). Les effets réciproques peuvent être décomposés en effets réciproques généraux et spécifiques.

Le modèle pour l'analyse de l'aptitude à la combinaison est le suivant :

$$Y_{ij} = \mu + g_i + g_j + S_{ij} + r_{ij}$$

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 ;

r_{ij} = erreur résiduelle.

Les composantes de la variation sont données dans le tableau 4.5.

Tableau 4.5: Espérances des carrés moyens d'AGC, d'ASC et d'effets réciproques.

Sources de variation	ddl	SCE	CM	espérances
AGC	$p-1$	S_g	M_g	$\sigma_e^2 + 2(P-2)\left(\frac{1}{p-1}\right) + \sum g_i^2$
ASC	$p(p-3)/2$	S_s	M_g	$\sigma_e^2 + 2\left(\frac{2}{p(p-3)}\right) \sum_{i<j} \sum S_{ij}^2$
Effets réciproques	$p(p-1)/2$	S_r	M_r	$\sigma_e^2 + 2\left(\frac{2}{p(p-1)}\right) \sum_{i<j} \sum r_{ij}^2$
Erreur	m	S_e	$M'e$	σ_e^2

$M'e$ = erreur de l'analyse de la variance bloc aléatoire complet/nombre de blocs.

$P = 6$.

La variance d'AGC et d'ASC se calcule comme suit :

$$\frac{1}{5} \sum g_i^2 = \frac{M_g - M'e}{2(p-2)}$$

$$\frac{1}{9} \sum S_{ij}^2 = \frac{M_s - M'e}{2}$$

4.8.2.3. Calcul de l'hétérosis moyen

Pour les deux générations F_1 et F_2 , l'hétérosis par rapport à la moyenne des parents est calculée comme suit : $[(\text{Valeur de l'hybride} - (P_1 + P_2/2))] / (P_1 + P_2/2) * 100$. Il mesure l'écart à l'additivité.

4.8.2.4. Calcul de l'héritabilité et des coefficients de variation

L'héritabilité au sens large représente la part de la variance phénotypique (VP) d'origine génétique (VG).

L'héritabilité au sens large (H^2) est calculée comme suit :

$H^2 = VG/VP$ (Variance Phénotypique = Variance Génétique + Variance Environnementale).

Les coefficients de la variation génétique et résiduelle sont calculés comme suit :

$$CV_G = 100 \times \left(\sqrt{\sigma^2 G / \bar{X}} \right)$$

$$CV_e = 100 \times \left(\sqrt{\sigma^2 e / \bar{X}} \right)$$

Où

$\sigma^2 G$: Variance génétique ;

$\sigma^2 e$: Variance résiduelle ;

\bar{X} : moyenne générale du caractère.

CHAPITRE 5

RESULTATS ET DISCUSSION

5.1. Étude des caractéristiques des variétés parentales

5.1.1. Etude de la première année

5.1.1.1. Précocité à l'épiaison

La date d'épiaison est souvent utilisée comme un indicateur de précocité, c'est un caractère important qui influence les rendements de céréales.

L'analyse de variance de la précocité durant la première année présente une différence très hautement significative ($p < 0.001$) entre variétés. Le test de Newman et Keuls a donné cinq groupes homogènes (figure 5.1), la variété Fouara constitue le groupe « A » avec 102 jours, suivie par la variété Bahia qui forme le groupe « B » avec 100 jours, tandis que les variétés Soufara et Rihane réalisent le cycle le plus court avec 95 jours, elles constituent le groupe « E », les deux variétés locales Saïda et Tichedrett forment les groupes « C » et « D » avec 99 et 97 jours respectivement. Le coefficient de variation est de 4.44%.

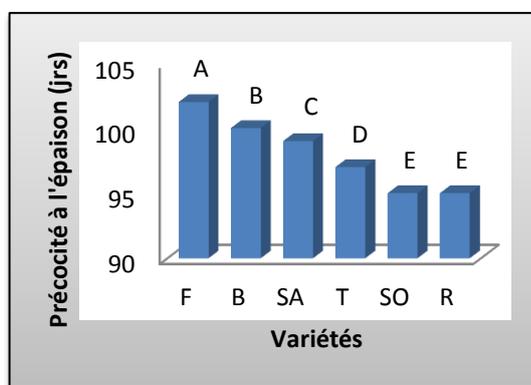


Figure 5.1: Précocité à l'épiaison de six variétés d'orge en 1^{ère} année.

5.1.1.2. Étude des caractères morphologiques

L'analyse de la variance met en évidence un effet génotypique très hautement significatif ($p < 0.001$) pour l'ensemble des caractères. Le test de Newman et Keuls a permis de classer en 03 (longueur de la paille) et 05 groupes homogènes (longueur de l'épi). Le coefficient de variation de l'erreur varie de 8.35 % (longueur du col de l'épi) à 9.16% (longueur de la paille) (figure 5.2).

- **Longueur de la paille.** La variété locale Tichedrett possède la plus longue tige avec 80.91 cm, et forme le groupe « A ». Les autres variétés Saïda, Rihane et Bahia constituent le groupe « B » avec une moyenne de longueur de 67.45 cm, le groupe « C » est formé par Soufara et Fouara avec 54.29 cm et 50.64 cm respectivement (figure 5.2).

- **Longueur du col de l'épi.** La variété Tichedrett présente le col de l'épi le plus long avec 30.43 cm, elle constitue le groupe « A », tandis que la variété Soufara présente la longueur du col la plus courte avec 15.69 cm, Soufara est classée dans le groupe « D » (figure 5.2).

- **Longueur de l'épi.** L'épi le plus long a caractérisé la variété Soufara avec 6.55 cm, elle forme le groupe « A », la variété Bahia se distingue par un épi de 5.88 cm de longueur, elle est classée dans le groupe « AB », les deux variétés locales Saïda et Tichedrett sont classées au milieu des variétés, elles forment les groupes « B » et « BC » avec des valeurs de 5.71 cm et 5.17 cm respectivement, la variété Rihane possède l'épi le plus court avec 4.37 cm, elle forme le groupe « C » (figure 5.2).

- **Longueur de la barbe.** La variété Fouara présente la longueur de la barbe la plus élevée avec 14.38 cm. Le test de Newman et Keuls a classé Fouara dans le groupe « A », les variétés Tichedrett, Saïda et Rihane ont été classées dans le groupe « AB », La variété Bahia forme le groupe « B », le groupe « C » est formé par Soufara avec la barbe la plus courte (9.43 cm) (figure 5.2).

- **Longueur de la feuille étendard.** Le classement des génotypes selon le test de Newman et Keuls montre la présence de trois groupes homogènes distincts, le groupe « A » est formé par la variété Fouara avec 14.23 cm, Bahia et Rihane

forment le groupe « B », le groupe « C » est formé par Tichedrett, Soufara et Saïda avec 10.17 cm, 10.03 cm et 9.71 cm respectivement (figure 5.2).

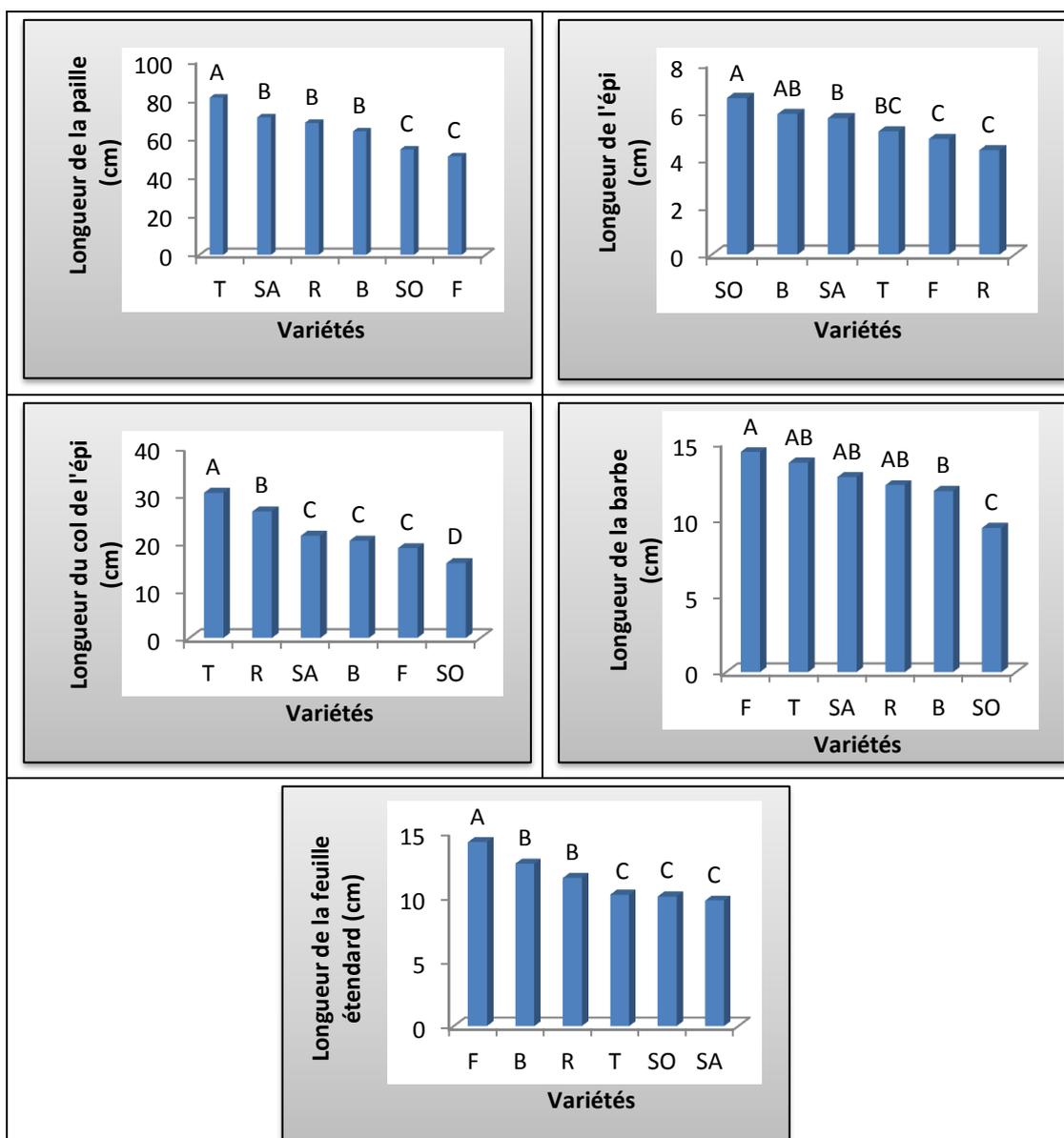


Figure 5.2: Moyennes des caractères morphologiques de six variétés d'orge en 1ère année.

5.1.1.3. Étude des caractères agronomiques

L'analyse de la variance a montré une différence significative ($p < 0.05$) pour le caractère nombre de talles par plant à très hautement significative ($p < 0.001$) pour le reste des caractères, aucune signification pour le caractère rendement en grains réel. Le test de Newman et Keuls a permis de classer les variétés entre 02 et 06

groupes homogènes pour le rendement en grains et l'indice de récolte respectivement. Les coefficients de variation varient entre 5.64% pour le poids de la biomasse aérienne à 22.72 % pour le nombre d'épillets stériles par épi.

- **Nombre de plants par mètre carré.** Pour cette variable la variété Rihane se détache des autres variétés par le nombre de plants le plus élevé avec 221 plants, elle constitue le groupe « A » avec les variétés Bahia, Fouara, Saïda et Tichedrett. Soufara forme le groupe « B » avec 165 plants (figure 5.3).

- **Nombre de talles par plant.** La variété locale Tichedrett a enregistré le nombre de talles le plus important avec 6.02, suivie par la variété Soufara avec 6 talles. Les deux variétés forment le groupe « A », le nombre le plus faible est enregistré chez Fouara (4.66 talles), elle est représentée par le groupe « B », le groupe « AB » est formé par Bahia, Rihane et Saïda (figure 5.3).

- **Nombre d'épis par plant.** La variété locale Tichedrett présente le nombre d'épis par plant le plus élevé avec 4.08 épis, elle constitue le groupe « A », tandis que la deuxième variété locale Saïda a donné le nombre d'épis le plus faible avec 2.7 épis, elle forme le groupe « C », la variété Soufara forme le groupe « B » avec 3.48 épi par plant et les autres variétés introduites sont chevauchantes formant le groupe « BC » (figure 5.3).

- **Nombre d'épillets fertiles par épi.** Les orges à six rangs sont nettement plus fertiles que les orges à deux rangs, le classement du nombre d'épillets fertiles révèle trois groupes, les variétés Tichedrett, Bahia, Rihane et Fouara constituent le groupe « A » avec un nombre de 15.24, 14.73, 13.77 et 13.69 épillets respectivement, la variété Saïda forme le groupe « B » et Soufara le groupe « C » avec une valeur de 8.03 épillets (figure 5.3).

- **Nombre d'épillets stériles par épi.** Le classement du nombre d'épillets stériles par épi à l'aide du test de Newman et Keuls montre la présence de quatre groupes homogènes. Le groupe « A » est formé par le génotype Saïda avec 6.08 épillets, suivie par la variété Rihane qui constitue le groupe « AB » avec 5.48 épillets, les variétés Fouara et Tichedrett constituent le groupe « BC » avec un nombre de 3.98 et 3.89 épillets respectivement, alors que les variétés Bahia et Soufara forment le dernier groupe « C » avec 2.45 épillets (figure 5.3).

- **Nombre de grains de l'épi.** La variété la plus productive est Tichedrett avec 45.73 grains par épi, elle forme le groupe « A » avec la variété Bahia, Rihane et Fouara, la variété Saïda constitue le groupe « B » et Soufara a constitué le groupe « C » avec une valeur de 24.08 grains par épi (figure 5.3).

- **Poids de grains de l'épi.** Le poids de grains le plus élevé a été obtenu chez les variétés Bahia et Tichedrett avec 3.1 g et 3.08 g respectivement, elles sont classées dans le groupe « A », le groupe « B » est formé par Rihane, Fouara, et Saïda, alors que Soufara a constitué le groupe « C » avec un poids de 1.72 g (figure 5.4).

- **Poids de mille grains.** Le poids le plus élevé a été enregistré chez la variété Fouara avec 61 g, elle constitue le groupe « A », suivie de la variété Rihane formant un groupe chevauchant « AB », Tichedrett, Saïda et Bahia ont formé le groupe « B », le poids minimum est donné par Soufara avec 44 g, elle est classée dans le groupe « C » (figure 5.4).

- **Poids de la biomasse aérienne.** La variété Tichedrett a produit la biomasse aérienne la plus importante avec 406.25 g/m linéaire, elle forme le groupe « A », suivie de la variété Bahia avec 368.75 g/m linéaire et la variété Saïda avec 362 g/m linéaire, ces deux variétés forment le groupe « B », par contre Soufara a donné le poids le plus faible avec 192.5 g. Soufara est classée dans le groupe « D » (figure 5.4).

- **Rendement en grains estimé.** La comparaison des moyennes a donné 02 groupes homogènes A, et B :

A : les variétés Fouara et Saïda avec 166g et 149.25g par mètre linéaire respectivement.

B : comporte les variétés Bahia, Rihane, Tichedrett et Soufara (figure 5.4).

- **Rendement en grains réel.** L'analyse de la variance révèle un effet non significatif avec une probabilité de 0.769 pour un coefficient de variation de l'erreur de 20.93%.

- **Indice de récolte.** Les valeurs les plus importantes sont obtenues par Soufara (0.56), Fouara (0.47) et la plus faible valeur d'indice de récolte est

enregistrée par Tichedrett (0.28). Le test de Newman et Keuls a révélé la présence de six groupes homogènes : « A » « B » « C » « D » « DE » et « E » (figure 5.4).

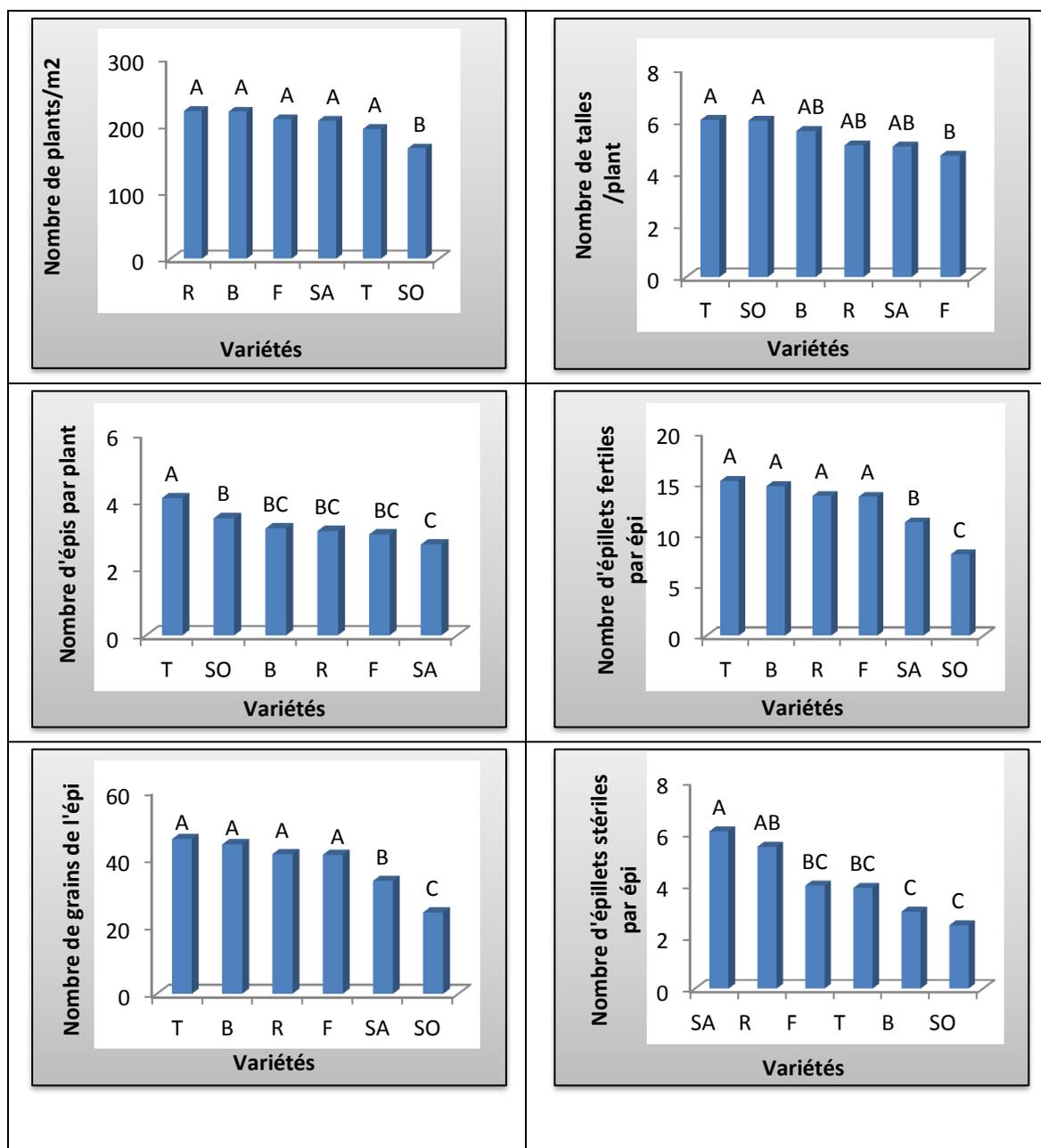


Figure 5.3: Moyennes des caractères agronomiques (NP, NE, NT, NEPF, NGE et NEPS) de six variétés d'orge en 1^{ère} année.

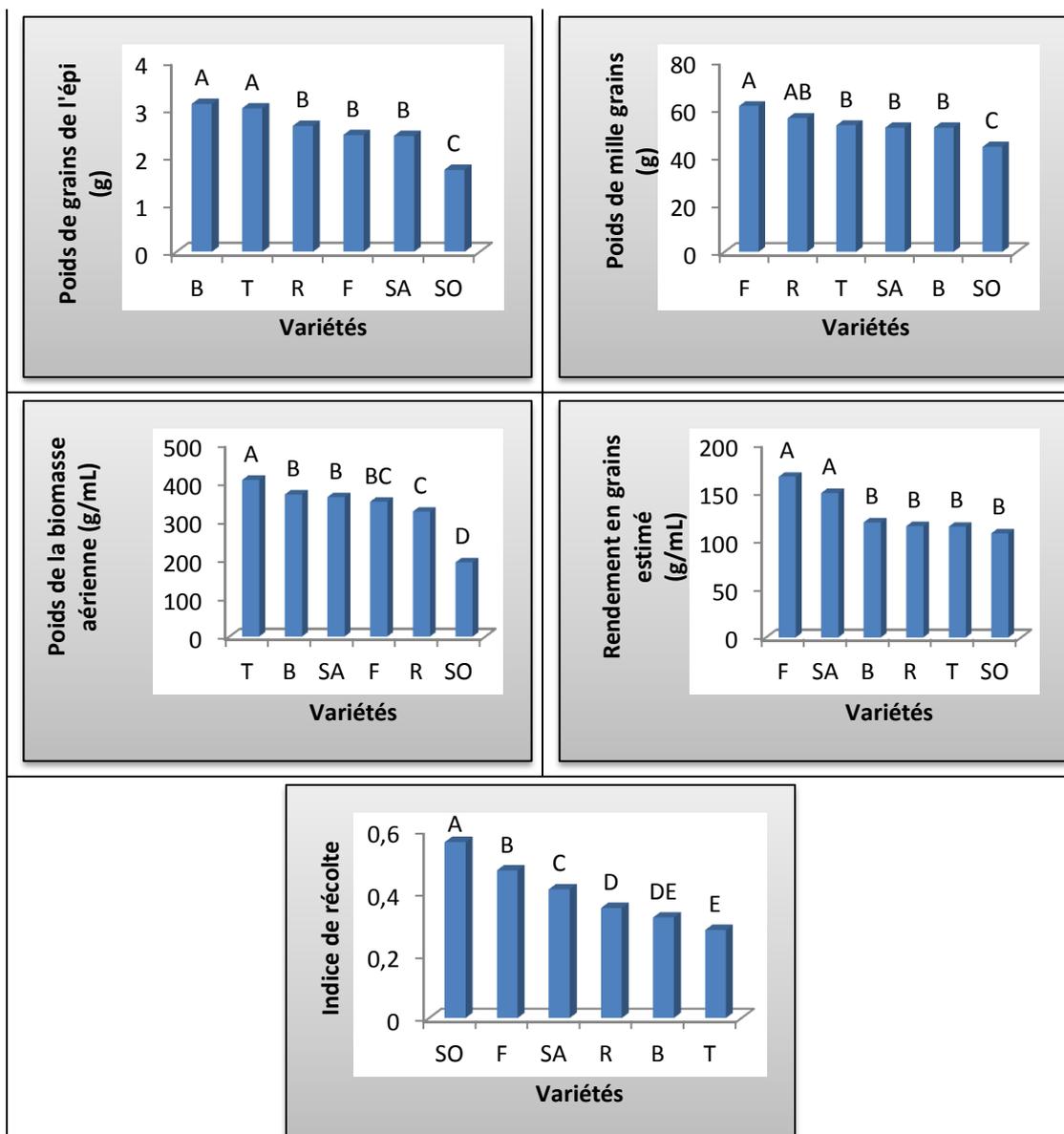


Figure 5.4: Moyennes des caractères agronomiques (PGE, PMG, BIO, RDT et IR) de six variétés d'orge en 1^{ère} année.

5.1.2. Etude de la deuxième année

5.1.2.1. Précocité à l'épiaison

En deuxième année une différence très hautement significative ($p < 0.001$) a été révélée pour la phase levée – épiaison. Le test de Newman et Keuls a donné six groupes homogènes, la variété locale Saïda a présenté la meilleure valeur (101 jours), elle forme le groupe « A », par contre Rihane a enregistré la plus courte durée avec 89 jours, elle constitue le groupe « F » (figure 5.5).

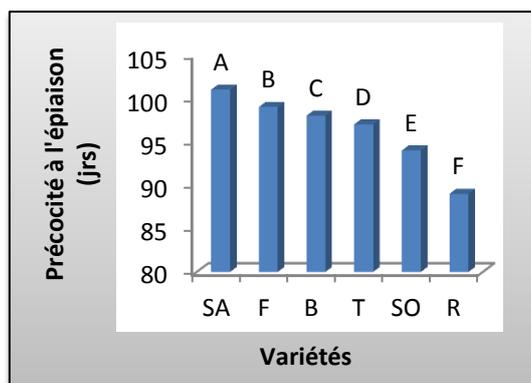


Figure 5.5: Précocité à l'épiaison de six variétés d'orge en 2^{ème} année.

5.1.2.2. Étude des caractères morphologiques

L'analyse de la variance a révélé un effet génotypique hautement significatif ($p < 0.01$) pour la longueur de l'épi et la longueur de la barbe à très hautement significatif ($p < 0.001$) pour les caractères longueur de la paille et longueur du col de l'épi. Le test de Newman et Keuls a présenté entre 03 et 04 groupes homogènes. Le coefficient de variation varie de 6.63% (longueur de la barbe) à 11.85% (longueur de l'épi) (figure 5.6).

-Longueur de la paille. La longueur la plus élevée est enregistrée chez la variété locale Saïda avec une valeur de 66.08 cm et la plus faible chez la variété Fouara avec une valeur de 44.08 cm. Les groupes homogènes obtenus sont de l'ordre de 03 groupes : « A », « B » et « C » (figure 5.6).

-Longueur du col de l'épi. Le col le plus long est enregistré chez la variété locale Tichedrett avec 32.98 cm, suivie de la deuxième variété locale Saïda avec une valeur de 26.82 cm, tandis que la variété Fouara a donné la plus petite valeur avec 19.75 cm. Le test de Newman et Keuls a montré la présence de 04 groupes homogènes : « A » est formé par Tichedrett, « B » regroupe Saïda et Rihane, « BC » est constitué par Bahia et Soufara, alors que le groupe « C » est formé par Fouara (figure 5.6).

-Longueur de l'épi. Soufara a donné l'épi le plus long avec 7.30 cm, et la plus petite valeur est donnée par la variété Rihane avec 5.17 cm. Soufara a formé le groupe « A », Bahia et Saïda sont chevauchantes « AB », le groupe « B » est formé par Fouara, Tichedrett et Rihane (figure 5.6).

-Longueur de la barbe. Les barbes les plus longues ont été enregistrées chez Fouara avec 15.09 cm, en revanche Soufara a donné la valeur la plus faible avec 11.53 cm. Elle occupe le groupe « C », Fouara constitue le groupe « A », Bahia, Tichedrett et Saïda se chevauchent et forment le groupe « AB », alors que le groupe « BC » est formé par Soufara (figure 5.6).

-Longueur de la feuille étendard. La longueur la plus élevée est notée chez la variété Bahia avec 13.05 cm forme le groupe « A », Tichedrett, Saïda, Rihane et Fouara sont chevauchantes « AB ». Soufara constitue le groupe « B » avec 9,75 cm (figure 5.6).

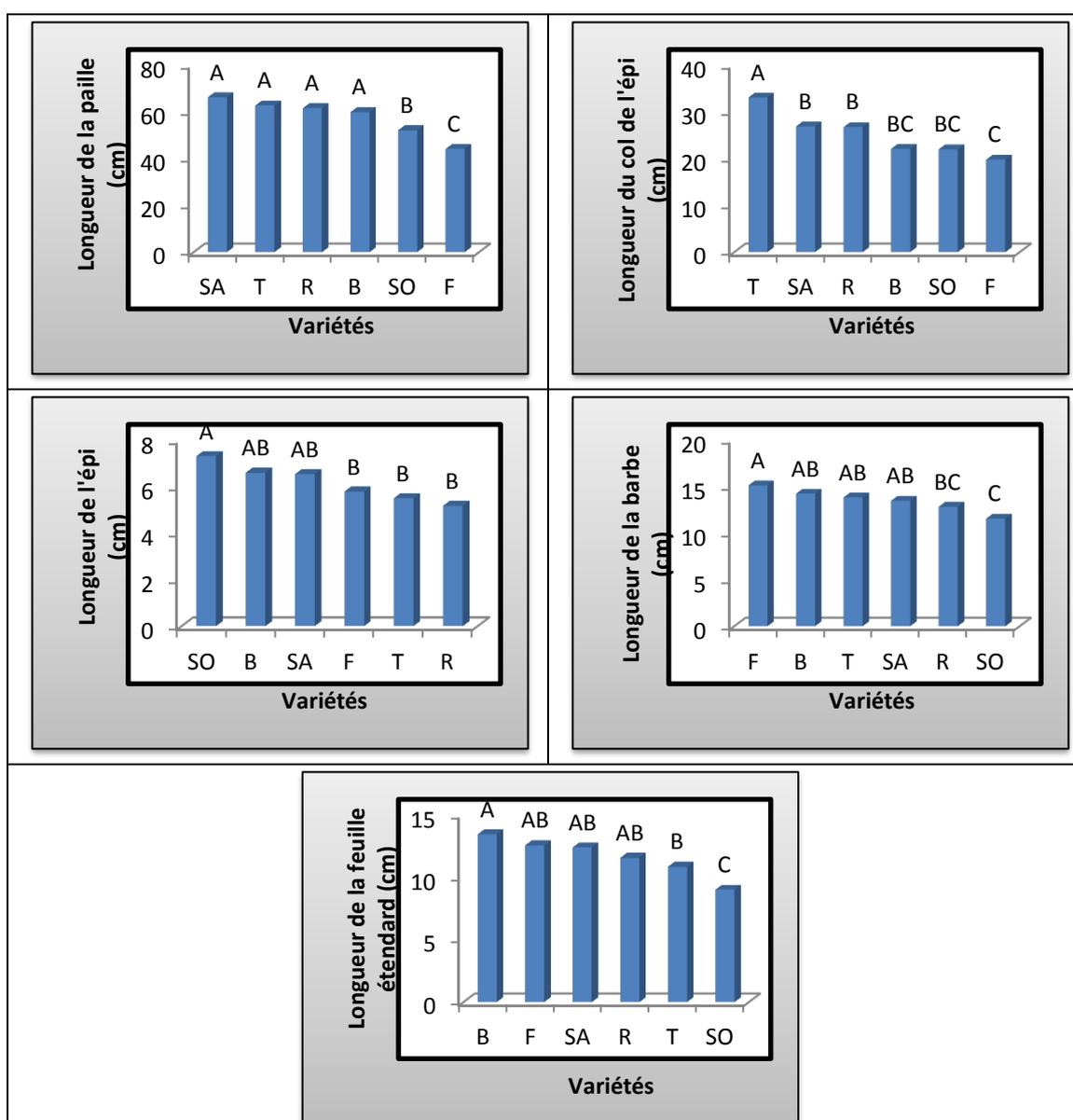


Figure 5.6: Moyennes des caractères morphologiques de six variétés d'orge en 2^{ème} année.

5.1.2.3. Étude des caractères agronomiques

L'analyse de la variance a révélé une différence significative ($p < 0.05$) pour les caractères nombre de talles par plant, le nombre d'épillets fertiles par épi, hautement significative ($p < 0.01$) pour le nombre d'épis par plant et le poids de grains de l'épi, et très hautement significative ($p < 0.001$) pour le reste des caractères. Le test de Newman et Keuls a donné entre 01 (nombre de talles par plant) et 06 groupes homogènes (nombre d'épis par plant et indice de récolte). Les coefficients de variation varient entre 1.48 % pour le rendement en grains estimé à 19.60 % pour le poids de grains de l'épi (figure 5.7).

- **Nombre de plants par mètre carré.** Le nombre de plant le plus élevé est donné par la variété Fouara, elle forme le groupe « A » avec 270.5 plants. Bahia, Saïda, Soufara Tichedrett et Rihane constituent le groupe « B » avec 227.5, 220, 209.7, 205 et 200 plants successivement (figure 5.7).

- **Nombre de talles par plant.** La variété locale Tichedrett a enregistré le nombre de talles le plus élevé avec 5 talles, alors que Rihane a présenté le nombre le plus faible avec 3.75 talles. Toutes les variétés constituent le groupe « A » (figure 5.7).

- **Nombre d'épis par plant.** La plus grande valeur a été enregistrée par Fouara avec 04 épis par plant, elle forme le groupe « A ». Tandis que Rihane a présenté le nombre le plus faible avec 2.93 épis, elle constitue le groupe « C », Bahia, Soufara, Tichedrett et Saïda constituent les groupes « AB » « ABC » « BC » respectivement (figure 5.7).

- **Nombre d'épillets fertiles par épi.** La variété Bahia a donné la valeur la plus élevée avec 16.7 épillets, elle constitue le groupe « A », par contre Soufara a formé le groupe « B » avec une valeur de 13.95 épillets. Saïda, Fouara, Rihane et Tichedrett sont chevauchantes « AB » (figure 5.7).

- **Nombre d'épillets stériles par épi.** Le nombre d'épillets stériles le plus élevé est donné par Bahia avec 2.7 épillets, elle forme le groupe « A » avec Tichedrett, Fouara, Saïda et Rihane, par contre le groupe « B » est constitué par Soufara avec 1.4 épillets (figure 5.7).

- **Nombre de grains de l'épi.** La variété Bahia se distingue par le nombre de grains le plus élevé avec 52.7 grains, elle forme le groupe « A », tandis que Soufara a enregistré le nombre le plus faible avec 27.45 grains, elle constitue le groupe « C », les géotypes Saïda, Fouara et Rihane constituent le groupe chevauchant « AB », Tichedrett est classée dans le groupe « B » (figure 5.7).

- **Poids de grains de l'épi.** La variété locale Saïda a montré le meilleur poids avec 3 g, suivie par Tichedrett avec 2.8 g, elles sont classées dans le groupe « A », Bahia, Rihane et Fouara sont chevauchantes « AB », Soufara est classée dans le groupe « B » avec un poids de 1.51g (figure 5.8).

- **Poids de mille grains.** Le meilleur poids est observé chez la variété Saïda avec 66.83 g elle forme le groupe « A », alors que Tichedrett a donné le poids le plus faible : 51.42 g, Tichedrett, Rihane, Bahia, Fouara et Soufara constituent le groupe « B » (figure 5.8).

- **Poids de la biomasse aérienne.** Tichedrett a donné la valeur la plus élevée avec 406.76 g/ m linéaire suivie de la variété Saïda, elles occupent le groupe « A », par contre Soufara a présenté la plus faible valeur : 180 g/m linéaire, elle est classée dans le groupe « E », les géotypes Bahia, Fouara et Rihane forment les groupes « B » « C » et « D » respectivement (figure 5.8).

- **Rendement en grains estimé.** Le meilleur rendement est enregistré chez la variété locale Saïda avec 191.85 g/m linéaire, son classement est dans le groupe « A », alors que Soufara a enregistré le rendement le plus faible avec 104.63 g/m linéaire constitue le groupe « F ». Bahia, Fouara, Tichedrett et Rihane ont été classées dans les groupes « B » « C », « D » et « E » respectivement (figure 5.8).

- **Rendement en grains réel.** Fouara a donné le rendement le plus élevé : 49.25 Qx/ha, suivie de la variété Rihane : 44.63 Qx/ha par contre Soufara a donné le rendement le plus faible : 31 Qx/ha. Le nombre de groupes homogènes formés est de 05 : Fouara constitue le groupe « A », Rihane forme le groupe « B », Bahia et Tichedrett forment le groupe « C », Saïda se classe dans le groupe « D » et Soufara forme le groupe « E » (figure 5.8).

- **Indice de récolte.** Le meilleur indice est enregistré chez Soufara : 0.58, suivie de la variété Saïda avec 0.47, tandis que Tichedrett a donné un indice faible : 0.34. Le classement des variétés selon leur moyenne a montré 06 groupes homogènes : Soufara constitue le groupe « A », Saïda se classe dans le groupe « B », Bahia forme le groupe « C », Fouara constitue le groupe « D », Rihane forme le groupe « E » et Tichedrett se classe dans le groupe « F » (figure 5.8).

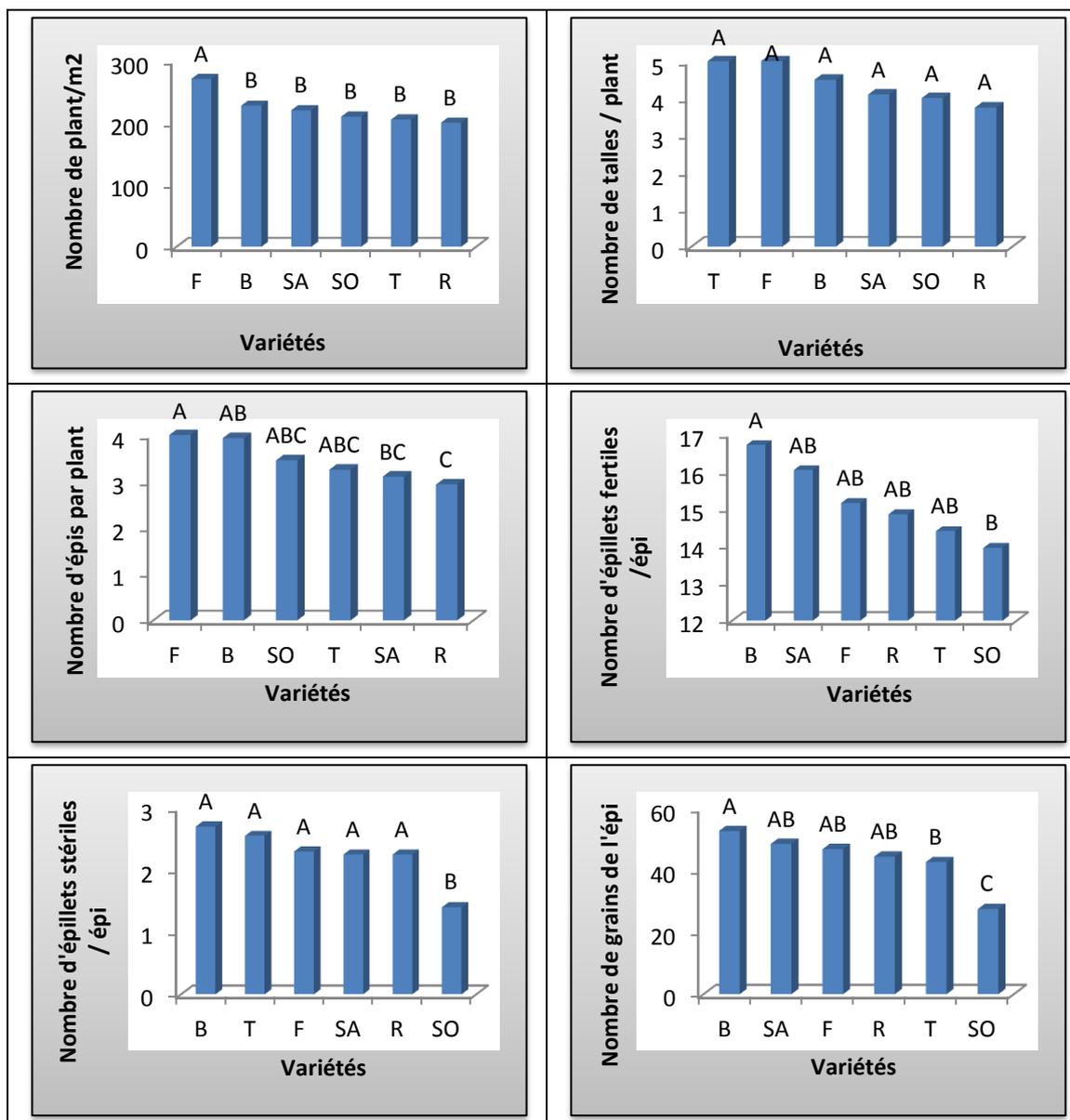


Figure 5.7: Moyennes des caractères agronomiques (NP, NT, NE, NEPF, NEPS et NGE) de six variétés d'orge en 2^{ème} année.

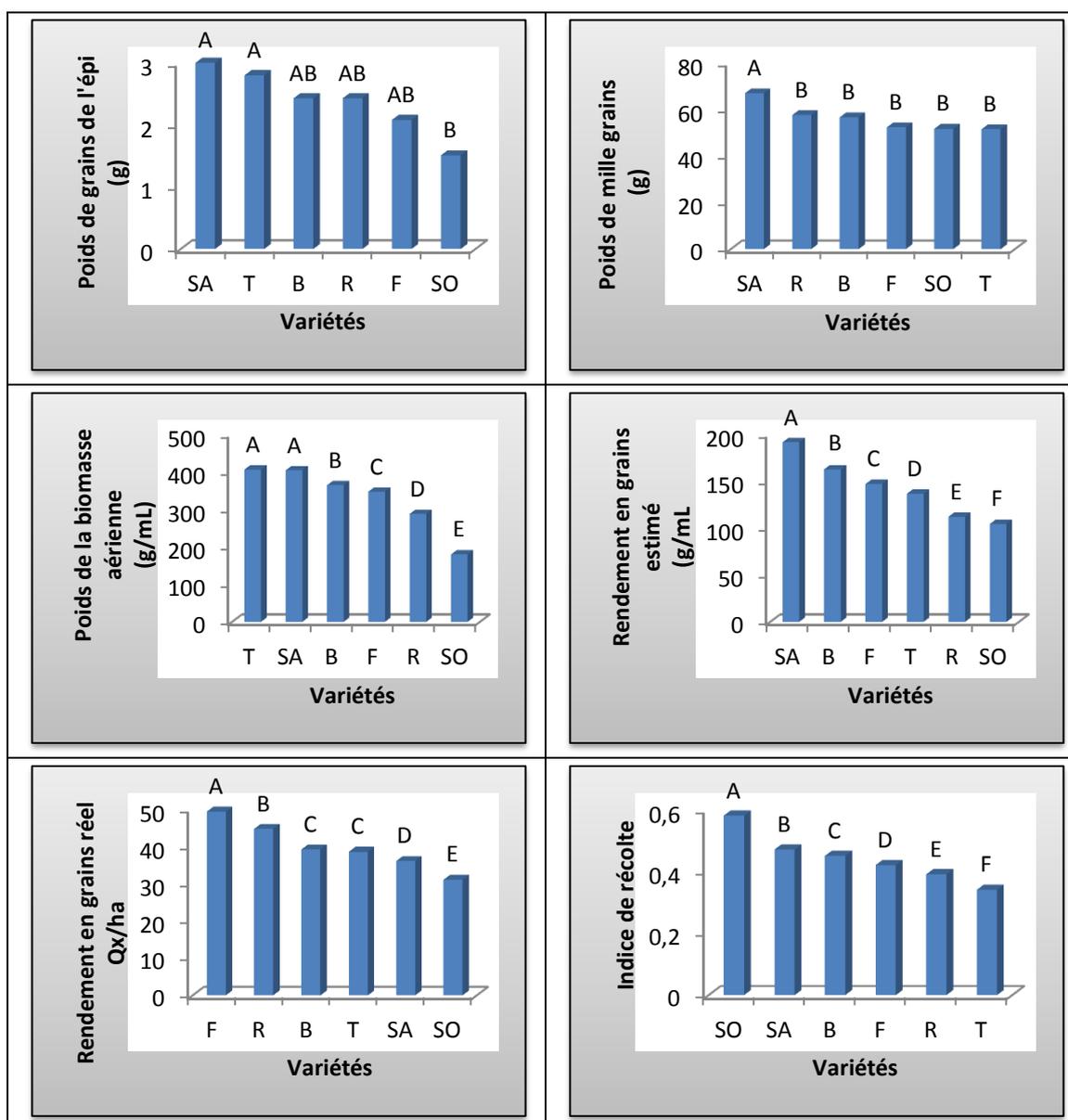


Figure 5.8: Moyennes des caractères agronomiques (PGE, PMG, BIO, RGE, RDT et IR) de six variétés d'orge en 2^{ème} année.

5.1.3. Etude de l'effet année

On enregistre un effet année non significatif ($p > 0.05$) sur les caractères mesurés hormis le nombre de talles par plant et le nombre d'épillets stériles par épi.

5.1.3.1. Nombre de talles par plant

L'analyse de la variance de l'effet année est significative ($p < 0.05$) pour le nombre de talles, l'ensemble des géotypes forment un seul groupe (figure 5.9), la

comparaison des résultats des deux années d'expérimentation a révélé que la première année a donné plus de talles (5.38 talles) que la deuxième année (4.39 talles) ce qui indique que les conditions climatiques étaient favorables pour le développement de ce caractère durant la première année.

5.1.3.2. Nombre d'épillets stériles par épi

L'analyse de la variance de l'effet année est significative ($p < 0.05$). Le test de Newman et Keuls a donné 02 groupes homogènes.

La campagne 2012/2013 a montré le meilleur résultat : 4.14 épillets stériles pour l'ensemble des génotypes, alors que durant la campagne 2013/2014 un nombre d'épillets stériles de : 2.24 a été enregistré (figure 5.9).

L'effet année est significatif ce qui montre l'instabilité de ce caractère d'une année à une autre. La fertilité reste aussi sous la dépendance des conditions climatiques qui ont lieu au cours de stade gonflement-épiaison.

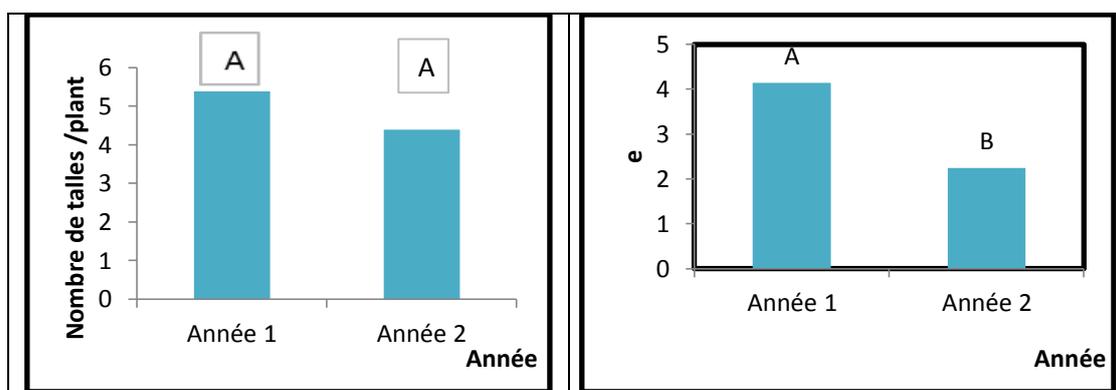


Figure 5.9: Moyennes des caractères agronomiques : NT, NEPS de six variétés d'orge (Effet année).

5.1.4. Etude de l'interaction génotype x année

Pour certaines variables analysées, l'effet de l'interaction génotype x année a montré une différence significative ($p < 0.05$) à très hautement significative ($p < 0.001$) (figure 5.10).

5.1.4.1. Précocité à l'épiaison

Une interaction génotype x année significative ($p < 0.05$) a été observée pour la phase levée – épiaison ce qui montre que les génotypes étudiés ne sont pas stables pour cette caractéristique d'une année à une autre (figure 5.10).

La variété Fouara se distingue par une durée levée - épiaison longue durant la première campagne : 102 jours, tandis que Rihane est le génotype le plus précoce : 89 jours. Le test de Newman et Keuls a donné 06 groupes homogènes : Fouara et Saïda forment le groupe « A », « B », « C », « D », « E » et « F » (figure 5.10).

5.1.4.2. Étude des caractères morphologiques

L'analyse de la variance des caractères morphologiques de l'interaction génotype x année a montré une différence significative ($p < 0.05$) pour la longueur de la paille, de la barbe et la feuille étendard, hautement significative ($p < 0.01$) pour la longueur du col de l'épi et très hautement significative ($p < 0.001$) pour la longueur de l'épi. Les coefficients de variation varient de 2.55% (longueur de l'épi) à 7.38% (longueur du col de l'épi). Le nombre de groupes formés varient entre 03 (longueur de la paille) et 05 groupes (longueur du col de l'épi et de la barbe) (figure 5.10).

- **Longueur de la paille.** La paille la plus longue a caractérisé la variété Tichedrett durant la première campagne avec 80.91 cm forme le groupe « A », tandis que Fouara a enregistré la plus faible valeur : 44.08 cm durant la deuxième campagne, elle constitue le groupe « C » (figure 5.10).

- **Longueur du col de l'épi.** L'étude de l'interaction variété x année montre que Tichedrett avec la plus grande valeur durant la deuxième année (32.98 cm) constitue le groupe « A ». Par contre Soufara a présenté la plus faible valeur avec 15.69 cm constitue le groupe « D », en première année (figure 5.10).

- **Longueur de l'épi.** Durant la deuxième année Soufara a donné l'épi le plus long avec 7.3 cm forme le groupe « A ». Tandis que le dernier groupe « C » est constitué par Rihane avec 4.37 cm, en première année (figure 5.10).

- **Longueur de la barbe.** En deuxième année la variété Fouara a montré la valeur la plus élevée : 15.09 cm, elle occupe le groupe « A ». Par contre, en

première année, Soufara a donné la barbe la plus courte avec 9.43 cm constitue le groupe «C » (figure 5.10).

- **Longueur de la feuille étendard.** Durant la première année le groupe « A » est formé par Fouara avec 14.23 cm. Tandis que Soufara a enregistré la plus faible valeur avec 9.75 cm constitue le groupe « B », durant la deuxième année (figure 5.10).

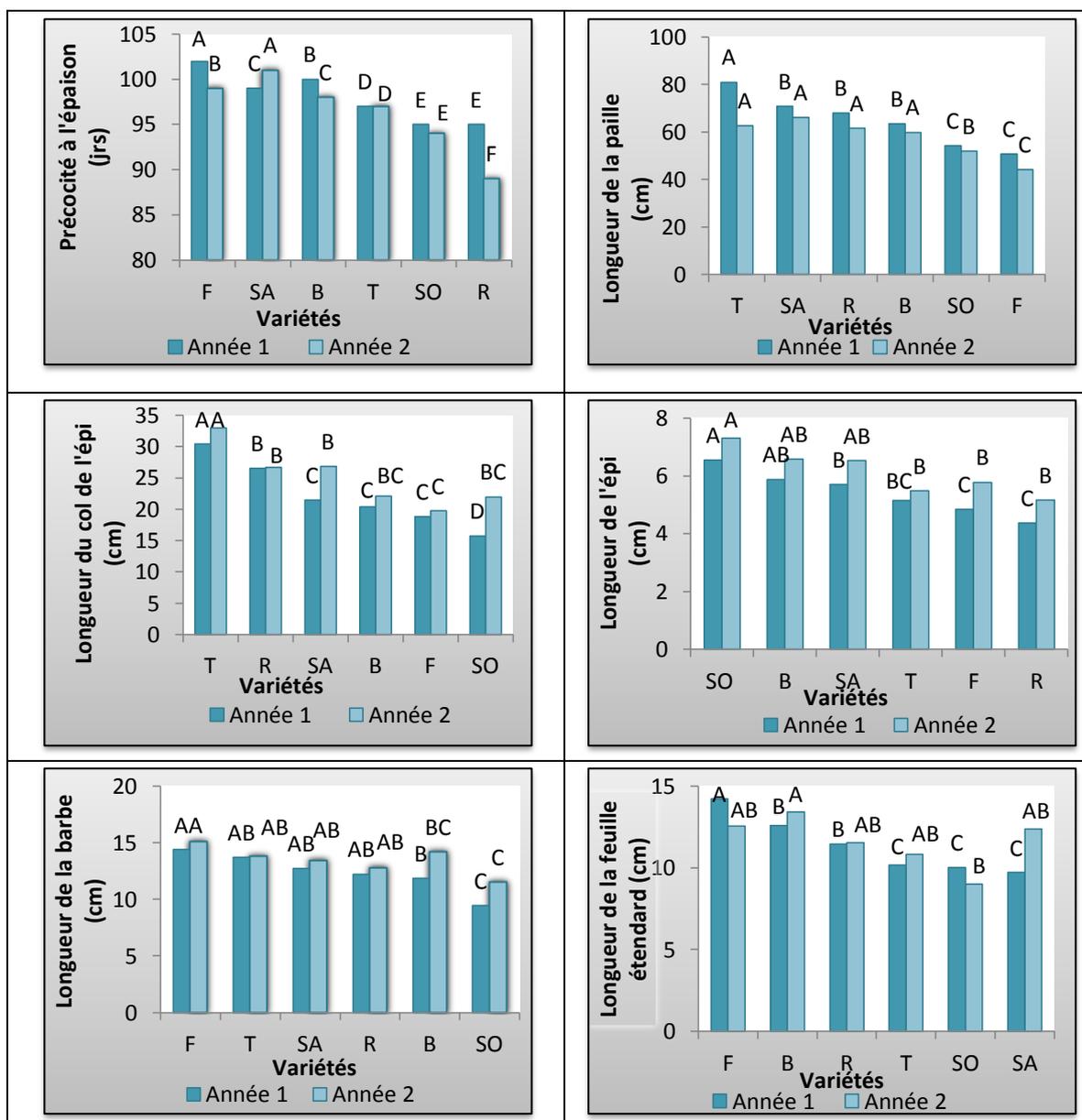


Figure 5.10: Moyennes des caractères morphologiques des génotypes parentaux (effet interaction).

5.1.4.3. Étude des caractères agronomiques

Une différence significative ($p < 0.05$) est trouvée pour les caractères nombre de grains de l'épi, poids de grains de l'épi et indice de récolte. La différence est très hautement significative ($p < 0.001$) pour le poids de la biomasse aérienne. Le classement des moyennes révèle entre 04 (nombre et poids de grains de l'épi) et 07 (indice de récolte) groupes homogènes. Les coefficients de variation varient de 5.45% (poids de la biomasse aérienne) à 11.86% (poids de grains de l'épi) (figure 5.11).

Aucune signification de l'interaction pour les variables nombre de plant/m², nombre d'épis par plant, nombre d'épillets fertiles et stériles par épi, PMG, rendement en grains réel et estime par mètre linéaire.

- **Nombre de grains de l'épi.** L'ensemble des géotypes ont formé quatre groupes homogènes, Bahia possède le plus grand nombre de grains et forme le groupe « A » avec 52.7 grains durant la deuxième campagne. Tandis que Soufara a enregistré le nombre de grains le plus faible, durant les deux campagnes, avec une moyenne de 25.77 grains, elle occupe le groupe « C » (figure 5.11).

- **Poids de grains de l'épi.** Les géotypes sont répartis en quatre groupes distincts. Le groupe « A » est formé par Bahia avec 3.1 g, durant la première campagne. Par contre Soufara a présenté le poids le plus faible avec 1.51 g, durant les deux campagnes elle forme les groupes « C » et « B » respectivement (figure 5.11).

- **Poids de la biomasse aérienne par mètre linéaire.** Tichedrett se distingue par la biomasse la plus élevée avec 406.76 g/m linéaire, elle occupe le groupe « A » durant les deux campagnes. Par contre Soufara a enregistré le poids le plus faible durant la deuxième année avec 180 g/m linéaire constitue le groupe « E ». Le nombre total de groupes formés est de 06 (figure 5.11).

- **Indice de récolte.** Les géotypes sont répartis en sept groupes distincts. Durant les deux années, le meilleur indice est noté chez la variété Soufara avec 0.56 et 0.58 respectivement, elle occupe le groupe « A », alors que Tichedrett a enregistré l'indice le plus faible 0.28 et 0.34 respectivement, elle forme le groupe « E » (figure 5.11).

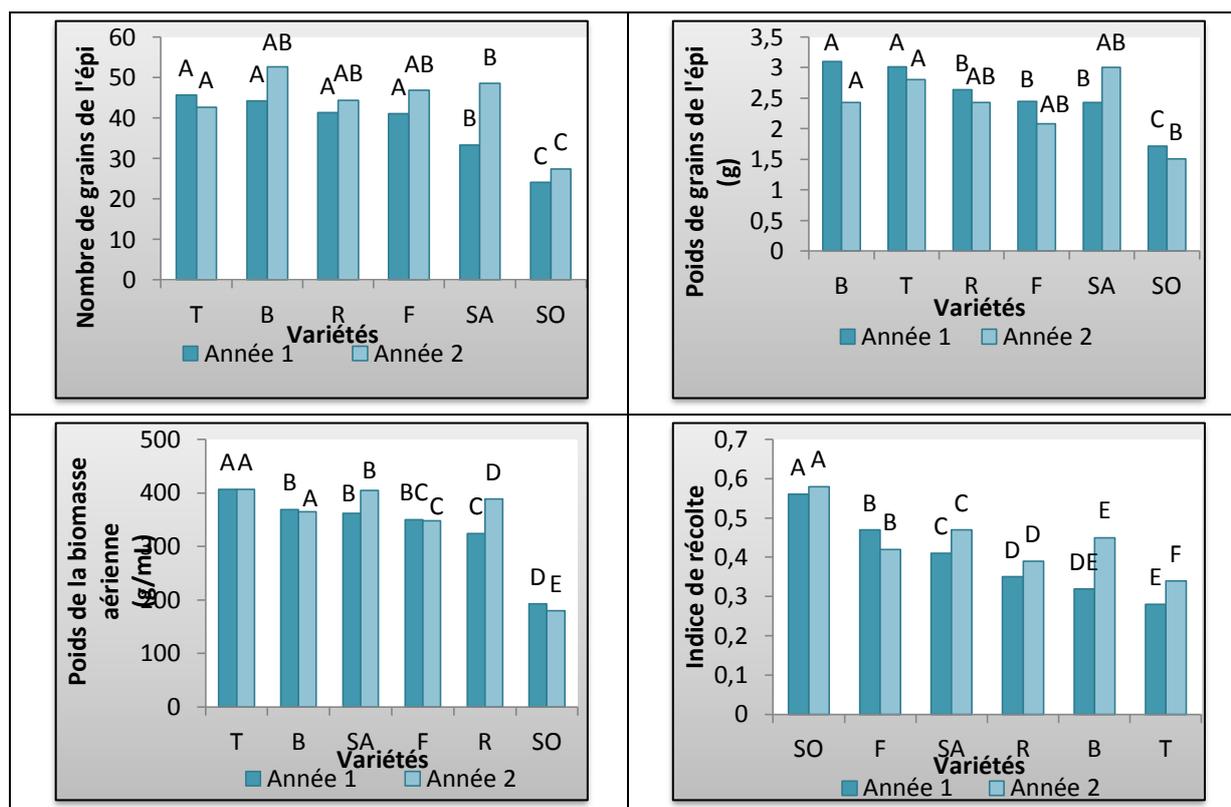


Figure 5.11: Moyennes des caractères agronomiques des génotypes parentaux (effet interaction).

5.1.5. Etude des corrélations

5.1.5.1. Etude des corrélations des caractères phéno-agro-morphologiques (essai 2012 / 2013).

Les matrices des corrélations sont données dans le tableau 3, annexe C. Les variables mesurées sont significativement corrélées ($p < 0.05$).

Durant la première année, la précocité à l'épiaison est positivement liée au nombre de plants par m^2 , il est aussi positivement corrélé avec la longueur de la barbe ($r = 0.09^*$ et $r = 0.89^*$). La longueur de la feuille étendard est positivement corrélée au rendement en grains réel ($r = 0.82^*$). Les génotypes possédant le nombre d'épillets fertiles et stériles les plus élevés présentent le nombre de grains de l'épi le plus élevé ($r = 0.86^*$, $r = 0.90^*$ et $r = 0.86^*$). Une biomasse aérienne, plus élevée, est accompagnée d'un nombre et poids de grains de l'épi plus importants ($r = 0.81^*$ et $r = 0.89^*$).

Les caractères nombre de talles et d'épis par plant, la longueur de la paille, de l'épi et du col de l'épi ne semblent avoir un effet significatif. De même les paramètres poids de mille, rendement en grains réel et estimé par mètre linéaire et indice de récolte ne révèlent aucune corrélation significative ($p > 0.05$).

5.1.5.2. Etude des corrélations des caractères phéno-agro-morphologiques (essai 2013 / 2014)

Les matrices des corrélations sont données dans l'annexe C, tableau 4. Durant cet essai, la corrélation entre les caractères mesurés est significative ($p < 0.05$) à très hautement significative ($p < 0.01$).

Il existe une corrélation positive et significative à hautement significative entre la précocité à l'épiaison et le rendement en grains estimé par mètre linéaire et aussi la biomasse aérienne ($r = 0.84^*$ et $r = 0.92^{**}$). Le nombre de plants par m^2 est positivement corrélé avec la longueur de la barbe ($r = 0.81^*$). La corrélation est aussi positive entre la longueur de l'épi et l'indice de récolte ($r = 0.87^*$). La longueur de la feuille étendard est positivement corrélée avec le nombre d'épillets fertiles par épi et le nombre de grains de l'épi ($r = 0.94^{**}$ et $r = 0.97^{**}$).

Le nombre d'épillets fertiles influe positivement et significativement sur le nombre de grains de l'épi et le rendement en grains/m linéaire ($r = 0.88^*$ et $r = 0.86^*$). Le nombre d'épillets stériles est lié positivement au nombre de grains de l'épi ($r = 0.90^*$).

5.1.6. Discussion sur l'essai de la première année

L'analyse de la variance pour la première année d'étude a confirmé l'existence d'une grande variabilité génétique chez les génotypes d'orge étudiés pour la majorité des caractères phéno-agro-morphologiques. Selon Ramanujam et *al.* (1974) [145], cette diversité génétique est l'une des exigences fondamentales pour la sélection végétale. Gegnaw et Hadado (2014) [146] ont montré que chez les variétés locales d'orge, ou landraces, existe une variation à la fois entre et au sein des populations.

5.1.6.1. Précocité à l'épiaison

L'étude de la précocité est une stratégie importante pour améliorer le rendement dans des environnements méditerranéens où le blé et l'orge sont couramment exposés à la sécheresse [147] et [148].

Les deux variétés locales Saïda et Tichedrett se classent au milieu des variétés introduites. Un cycle long de 102 jours est enregistré chez la variété Fouara, contrairement à la variété Rihane qui a réalisé un cycle court de 95 jours, l'écart entre ces deux génotypes est de 7 jours.

5.1.6.2. Caractères morphologiques

L'analyse de la variance a révélé un effet génotypique très hautement significatif pour l'ensemble des paramètres mesurés.

La variété locale Tichedrett a montré les meilleures valeurs pour la longueur de la paille et du col de l'épi (80.91 et 30.43 cm). Nos résultats sont en accord avec ceux obtenus par Rahal Bouziane (2016) [149], pour la longueur de la paille chez la variété Tichedrett.

Une longueur de paille et du col importante est une caractéristique désirable en zone semi- aride, suite à ses effets bénéfiques lors des années sèches. Ces effets sont attribués à la capacité de stockage et de transfert des substrats glucidiques pour la finition du grain [99, 105, 150,151].

La variété Fouara se présente en tête du classement par rapport aux autres génotypes étudiés pour la longueur de la barbe et de la feuille étendard avec 14.38 cm et 14.23 cm respectivement. Selon Salma et *al.* (2005) [152], la longueur des barbes est un paramètre morphologique lié à la tolérance au stress hydrique. Alors que la feuille étendard, de par son âge, sa position, joue un rôle primordial dans le remplissage du grain [153].

La variété Soufara, à deux rangs, s'est distinguée par l'épi le plus long avec 6.55 cm. La longueur de l'épi est parmi les paramètres qui ont contribué à la différenciation génétique entre les accessions d'orge étudiées par Setotaw et *al.* (2010) [154].

5.1.6.3. Caractères agronomiques

L'analyse de la variance a révélé une différence significative à très hautement significative pour l'ensemble des caractères analysés à l'exception du rendement en grains réel.

Pour le nombre de plants par mètre carré la variété Rihane se caractérise par la valeur la plus élevée avec 221 plants. Chez l'orge, le rendement est pratiquement identique pour des peuplements allant de 50 à 800 plants par mètre carré [155].

Pour le nombre de talles et d'épis par plant. La variété locale Tichedrett montre les valeurs les plus importantes avec 6.02 talles et 4.08 épis respectivement. Le nombre de talles herbacées produites est fonction de la variété, du climat et de la nutrition minérale [156, 48 et 157]. Moragues et *al.* (2006) [158] suggèrent que le nombre d'épis par m² soit un critère de sélection dans les zones sèches du Sud de la Méditerranée.

Pour le nombre de d'épillets fertiles, de grains par épi et poids de la biomasse aérienne. Les valeurs de Tichedrett, variété locale à 6 rangs, sont les plus élevées (15.24 épillets, 3.1 g et 406.25 g/m linéaire respectivement). Les orges à 6 rangs se distinguent par une fertilité épi élevée et par conséquent un nombre de grains par épi important [159]. Ils sont préférentiellement sélectionnés sur la base de leur production en biomasse élevée [40,139].

Le plus grand nombre d'épillets stériles par épi a été celui du génotype local Saïda avec 6.08 épillets. Erroux (1974) [160] indique que la pénurie d'eau et d'éléments nutritifs entraînent un avortement des épillets de la base et du sommet de l'épi. Le poids de grains de l'épi le plus élevé concernait la variété Bahia (3.1 g) et le poids de mille grains est celui concernant le génotype Fouara avec 61 g. Selon Wardlaw (2002) [161], c'est la durée de remplissage du grain qui a le plus grand effet sur le poids moyen du grain. L'augmentation du rendement en grain est le résultat d'une fertilisation azotée équilibrée [162], de la densité de plants et du poids de mille grains [163].

La variété introduite Fouara note le rendement grains estimé le plus fort avec 166 g/m linéaire. Le cumul pluviométrique enregistré au mois de mai a été favorable durant la période du pallier hydrique.

D'après Hanifi (1999) [164], l'augmentation des rendements de l'orge peut se faire en plus des techniques de cultures appropriées, par la recherche de génotypes performants et adaptés aux différents milieux de culture. Pour l'indice de récolte, la valeur la plus importante est obtenue par Soufara (0.56). Passioura (1977) [165] considère que le rendement grain est fonction de la quantité d'eau utilisée par la récolte, la façon dont l'eau est utilisée par la récolte pour le développement de la biomasse et l'indice de récolte.

L'étude des corrélations a révélé des liaisons significatives avec un signe positif entre certains caractères, l'étude a permis aussi de constater que les variétés précoces à barbes longues produisent plus du nombre de plant par mètre carré, les variétés possédant une feuille étendard longue donnent plus de rendement en grains, aussi les génotypes ayant un nombre d'épillets stériles par épi, un nombre et poids de grains de l'épi les plus élevés présentent une biomasse aérienne importante. Ces résultats suggèrent que cette variable peut être considérée comme critère de sélection pour améliorer indirectement le rendement. De ce fait selon Mekhlouf et Bouzerzour (2000) [102], la biomasse présente un intérêt majeur en sélection au même titre que le rendement.

La connaissance des liaisons, qui existent entre les composantes et le rendement, permet d'identifier celles à utiliser comme critères de sélection. Ces informations permettent d'orienter le processus de sélection de manière à promouvoir les caractères capables d'engendrer une amélioration du rendement [166].

5.1.7. Discussion sur l'essai de la deuxième année

5.1.7.1. Précocité à l'épiaison

On constate d'après les résultats obtenus que durant la deuxième année, la variété locale Saïda prend la tête du classement avec 101 jours pour la phase levée - épiaison, elle est donc parmi les variétés les plus tardives durant les deux années d'étude. Cette caractéristique leur permet d'éviter les gelées tardives qui affectent la fertilité de l'épi [123].

Les génotypes Soufara et Rihane sont précoces (94 jours et 89 jours), l'expression de cette variable est stable durant les deux années d'étude. Sedira

(2011) [167], analysant les caractéristiques de six variétés d'orge, dans la même zone d'étude, classe aussi ces deux variétés comme les plus précoces. Cette précocité leur permet d'échapper aux stress hydrique en fin de cycle [168].

5.1.7.2. Caractères morphologiques

La variété locale Saïda se détache des autres variétés par la paille la plus haute (66.08 cm) et la deuxième variété locale Tichedrett possède le col de l'épi le plus élevé avec 32.98 cm. Les variétés introduites Soufara, Fouara et Bahia se trouvent en tête de classement pour les variables longueur de l'épi, de la barbe et de la feuille étendard respectivement avec 7.30 cm ,15.09 cm et 13.05 cm.

Les variétés Tichedrett, Soufara et Fouara gardent leur première place, durant les deux années d'étude, pour les variables longueur col de l'épi, de l'épi et de la barbe. En effet le travail du sélectionneur est plus facile lorsque le classement des génotypes pour un caractère donné ne change pas d'un milieu à l'autre qui a montré une certaine stabilité. En première année la variété Tichedrett garde la première place concernant la longueur de la paille, tandis qu'en deuxième année elle s'est repositionnée en deuxième place.

5.1.7.3. Caractères agronomiques

L'analyse de la variance a révélé l'existence de l'effet génotype pour la totalité des caractères étudiés.

Durant la deuxième année, la variété Fouara se trouve en tête de classement pour les paramètres nombre de plants par mètre carré, nombre d'épis par plant et rendement réel en grains (270.5 plants, 04 épis et 49.25 Qx/ha). En première année l'effet génotype était non significatif sur le caractère rendement en grains, cette variété a donné une moyenne de 45.50 Qx/ha ce qui montre une amélioration du caractère de la première à la deuxième année.

La variété locale Tichedrett garde sa première place concernant le nombre de talles par plant et le poids de la biomasse aérienne (5 talles et 406.76 g/ m linéaire respectivement). L'étude menée par Legouis et *al.* (2000) [169], montre que la production de matière sèche aérienne est restée stable en conditions favorables. Tandis que l'indice de récolte du blé a connu une amélioration.

La variété locale Saïda a enregistré un poids de grains de l'épi et de mille grains les plus importants avec 3 g et 66.83 g respectivement. Elle a aussi donné le meilleur rendement par mètre linéaire avec 191.85 g. Selon Hioun et *al.* (2002) [170], les variétés à cycle long montrent un bon remplissage du grain. Durant la deuxième année d'étude, Il semble que les variétés locales ont réalisé un poids de grains de l'épi élevé par rapport aux variétés introduites.

La variété Bahia se détache des autres variétés par le nombre d'épillets fertiles et stériles par épi (16.7 et 2.6 épillets respectivement) les plus élevés et par le nombre de grains de l'épi (52.7 grains) le plus important. Le nombre de grains par épi joue un rôle important dans la variabilité du rendement [128].

Le nombre d'épillets fertiles et le nombre de grains par épi montrent une augmentation de la première à la deuxième année allant de 15.24 à 16.7 épillets et de 45.73 à 52.7 grains respectivement. Tandis que le nombre d'épillets stériles par épi a connu une régression, ceci est probablement due à la disponibilité d'eau et d'éléments nutritifs aux alentours de la fécondation.

Le meilleur indice de récolte a caractérisé la variété introduite Soufara (0.58), nous notons que ce caractère a montré une amélioration de la première à la deuxième année allant de 0.56 à 0.58. Alors que la variété locale Tichedrett présente les plus faibles indices de récoltes par rapport aux autres génotypes (0.28 et 0.34).

L'étude des corrélations a révélé des liaisons significatives et positives entre certains caractères, cela permet de considérer ces caractères comme critères potentiels en sélection.

La précocité à l'épiaison induit un bon rendement en grains estimé par mètre linéaire et une meilleure biomasse aérienne. Les variétés à barbes longues produisent plus du nombre de plant par mètre carré et les variétés à épi long donnent un meilleur indice de récolte.

La longueur de la feuille étendard est positivement corrélée avec le nombre d'épillets fertiles par épi et le nombre de grains de l'épi. La corrélation est bonne entre d'une part le nombre d'épillets fertiles et stériles et le nombre de grains de l'épi et d'autre part entre le rendement en grains par mètre linéaire et le nombre d'épillets fertiles. Les caractères précocité à l'épiaison et nombre d'épillets fertiles présentent

une forte corrélation avec le rendement en grains par mètre linéaire ($r = .84^*$ et $r = .86^*$). D'après Mekliche et boukecha (2008) [171], les caractères ayant une bonne corrélation avec le rendement en grains pourraient être utilisés en sélection si leur héritabilité est élevée.

En ce qui concerne l'effet année et l'interaction génotype \times année : aucun effet année n'a été enregistré sur les caractères mesurés mis à part le nombre de talles par plant et le nombre d'épillets stériles par épi, cela signifie que l'effet année a influencé sur ces derniers.

L'analyse de l'effet interaction génotype \times année a montré une différence significative à très hautement significative. Cette interaction montre que le comportement des variétés testées change d'une année à une autre.

D'après Sedira et Aissat (2014) [172], l'analyse de l'interaction génotype \times année a montré que les variétés Fouara, Saïda et Tichedrett étaient les meilleurs génotypes pour l'ensemble des caractères mesurés.

Selon Yan et *al.* (2000) [173], le changement du classement des génotypes d'une année à l'autre est une indication de la présence de l'interaction. La présence d'une interaction significative suggère d'analyser la stabilité du rendement grains pour identifier les génotypes stables et performants [174].

Tous les milieux n'ont pas la même aptitude à révéler les différences génotypiques. L'existence d'une interaction génotype \times environnement complique les efforts de la sélection [175, 176].

5.2. Etude des caractéristiques des hybrides

5.2.1. Hybrides F_1

5.2.1.1. Précocité à l'épiaison

L'analyse de la variance de la précocité à l'épiaison a révélé une différence très hautement significative ($p < 0.001$). Le nombre de groupes homogènes formés est de 11. Le génotype le plus précoce à l'épiaison est (R \times SO) avec 91.67 jours, il forme le groupe « F ». Alors que le groupe « A » est formé par l'hybride (F \times SA), le plus tardif, avec 100 jours. Le coefficient de variation est de 2.59% (tableau 5.1).

5.2.1.2. Caractères morphologiques

L'analyse de la variance des hybrides F_1 montre un effet génotype très hautement significatif ($p < 0.001$) pour tous les caractères étudiés : longueur de la paille, longueur du col de l'épi, longueur de l'épi, longueur de la barbe, longueur de la feuille étendard. Les coefficients de variation varient de 5.59 % (longueur de la barbe) à 13.01 % (longueur de la feuille étendard) (tableau 5.1).

- **Longueur de la paille.** Le nombre de groupes homogènes formés par le test de Newman et Keuls au seuil de 5% est de 10, le groupe « A » est constitué par l'hybride (T x SA) avec 71.1 cm, et la plus faible valeur est donnée par l'hybride (F x T) avec 39.86 cm forme le dernier groupe « F » (tableau 5.1).

- **Longueur du col de l'épi.** Le nombre de groupes homogènes formés est de 09. Les valeurs extrêmes sont de 33.43 cm chez l'hybride (T x SA) (groupe « A ») et 16.25 cm chez l'hybride (SA x R) (groupe « E ») (tableau 5.1).

- **Longueur de l'épi.** Le nombre de groupes constitués est de neuf groupes homogènes. Le groupe « A » est formé par l'hybride (R x T) avec 8.5 cm. Le dernier groupe « E » est constitué par l'hybride (R x SA) avec 4.07 cm (tableau 5.1).

- **Longueur de la barbe.** Le classement des hybrides a montré cinq groupes homogènes. Les hybrides (T x SA) et (F x SA) forment le groupe « A » avec les valeurs les plus élevées soient 15.1 cm et 15.09 cm respectivement, tandis que l'hybride (B x SO) constitue le groupe « C » avec la plus faible valeur soit 11.6 cm (tableau 5.1).

- **Longueur de la feuille étendard.** Le classement des moyennes a révélé la présence de sept groupes homogènes. Les hybrides (B x T) et (B x F) occupent le groupe « A » avec les valeurs 9.78 cm et 9.79 cm respectivement. La plus faible valeur est donnée par (SA x R) avec 5.44 cm forme le groupe « D » (tableau 5.1).

Tableau 5.1: Analyse de la variance des caractères phéno-morphologiques des hybrides F₁.

Hybrides	PE	LP	LCE	LE	LB	LFE
T x SA	96.67 D	71.1 A	32.27 AB	7.29 ABCD	15.1 A	7.58 ABCD
T x B	92.67 F	57.64 ABCDEF	29.27 ABCD	5.71 BCDE	13.5 ABC	8.28 ABCD
T x F	95.56 EF	57.36 ABCDEF	30.64 ABC	5.81 BCDE	14.42 AB	8.67 ABC
T x R	94.67 F	66.6 ABC	33.43 A	6.88 ABCD	13.83 AB	8.05 ABCD
T x SO	97.33 DC	64.75 ABCD	28.97 ABCD	5.61 BCDE	14.17 AB	8.26 ABCD
SA x T	97.67 C	68.55 AB	31.23 ABC	7.01 ABCD	14.31 AB	8.15 ABCD
SA x B	94.67 F	57.63 ABCDEF	22.83 BCDE	7.02 ABCD	12.93 ABC	8.98 ABC
SA x F	99.33 AB	51.2 BCDEF	24.91 ABCDE	6.65 ABCD	14.29 AB	9.38 AB
SA x R	94 DC	45.18 EF	16.25 E	5.15 DE	13.91 AB	5.44 D
SA x SO	98.33 B	54.01 ABCDEF	24.03 ABCDE	7.4 ABCD	13.44 ABC	8.33 ABCD
B x T	96.33 DE	57 ABCDEF	30.88 ABC	5.69 BCDE	13.5 ABC	9.78 A
B x SA	94.33 DC	57.66 ABCDEF	24.6 ABCDE	7.33 ABCD	13.31 ABC	7.99 ABCD
B x F	98 BC	56.27 ABCDEF	21.7 CDE	5.43 CDE	12.83 ABC	9.76 A
B x R	98.67 B	50.11 BCDEF	23.3 BCDE	5.84 BCDE	14.48 AB	6.76 ABCD
B x SO	98.33 B	55.02 ABCDEF	22.03 BCDE	5.47 BCDE	11.6 C	8.83 ABC
F x T	99 B	39.86 F	20.05 DE	5.57 BCDE	13.29 ABC	8.93 ABC
F x SA	100 A	44.19 EF	22.07 BCDE	6.22 BCDE	15.09 A	9.11 ABC
F x B	98.33 B	52.33 BCDEF	22.45 BCDE	6.05 BCDE	13.23 ABC	8.14 ABCD
F x R	98 BC	46.91 DEF	22.77 BCDE	5.45 BCDE	14.44 AB	7.53 ABCD
F x SO	93.33 F	55.33 ABCDEF	24.9 ABCDE	7.11 ABCD	13.91 AB	7.89 ABCD
R x T	93 F	62.37 ABCDE	29.99 ABCD	8.5 A	13.87 AB	8.33 ABCD
R x SA	94.33 F	46.47 DEF	21.1 CDE	4.07 E	13.37 ABC	7.30 ABCD
R x B	97 DC	48.22 CDEF	22.02 BCDE	5.5 BCDE	14.14 AB	6.85 ABCD
R x F	96 E	42.59 F	21.47 CDE	5.06 DE	14.07 AB	6.47 BCD
R x SO	91.67 F	58.33 ABCDEF	28.39 ABCD	6.73 ABCD	12.47 BC	5.86 CD
SO x T	96 E	52.19 BCDEF	22.93 BCDE	7.9 AB	14.17 AB	7.71 ABCD
SO x SA	96.33 DE	64.77 ABCD	25.9 ABCDE	7.88 ABC	13.47 ABC	7.29 ABCD
SO x B	97.33 DC	50.93 BCDEF	24.17 ABCDE	6.37 ABCDE	14.09 AB	7.24 ABCD
SO x F	92.67 F	58.44 ABCDEF	28.73 ABCD	7.87 ABC	12.27 BC	8.36 ABCD
SO x R	92.33 F	61.67 ABCDE	29.12 ABCD	6.2 BCDE	12.23 BC	6.63 ABCD
CV%	2.59	11.07	13.01	12.33	5.59	8.28
P	***	***	***	***	***	***

5.2.1.3. Caractères agronomiques

Une différence hautement significative ($p < 0.01$) (pour le nombre de talles par plant et le nombre d'épillets stériles par épi) à très hautement significative ($p < 0.001$) est trouvée pour les caractères : nombre d'épis par plant, nombre d'épillets fertiles par épi, nombre de grains de l'épi, poids de grains de l'épi, poids de mille grains, poids de la biomasse aérienne, rendement en grains/m linéaire et indice de récolte. Les coefficients de variation varient entre 6.05% (poids de mille grains) et 28.23% (rendement en grains estimé par mètre linéaire) (tableau 5.2).

- **Nombre de talles par plant.** L'hybride (SA x F) a donné la meilleure valeur : 4.33 talles, alors que l'hybride (F x SO) a montré le nombre le plus faible avec 2.27 talles. Tous les hybrides forment un seul groupe homogène « A » (tableau 5.2).

- **Nombre d'épis par plant.** Le nombre de groupes formés est de 05. Le croisement (SA x F) avec une valeur de 4.07 épis forme le groupe « A » et le dernier groupe « C » est constitué par le croisement (F x SA) avec une valeur de 1.47 épis (tableau 5.2).

- **Nombre d'épillets fertiles par épi.** L'hybride (T x SA) s'est distingué par le meilleur nombre d'épillets avec 20.8 épillets forme le groupe « A ». Tandis que l'hybride (Sa x SO) constitue le groupe « J » avec une valeur de 8.8 épillets. Le classement des hybrides pour ce caractère montre la présence de 17 groupes en indiquant ainsi une large diversité des génotypes (tableau 5.2).

- **Nombre d'épillets stériles par épi.** Le nombre le plus élevé est enregistré chez l'hybride (R x F) avec 3.33 épillets, alors que l'hybride (F x SO) a noté le nombre le plus faible (1.53 épillets). Le classement des croisements a montré 03 groupes homogènes : « A », « AB » et « B » (tableau 5.2).

- **Nombre de grains de l'épi.** Le nombre de grains le plus élevé a caractérisé le croisement (T x SA), avec 62.07 grains forme le groupe « A ». Tandis que l'hybride (Sa x SO) constitue le dernier groupe « K » avec une valeur de 17.73 grains. Le nombre de groupes homogènes formés est de 15 (tableau 5.2).

- **Poids de grains de l'épi.** Le classement des moyennes a distingué seize groupes homogènes. Le génotype ayant enregistré le poids le plus élevé est (B x SO)

avec 3.13 g occupe le groupe « A », et celui présentant le poids le plus faible est (SO x R) avec 0.93 g forme le groupe « I » (tableau 5.2).

- **Poids de mille grains.** L'hybride (F x SO) a montré le poids le plus élevé soit 69.22 g, par contre son réciproque (SO x F) a donné le poids le plus faible soit 42.22 g. Le nombre de groupes homogènes formés est de 17 : (F x SO) a formé le groupe « A », et (SO x F) a été classé dans le dernier groupe « J » (tableau 5.2).

- **Poids de la biomasse aérienne.** L'hybride ayant donné la biomasse la plus élevée est (SA x F) avec 300 g/m linéaire, les hybrides (SA x F), (T x SA), (B x R) et (T x B) constituent le premier groupe « A », alors que le dernier groupe « J » est observé chez l'hybride (SO x SA) avec 100 g/m linéaire de biomasse aérienne. Le classement des moyennes en groupes homogènes, par le test de Newman-Keuls, a distingué 14 groupes (tableau 5.2).

- **Rendement en grains estimé par plant.** Le nombre de groupes homogènes constitués est de 03. Les hybrides (F x R) et (T x SA) occupent le premier groupe « A » avec les meilleures valeurs soient 112.33 g et 91.67 g respectivement, et le plus faible rendement est obtenu par les croisements (SA x R) (4.33 g) et (B x T) (0.50 g), ces derniers constituent le groupe « B » (tableau 5.2).

- **Rendement en grains estimé.** Le nombre de groupes homogènes formés est de 15 : les hybrides (T x SA) et (SA x F) occupent le premier groupe « A » avec les meilleures valeurs soient 199.6 g/m linéaire et 199.1 g/m linéaire respectivement, et le plus faible rendement est obtenu par les croisements (SO x R) (37.36 g/m linéaire) et (F x SA) avec 35.52 g/m linéaire, ces derniers ont formé le groupe « H » (tableau 5.2).

- **Indice de récolte.** Le meilleur indice est noté chez l'hybride (B x SO) avec 0.83 occupe le groupe « A », alors que le dernier groupe « J » est formé par les hybrides (B x R), (SO x R) et (F x SA) avec 0.22, 0.20 et 0.18 respectivement (tableau 5.2).

5.2.1.4. Etude des corrélations

La matrice des corrélations entre les caractères mesurés en F₁ est présentée dans l'annexe C, tableau 5.

L'analyse des corrélations entre les paramètres mesurés montre qu'il y a des liaisons positives et négatives entre ces paramètres variant d'une faible à une forte corrélation et d'une corrélation significative ($p < 0.05$) à une corrélation hautement significative ($p < 0.01$) (tableau 5, annexe C).

La précocité à l'épiaison est influencée positivement par la longueur de la barbe, la longueur de la feuille étendard, et l'indice de récolte ($r = 0.38^*$, $r = .40^*$ et $r = 0.39^*$). La longueur de la paille est corrélée positivement avec la longueur du col de l'épi, et de l'épi ($r = 0.83^{**}$ et $r = 0.55^{**}$), par contre elle est aussi corrélée négativement avec le nombre d'épillettes stériles ($r = - 0.42^*$). Le col de l'épi montre une corrélation positive avec la longueur de l'épi et la biomasse aérienne ($r = 0.44^*$ et $r = .36^*$). Une corrélation positive est enregistrée entre la longueur de la barbe et le nombre de grains de l'épi avec $r = 0.48^{**}$. Le paramètre longueur de la feuille étendard a enregistré une corrélation positive avec le nombre d'épillettes fertiles, le nombre de grains de l'épi et le rendement en grains par mètre linéaire ($r = 0.48^{**}$, $r = 0.42^*$ et $r = 0.47^{**}$) (tableau 5, annexe C).

Le nombre de talles est corrélé positivement avec le nombre d'épis ($r = 0.78^{**}$), il est corrélé positivement aussi avec la longueur du col de l'épi, le rendement en grains par mètre linéaire et l'indice de récolte ($r = 0.40^*$, $r = 0.62^{**}$ et $r = 0.53^{**}$), cependant il influe négativement sur le poids de mille grains ($r = - 0.43^*$) (tableau 5, annexe C).

Un nombre d'épis par plant, élevé, est accompagné d'une longueur de paille élevée ($r = 0.38^*$), d'une longueur du col de l'épi, de l'épi et de la feuille étendard élevée ($r = 0.40^*$, $r = 0.49^*$ et $r = 0.20^*$), il est aussi accompagné d'un poids de grains de l'épi élevé ($r = 0.39^*$), d'un rendement en grains par mètre linéaire élevé ($r = 0.75^{**}$) et d'un indice de récolte élevé ($r = 0.67^{**}$). Alors que le poids de mille grains est corrélé négativement avec le nombre d'épis par plant ($r = - 0.36^*$) (tableau 5, annexe C).

Le nombre d'épillets fertiles est corrélé positivement avec le nombre et le poids de grains de l'épi, la biomasse aérienne, le rendement en grains par mètre linéaire et l'indice de récolte ($r = 0.90^{**}$, $r = 0.67^{**}$, $r = 0.55^{**}$, $r = 0.65^{**}$ et $r = 0.38^*$). Le nombre d'épillets stériles est corrélé négativement avec le poids de mille grains élevé ($r = -0.64^{**}$). Une corrélation positive est trouvée entre le nombre de grains de l'épi, le poids de grains de l'épi, la biomasse aérienne et le rendement en grains par mètre linéaire avec $r = 0.52^{**}$, $r = 0.57^{**}$ et $r = 0.51^{**}$ (tableau 5, annexe C).

Une corrélation positive est enregistrée entre le poids de grains de l'épi, la biomasse aérienne, le rendement en grains par mètre linéaire et l'indice de récolte ($r = 0.46^*$, $r = 0.89^{**}$ et $r = 0.72^{**}$). La biomasse aérienne est corrélée positivement avec le rendement en grains ($r = 0.50^{**}$), ce dernier a enregistré une corrélation positive avec l'indice de récolte ($r = 0.81^{**}$). Le rendement en grains par plant est positivement corrélé avec le rendement en grains par mètre linéaire et l'indice de récolte ($r = .44^*$, $r = .40^*$) (tableau 5, annexe C).

5.2.2. Hybrides F₂

5.2.2.1. Précocité à l'épiaison

L'analyse de la variance de la précocité à l'épiaison a révélé une différence très hautement significative ($p < 0.001$). Le nombre de groupes homogènes obtenus est de 05. Le coefficient de variation est de 6.27%.

L'hybride (F x SA) a montré une épiaison tardive soit 99 jours, il forme avec son réciproque (SA x F) le groupe « A », alors que les hybrides : (SO x R) et son réciproque (R x SO), (SO x T) et son réciproque (T x SO), (B x T) et son réciproque (T x B) présentent une épiaison précoce avec 93 jours et constituent le groupe « E » (tableau 5.3).

5.2.2.2. Caractères morphologiques

L'analyse de la variance des hybrides F₂ met en évidence un effet génotype très hautement significatif ($p < 0.001$) pour tous les caractères. Le classement des moyennes par le test de Newman-Keuls a distingué entre 03 (longueur de la feuille étendard) et 19 (longueur de la paille). Les coefficients de variation oscillent entre 5.03% (longueur de la barbe) et 13.39% (longueur de la feuille étendard) (tableau 5.3).

- **Longueur de la paille.** Le classement des génotypes a montré la présence de 19 groupes. La hauteur la plus élevée est obtenue par le croisement (B x T) soit 75.67 cm (groupe « A »), et la plus faible valeur est donnée par (F x T) soit 41.57 cm (groupe « K ») (tableau 5.3).

- **Longueur du col de l'épi.** Le nombre de groupes homogènes obtenus est de 08. La meilleure longueur est obtenue chez l'hybride (T x R) soit 31.77 cm (groupe « A »), par contre le col le plus court est enregistré chez l'hybride (SA x R) soit 16.43 cm (groupe « E ») (tableau 5.3).

- **Longueur de l'épi.** Le classement des génotypes a montré la présence de 16 groupes. La longueur la plus élevée est obtenue par le croisement (SO x B) soit 9.47 cm (groupe « A »), et la plus faible valeur est donnée par (R x SA) soit 4.44 cm (groupe « J ») (tableau 5.3).

- **Longueur de la barbe.** Le nombre de groupes homogènes obtenus est de 18. L'hybride (F x SA) présente une longueur de barbe de 15.93 cm, ce dernier occupe le groupe « A ». Tandis que le dernier groupe « K » est formé par l'hybride (SO x SA) avec 10.55 cm (tableau 5.3).

- **Longueur de la feuille étendard.** Le classement des génotypes a montré la présence de trois groupes. La longueur la plus élevée est obtenue par le croisement (B x F) soit 11.43 cm (groupe « A »), et la plus faible valeur est donnée par (SA x R) soit 5.00 cm (groupe « C ») (tableau 5.3).

Tableau 5.3: Analyse de la variance des caractères phéno-morphologiques des hybrides F₂.

Hybrides	PE	LP	LCE	LE	LB	LFE
T x SA	97 C	61.41 BCDE	26.39 ABCD	9.47 A	14.12 ABCDE	7.58 ABC
T x B	93E	64.33 ABCDE	27.27 ABCD	7.04 CDEFG	13.67 BCDEF	8.28 ABC
T x F	94 D	49.9 FGHIJK	24.22 ABCD	5.14 HIJ	14.81 ABCD	8.67 ABC
T x R	94 D	70.33 AB	31.77 A	6.75 DEFGHI	13.17 CDEFGH	8.05 ABC
T x SO	93 E	64.75 ABCDE	28.97 ABC	5.61 GHIJ	12.03 FGHIJK	8.26 ABC
SA x T	97 C	68.53 ABC	30.87 AB	6.25 EFGHI	14.26 ABCDE	8.15 ABC
SA x B	94 D	65.23 ABCD	27.12 ABCD	6.73 DEFGHI	12.98 DEFGH	8.98 AB
SA x F	99 A	52.8 DEFGHIJK	26.33 ABCD	6.81 DEFGH	14.28 ABCDE	9.38 A
SA x R	94 D	45.07 HIJK	16.43 E	5.16 HIJ	14.17 ABCDE	5.00 C
SA x SO	98 B	57.23 BCDEFGHI	24.22 ABCD	7.98 BCD	12.68 EFGHI	8.33 ABC
B x T	93 E	75.67 A	30.88 AB	8.29 ABCD	13.91 BCDE	9.78 A
B x SA	94 D	62.93 ABCDEF	25.4 ABCD	6.67 DEFGHI	14.27 ABCDE	7.98 ABC
B x F	98 D	63.7 ABCDEF	25.77 ABCD	6.85 DEFGH	12.43 EFGHIJ	11.43 A
B x R	98 B	59.1 BCDEFGH	27.93 ABCD	7.44 CDEF	13.03 DEFGH	6.76 ABC
B x SO	98 B	49.83 FGHIJK	20.57 DE	9.11 AB	10.77 JK	8.83 AB
F x T	94 D	41.57 K	20.17 DE	5.57 GHIJ	14.87 ABCD	8.93 AB
F x SA	99 A	44.33 IJK	21.79 CDE	6.22 EFGHI	15.93 A	9.11 AB
F x B	98 B	44.2 IJK	22.89 CDE	7.71 GHIJ	15.21 AB	8.14 ABC
F x R	94 D	46.92 HIJK	22.6 CDE	5.44 GHIJ	15.03 ABC	7.53 ABC
F x SO	94 D	55.34 CDEFGHIJ	24.67 ABCD	7.11 CDEFG	14.13 ABCDE	7.89 ABC
R x T	94 D	63.53 ABCDEF	28.89 ABC	7.66 BCDE	12.67 EFGHI	8.33 ABC
R x SA	94 D	55.87 CDEFGHIJ	23.53 BCD	4.44 J	13.61 BCDEF	7.30 ABC
R x B	98 B	48.07 GHIJK	22.07 CDE	5.5 GHIJ	11.4 HIJK	6.85 ABC
R x F	94 D	42.67 JK	21.5 CDE	5.06 IJ	13.29 CDEFG	6.47 ABC
R x SO	93 E	59.2 BCDEFGH	24.6 ABCD	6.27 EFGHI	11.5 GHIJK	5.86 BC
SO x T	93 E	56.53 BCDEFGHI	25.02 ABCD	8.03 BCD	12.53 EFGHI	7.71 ABC
SO x SA	98 B	57.17 BCDEFGHI	21.91 CDE	8.55 ABC	10.55 K	7.29 ABC
SO x B	94 D	50.43 EFGHIJK	23.04 CDE	9.47 A	11.34 HIJK	7.24 ABC
SO x F	94 D	58.44 BCDEFGH	29 ABC	7.87 BCDE	12.43 EFGHIJ	9.26 A
SO x R	93 E	55.87 CDEFGH	24.5 ABCD	7.12 CDEFG	11.15 IJK	6.63 ABC
CV%	6.27	10.06	6.33	8.84	5.03	13.39
P	***	***	***	***	***	***

5.2.2.3. Caractères agronomiques

L'analyse de la variance montre un effet très hautement significatif ($p < 0.001$) pour l'ensemble des caractères testés. Le test de Newman et Keuls a permis de constituer entre 03 (nombre d'épis par plant) et 17 groupes homogènes (Indice de récolte). Les coefficients de variation varient de 6.41% pour le poids de la biomasse aérienne à 33.75% pour le rendement en grains par mètre linéaire (tableau 5.4).

- **Nombre de talles par plant.** Le nombre le plus élevé correspond à l'hybride (T x SA) avec 5.13 talles se place dans le groupe « A », alors que la plus faible valeur (2.67 talles) est observée chez les hybrides (SA x R), et son réciproque (R x SA) qui forment le dernier groupe « C ». Le nombre de groupes homogènes formés est de 05 (tableau 5.4).

- **Nombre d'épis par plant.** L'hybride (F x SA) se détache des autres hybrides par le nombre d'épis le plus élevé avec 4.4 épis occupe le groupe « A » suivi par l'hybride (R x SO) avec 4.2 épis (groupe « A »), tandis que l'hybride (F x R) a enregistré la valeur la plus faible soit 2.07 épi, il forme le groupe « B ». Le nombre de groupes homogènes constitués est de 03 (tableau 5.4).

- **Nombre d'épillets fertiles par épi.** Le test de Newman et Keuls a distingué 08 groupes homogènes. Les valeurs extrêmes sont de 19.8 épillets pour l'hybride (T x R) formant le groupe « A » et 10.2 épillets pour (SO x SA) qui constitue le groupe « E » (tableau 5.4).

- **Nombre d'épillets stériles par épi.** Les hybrides sont répartis sur neuf groupes homogènes. La valeur la plus élevée est enregistrée par l'hybride (F x SA) (3.6 épillets) qui forme le groupe « A », tandis que la plus faible valeur est notée chez l'hybride (SO x T) (1.33 épillets) qui constitue le groupe « E » (tableau 5.4).

- **Nombre de grains de l'épi.** Le nombre le plus élevé correspond à l'hybride (R x T) avec 58.6 grains forme le groupe « A », alors que la plus faible valeur est observée chez l'hybride (R x F) avec 18.37 grains constitue le groupe « I ». Le nombre de groupes homogènes formés est de 14, ce qui indique une grande diversité entre les hybrides pour ce paramètre (tableau 5.4).

- **Poids de grains de l'épi.** Le meilleur poids est enregistré chez l'hybride (T x R) soit 3.1 g, il forme avec l'hybride (F x SA) (3.06 g) le groupe « A », par contre le dernier groupe « G » est occupé par les hybrides (SO x T) et (SO x F) avec 1.07 g et 1g respectivement. Le nombre de groupes homogènes formés est de 13 (tableau 5.4).

- **Poids de mille grains.** Les hybrides sont répartis sur 07 groupes homogènes. Le poids le plus élevé est enregistré par l'hybride (SO x F) (70 g) qui constitue le groupe « A », tandis que la plus faible valeur est enregistrée chez l'hybride (SO x SA) (42 g) qui occupe le groupe « D ». Le nombre total de groupes homogènes est de 07 (tableau 5.4).

- **Poids de la biomasse aérienne.** Le nombre total de groupes homogènes est de 14 groupes. Le poids de la biomasse est compris entre 434.67 g/m linéaire, obtenu par l'hybride (F x SA) (groupe « A ») et 180 g/m linéaire réalisé par l'hybride (SO x SA) (groupe « J ») (tableau 5.4).

- **Rendement en grains estimé par plant.** Le nombre de groupes homogènes formés est de 03 : les hybrides (T x R) et (SA x B) forment le groupe « A » avec les meilleurs rendements soient 137.33 g et 136.67 g respectivement, et les plus faibles rendements sont obtenus par les hybrides (R x F) (4.33 g) et (SA x R) (8.33 g), ces derniers constituent le groupe « B » (tableau 5.4).

- **Rendement en grains estimé.** Le nombre de groupes homogènes enregistré est de 05. Le rendement estimé par mètre linéaire le plus fort (269.87 g/m linéaire) est obtenu par le croisement (F x SA) (groupe « A ») et le plus faible (63.33 g/m linéaire) est noté chez la combinaison (R x SA) (groupe « C ») (tableau 5.4).

- **Indice de récolte.** Le nombre de groupes homogènes obtenus est de 17. Le groupe « A » est formé par l'hybride (R x T), alors que le dernier groupe « K » est occupé par l'hybride (R x F). L'indice de récolte varie entre 0.7 (R x T) et 0.27 (R x F) (tableau 5.4).

5.2.2.4. Etude des corrélations

La matrice de corrélations est présentée dans l'annexe C, tableau 6. L'analyse des corrélations entre les paramètres mesurés montre qu'il y a des liaisons positives et négatives entre ces paramètres variant d'une faible à une forte corrélation et d'une corrélation significative ($p < 0.05$) à une corrélation hautement significative ($p < 0.01$).

La précocité à l'épiaison ne présente aucune corrélation significative avec les variables testées. Une corrélation positive est enregistrée entre le nombre de talles par plant et la longueur de la paille et du col de l'épi avec $r = 0.48^{**}$ et $r = 0.58^{**}$ (tableau 6, annexe C).

La longueur de la paille est corrélée positivement avec la longueur du col de l'épi ($r = 0.86^{**}$), elle est aussi corrélée positivement avec le nombre de grains de l'épi ($r = 0.41^*$) et le rendement en grains par plant ($r = 0.47^{**}$). Une corrélation positive est enregistrée entre la longueur du col de l'épi et les paramètres : longueur de la feuille étendard, nombre et poids de grains de l'épi, rendement en grains par plant et par mètre linéaire et l'indice de récolte ($r = 0.41^*$, $r = 0.49^{**}$, $r = 0.37^{**}$, $r = 0.45^*$, $r = 0.48^*$ et $r = 0.44^*$). Une corrélation négative est enregistrée entre la longueur de l'épi et la longueur de la barbe avec $r = -0.58^{**}$. Cette dernière montre une corrélation positive avec le poids de grains de l'épi et la biomasse aérienne ($r = 0.49^{**}$ et $r = 0.37^*$). La longueur de la feuille étendard est liée positivement avec le rendement en grains ($r = 0.38^*$) (tableau 6, annexe C).

Un nombre, élevé, est accompagné d'une longueur de l'épi élevée ($r = 0.46^*$). Le nombre de grains de l'épi a enregistré une corrélation positive avec le poids de grains de l'épi ($r = 0.46^*$). Le nombre d'épillets fertiles n'a pas enregistré de corrélation significative avec les autres caractères étudiés sauf sa liaison négative avec le rendement en grains par plant ($r = -0.01^*$). Une corrélation positive a été révélée entre le poids de grains de l'épi, le rendement en grains par plant et par mètre linéaire et l'indice de récolte ($r = 0.81^{**}$, $r = 0.52^{**}$ et $r = 0.61^{**}$). Le poids de mille grains présente une corrélation positive avec la biomasse aérienne ($r = 0.48^{**}$).

La biomasse aérienne est corrélée positivement avec le rendement en grains par mètre linéaire ($r = 0.59^{**}$), ce dernier a enregistré une corrélation positive avec le rendement en grains par plant et l'indice de récolte ($r = 0.41^*$ et $r = 0.65^{**}$). L'indice

de récolte est positivement corrélé avec le rendement en grains par plant ($r = 0.57^{**}$) (tableau 6, annexe C).

5.2.3. Discussion sur les hybrides F_1 et F_2

On enregistre peu de différence entre la première et la deuxième génération F_1 et F_2 pour la précocité au stade épiaison, avec une durée de 100 jours et 99 jours respectivement chez le croisement (F x SA). Bouzerzour et Benmahammed (1994) [177] notent que l'utilité de la sélection sur la base de la précocité au stade épiaison est justifiée par le souci de donner à la plante un cycle de développement qui lui permet d'éviter les contraintes climatiques tel que le froid tardif.

La comparaison des valeurs moyennes prises par les F_1 avec celles des hybrides F_2 montre que les caractères : longueur de la paille, longueur de l'épi, longueur du col de l'épi, longueur de la barbe, longueur de la feuille étendard, nombre de talles par plant, nombre d'épillets stériles par épi, poids de mille grains, poids de la biomasse aérienne et rendement en grains estimés par mètre linéaire s'expriment mieux chez les croisements F_2 que chez F_1 .

Le rendement en grains estimé par mètre linéaire, chez les deux générations F_1 et F_2 , est associé à une meilleure longueur de la feuille étendard, un poids de grains de l'épi élevé et une meilleure biomasse aérienne. La ressemblance entre ces générations montre un effet génétique plus important que l'effet environnement dans l'expression de ces caractères. Un rendement élevé chez l'hybride est donc la résultante d'une hétérosis élevée du rendement qui émerge suite à la contribution des caractères mesurés comme la biomasse, le nombre d'épis, le poids de 1000 grains et la hauteur des plantes [175].

5.3. Comparaison entre les valeurs moyennes des parents et leurs hybrides F_1 et F_2 .

5.3.1. Comparaison des hybrides F_1 et parent moyen

Des corrélations positives et significatives ($p < 0.05$) sont obtenues pour les caractères longueur de la paille, longueur du col de l'épi, poids de grains de l'épi et la biomasse aérienne ($r = 0.45^*$, $r = 0.45^*$, $r = 0.39^*$ et $r = 0.42^*$ respectivement) (tableau 7, annexe C).

Les caractères longueur de l'épi et nombre de grains de l'épi présentent des corrélations fortes, positives et hautement significatives ($p < 0.01$) avec $r = 0.73^{**}$ et $r = 0.67^{**}$. Pour ces deux derniers caractères, les hybrides F_1 sont bien répartis de part et d'autre des droites de régression (figure 5.12).

Le poids de mille grains présente une corrélation négative ($r = - 0.17$). Au niveau des caractères nombre de talles et d'épis par plant, longueur de la feuille étendard, nombre d'épillets fertiles et stériles par épi, rendement en grains et indice de récolte aucune signification de la corrélation n'est révélée (tableau 7, annexe C).

5.3.2. Comparaison des hybrides F_2 et parent moyen

On enregistre des coefficients de corrélation significatifs ($p < 0.05$) entre les valeurs des hybrides F_2 et le parent moyen (tableau 7, annexe C) pour les variables longueur du col de l'épi et le rendement en grains ($r = 0.39^*$ et $r = 0.38^*$), les variables longueur de la paille, longueur de l'épi, nombre et poids de grains de l'épi présentent des corrélations hautement significatives ($p < 0.01$) avec $r = 0.55^{**}$, $r = 0.65^{**}$, $r = 0.68^{**}$ et $r = 0.63^{**}$ respectivement. Ces corrélations positives révèlent l'importance de l'additivité des caractères.

La droite de régression formée par les valeurs des hybrides F_2 et le parent moyen (figure 5.12) révèle une répartition équilibrée des hybrides F_2 pour le nombre de grains par épi.

Une corrélation négative est enregistrée concernant les paramètres nombre de talles par plant, poids de mille grains et indice de récolte ($r = - 0.03$, $r = - 0.09$ et $r = - 0.28$). Aucune corrélation significative n'est révélée pour les variables nombre d'épis par plant, longueur de la feuille étendard, nombre d'épillets fertiles et stériles par épi et le rendement en grains par mètre linéaire (tableau 8, annexe C).

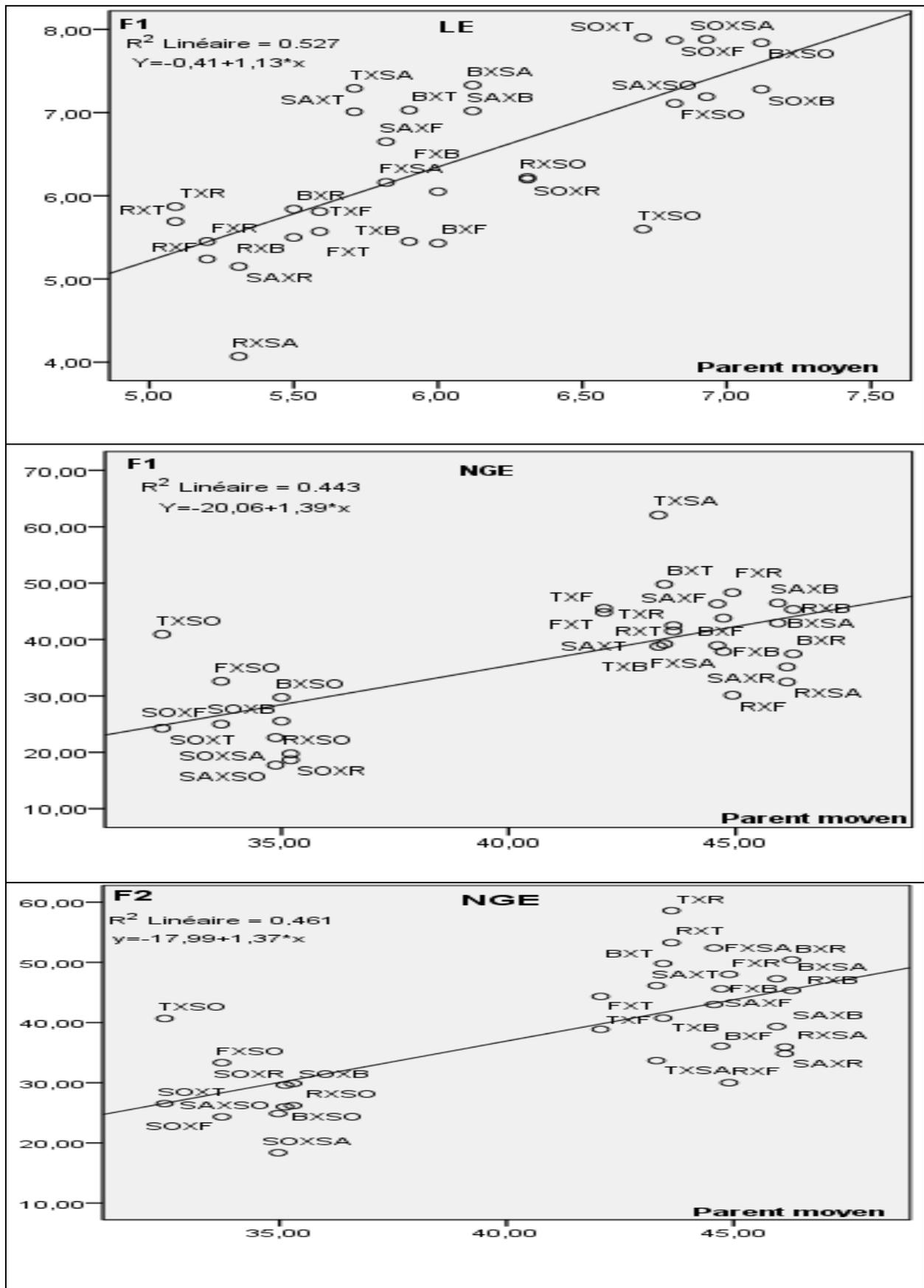


Figure 5.12: Relation entre F₁, F₂ et leurs parents moyens.

5.4. Analyse des différents caractères étudiés au niveau du diallèle.

5.4.1. Analyse Hayman

5.4.1.1. Au niveau des hybrides F_1

Le calcul des variances (V_r) et des covariances (W_r) permet de tracer des graphes (paraboles et droites de régression) à partir desquels une interprétation génétique (dominance, transgression...) est réalisée.

Lorsque la droite de régression est une bissectrice de l'axe des ordonnées (W_r / V_r), on parle de dominance complète. Par contre, si elle le coupe en dessous de l'origine, il y'a superdominance ou lorsqu'elle passe au-dessus de l'origine on est dans le cas de dominance incomplète. Si la droite est tangente à la parabole, il n'y a pas de dominance.

La position des différents points (V_r , W_r) de la droite nous permet de connaître la nature des gènes que contiennent les parents testés. Si le point représentatif du parent qui a la plus grande valeur pour un caractère donné, se trouve à l'extrémité supérieure de la droite, ce génotype contient alors des gènes récessifs favorables à l'accroissement du caractère envisagé. Par contre s'il se trouve à l'extrémité inférieure, le parent contient plutôt des gènes dominants. Sa position dans la partie médiane indique que le génotype contient des gènes récessifs et dominants à part égale [72].

La longueur de la paille est régie par une superdominance. Les génotypes Soufara et Fouara regroupent le plus grand nombre de gènes dominants aux effets négatifs sur l'expression du caractère tandis que le parent Saïda, 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. La position éloignée de la parabole des points représentant les parents testés indique que des formes transgressives peuvent être obtenues dans les descendances des croisements effectués entre les parents inclus dans cet essai (figure 5.13).

Le graphique ($W_r + V_r$, t) montre que la dominance à une action négative ($b > 0$) (figure 5.14). De ce fait pour améliorer la longueur de la paille il faut sélectionner les gènes récessifs.

Une dominance incomplète a caractérisé le caractère longueur du col de l'épi. La position proche de la parabole des points représentant les parents montre qu'on ne peut pas espérer de progrès relatif à ce caractère dans la descendance (figure 5.13).

Le parent Fouara, positionné près de l'origine, contient plus d'allèles dominants que de récessifs, alors que les parents Bahia, Tichedrett et Soufara, positionnés juste au milieu, portent des proportions égales d'allèles dominants et récessifs. Par contre Saïda et Rihane, positionnés plus loin de l'origine des axes, possèdent plus d'allèles récessifs que de dominants. La position des points représentant les parents testés indique l'absence de transgression. Les gènes dominants sont à action négative ($b > 0$) sur l'expression du caractère (figure 5.14).

Le caractère longueur de l'épi est sous l'effet d'une dominance incomplète. La variété locale Saïda possède des gènes récessifs favorables à l'expression du caractère, alors que Tichedrett possède plus d'allèles dominants que de récessifs. La position des points, correspondants aux variétés, éloignée de la parabole montre la présence de formes transgressives (figure 5.13). La pente de la droite de régression positive indique une action favorable des gènes récessifs pour l'expression du caractère (figure 5.14).

La longueur de la feuille étendard montre une superdominance. La variété locale Saïda possède des gènes récessifs, alors que la deuxième variété locale Tichedrett possède plus de gènes dominants favorables à l'expression du caractère, pas de transgression pour ce caractère (figure 5.13). La pente b inférieure à zéro indique que les gènes dominants ont une action positive sur le caractère (figure 5.14).

Le graphe (figure 5.13) révèle une dominance partielle du nombre de talles par plant. La transgression est absente dans la descendance. La variété Soufara possède des gènes dominants défavorables, par contre Fouara et Saïda contiennent des gènes récessifs favorables à l'augmentation du nombre de talles (figure 5.14). Le graphique représentant la répartition des génotypes parentaux autour de la droite de régression ($W_r + V_r, t$) montre que la dominance enregistrée agit dans le sens négatif pour l'expression du caractère.

La droite de régression (W_r / V_r) passe en dessus de l'origine, ce qui montre un effet de dominance incomplète pour le caractère nombre d'épis par plant. La

position des points, correspondants aux variétés, éloignée de la parabole montre la possibilité de transgression dans les futures générations (figure 5.13). Les génotypes Bahia, Soufara, Fouara, et Tichedrett positionnés juste au milieu, renferment de gènes dominants et récessifs favorables à l'augmentation du nombre d'épis, tandis que le génotype Saïda possède plus de gènes récessifs. Les gènes dominants ont une action positive sur le caractère ($b < 0$).

Une dominance incomplète a caractérisé le caractère nombre d'épillets fertiles par épi. La position des points, correspondants aux variétés, éloignée de la parabole montre la possibilité de transgression (figure 5.13). La variété locale Saïda possède des gènes récessifs à action positive (la pente b supérieure à zéro) sur l'expression du caractère (figure 5.14).

Le nombre d'épillets stériles par épi montre une superdominance. La position des points, relatifs aux variétés, éloignée de la parabole indique des formes transgressives dans la descendance (figure 5.13). Le parent Saïda possède des gènes récessifs favorisent l'augmentation du caractère. La pente b inférieure à zéro montre que les gènes dominants sont à action positive (figure 5.14).

Le nombre de grains par épi montre une dominance incomplète. La position des points, relatifs aux variétés, éloignée de la parabole indique qu'il y a possibilité de transgression dans la descendance (figure 5.13). Les génotypes Saïda et Rihane possèdent des gènes récessifs favorables à l'augmentation du nombre de grains (figure 5.14). La pente b supérieure à zéro indique que les gènes dominants sont défavorables (figure 5.14).

Le poids de grains de l'épi est sous l'effet d'une dominance incomplète. La position des points, correspondants aux variétés, éloignée de la parabole montre la possibilité de transgression dans la descendance. Les parents Tichedrett, Soufara, Saïda, Rihane et Bahia contiennent des gènes récessifs et dominants à part égale. Les gènes dominant ont une action négative sur l'expression du caractère ($b > 0$) (figure 5.14).

Le caractère poids de mille grains est sous l'effet de la dominance incomplète. La position des points, correspondants aux variétés, éloignée de la parabole montre la possibilité de transgression. Les variétés : Tichedrett, Fouara, Saïda, Rihane et

Bahia possèdent des gènes récessifs et dominants favorables à l'augmentation du poids. La pente b supérieure à zéro indique que les gènes dominants ont une action négative sur l'expression du paramètre (figure 5.13).

Le poids de la biomasse aérienne est sous l'effet et d'une superdominance. La position de points, représentant les parents testés, éloignée de la parabole indique la possibilité de transgression dans la descendance. La variété Saïda renferme des gènes récessifs favorables à l'augmentation du poids de la biomasse (figure 5.14). Les gènes dominants ont une action négative sur l'expression du caractère ($b > 0$) (figure 5.14).

La droite de régression du caractère rendement en grains estimé par plant montre une superdominance (figure 5.13). La position des points, correspondants aux variétés, éloignée de la parabole montre la possibilité de transgression. Elle révèle aussi que le parent Saïda possède des gènes récessifs favorables à l'augmentation du rendement. Les gènes dominants sont défavorables pour ce caractère ($b > 0$) (figure 5.14).

L'étude du graphe formé par la droite de régression W_r / V_r (figure 5.13) révèle une superdominance du caractère rendement en grains estimé par mètre linéaire. La position des points, correspondants aux variétés, éloignée de la parabole montre la possibilité de transgression. Le parent Saïda possède des gènes récessifs favorables à l'augmentation du rendement (figure 5.14). La pente b supérieure à zéro indique que les gènes dominants sont défavorables pour ce caractère (figure 5.14).

L'étude du graphe formé par la droite de régression W_r / V_r (figure 5.13) révèle un effet de superdominance de la variable indice de récolte. La position proche des points, représentant les parents indique que ce caractère ne peut pas être amélioré dans la descendance (pas de transgression). Soufara possède des gènes récessifs favorables à l'amélioration de ce caractère. Les gènes dominants sont à action négative ($b > 0$) (figure 5.14).

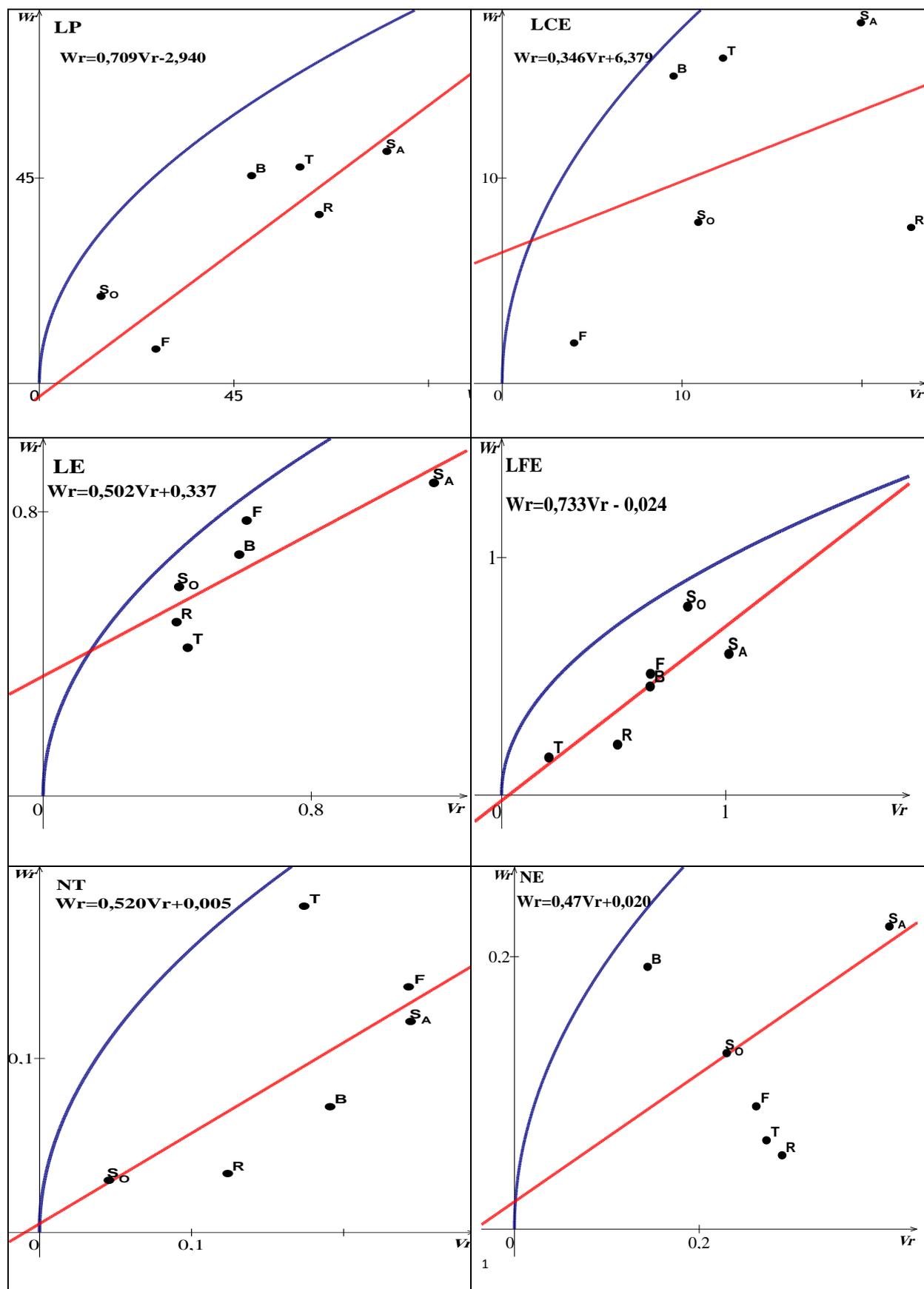


Figure 5.13 : Paraboles et droites de régression des W_r sur les V_r en F_1 .

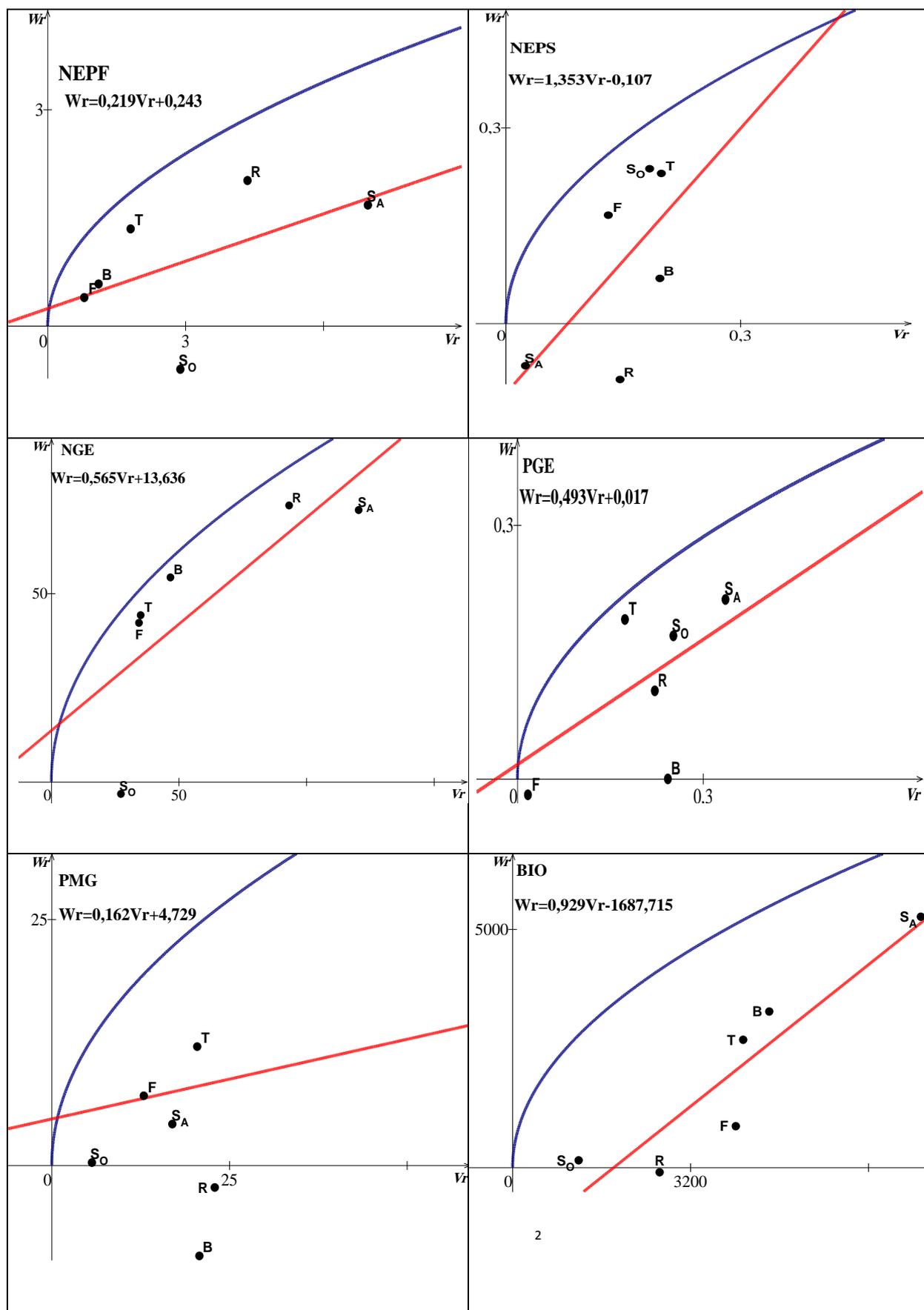


Figure 5.13 : Paraboles et droites de régression des W_r sur les V_r en F_1 .

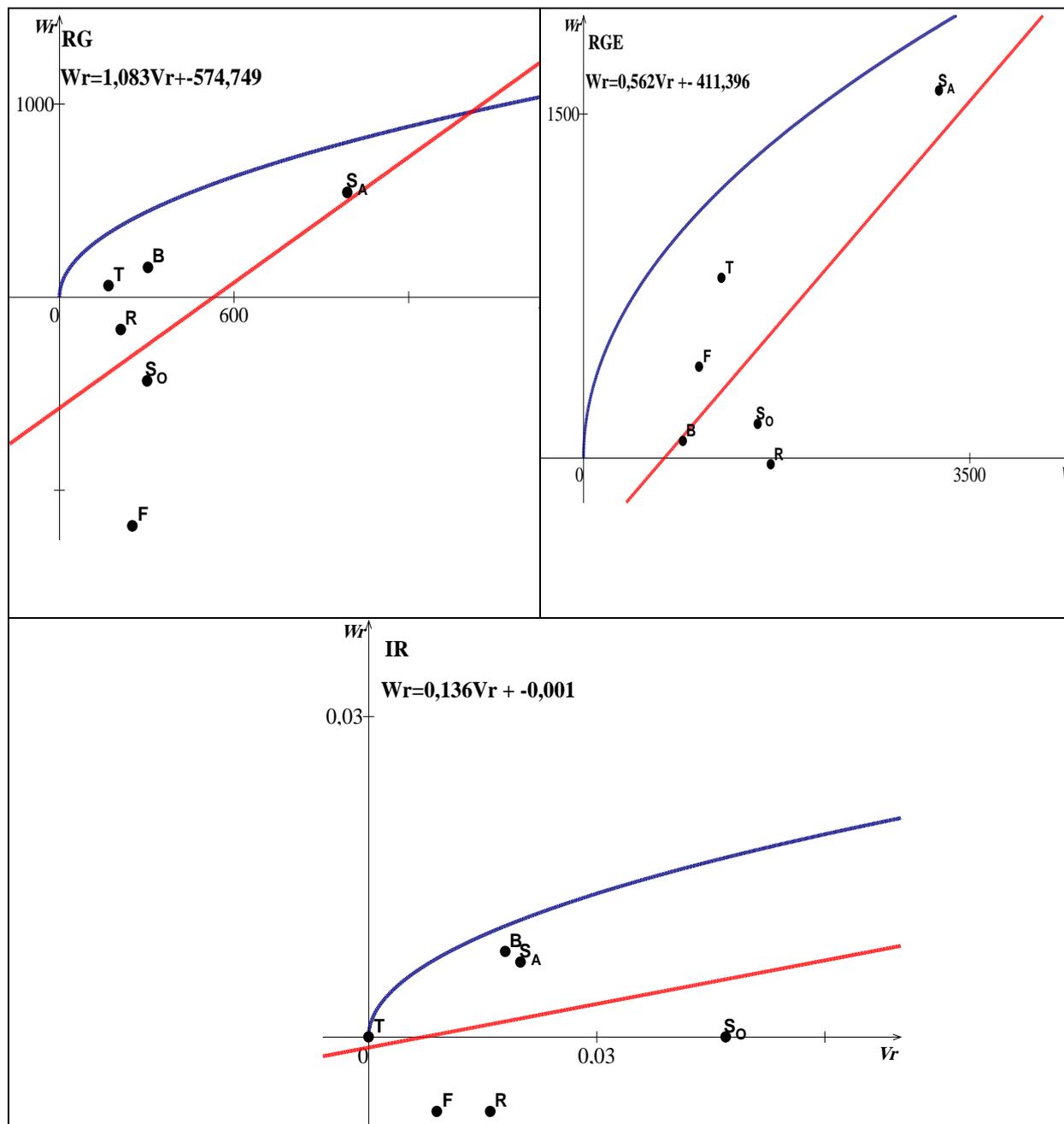


Figure 5.13: Paraboles et droites de régression des W_r sur les V_r en F_1 .

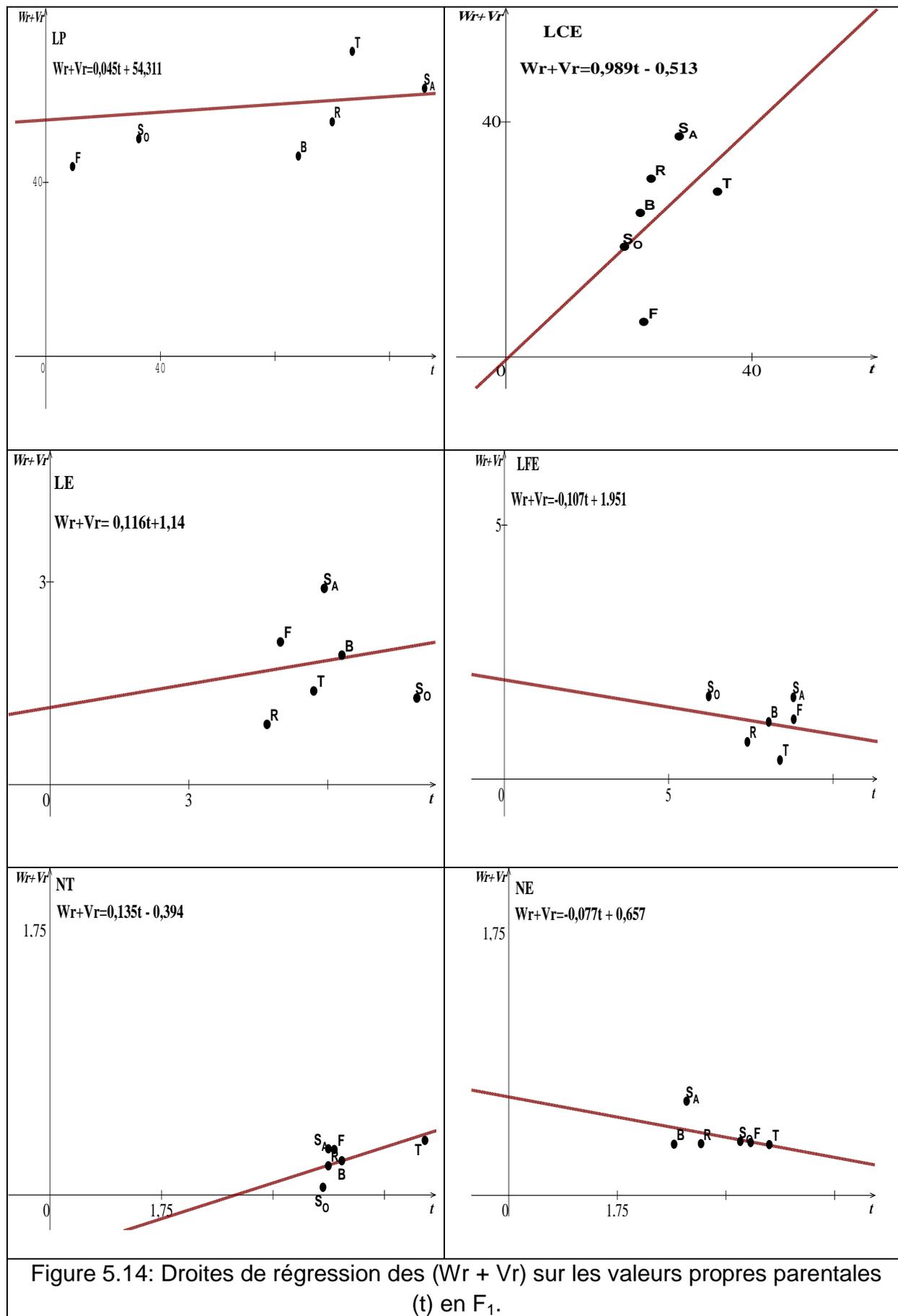


Figure 5.14: Droites de régression des $(W_r + V_r)$ sur les valeurs propres parentales (t) en F_1 .

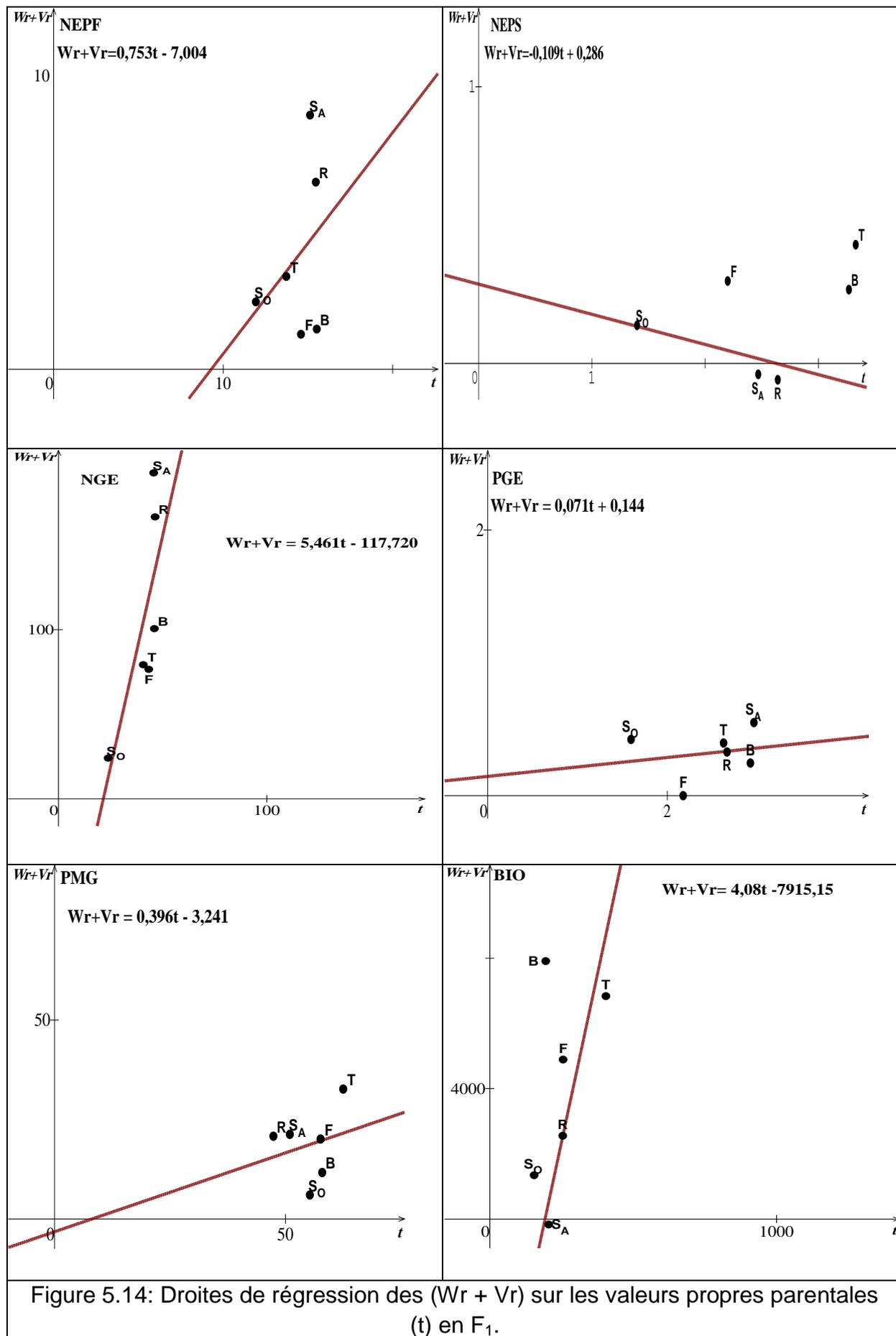


Figure 5.14: Droites de régression des $(W_r + V_r)$ sur les valeurs propres parentales (t) en F_1 .

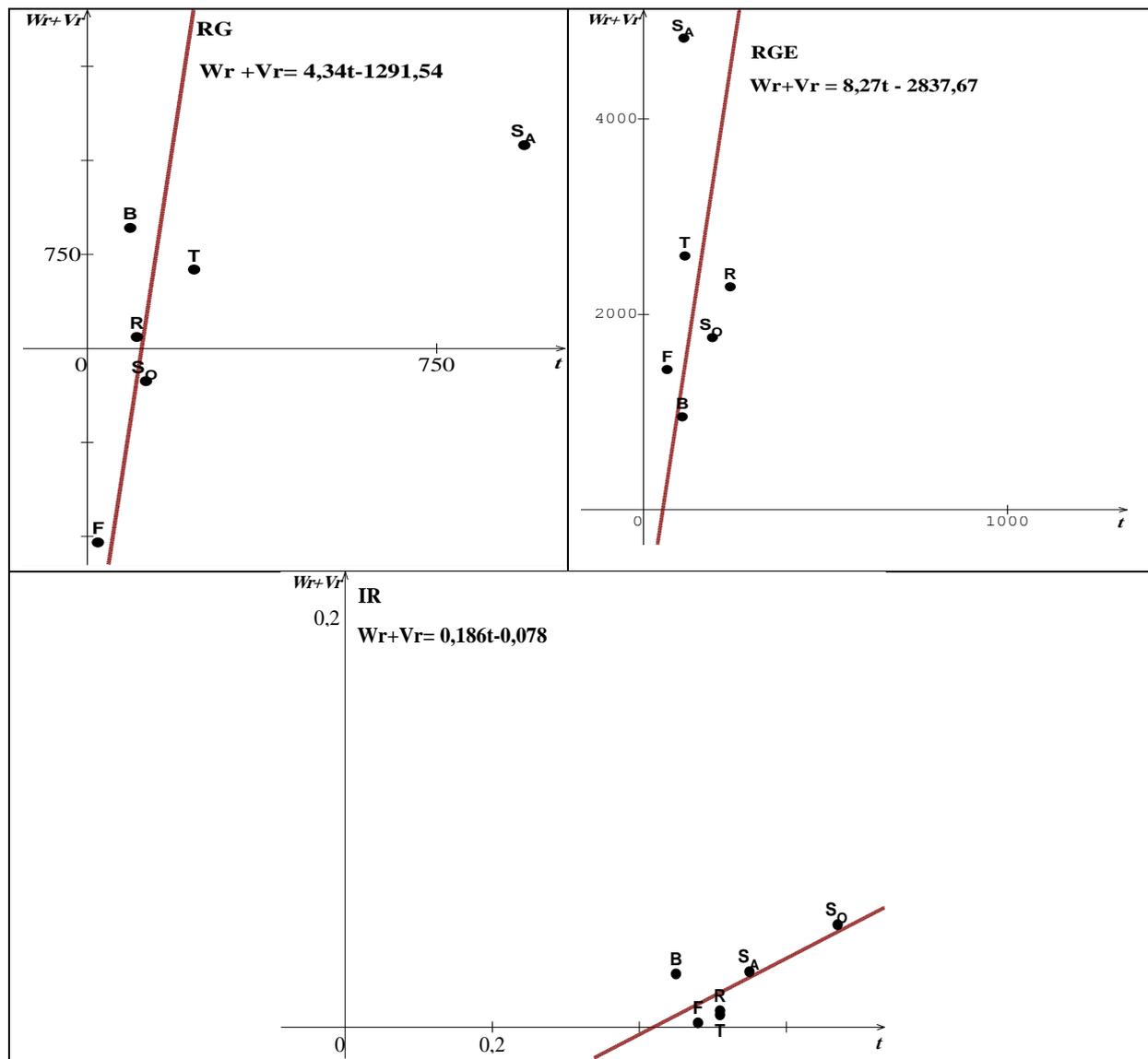


Figure 5.14 : Droites de régression des $(W_r + V_r)$ sur les valeurs propres parentales (t) en F_1 .

5.4.1.2. Au niveau des hybrides F₂

L'étude du graphe formé par la droite de régression W_r / V_r révèle un effet de superdominance pour la longueur de la paille (figure 5.15). L'emplacement des différentes variétés éloigné de la parabole suggère la présence de transgression dans les futures générations. Les parents Soufara et Fouara renferment plus de gènes dominant défavorables. Par contre Bahia et Tichedrett possèdent plus de gènes récessifs favorables à l'augmentation de ce caractère ($b > 0$) (figure 5.16).

La longueur du col est sous l'effet d'une dominance incomplète (figure 5.15). La position des parents proche de la parabole montre l'absence de transgression. Le parent Tichedrett renferme plus de gènes récessifs à action positive pour l'augmentation de la longueur du col, contrairement au Soufara qui possède plus de gènes dominants à action négative. Les gènes dominants sont à action négative ($b > 0$) (figure 5.16).

Un effet de superdominance gouverne la longueur de l'épi (figure 5.15). Le rapprochement du parent Fouara de la parabole ne permet pas la possibilité de transgression pour ce caractère. La variété locale Saïda contient plus de gènes récessifs favorables à l'expression de ce caractère, alors que la deuxième variété locale Tichedrett, dans cet essai, possède plus de gènes dominants. Ces derniers sont défavorables à l'expression de la longueur ($b > 0$) (figure 5.16).

Le graphe (figure 5.15) révèle une dominance incomplète de la longueur de la feuille étendard. L'emplacement des points, correspondants aux variétés, proche de la parabole loin indique que ce caractère peut être amélioré à partir des variétés de l'essai (transgression). Les variétés Tichedrett et Bahia possèdent plus de gènes dominants à action négative sur la longueur. Saïda porte plus de gènes récessifs, ces gènes récessifs sont favorables à l'augmentation du caractère ($b > 0$) (figure 5.16).

La droite de régression W_r / V_r est une bissectrice de l'axe des ordonnées, ce qui montre l'effet d'une dominance complète pour le nombre de talles (figure 5.15).

L'emplacement des parents proche de la parabole ne suggère pas la possibilité de transgression. Soufara et Bahia possèdent plus de gènes dominants défavorables, alors que Tichedrett possède plus de gènes récessifs favorables pour

ce caractère. La dominance enregistrée agit dans le sens négatif dans l'expression du caractère (la pente b est positive) (figure 5.16).

Le nombre d'épis est sous l'effet d'une dominance incomplète (figure 5.15). La possibilité de transgression du caractère a été montrée par la position éloignée de points représentant les parents. Les parents Saïda et Rihane renferment plus de gènes récessifs favorables à l'augmentation du nombre d'épis, alors que Soufara possède plus de gènes dominants défavorables. Les gènes dominants, contrôlant ce caractère, ont une action négative (pente positive) (figure 5.16).

Le nombre d'épillets fertiles par épi est sous l'effet d'une dominance incomplète (figure 5.15). La position de points, représentant les parents, éloignée de la parabole indique la possibilité de transgression du caractère dans la descendance. Le parent Rihane possède des gènes récessifs favorables à l'augmentation du nombre d'épillets fertiles, tandis que Soufara renferme plus de gènes dominants défavorables. La dominance est négative pour l'expression du caractère ($b > 0$) (figure 5.16).

Le caractère nombre d'épillets stériles par épi montre des effets apparents de superdominance (figure 5.15). La position de points, représentant les parents, éloignée de la parabole indique la possibilité de transgression. La position dans la partie médiane, de points représentant les parents Bahia, Tichedrett et Rihane, indique que ces parents possèdent des gènes récessifs et dominants à part égale favorables à l'augmentation de ce paramètre. La dominance est défavorable pour l'expression du caractère ($b > 0$) (figure 5.16).

Le nombre de grains de l'épi est gouverné par une dominance incomplète (figure 5.15). La position de points, représentant les parents, éloignée de la parabole indique la possibilité de transgression. Les parents Saïda et Rihane possèdent plus de gènes récessifs favorables à l'augmentation du nombre de grains, par contre Soufara renferme plus de gènes dominants défavorables. La dominance a une action négative sur le caractère ($b > 0$) (figure 5.16).

Une dominance incomplète caractérise le poids de grains de l'épi (figure 5.15). La position de points, représentant les parents, éloignée de la parabole montre la possibilité de transgression du caractère. La position dans la partie médiane montre

que les variétés : Bahia, Fouara, Tichedrett, Rihane et Saïda possèdent des gènes récessifs et dominants à part égale favorables à l'augmentation du poids, à l'inverse Soufara renferme plus de gènes dominants. La dominance a une action négative sur l'expression du caractère ($b > 0$) (figure 5.16).

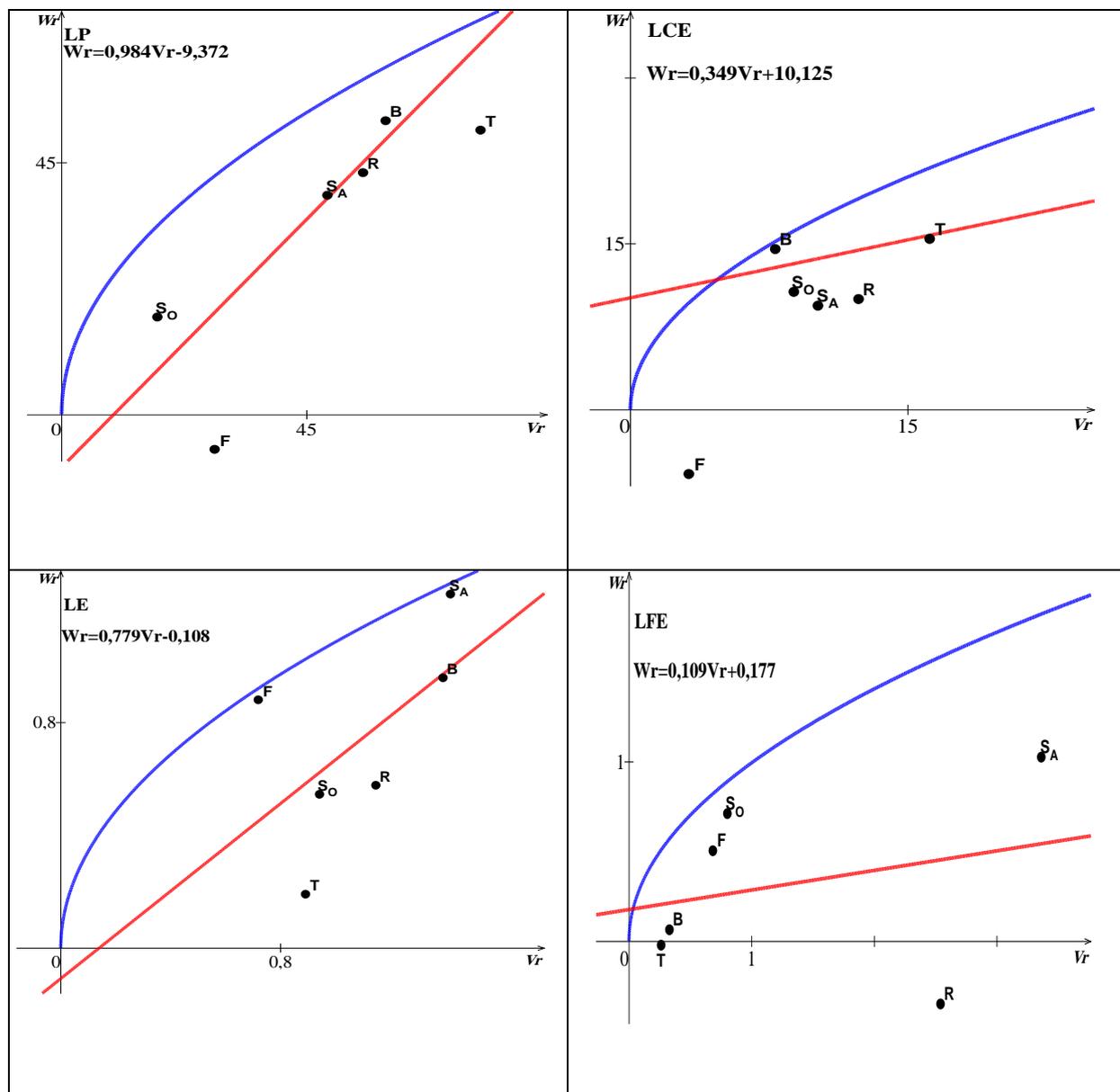
Le poids de mille grains montre des effets de superdominance (figure 5.15). La position de points, représentant les parents, éloignée de la parabole révèle la possibilité de transgression dans la descendance. La position dans la partie médiane indique que les parents : Tichedrett, Bahia, Soufara, Fouara et Rihane renferment des gènes récessifs et dominants à part égale. Le parent Saïda contient plus de gènes récessifs favorables à l'augmentation du poids. La dominance a une action négative sur l'augmentation du caractère ($b > 0$) (figure 5.16).

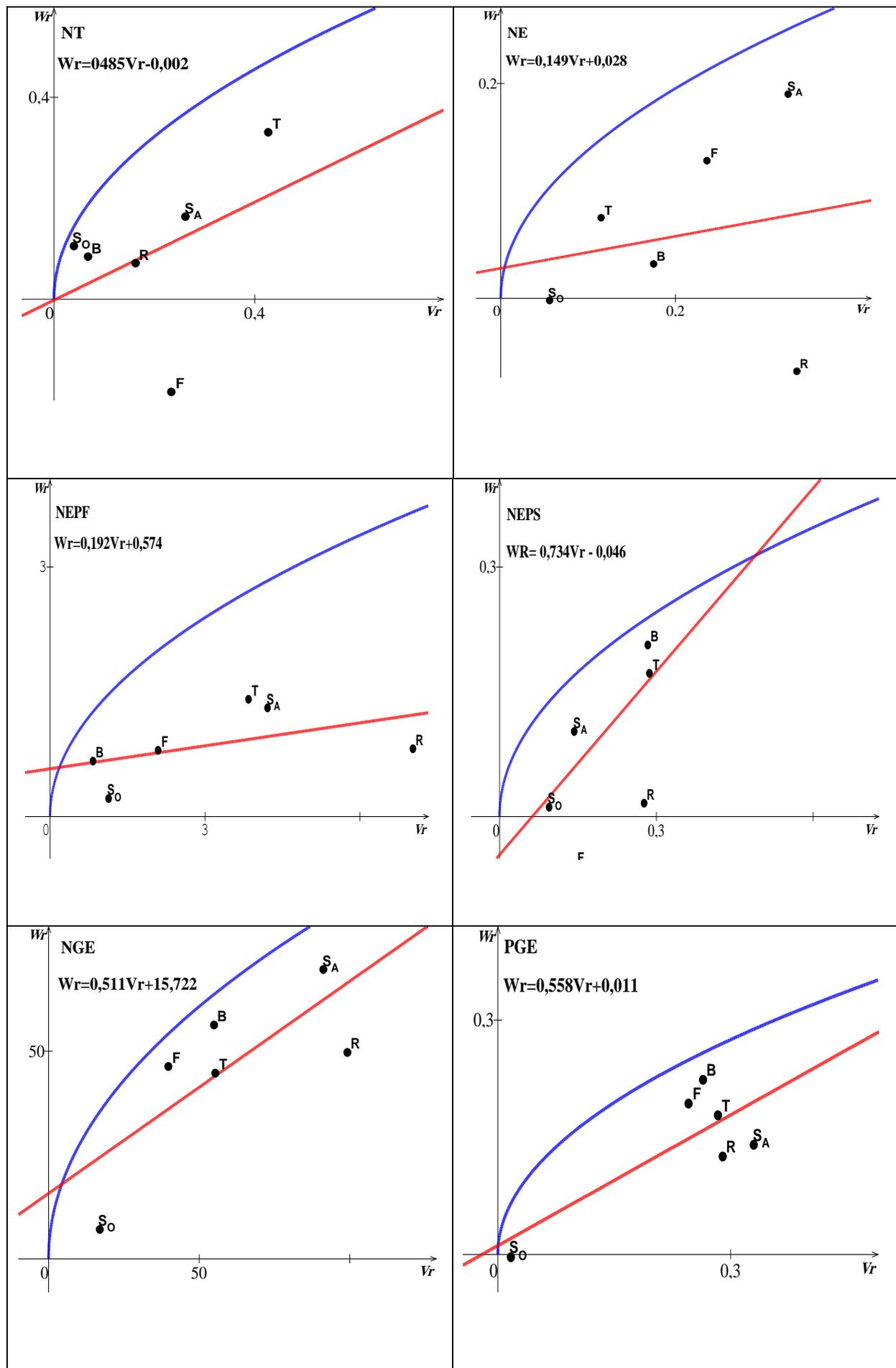
Une dominance incomplète caractérise le poids de la biomasse aérienne (figure 5.15). La position de points, représentant les parents, éloignée de la parabole suggère la transgression du caractère. La position dans la partie médiane, de points représentant les parents, indique que les variétés : Tichedrett, Bahia, Soufara, Saïda et Fouara contiennent des gènes récessifs et dominants à part égale améliorants la biomasse. Le parent Rihane contient plus de gènes dominants, alors que la dominance est défavorable pour l'expression du caractère ($b > 0$) (figure 5.16).

Le rendement en grains est sous l'effet d'une dominance incomplète (figure 5.15). La position de points, représentant les parents, éloignée de la parabole indique la possibilité de transgression. Le parent Saïda renferme plus de gènes récessifs favorables à l'amélioration du rendement, alors que le parent Fouara contient plus de gènes dominants. La dominance a une action négative sur le caractère ($b > 0$) (figure 5.16).

Le graphe représentant la droite de régression W_r / V_r révèle un effet de superdominance du rendement en grains par mètre linéaire (figure 5.15). La position de points, représentant les parents, éloignée de la parabole indique la transgression. Le parent Saïda renferme plus de gènes récessifs favorables à l'augmentation du rendement. Par contre le parent Soufara contient plus de gènes dominants, ces derniers sont à action négative ($b > 0$) (figure 5.16).

Un effet de superdominance gouverne le caractère indice de récolte (figure 5.15). Des formes transgressives ne peuvent pas être obtenues dans la descendance à partir des parents testés. La pente b est positive révélant une action négative des gènes dominants (figure 5.16).





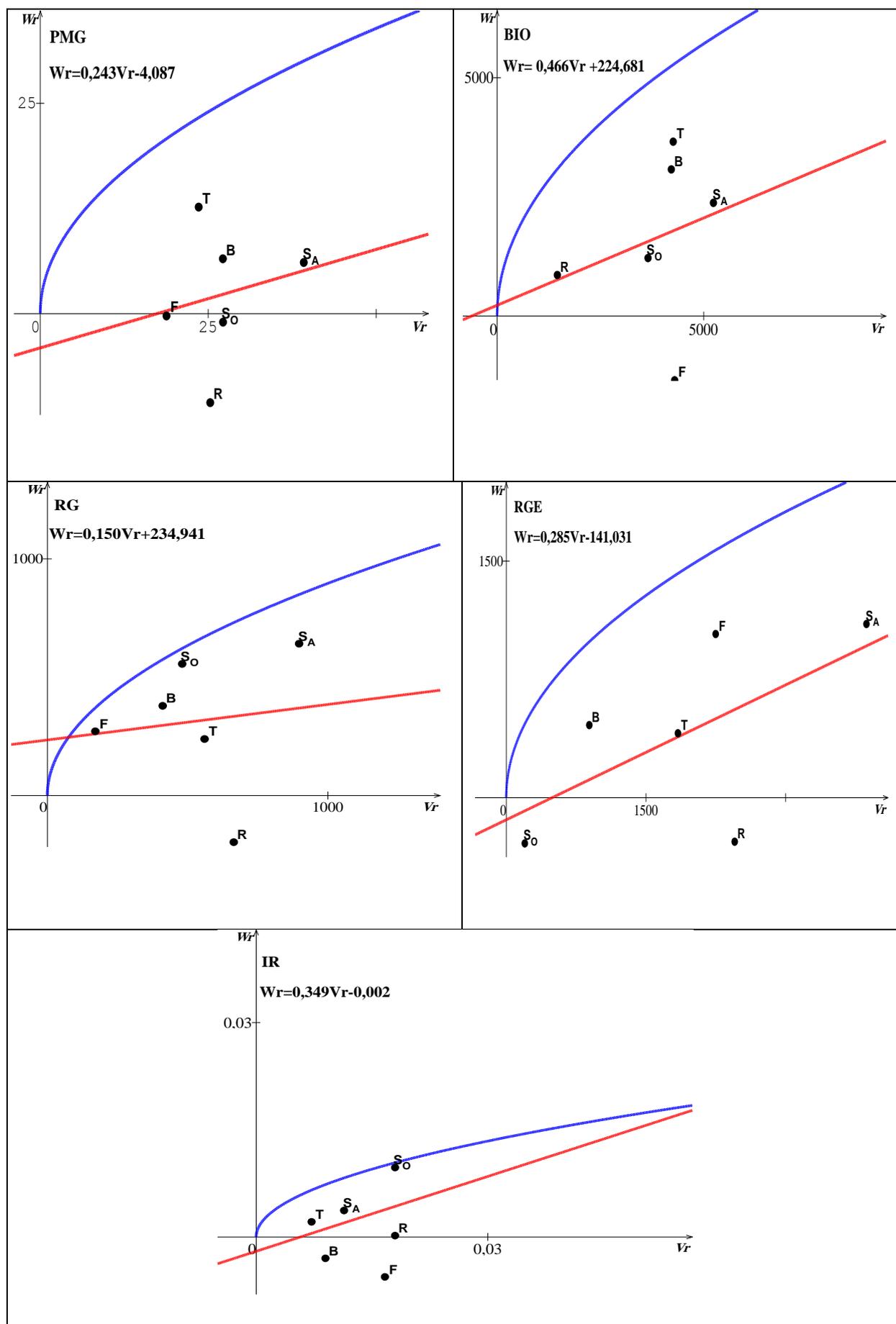
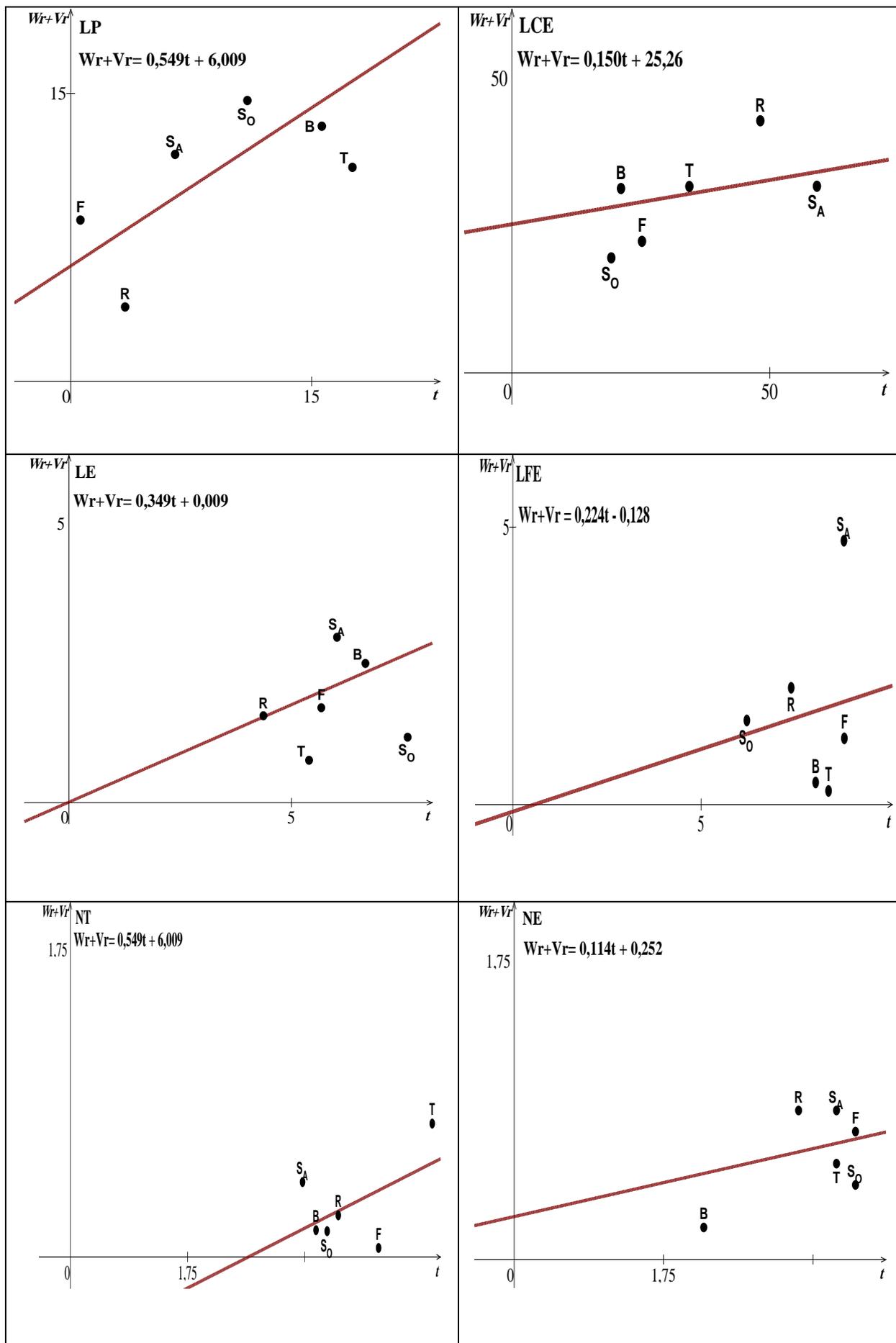
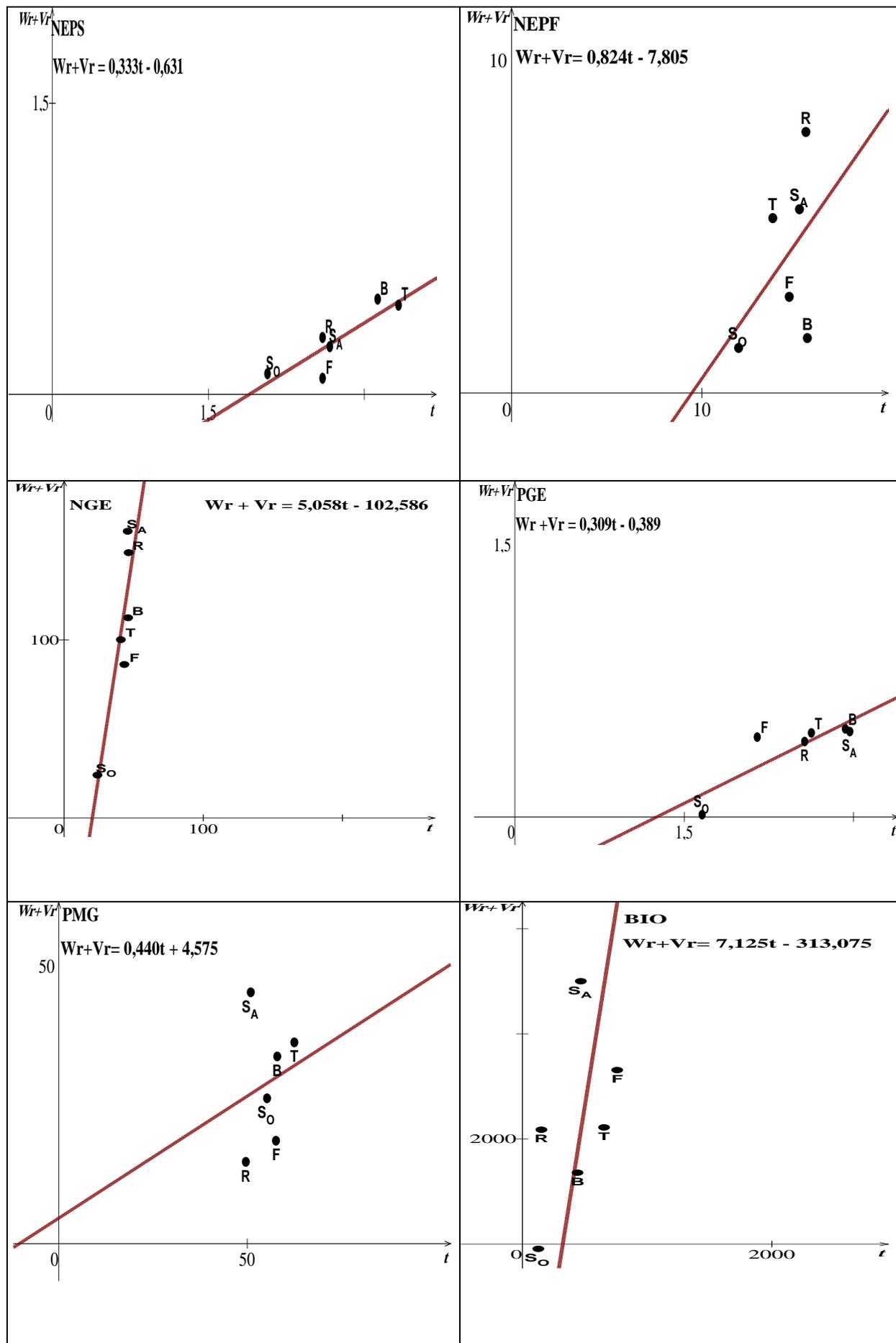


Figure 5.15 : Paraboles et droites de régression des W_r sur les V_r en F_2 .





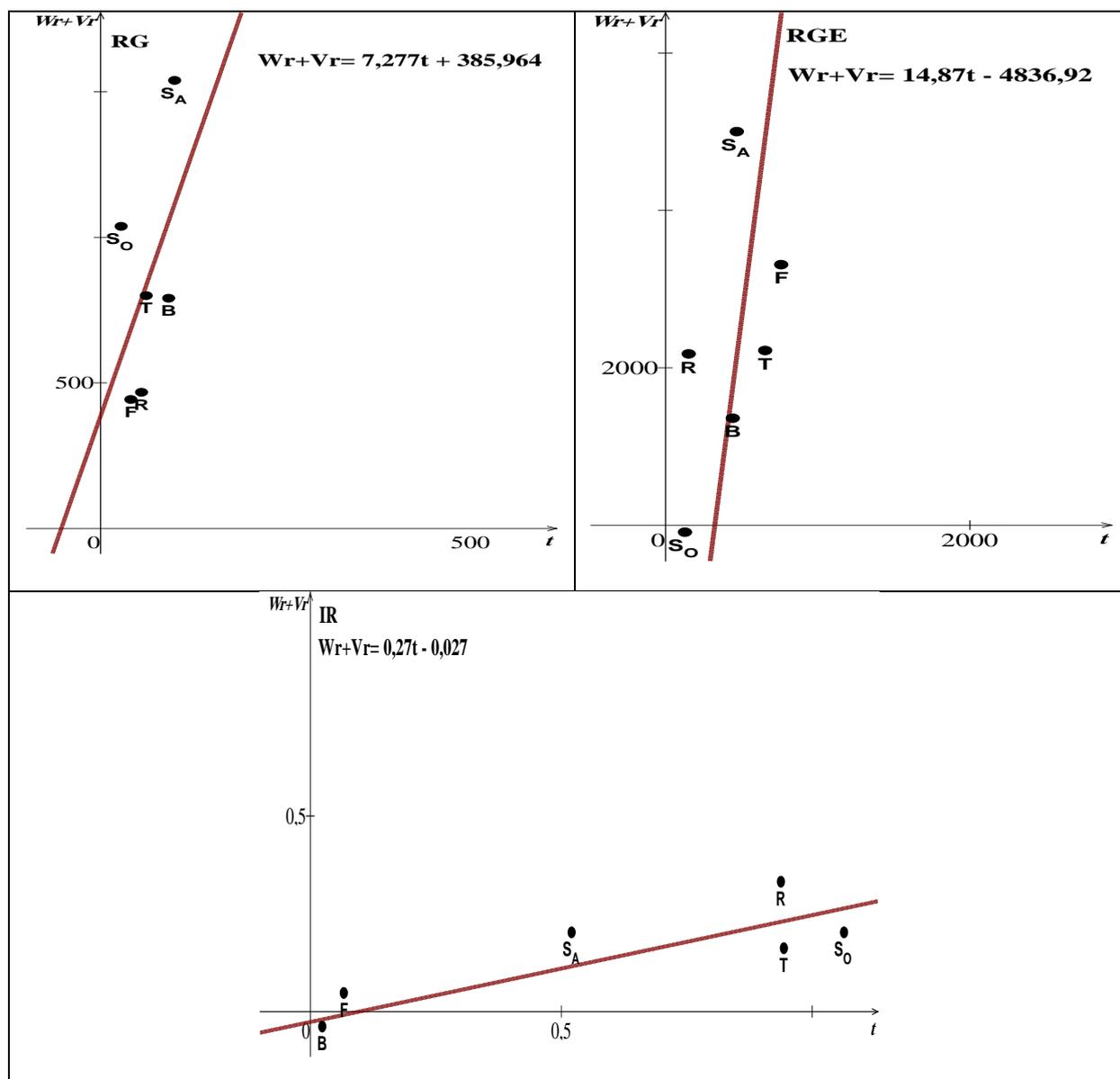


Figure 5.16 : Droites de régression des $(W_r + V_r)$ sur les valeurs propres parentales (t) en F_2 .

5.4.1.3. Etude des F_1 et des F_2

L'étude des deux générations fait ressortir ce qui suit :

Les corrélations obtenues entre la F_1 et le parent moyen concernant la longueur de la paille, du col de l'épi et de l'épi, le nombre et le poids de grains de l'épi et la biomasse aérienne indiquent la possibilité d'existence des effets additifs pour ces caractères en F_1 . Nos résultats concordent avec ceux obtenus par Bousalhih (2015) [178], chez des hybrides F_1 de blé dur pour les caractères longueur de la paille et poids de grains de l'épi.

Les graphes, formés par le parent moyen et la valeur hybride, montrent une répartition équilibrée des croisements de part et d'autre des droites de régression de la longueur de l'épi et du nombre de grains de l'épi en F_1 et du nombre de grains de l'épi en F_2 . De ce fait la relation entre l'hybride et son parent moyen est vraiment forte pour ces deux caractères.

L'absence de corrélations entre certains caractères indique que la valeur moyenne d'une descendance ne peut être prédite par la connaissance de la valeur moyenne des deux parents. Sampson (1976) [179] note que la valeur propre du parent moyen prédit suffisamment celle de la descendance et de ce fait, il suggère que cette caractéristique doit être utilisée pour choisir les parents à croiser.

L'analyse graphique de Hayman, chez la descendance F_1 , a montré une superdominance pour les caractères : longueur de la paille et de la feuille étendard, nombre d'épillets stériles, biomasse aérienne, rendement en grains estimé par plant et par mètre linéaire, et indice de récolte. Une dominance partielle est enregistrée chez les caractères longueur de la paille et de l'épi, nombre de talles et d'épis par plant, nombre d'épillets fertiles par épi, nombre et poids de grains de l'épi et poids de 1000 grains.

Chez le triticales, Shoulydin, (1977) [180] a rapporté, que l'analyse des plantes hybrides F_1 a permis de conclure que l'héritabilité de la longueur de l'épi est de type dominance incomplète, Ullah et *al.* (2010) [181] mentionnent que la dominance partielle est impliquée en partie dans l'hérédité des traits comme la hauteur et le rendement en grains. Khan et Habib (2003) [182] ont également trouvé que le nombre de grains par épi est régi par une dominance partielle.

Les graphiques représentant la répartition des génotypes parentaux autour de la droite de régression ($W_r + V_r, t$) montrent que la dominance enregistrée agit dans le sens positif pour l'expression des caractères suivants : longueur de la feuille étendard, nombre d'épis par plant et nombre d'épillets stériles par épi. Alors que les gènes récessifs contrôlent les caractères : longueur de la paille, de l'épi et du col de l'épi, nombre de talles par plant, nombre d'épillets fertiles par épi, nombre de grains de l'épi, biomasse aérienne, rendement en grains estimé par plant et par mètre linéaire, et indice de récolte. Des gènes récessifs et dominants à part égale contrôlent le poids de grains de l'épi et le poids de 1000 grains. Par contre des

études de Ullah et *al.* (2010) [181] et Hassan et *al.* (2013) [183] rapportent que la dominance agit dans le sens de l'augmentation des valeurs moyennes du nombre de grains par épi et du rendement en grains ; alors que les allèles récessifs agissent dans le sens de l'amélioration des moyennes du nombre d'épis par plante et du poids de 1000 grains.

L'étude du graphe formé par la droite de régression (W_r / V_r) révèle des formes transgressives concernant les paramètres : longueur de la paille, nombre d'épis par plant, nombre d'épillets fertiles et stériles par épi, nombre et poids de grains de l'épi, biomasse aérienne, rendement en grains estimé par plant et par mètre linéaire, poids de 1000 grains. Alors qu'on ne peut pas espérer de progrès génétique pour la longueur du col de l'épi, de l'épi et de la feuille étendard, nombre de talles par plant et indice de récolte.

L'analyse graphique de Hayman de la descendance F_2 a montré que les caractères longueur de la paille et de l'épi, nombre d'épillets stériles, poids de 1000 grains, rendement en grains estimé par mètre linéaire, et indice de récolte sont gouvernés par la superdominance. Le caractère nombre de talles par plant est régi par une dominance complète. Selon Bekrar (2015) [184], la prépondérance des effets non additifs, indiquée par la dominance complète et la superdominance, suggère que la sélection pour améliorer le caractère ciblé ne peut être pratiquée tôt sur les générations précoces, parce qu'elle se montrerait inefficace.

Une dominance partielle a caractérisé la longueur du col et de la feuille étendard, le nombre d'épis par plant, le nombre d'épillets fertiles par épi, le nombre et poids de grains de l'épi, la biomasse aérienne et le rendement en grains estimé par plant. La présence d'effets d'une dominance partielle a été rapportée par Kaukab et *al.* (2014) [185], pour le nombre d'épis par plant. Alors que Fellahi et *al.* (2017) [186] ont trouvé des effets de superdominance pour le contrôle du caractère.

Les caractères longueur de la feuille étendard, la biomasse aérienne, le rendement en grains par plant sont sous l'effet d'une superdominance en F_1 , et d'une dominance partielle en F_2 , le passage d'une situation de superdominance à une situation de dominance est probablement sous l'effet du milieu.

Les droites de régression des ($W_r + V_r$) sur les valeurs propres parentales (t) en F_2 indiquent que la dominance enregistrée agit négativement sur l'expression de tous les caractères analysés.

El-Haddad en 1975 [187] rapporte l'effet de gènes dominants sur la longueur de la paille du blé. Selon Hanifi-Mekliche et *al.* (2008) [171], la longueur de la tige du blé est contrôlée par des gènes récessifs. Tandis que Jadoon et *al.* (2012) [188] rapportent une prépondérance des effets dominants pour les caractères : hauteur des plantes, durée de la phase végétative, longueur de l'épi, les rendements grains et biologique. Riggs et Hayter (1973) [189] ont également trouvé des effets de dominance incomplète et une additivité très importante pour la longueur de la paille.

L'étude du graphe formé par la droite de régression (W_r / V_r) indique que les transgressions n'existent que pour longueur de la paille et de la feuille étendard, le nombre de talles et d'épis par plant, le nombre d'épillets fertiles et stériles par épi, le nombre et poids de grains de l'épi, poids de 1000 grains, biomasse aérienne, rendement en grains estimé par plant et par mètre linéaire. Ces résultats corroborent avec ceux trouvés par Fellahi et *al.* (2015) [190], pour le nombre d'épis par plant, poids de 1000 grains, poids de la biomasse aérienne et le rendement en grains.

5.4.2. Analyse Griffing

5.4.2.1. Au niveau F_1

- Etude des aptitudes générales à la combinaison (AGC)

Tableau 5.5: Carrés moyens de l'analyse de la variance des aptitudes à la combinaison des caractères mesurés de la F_1 .

Caractères	Carrés moyens					
	AGC (ddl = 5)	ASC (ddl = 9)	Effets réciproques		Traitements (ddl = 29)	Blocs (ddl = 1)
			Généraux (ddl = 5)	Spécifiques (ddl = 10)		
LP	406.47***	174.00**	100.87*	98.54***	175.45	48.46
LCE	101.64***	40.57**	23.61ns	25.19**	42.87	9.64
LE	6.65***	1.25*	0.92*	0.67ns	1.93	0.08
LFE	5.06***	2.37ns	1.19ns	0.54ns	2.00	1.69
NT	0.88***	1.12*	0.69ns	1.04*	0.98	3.34
NE	2.08*	0.75ns	0.78***	1.03**	1.08	4*10 ⁻³
NEPF	29.59***	5.53***	5.27***	12.83***	12.15	0.10
NEPS	0.45***	0.37*	0.43**	0.40*	0.40	0.01
NGE	882.90***	45.11***	77.72***	119.02***	220.67	4.54
PGE	1.92***	0.37**	0.30***	0.50***	0.67	0.01
PMG	115.34***	42.05***	70.84***	67.05***	68.27	0.38
BIO	9742.01***	4321.92**	3528.55***	2930.34***	4639.78	1998.15
RG	488.42***	1548.43***	1260.73***	1912.93***	1441.76	29.4
RGE	11820.91***	2192.46**	1452.24***	5156.86***	4747.12	193.75
IR	0.09***	0.08***	0.03***	0.06***	0.07	3*10 ⁻³

*, ** et *** significatif à $p < 0.05$, $p < 0.01$, $p < 0.001$ respectivement, ns : non significatif.

L'aptitude générale à la combinaison (AGC) est significative ($p < 0.05$) pour le nombre d'épis par plant à très hautement significative ($p < 0.001$) pour les caractères longueur de la paille et du col de l'épi, longueur de l'épi et de la feuille étendard, nombre de talles par plant, nombre d'épillets fertiles et stériles par épi, nombre et poids de grains de l'épi, poids de mille grains, biomasse aérienne, rendement en grains estimé par plant et par mètre linéaire et indice de récolte, (tableau 5.5). Ceci suggère que les caractères sont contrôlés par les gènes à effets additifs.

Par contre, les aptitudes spécifiques à la combinaison (ASC) ont montré des effets significatifs ($p < 0.05$) pour la longueur de l'épi, le nombre de talles par plant, le nombre d'épillets stériles par épi, hautement significatifs ($p < 0.01$) pour la longueur de la paille et du col de l'épi, le poids de grains de l'épi, la biomasse aérienne et le rendement en grains estimé par mètre linéaire et très hautement significatifs

($p < 0.001$) concernant le nombre d'épillets fertiles par épi, le nombre de grains de l'épi, le poids de mille grains, le rendement en grains par plant et l'indice de récolte. Aucune signification des effets d'ASC n'est observée pour les caractères longueur de la feuille étendard et le nombre d'épis par plant (tableau 5.5).

Les effets réciproques généraux montrent une différence significative ($p < 0.05$) concernant la longueur de la paille et de l'épi, une différence hautement significative ($p < 0.01$) pour le nombre d'épillets stériles par épi et une différence très hautement significative ($p < 0.001$) pour le nombre d'épis par plant, le nombre d'épillets fertiles par épi, le nombre et poids de grains de l'épi, le poids de mille grains, la biomasse aérienne, le rendement en grains par plant et par mètre linéaire et indice de récolte. Aucune signification n'est enregistrée pour les caractères longueur du col de l'épi, longueur de la feuille étendard, nombre de talles par plant (tableau 5.5).

Les effets réciproques spécifiques montrent une différence significative ($p < 0.05$) pour le nombre de talles par plant et le nombre d'épillets stériles par épi, une différence hautement significative ($p < 0.01$) pour la longueur du col de l'épi et une différence très hautement significative ($p < 0.001$) pour la longueur de la paille, le nombre d'épillets fertiles par épi, le nombre et poids de grains de l'épi, le poids de mille grains, la biomasse aérienne, le rendement en grains estimé par plant et par mètre linéaire et l'indice de récolte (tableau 5.5).

Tableau 5.6: Valeurs des AGC des différents caractères au niveau des parents.

Variétés	LP	LCE	LE	LFE	NT	NE	NEPF	NEPS	NGE	PGE	PMG	BIO	RG	RGE	IR
Tichedrett	1.28	0.79	-0.01	0.10	0.06	0.07	0.35	-0.02	1.22	0.07	0.04	5.93	0.49	5.93	0.01
Saïda	-0.05	-0.23	0.05	3×10^{-3}	-0.01	-0.03	0.03	-0.02	0.31	-0.01	0.84	-0.74	-1.77	-0.11	-2×10^{-3}
Bahia	0.03	-0.29	0.01	0.05	0.02	0.04	0.16	0.02	0.62	0.07	-0.26	3.71	0.24	4.51	0.01
Fouara	-1.09	-0.29	-0.03	0.09	-0.02	4×10^{-3}	0.03	0.06	0.51	-0.05	-0.46	-0.58	0.85	-2.06	-0.01
Soufara	0.50	0.15	0.16	-0.04	0.01	0.02	-0.41	-0.03	-2.30	-0.04	-0.01	-4.38	0.27	-2.07	0.01
Rihane	-0.67	-0.13	-0.17	-0.20	-0.06	-0.10	-0.15	-0.01	-0.36	-0.05	-0.15	-3.95	-0.07	-6.21	-0.02

Les valeurs d'aptitude générale à la combinaison (AGC) pour les différents caractères testés sont données au tableau 5.6.

La variété Rihane présente des effets d'AGC négatifs pour la totalité des caractères, cependant les deux variétés Tichedrett et Bahia montrent des effets d'AGC positifs pour la majorité des paramètres étudiés (tableau 5.6).

La variété locale Tichedrett présente les meilleures AGC pour la longueur de la paille, du col de l'épi et de la feuille étendard, de même pour le nombre de talles et d'épis par plant, le nombre d'épillets fertiles par épi, le nombre et le poids de grains de l'épi, la biomasse aérienne, le rendement estimé par mètre linéaire et l'indice de récolte. En deuxième position vient la variété Bahia qui se présente comme un bon géniteur pour toutes les variables testées sauf la longueur du col et le poids de 1000 grains. Pour ce dernier caractère la deuxième variété locale Saïda possède la meilleure valeur AGC, la variété Fouara présente des valeurs AGC importantes pour le nombre d'épillets stériles par épi et le rendement en grains réel, la variété Soufara donne une bonne AGC concernant la longueur de l'épi et le parent Rihane présente des valeurs d'AGC de signe négatif ce qui suggère que cette variété porte donc plus d'allèles favorables à la réduction des variables étudiées (tableau 5.6).

- Etude des aptitudes spécifiques (ASC) à la combinaison

Tableau 5.7: Valeurs des ASC des différents caractères au niveau F₁.

	LP	LCE	LE	LFE	NT	NE	NEPF	NEPS	NGE	PGE	PMG	BIO	RG	RGE	IR
T x SA	5.89	2.89	0.53	-0.21	0.68	0.13	1.49	-4*10 ⁻³	3.77	0.20	1.13	-3.08	30.32	12.93	0.06
T x B	3.32	1.29	-0.39	-0.31	-0.19	0.17	-0.94	0.17	-3.43	0.08	-0.75	6.51	-4.12	-5.44	-0.07
T x F	-8.79	-2.85	-0.32	-0.08	-0.71	-0.57	-0.76	-0.10	-2.45	-0.22	1.88	-9.03	-9.78	-28.37	-0.05
T x SO	-5.19	-3.70	-0.30	0.44	-0.11	-0.09	-0.09	-0.01	2.18	-0.12	1.51	3.17	-16.21	-1.44	0.00
T x R	4.78	2.37	0.48	0.16	0.34	0.36	0.29	-0.06	-0.08	0.05	-3.77	2.43	-0.21	22.32	0.06
SA x B	1.89	0.98	0.59	-0.33	0.19	-0.35	0.44	-0.14	2.73	-0.09	2.89	17.14	6.66	-13.85	-0.10
SA x F	-0.84	1.07	0.03	1.20	-0.08	0.19	0.52	-0.03	0.89	0.20	-3.29	35.97	-15.12	22.70	-0.02
SA x SO	0.81	0.19	-0.09	-0.02	0.06	0.57	-1.59	0.15	-4.41	-0.18	-3.08	-41.21	-8.68	3.94	0.15
SA x R	-7.75	-5.13	-1.06	-0.63	-0.85	-0.55	-0.86	0.03	-2.97	-0.12	2.35	-8.82	-13.18	-25.73	-0.09
B x F	5.13	0.29	-0.41	-0.24	0.27	0.06	-1.26	0.09	-2.88	-0.22	-1.61	-30.69	-1.56	-6.08	0.04
B x SO	-7.03	-2.44	-0.01	-0.49	-0.52	-0.24	1.31	0.32	0.95	0.53	-3.02	-22.86	6.51	29.11	0.17
B x R	-3.31	-0.12	0.23	1.37	0.25	0.36	0.46	-0.45	2.63	-0.29	2.49	29.90	-7.49	-3.74	-0.04
F x SO	4.81	2.28	0.38	0.04	0.41	0.12	0.89	-0.45	2.65	-0.17	4.34	44.09	11.98	-13.52	-0.17
F x R	-0.31	-0.79	0.32	-0.92	0.11	0.20	0.62	0.48	1.79	0.42	-1.32	-40.33	14.48	25.26	0.22
R x SO	6.60	3.67	0.03	0.03	0.16	-0.37	-0.51	-0.01	-1.38	-0.06	0.26	16.81	6.41	-18.10	-0.15

L'aptitude spécifique à la combinaison (ASC) identifie les meilleures combinaisons hybrides dont les meilleures paires alléliques sont complémentaires.

On note les valeurs les plus élevées d'aptitude spécifique à la combinaison pour les variables nombre de talles par plant, nombre d'épillets fertiles par épi,

nombre de grains de l'épi et rendement en grains chez l'hybride (T x SA). Tandis que l'hybride (SA x B) présente les meilleures ASC pour la longueur de l'épi. Le caractère nombre d'épis par plant enregistre une valeur d'ASC élevée pour l'hybride (SA x SO). Alors que l'hybride (B x SO) montre les meilleures ASC pour le poids de grains de l'épi et le rendement en grains estimé par mètre linéaire. On enregistre aussi les valeurs les plus élevées d'ASC pour le poids de 1000 grains et la biomasse aérienne chez l'hybride (F x SO) et l'hybride (F x R) a montré de fortes valeurs ASC concernant le nombre d'épillets stériles par épi et l'indice de récolte (tableau 5.7).

- Rapport AGC/ASC

Tableau 5.8: Composantes de la variation de l'aptitude à la combinaison en F_1 .

	AGC $\frac{1}{5} \sum g_i^2$ (1)	ASC $\frac{2}{18} \sum S_{ij}^2$ (2)	(1)/(2)
Longueur de la paille	48.48	77.67	0.62
Longueur du col de l'épi	12.02	17.55	0.68
Longueur de l'épi	0.79	0.47	1.68
Longueur de la feuille étendard	1.03	0.20	5.15
Nombre de talles par plant	0.08	0.45	0.18
Nombre d'épis par plant	0.23	0.25	0.92
Nombre d'épillets fertiles par épi	3.62	2.45	1.48
Nombre d'épillets stériles par épi	0.04	0.12	0.33
Nombre de grains de l'épi	109.80	20.30	5.41
Poids de grains de l'épi	0.23	0.16	1.44
Poids de mille grains	13.74	18.30	0.75
Poids de la biomasse aérienne /m, linéaire	1196.06	2074.18	0.58
Rendement en grains estimé par plant	13.80	585.20	0.02
Rendement en grains /m, linéaire	1428.92	901.46	1.59
Indice de récolte	0.01	0.03	0.33

Les valeurs du ratio variance d'AGC sur variance d'ASC varient de 0.18 (rendement en grains par plant) à 5.41 (nombre de grains de l'épi). Ces valeurs sont inférieures à l'unité pour la majorité des paramètres étudiés à savoir la longueur de la paille et du col de l'épi, le nombre de talles et d'épis par plant, le nombre d'épillets stériles par épi, le poids de 1000 grains, la biomasse aérienne, le rendement en grains estimé par plant et l'indice de récolte. Par conséquent il est suggéré que le contrôle génétique de ces caractères est de type non additifs. Les caractères longueur de l'épi et de la feuille étendard, nombre d'épillets fertiles par épi, nombre et

pois de grains de l'épi et rendement en grains estimé par mètre linéaire ont enregistré un rapport AGC / ASC qui dépasse l'unité. Ceci suggère que leur hérédité est largement contrôlée par des effets additifs (tableau 5.8).

5.4.2.2. Au niveau F₂

- Etude des aptitudes à la combinaison au niveau F₂

Tableau 5.9: Carrés moyens de l'analyse de la variance des aptitudes à la combinaison des caractères mesurés de la F₂.

Caractères	Carrés moyens					
	AGC (ddl=5)	ASC (ddl=9)	Effets réciproques		Traitements (ddl=29)	Blocs (ddl=1)
			Généraux (ddl=5)	Spécifiques (ddl=10)		
LP	399.72***	180.80***	101.51***	91.54 **	174.10	20.13
LCE	35.61 ***	31.83***	12.24ns	24.56**	26.60	6.16
LE	10.25***	2.83***	3.22***	0.85*	3.50	0.57
LFE	5.06**	2.37*	1.19*	0.54ns	2.00	1.69
NT	0.65ns	0.91ns	0.70ns	0.35**	0.64	0.14
NE	0.97*	0.82ns	0.04ns	0.25*	0.51	0.01
NEPF	15.06**	14.47***	13.14***	6.86***	11.72	0.18
NEPS	1.16***	0.64***	0.38***	1.12***	0.85	0.10
NGE	727.25***	113.67***	128.84***	77.45***	209.59	3.93
PGE	1.80***	0.68***	0.56**	0.19ns	0.69	0.04
PMG	118.35ns	109.49*	85.84ns	118.90*	110.19	14.67
BIO	7741.12***	12260.28***	6913.59***	7491.64***	8914.91	214.70
RG	1032.19ns	1027.4ns	795.55*	2125.41*	1366.87	244.02
RGE	12550.29***	2031.76*	1869.19*	5316.20***	4949.83	2263.45
IR	0.05***	0.06***	0.02***	0.04***	0.04	4*10 ⁻³

*, ** et *** significatif à p<0,05, p<0,01, p<0,001 respectivement, ns : non significatif.

Au niveau de la génération F₂, les carrés moyens d'AGC sont significatifs (p<0.05) pour la variable nombre d'épis par plant, hautement significatifs (p<0.01) pour la longueur de la feuille étendard et le nombre d'épillets fertiles par épi et très hautement significatifs (p<0.001) concernant les variables longueur de la paille, du col de l'épi et de l'épi, nombre d'épillets stériles par épi, nombre et poids de grains de l'épi, poids de la biomasse aérienne, rendement en grains estimé par mètre linéaire et indice de récolte. Alors qu'aucune signification n'est détectée pour le nombre de talles, poids de mille grains et le rendement en grains estimé par plant (tableau 5.9).

Les carrés moyens d'ASC sont significatifs ($p < 0.05$) à très hautement significatifs ($p < 0.001$) pour l'ensemble des variables soumises à l'analyse exception faite pour le nombre de talles et d'épis par plant et le rendement en grains estimé par plant (tableau 5.9).

L'analyse des effets réciproques généraux et spécifiques (tableau 5.9), montre une différence significative ($p < 0.05$) à très hautement significative ($p < 0.001$) pour la majorité des caractères étudiés, à l'exception de la longueur du col de l'épi, le nombre de talles et d'épis par plant, le poids de mille grains (effets réciproques généraux), la longueur de la feuille étendard et le poids de grains de l'épi (effets réciproques spécifiques).

Tableau 5.10: Valeurs d'AGC des différents caractères au niveau des parents.

Variétés	LP	LCE	LE	LFE	NT	NE	NEPF	NEPS	NGE	PGE	PMG	BIO	RG	RGE	IR
Tichedrett	1.07	0.48	-0.01	0.27	-0.02	-0.12	1.03	0.17	0.94	0.03	0.21	1.05	2.75	1.31	$1 \cdot 10^{-3}$
Saïda	0.10	-0.10	-0.07	-0.41	-0.18	-0.22	-0.46	0.24	-0.11	0.02	0.10	2.35	-1.31	0.22	$-2 \cdot 10^{-3}$
Bahia	0.44	0.01	0.12	0.62	0.13	0.01	0.77	-0.03	0.55	0.05	0.01	-2.25	1.84	3.21	0.01
Fouara	-1.29	-0.22	-0.12	0.60	0.17	-0.02	0.18	0.25	0.31	-0.01	0.50	5.68	-2.39	0.78	-0.01
Soufara	-0.14	-0.03	0.21	-0.43	0.20	0.47	-1.67	-0.40	-2.18	-0.11	-0.63	-3.20	-1.34	-4.23	$-8 \cdot 10^{-3}$
Rihane	-0.18	-0.13	-0.12	-0.64	-0.30	-0.13	-1.67	-0.23	0.49	0.01	-0.20	-3.62	0.45	-1.30	$7 \cdot 10^{-3}$

L'estimation des valeurs d'aptitude générale à la combinaison (AGC) pour les différents caractères a permis de constater que :

-La variété Bahia présente des valeurs d'AGC positives pour la majorité des caractères, contrairement à la variété Soufara qui montre des valeurs d'AGC négatives (tableau 5.10).

Pour la longueur de la paille et du col de l'épi, le nombre d'épillets fertiles par épi, le nombre de grains de l'épi, le rendement en grains estimé par plant, la variété locale Tichedrett a montré les meilleures valeurs d'AGC (tableau 5.10).

Le parent Bahia a donné les meilleures valeurs d'AGC concernant la longueur de la feuille étendard, le poids de grains de l'épi, le rendement en grains estimé par mètre linéaire et l'indice de récolte. Le parent Fouara a montré les meilleures valeurs

d'AGC le nombre d'épillets stériles par épi, le poids de 1000 grains et la biomasse aérienne (tableau 5.10).

Pour les paramètres longueur de l'épi, nombre de talles et d'épi par plant, le parent Soufara a donné de bonnes valeurs d'AGC (tableau 5.10).

- Etude des aptitudes spécifiques (ASC) à la combinaison

Tableau 5.11: Valeurs des ASC des différents caractères au niveau F₂.

	LP	LCE	LE	LFE	NT	NE	NEPF	NEPS	NGE	PGE	PMG	BIO	RG	RGE	IR
T x SA	1.07	0.88	-0.27	-0.21	0.15	0.16	-1.32	0.24	-4.16	-0.34	1.75	-15.71	-4.21	15.13	3*10 ⁻³
T x B	5.45	0.93	0.36	-0.31	-0.11	-0.06	-0.50	0.43	-1.30	0.16	3.96	49.38	-5.89	2.20	-0.04
T x F	-9.55	-4.13	-0.51	-0.08	-0.64	-0.27	-1.35	-0.74	-4.74	-0.39	-5.42	-38.18	-18.55	-32.93	-0.09
T x SO	-3.42	-1.10	-1.00	0.44	0.13	0.09	0.20	0.21	2.57	0.01	2.16	-40.56	-23.91	-1.66	0.02
T x R	6.45	3.43	1.42	0.16	0.47	0.08	2.97	-0.14	7.63	0.55	-2.45	45.07	52.56	17.25	0.11
SA x B	4.61	2.18	-0.36	-0.33	-0.11	-0.30	0.11	-0.07	2.29	0.07	-0.13	-6.56	26.13	-17.60	3*10 ⁻³
SA x F	-0.54	1.05	0.73	1.20	0.67	0.82	3.48	0.01	9.22	0.76	2.40	60.63	1.48	27.84	0.18
SA x SO	0.14	-0.72	0.67	-0.02	-0.05	-0.02	-0.55	-0.01	-2.57	0.06	-7.14	2.88	3.69	-6.68	-0.02
SA x R	-5.28	-3.39	-0.76	-0.63	-0.66	-0.66	-1.72	-0.17	-4.78	-0.54	3.13	-41.24	-27.09	-18.69	-0.17
B x F	2.87	0.35	-0.53	-0.24	0.22	-0.11	-1.18	-0.05	-2.32	-0.14	3.02	-64.03	8.01	-2.75	0.11
B x SO	-8.67	-2.83	0.69	-0.49	-0.36	-0.12	0.92	-0.12	-0.73	-0.11	-5.52	-25.15	6.23	28.07	-0.06
B x R	-4.26	-0.62	-0.16	1.37	0.36	0.59	0.65	-0.20	2.08	0.03	-1.33	46.35	-34.47	-9.93	-2*10 ⁻³
F x SO	8.04	3.40	0.23	0.04	0.10	-0.19	0.18	0.10	1.75	-0.07	4.93	77.29	7.03	-11.64	-0.10
F x R	-0.82	-0.67	0.09	-0.92	-0.35	-0.25	-1.13	0.68	-3.91	-0.16	-4.92	-35.71	2.04	19.47	-0.09
R x SO	3.91	1.25	-0.58	0.03	0.18	0.24	-0.76	-0.17	-1.02	0.12	5.57	-14.46	6.97	-8.10	0.15

L'hybride (T x R) présente les meilleures ASC pour les caractères longueur du col de l'épi et de l'épi et le rendement en grains par plants. Les meilleures valeurs ASC concernent les variables nombre de talles et d'épis par plant, nombre d'épillets fertiles par épi, nombre et poids de grains de l'épi et indice de récolte ont été notées chez l'hybride (SA x F) (tableau 5.11).

L'hybride (B x SO) présente une bonne valeur ASC pour le rendement en grains par mètre linéaire, Alors que l'hybride (B x R) donne une meilleure valeur ASC pour la feuille étendard (tableau 5.11).

L'hybride (F x SO) a enregistré des valeurs d'aptitude à la combinaison spécifique importantes pour les caractères longueur de la paille et biomasse

aérienne. Par contre l'hybride (F x R) enregistre la valeur ASC la plus élevée concernant le nombre d'épillets stériles par épi et l'hybride (R x SO) donne une meilleure ASC pour le poids de 1000 grains (tableau 5.11).

- Rapport AGC/ASC

Tableau 05.12: Composantes de la variation de l'aptitude à la combinaison en F₂.

	AGC $\frac{1}{5} \sum g_i^2$ (1)	ASC $\frac{2}{18} \sum S_{ij}^2$ (2)	(1)/(2)
Longueur de la paille	48.39	84.09	0.58
Longueur du col de l'épi	4.02	14.21	0.28
Longueur de l'épi	1.41	1.15	1.23
Longueur de la feuille étendard	0.56	0.88	0.63
Nombre de talles par plant	0.05	0.34	0.15
Nombre d'épis par plant	0.09	0.27	0.33
Nombre d'épillets fertiles par épi	1.73	6.62	0.26
Nombre d'épillets stériles par épi	0.13	0.26	0.50
Nombre de grains de l'épi	89.61	51.67	1.73
Poids de grains de l'épi	0.21	0.30	0.70
Poids de mille grains	12.89	47.13	0.27
Poids de la biomasse aérienne /m, linéaire	952.47	6069.46	0.16
Rendement en grains estimé par plant	404.09	1358.99	0.30
Rendement en grains /m, linéaire	1381.19	265.49	5.20
Indice de récolte	0.01	0.03	0.33

Le ratio variance d'AGC sur variance d'ASC varie de 0.15 pour le nombre de talles par plant à 5.20 pour le rendement grains par mètre linéaire, il est inférieur à l'unité pour la majorité des caractères. De ce fait, ces caractères sont sous contrôle génétique non additif, cependant on note la supériorité des variances d'AGC par rapport aux variances d'ASC pour les caractères longueur de l'épi, nombre de grains de l'épi et le rendement grains par mètre linéaire (tableau 5.12).

5.4.3. Etude des corrélations AGC - valeur propre (li)

L'étude des corrélations entre les performances des parents (li) et les effets de l'AGC révèle des liaisons non significatives pour l'ensemble des caractères, hormis la longueur de l'épi et de la feuille étendard ($r = 0.94^{**}$ et $r = 0.85^*$ respectivement), le nombre de talles et d'épi par plant ($r = 0.94^{**}$ et $r = 0.85^*$ respectivement) et le nombre de grains de l'épi ($r = 0.91^{**}$) (tableau 5.13).

Tableau 5.13: Calcul des corrélations AGC - valeur propre (li).

Variétés		T	SA	B	F	SO	R	r
LP	Li	8.92	5.64	-1.21	-15.47	-9.68	11.80	0.34ns
	AGC	1.28	-0.05	0.03	-1.09	0.50	-0.67	
LCE	li	8.08	0.50	-2.41	-4.34	-4.81	2.97	0.69ns
	AGC	0.79	-0.23	-0.29	-0.29	0.15	-0.13	
LE	li	-0.46	0.34	0.45	-0.47	1.15	-1.01	0.94**
	AGC	-0.01	0.05	0.01	-0.03	0.16	-0.17	
LFE	li	0.07	-0.03	0.04	$3 \cdot 10^{-3}$	0.02	-0.10	0.85*
	AGC	0.10	$3 \cdot 10^{-3}$	0.05	0.09	-0.04	-0.20	
NT	li	0.62	-0.34	0.16	-0.06	0.11	-0.49	0.94**
	AGC	0.06	-0.01	0.02	-0.02	0.01	-0.06	
NE	li	0.31	-0.45	0.20	0.15	0.11	-0.34	0.85*
	AGC	0.07	-0.03	0.04	$3 \cdot 10^{-3}$	0.02	-0.10	
NEPF	li	-0.78	0.85	1.52	-0.03	-1.23	-0.33	0.41ns
	AGC	0.35	0.03	0.16	0.03	-0.41	-0.15	
NEPS	li	0.03	0.98	-0.36	-0.05	-1.26	0.68	0.04ns
	AGC	-0.02	-0.02	0.02	0.06	-0.03	-0.01	
NGE	li	3.17	-0.09	7.42	2.91	-15.25	1.84	0.91**
	AGC	1.22	0.31	0.62	0.51	-2.30	-0.36	
PGE	li	0.47	0.24	0.30	-0.21	-0.86	0.06	0.68ns
	AGC	0.07	-0.01	0.07	-0.05	-0.04	-0.05	
PMG	li	-2.30	4.91	-0.26	2.12	-6.72	2.24	0.31ns
	AGC	0.04	0.84	-0.26	-0.46	-0.01	-0.15	
BIO	li	73.45	50.45	33.83	15.83	-146.80	-26.74	0.77ns
	AGC	5.93	-0.74	3.71	-0.58	-4.38	-3.95	
RG	li	-3.88	-3.3	5.90	5.47	-7.98	3.79	0.29ns
	AGC	0.49	-1.77	0.24	0.85	0.27	-0.07	
RGE	li	-9.88	34.96	5.35	21.02	-29.53	-21.94	0.2ns
	AGC	5.93	-0.11	4.51	-2.06	-2.07	-6.21	
IR	li	-0.11	0.02	-0.03	0.03	0.15	-0.05	-0.04ns
	AGC	0.01	$1 \cdot 10^{-3}$	0.01	-0.01	0.01	-0.02	

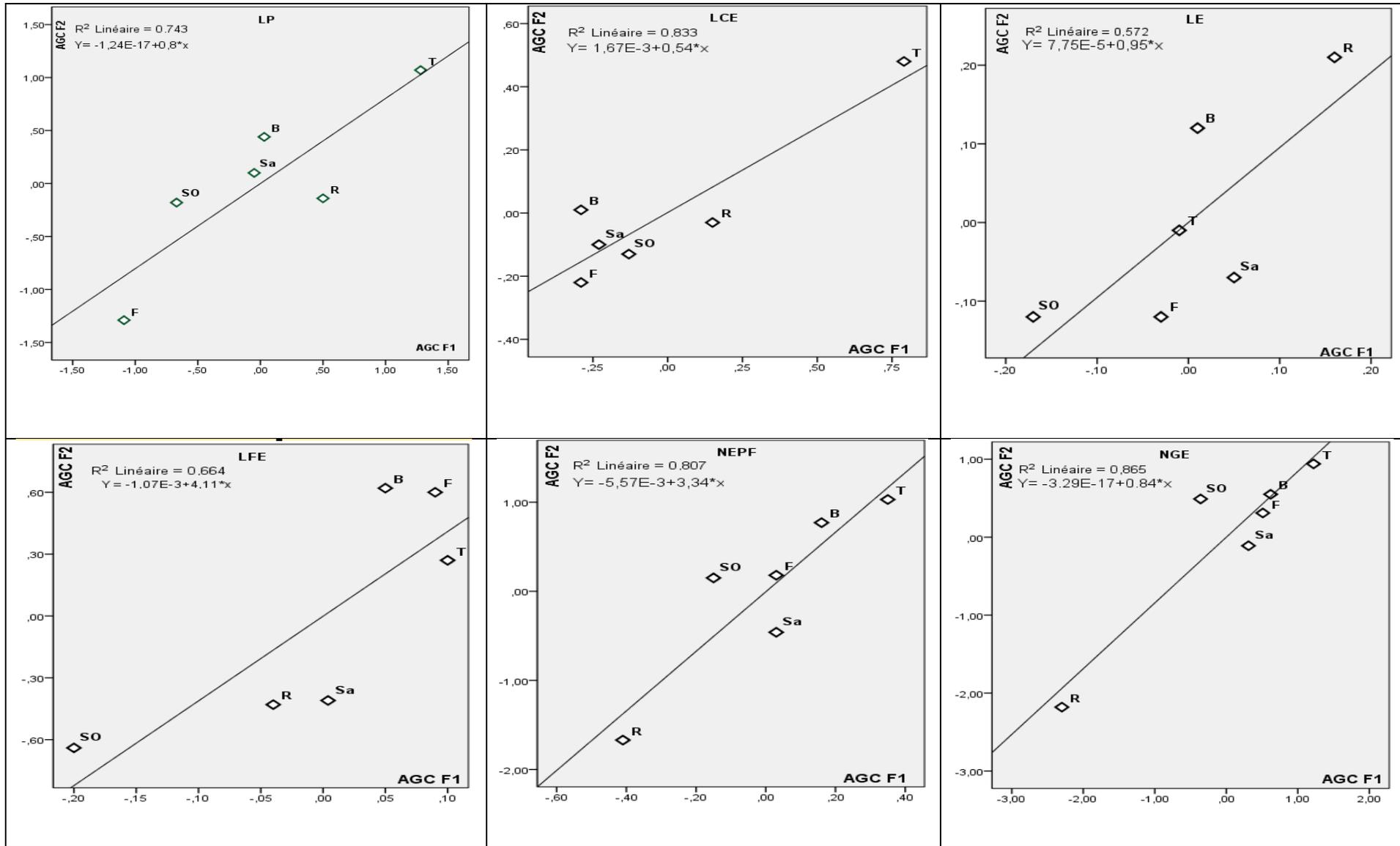
*, ** et *** significatif à $p < 0.05$, $p < 0.01$, $p < 0.001$ respectivement, ns : non significatif.

5.4.4. Etude des corrélations entre AGC (moyennes F_1 et réciproques) et ASC

Ces corrélations sont pratiquement nulles pour tous les caractères étudiés, elles ne présentent aucune signification, cela pourrait traduire le faible effet des valeurs ASC sur l'expression des caractères en F_1 . Ces caractères peuvent donc être contrôlés par des effets additifs (tableau 9, annexe C).

5.4.5. Etude des corrélations entre AGCF₁ et AGCF₂

A l'exception des corrélations entre AGC des hybrides F_1 et AGC des hybrides F_2 pour les caractères nombre de talles et d'épis par plant, nombre d'épillets stériles par épi, poids de grains de l'épi, poids de mille grains, biomasse aérienne et indice de récolte (tableau 10, annexe C), les autres corrélations se montrent significatives (longueur de la paille, de l'épi et de la feuille étendard avec $r = 0.86^*$, $r = 0.76^*$ et $r = 0.81^*$ respectivement) à hautement significatives pour la longueur du col de l'épi, nombre d'épillets fertiles par épi, nombre de grains de l'épi ($r = 0.92^{**}$, $r = 0.90^{**}$ et $r = 0.93^{**}$ respectivement) (figure 5.17).

Figure 5.17 : Corrélations entre les valeurs AGCF₁ et AGCF₂.

5.4.6. Etude de l'hétérosis

5.4.6.1. Au niveau F₁

Tableau 5.14: Hétérosis des différents caractères par rapport au parent moyen en F₁.

Caractères	Valeurs de l'hétérosis en F ₁		
	Moyenne F ₁	Moyenne parentale	Hétérosis moyen (%)
Longueur de la paille	55.78	54.31	2.70
Longueur du col de l'épi	25.46	24.99	1.88
Longueur de l'épi	6.36	6.01	5.79
Longueur de la feuille étendard	7.89	7.87	0.31
Nombre de talles par plant	3.96	4.26	-7.04
Nombre d'épis par plant	2.86	3.41	-16.13
Nombre d'épillets fertiles par épi	36.87	41.08	-10.25
Nombre d'épillets stériles par épi	13.38	14.4	-7.08
Nombre de grains de l'épi	2.47	2.54	-2.76
Poids de grains de l'épi	1.95	2.5	-22.00
Poids de mille grains	54.68	55.33	-1.17
Poids de la biomasse aérienne /m, linéaire	223.83	339.17	-34.01
Rendement en grains estimé par plant	46.66	61.22	-23.79
Rendement en grains /m, linéaire	110.69	175.1	-36.78
Indice de récolte	0.49	0.52	-5.77

L'étude de l'hétérosis (déviation de la F₁ par rapport à la moyenne des parents) permet de mettre en évidence les écarts à l'additivité (dominance partielle et totale) [191].

Les valeurs de l'hétérosis observées chez la première génération oscillent entre -36.78 % pour le rendement en grains estimé par mètre linéaire et 5.79 % pour la longueur de l'épi. Les moyennes des hybrides F₁ sont supérieures à celles des parents pour quatre caractères sur les quinze étudiés, Il s'agit de longueur de la paille, du col de l'épi, de l'épi et de la feuille étendard, soient 2.70 %, 1.88 %, 5.79 % et 0.31 %, alors que l'effet hétérosis est négatif pour le reste des caractères, ce qui suggère l'importance des gènes à effet dominant par rapport aux gènes à effet additif (tableau 5.14).

On note un effet hétérosis par rapport au parent moyen élevé est donné par la combinaison (B x T) pour la longueur de la paille (33.14 %), la combinaison (T x SA) pour la longueur de l'épi, le nombre d'épillets fertiles par épi et le nombre de grains de l'épi (27.67 % , 44.11 % et 43.35% respectivement), la combinaison (F x T) pour

la longueur de la feuille étendard (25.16 %), la combinaison (SA x F) pour le nombre de talles et d'épis par plant (3.92% et 20.30 % respectivement), la combinaison (SO x F) pour la longueur du col de l'épi et le nombre d'épillets stériles par épi (37.60% et 66.67 % respectivement), la combinaison (B x SO) pour le poids de grains de l'épi et le rendement en grains estimé par mètre linéaire (38.09%, et 4.14%), la combinaison (SA x R) pour le poids de 1000 grains (25.96 %), la combinaison (F x R) pour le rendement en grains estimé par plant et l'indice de récolte (132.41%, et 53.54%) et la combinaison (F x SO) pour la biomasse aérienne (3.97%) (Tableau 11, annexe C).

5.4.6.2. Au niveau F₂

Tableau 5.15: Hétérosis des différents caractères par rapport au parent moyen en F₂.

Caractères	Valeurs de l'hétérosis en F ₂		
	Moyenne F ₂	Moyenne parentale	Hétérosis moyen (%)
Longueur de la paille	56.36	54.31	3.78
Longueur du col de l'épi	24.86	24.99	-0.51
Longueur de l'épi	6.66	6.01	10.78
Longueur de la feuille étendard	7.95	7.87	1.01
Nombre de talles par plant	3.9	4.26	-8.45
Nombre d'épis par plant	3.45	3.41	1.17
Nombre d'épillets fertiles par épi	38.44	41.08	-6.43
Nombre d'épillets stériles par épi	14.12	14.4	-1.94
Nombre de grains de l'épi	2.31	2.54	-9.06
Poids de grains de l'épi	2.59	2.5	3.60
Poids de mille grains	55.14	55.53	-0.70
Poids de la biomasse aérienne /m, linéaire	263.49	339.17	-22.31
Rendement en grains estimé par plant	65.70	63.22	3.92
Rendement en grains /m, linéaire	131.18	175.1	-25.08
Indice de récolte	0.50	0.52	-3.85

Au niveau de la deuxième génération, l'effet hétérosis par rapport au parent moyen est positif pour six caractères sur les quinze analysés tels que la longueur de la paille, de l'épi et de la feuille étendard, le nombre d'épis par plant, poids de grains de l'épi et le rendement en grains estimé par plant. Il s'échelonne de -25.08 % (rendement en grains par linéaire) à 10.78 % (longueur de l'épi), l'effet hétérosis est négatif pour le reste des caractères (tableau 5.15).

Une meilleure expression de l'hétérosis pour les caractères analysés est notée chez l'hybride (B x F) pour la longueur de la paille (48.77 %) et le nombre de talles par plant (22.66 %), l'hybride (R x T) pour la longueur de l'épi (50.49 %), l'hybride (SO x F) pour la longueur du col de l'épi et la biomasse aérienne (37.29 % et 50.46%), l'hybride (F x T) pour la longueur de la feuille étendard (25.16 %), l'hybride (B x R) pour le nombre d'épis par plant (30.59 %), l'hybride (T x R) concernent le nombre d'épillets fertiles par épi, le nombre de grains de l'épi et le rendement en grains estimé par plant (35.62 %, 34.30 % et 133.42%), l'hybride (F x SA) concernent le poids de grains de l'épi, le nombre d'épillets stériles par épi et le rendement en grains estimé par mètre linéaire (36.71 %, 19.95 % et 39.23 %), l'hybride (F x SO) concernent le poids de mille grains (23.89 %) et l'hybride (F x B) concernent l'indice de récolte (41.43 %) (Tableau 12, annexe C).

5.4.7. Héritabilité des caractères

Tableau 5.16: Héritabilité au sens large (H^2), Coefficients de variation génétique et résiduelle au niveau des parents.

Caractères	Héritabilité au sens large (H^2)	CV génétique (%)	CV résiduelle (%)
Longueur de la paille	0.82	14.47	6.97
Longueur du col de l'épi	0.88	20.26	8.87
Longueur de l'épi	0.97	13.50	6.17
Longueur de la feuille étendard	0.41	7.59	4.53
Nombre de talles par plant	0.04	2.18	8.13
Nombre d'épis par plant	0.54	10.58	11.13
Nombre d'épillets fertiles par épi	0.24	7.25	9.21
Nombre d'épillets stériles par épi	0.18	13.08	21.65
Nombre de grains de l'épi	0.74	17.68	11.21
Poids de grains de l'épi	0.68	17.46	12.95
Poids de mille grains	0.02	1.40	3.52
Biomasse aérienne /m, linéaire	0.95	2.17	23.56
Rendement en grains estimé par plant	0.43	10.73	14.52
Rendement en grains /m, linéaire	0.57	15.78	5.99
Indice de récolte	0.82	20.09	4.60

L'héritabilité au sens large estimée, au niveau des parents, varie de 0.02 pour le poids de mille grains à 0.97 pour la longueur de l'épi (tableau 5.16).

Une forte héritabilité au sens large est enregistrée pour les caractères longueur de la paille, du col de l'épi et de l'épi (0.82, 0.88 et 0.97 respectivement), de même pour le nombre de grains de l'épi, la biomasse aérienne et l'indice de récolte (0.74, 0.95 et 0.82 respectivement) (tableau 5.16).

On note une héritabilité au sens large moyenne pour les caractères nombre d'épis par plant, poids de grains de l'épi et le rendement en grains estimé par mètre linéaire (0.54, 0.68 et 0.57 respectivement) (tableau 5.16).

Une faible héritabilité au sens large est enregistrée pour la longueur de la feuille étendard, le nombre de talles par plant le nombre d'épillets fertiles et stériles par épi, le poids de 1000 grains et le rendement en grains estimé par plant avec 0.41, 0.04, 0.24, 0.18, 0.02 et 0.43 respectivement (tableau 5.16).

Deshmukh et *al.* (1986) [192] ont rapporté que les valeurs de la variation génotypique supérieures à 20 % pourraient être considérées comme élevées, celles oscillant entre 10 et 20% sont modérées, tandis que celles inférieures à 10% sont faibles

La comparaison des coefficients de variation génétique, portés dans le tableau 5.16, montre que ces valeurs ne sont pas assez importantes sauf pour la longueur du col de l'épi et l'indice de récolte, ceci indique une grande diversité chez les variétés testées.

Les valeurs de coefficients de variation génétique sont modérées pour les caractères longueur de la paille et de l'épi, nombre d'épis par plant, nombre d'épillets stériles par épi, nombre et poids des grains de l'épi, rendement en grains estimé par plant et par mètre linéaire, ces valeurs varient entre 10.58 % (nombre d'épis par plant) et 17.68 % (nombre de grains de l'épi). Les valeurs de la variation génotypique sont faibles, elles varient de 1.40 % (poids de mille grains) à 7.59 % (longueur de la feuille étendard) (tableau 5.16).

Les coefficients de variation résiduelle varient de 3.52 % (poids de mille grains) à 23.56 % (biomasse aérienne) (tableau 5.16).

5.4.8. Discussion

L'analyse des aptitudes à la combinaison, au niveau des deux générations F_1 et F_2 , a révélé la présence des effets d'AGC et d'ASC significatifs pour la majorité des variables testées, ce qui montre la présence des effets géniques additifs et non-additifs dans l'expression des caractères avec prépondérance des effets non additifs, et confirme la présence des effets de dominance et / ou superdominance. Nos résultats ne concordent pas avec ceux de Hanifi-Mekliche et Gallais (1999) [193], sur orge qui trouvent des effets additifs pour le poids de 1000 grains, le nombre de grains, la longueur de l'épi et le rendement en grain. Par ailleurs nos résultats sur la longueur de la paille sont en accord avec ceux de ces auteurs qui montrent que ce caractère est peu additif chez l'orge. Housmand et Vanda (2008) [194] ont montré que l'analyse des variances d'AGC et d'ASC est significative pour tous les caractères examinés chez le blé dur.

Les effets réciproques généraux et spécifiques sont significatifs pour la majorité des caractères ce qui indique que les effets maternels sont impliqués dans l'amélioration de ces caractères ; ainsi tout programme d'amélioration doit tenir compte du sens de croisement.

Les résultats du ratio variance d'AGC sur variance d'ASC chez les deux générations, ont montré aussi que la plupart des caractères étudiés sont sous contrôle génétique non additif, mis à part la longueur de la feuille étendard, le nombre d'épillets fertiles par épi et le poids de grains de l'épi en F_1 et les caractères : longueur de l'épi, nombre de grains de l'épi et le rendement en grains estimé par mètre linéaire en F_1 et en F_2 sont contrôlés par des effets additifs.

Les travaux de Bouzerzour et *al.* (1995) [195], sur orge montrent que le nombre d'épis et le nombre de grains par épi sont régis par un système génique additif alors que le rendement et le poids des grains sont sous contrôle des actions de dominance. Amaya et *al.* (1972) [196] ont remarqué, chez le blé dur, que les effets de la dominance ont pris la supériorité, particulièrement pour les caractères relatifs au rendement en grains. Tandis que Hanifi (1999) [164] et Hanifi-Mekliche et Gallais (1999) [193] trouvent que le poids de mille grains chez l'orge apparaît comme le caractère le plus additif.

Les parents Tichedrett et Bahia constituent les meilleurs géniteurs, avec de bonnes valeurs AGC, pour la majorité des paramètres étudiés. Ces résultats suggèrent que les améliorations les plus importantes, dans le sens de l'augmentation de ces caractères, viennent de ces deux parents. Selon Diers et *al.* [197], les lignées parentales de bonne aptitude générale à la combinaison et distantes génétiquement produisent une descendance plus performante.

L'estimation des aptitudes spécifiques à la combinaison permet de constater que les valeurs élevées d'ASC sont observées chez les hybrides combinant entre des parents ayant des AGC forte x AGC moyenne, AGC moyenne x AGC forte, AGC moyenne x AGC faible, AGC forte x AGC faible et AGC faible x AGC faible.

Bhowmik et *al.* (1990) [198] constatent qu'un croisement entre parents de valeurs d'AGC différentes (forte et faible) produit un effet d'ASC positif. Selon Ahmad et *al.* (1979) [199], cette interaction génétique responsable de fortes valeurs d'ASC peut être de type additivité x additivité ou bien additivité x dominance.

Un programme de sélection comprenant les hybrides (T x SA), (T x R), (SA x B), (SA x F), (SA x SO), (B x SO), (B x R), (F x SO), (F x R) et (R x SO) qui ont montré de fortes ASC peut aboutir à de bons résultats pour les différents caractères. Une forte variance d'ASC oriente la sélection vers les croisements [73].

L'étude des relations AGC-valeurs propres parentales (ii) indique que le choix des parents à croiser dans un programme d'amélioration de l'orge est envisageable sur la base de la longueur de l'épi et de la feuille étendard, le nombre de talles et d'épi par plant et le nombre de grains de l'épi à la suite de la corrélation positive et significative entre les valeurs d'AGC et la performance des parents pour ces variables. Selon (Gallais, 1976) [200] et (Labdi et *al.* 2015) [201], les liaisons significatives suggèrent que les valeurs des hybrides sont prévisibles sur la base des valeurs de l'AGC des parents qui, elles-mêmes, sont liées aux performances parentales ou valeurs propres des parents. Par contre David et *al.* (1999) [202] n'ont trouvé aucune corrélation significative entre les parents et leurs AGC.

L'étude de la matrice de corrélations AGC (moyenne) – ASCF₁ n'a révélé aucune signification. Par contre les corrélations entre AGCF₁ et AGC F₂ sont significatives pour les caractères : longueur de la paille, de l'épi, du col de l'épi et de

la feuille étandard, nombre d'épillets fertiles par épi, nombre de grains de l'épi présentent, ces résultats suggèrent la déviation à l'additivité pour le contrôle de ces caractères. Nos résultats sont en accord avec ceux de Bousalhih (2015) [178], sur blé dur pour la longueur de la paille et de la feuille étandard.

Chez les deux générations étudiées F_1 et F_2 on peut distinguer une certaine supériorité par rapport au parent moyen pour les caractères longueur de la paille, du col de l'épi, de l'épi et de la feuille étandard en F_1 et longueur de la paille, de l'épi et de la feuille étandard, nombre d'épis par plant, poids de grains de l'épi et rendement en grains estimé par plant en F_2 . Cette supériorité de l'hybride comparativement aux performances des lignées parentales est dite dominance [175].

Kalhor et *al.* (2015) [203] ont noté que parmi six hybrides F_1 mis en étude, la moitié ont montré des effets hétérotiques positifs par rapport au parent moyen, ainsi que par rapport au meilleur parent. Selon Lecoche et Soreau (1992) [82] et Sedcole (1980) [204], l'hétérosis serait la conséquence d'une dispersion de gènes dominants complémentaires chez les deux parents et sa fixation est possible, à long terme, dans la mesure où le taux de recombinaison entre gènes ou allèles ne soit pas nul. D'après Morgan et *al.* (1989) [205], les parents utilisés dans les programmes d'hybridation pourraient exhiber moins d'hétérosis pour le caractère rendement en grain, du fait qu'ils disposent déjà de plusieurs précieux gènes en état d'homozygotie.

On compte aussi neuf caractères sur les quinze analysés montre une évolution de l'hétérosis moyen entre la première et la deuxième génération. L'effet hétérosis pourrait être exprimé sur la hauteur de la paille, la vigueur générale de la plante, la maturité, le nombre d'épis par plante, le nombre de grains par épi, le poids du grain, le rendement total en grains par plante ainsi que sur plusieurs autres caractères [206].

Sur les 30 combinaisons obtenues, les hybrides (B x T), (T x SA), (F x T), (SA x F), (SO x F), (B x SO), (SA x R), (F x R), (F x SO), (B x F), (R x T), (T x R), (B x R), (F x SA), (F x B) ont exprimé un effet hétérosis positif par rapport au parent moyen pendant les deux générations. Dans ce sens il faut accorder plus d'attention à la descendance présentant l'hétérosis le plus élevé. Un effet hétérosis positif par

rapport au parent moyen est trouvé chez les hybrides F_1 et F_2 issus de blé tendre par Fellahi et *al.* 2016 [207].

L'héritabilité est un indicateur pour prédire la réponse à la sélection. Bhatéria et *al.* (2006) [208] mentionnent que le degré de l'héritabilité dont les valeurs sont supérieures à 0.5 est classé comme élevé, il est moyen pour des valeurs situées entre 0.30 et 0.50 et il est faible pour des valeurs inférieures à 0.30. Alors que Zahour (1992) [81] donnent des indications pour juger de la valeur du degré de l'héritabilité au sens large (H^2). Les valeurs supérieures à 70 % sont jugées comme élevées, entre 50 % et 70 % comme moyenne et inférieures à 50 % comme faibles.

Les plus fortes héritabilités au sens large correspondent aux caractères longueur de la paille, du col de l'épi et de l'épi, nombre de grains de l'épi, biomasse aérienne et indice de récolte. Les valeurs élevées de l'héritabilité au sens large prises par certains caractères confirment que ces caractères sont stables dans différentes conditions, et qu'ils sont intéressants pour la sélection [209].

Peighambari et *al.* (2005) [210] et Hanifi-Mekliche et *al.* (2011) [211] ont trouvé une forte héritabilité pour la longueur de l'épi, le poids de 1000 grains, le nombre d'épis par plant, le nombre de grains par épi et le rendement en grains.

Les héritabilités moyennes correspondent aux caractères nombre d'épis par plant, poids de grains de l'épi et le rendement en grains estimé par mètre linéaire. Tandis que les plus faibles héritabilités sont enregistrées pour la longueur de la feuille étendard, le nombre de talles par plant le nombre d'épillets fertiles et stériles par épi, le poids de 1000 grains et le rendement en grains estimé par plant. Ces résultats montrent que l'expression de ces caractères est contrôlée par des effets génétiques non additifs. Ceci confirme les résultats de l'analyse Hayman qui révèlent la superdominance et la dominance partielle pour le contrôle de ces caractères.

Mehta et *al.* (1998) [212] et Crowley et *al.* (2013) [213] ont constaté une héritabilité de valeur modérée pour la hauteur de la plante et le nombre de grains par épi, et élevée pour le poids de 1000 grains. Murphy et *al.* (2008) [214], en étudiant l'hérédité et la réponse à la sélection de la longueur de coléoptile des générations F_1 à F_4 de blé tendre, ont trouvé que l'héritabilité au sens large restait au-dessus de la valeur de 0.60 au cours des générations.

Les coefficients de variation génétique et résiduelle sont inférieurs à 50% pour l'ensemble des caractères analysés au niveau des parents. Ces résultats rejoignent ceux de Laala et *al.* 2009 [215] qui mentionnent que le coefficient de variation génétique obtenu sur des croisements F_2 de blé dur, était inférieur à 50% pour la biomasse aérienne.

Fellahi et *al.* [166] mentionnent que des coefficients de variation génotypiques élevés, associés à des héritabilités élevées et à des gains génétiques conséquents, fournissent de meilleures informations prédictives que chaque paramètre pris isolément.

CONCLUSION GENERALE

Notre travail de recherche s'est intéressé à l'évaluation des potentialités phéno-agro-morphologiques de six variétés d'orge, dont deux locales, en plus la réalisation des croisements selon un plan en diallèle complet, sans diagonale. Les essais ont été menés à la station expérimentale du département de Biotechnologies de l'Université de Blida¹, durant les campagnes : 2012-2013, 2013-2014 et 2014-2015.

Les études que nous avons menées montrent l'existence d'une grande variabilité génétique et d'une bonne distinction entre les différents génotypes.

Pour l'essai variétal, des différences très hautement significatives sont trouvées entre les génotypes pour les caractères phéno-morphologiques. La durée de la phase (levée-épiaison) de la première année était plus longue que celle de la deuxième année pour l'ensemble des génotypes, mis à part la variété locale Saïda, ceci peut être le résultat du cumul pluviométrique important enregistré. Durant les deux années d'étude, les génotypes Soufara et Rihane se classent toujours comme les plus précoces avec 94 jours et 89 jours respectivement, alors que la variété Fouara a réalisé le cycle le plus long avec 102 jours.

En première année, la variété Tichedrett a réalisé la paille la plus longue (80.91 cm), alors qu'en deuxième année la variété locale Saïda s'est caractérisée par la paille la plus haute (66.08 cm). Les variétés Tichedrett, Soufara et Fouara gardent leur première place, durant les deux années d'étude, pour les variables longueur du col de l'épi, de l'épi, de la barbe et de la feuille étendard avec des valeurs moyennes de 31.71 cm, 6.93 cm, 14.74 cm et 14.23 cm respectivement.

L'analyse de variance des caractères agronomiques dévoile que l'effet du génotype sur l'expression phénotypique est très important. Durant les deux campagnes d'expérimentation, la variété locale Tichedrett se positionne en tête de classement pour le nombre de talles, d'épis par plant et le poids de la biomasse aérienne avec respectivement 5 talles, 4.08 épis et 406.76 g/ m linéaire. La variété locale Saïda a enregistré le nombre d'épillets stériles par épi, le poids de 1000 grains et le rendement en grains par mètre linéaire les plus importants (6.08 épillets, 66.83

g et 191.85 g/ m linéaire respectivement), la variété Bahia a donné les meilleures valeurs du nombre d'épillets fertiles, du nombre et de poids de grains de l'épi (16.7 épillets, 52.7 grains et 3.1 g respectivement). Fouara a donné le nombre de plants par m² le plus élevé (270.5 plants) et le rendement en grains réel le plus important (49.25 Qx/ha). Le meilleur indice de récolte est noté chez la variété Soufara avec 0.56 et 0.58 respectivement.

L'analyse de l'effet interaction génotype x année a montré une différence significative à très hautement significative, cela signifie que le comportement des variétés testées est instable au cours de nos essais.

L'étude des corrélations a révélé des liaisons significatives avec un signe positif entre certains caractères, qui semblent être essentiels dans l'élaboration du rendement tels que : la longueur de la barbe et de la feuille étendard, le nombre de plant par m² et d'épillets fertiles par épi, le nombre et le poids de grains de l'épi et le poids de la biomasse aérienne. Ces résultats suggèrent que ces variables peuvent être considérées comme critères de sélection pour améliorer indirectement le rendement en grains.

L'étude comparative entre trente (30) hybrides, en F₁ et F₂, issus d'un croisement diallèle a montré que la précocité à l'épiaison est enregistrée chez le croisement (F x SA), avec une durée de 100 jours et 99 jours respectivement, ceci pourrait être intéressant dans la mesure où on cherche à éviter les chaleurs de fin de cycle. Les caractères : longueur de la paille, longueur de l'épi, longueur du col de l'épi, longueur de la barbe, longueur de la feuille étendard, nombre de talles par épi, nombre d'épillets stériles par épi, poids de mille grains, poids de la biomasse aérienne et rendement en grains estimé par mètre linéaire ont vu leur moyenne évoluée entre la première et la deuxième génération. Cette supériorité peut être due à des effets d'hétérosis.

Le rendement en grains estimé par mètre linéaire, chez les deux générations F₁ et F₂, est associé à une meilleure longueur de la feuille étendard, un poids de grains de l'épi élevé et une meilleure biomasse aérienne. Les hybrides (T x SA), (SA x F) et son réciproque (F x SA) semblent être les plus importants pour le rendement

en grains estimé par mètre linéaire avec 199.6 g/m linéaire, 199.1 g/m linéaire et 269.87 g/m linéaire respectivement.

Il y'a une forte dépendance entre les valeurs moyennes des hybrides et celles de leurs parents moyens concernant les paramètres longueur de la paille et de l'épi, aussi le nombre et poids de grains de l'épi.

La présence de la variabilité entre les lignées parentales et même entre leurs hybrides F_1 et F_2 justifie l'analyse génétique des caractères étudiés. L'analyse graphique de Hayman, au niveau de la génération F_1 révèle la prépondérance de l'action génique d'une dominance partielle impliquée dans l'expression des caractères : longueur du col de l'épi et de l'épi, nombre de talles et d'épis par plant, nombre d'épillets fertiles par épi, nombre et poids de grains de l'épi et poids de 1000 grains. Les effets additifs sont plus importants que les effets non additifs dans le contrôle de ces caractères. Pour la longueur de la paille et la feuille étendard, le nombre d'épillets stériles par épi, la biomasse aérienne, le nombre d'épis, le rendement en grains estimé par plant et par mètre linéaire et aussi l'indice de récolte les effets non additifs sont plus prépondérants que les effets additifs. La position de la droite de régression (W_r / V_r) indique la présence de la superdominance pour ces caractères.

Chez la génération F_2 , la dominance partielle à complète a caractérisé la longueur du col de l'épi, la longueur de la feuille étendard, le nombre d'épis par plant, le nombre d'épillets fertiles par épi, le nombre et poids de grains de l'épi, la biomasse aérienne, le rendement en grains estimé par plant et le nombre de talles par plant, de ce fait la prépondérance des effets additifs. Pour la longueur de la paille, la longueur de l'épi, le nombre d'épillets stériles par épi, le poids de mille grains, le rendement en grains estimé par mètre linéaire et l'indice de récolte la non-additivité est plus importante que l'additivité. Ces caractères sont régis par la superdominance.

L'étude des graphes formés par la droite de régression (W_r / V_r) indique la présence de transgression à partir des génotypes parentaux et l'étude des droites de régression des ($W_r + V_r$) sur les valeurs propres parentales (t) montre que la dominance enregistrée agit négativement sur l'expression de la majorité des caractères analysés.

L'analyse génétique selon Griffing, des deux générations F_1 et F_2 , a montré la présence des effets d'AGC et d'ASC significatifs pour la majorité des variables testées, ce qui montre la présence des effets géniques additifs et non-additifs dans l'expression des caractères. L'analyse graphique a confirmé ces résultats. Les parents Tichedrett et Bahia constituent les meilleurs géniteurs pour la longueur de la paille, du col de l'épi et de la feuille étendard, le nombre de talles et d'épis par plant, le nombre d'épillets fertiles par épi, le nombre et le poids de grains de l'épi, la biomasse aérienne, le rendement estimé par mètre linéaire et l'indice de récolte. La variété locale Saïda constitue un bon géniteur pour le poids de 1000 grains et la variété Fouara présente des valeurs AGC importantes pour le rendement en grains réel.

Les génotypes les plus prometteurs sont : l'hybride (T x SA) pour les variables : nombre de talles par plant, nombre d'épillets fertiles par épi, nombre de grains de l'épi, et rendement en grains estimé par plant, l'hybride (SA x B) pour la longueur de l'épi, l'hybride (SA x SO) concernent le nombre d'épis par plant, alors que l'hybride (B x SO) montre les meilleures ASC pour le poids de grains de l'épi et le rendement en grains estimé par mètre linéaire. On enregistre aussi les valeurs les plus élevées d'ASC pour le poids de 1000 grains et la biomasse aérienne chez l'hybride (F x SO) et de bonnes valeurs ASC concernant le nombre d'épillets stériles par épi et l'indice de récolte chez l'hybride (F x R). Ces hybrides méritent une attention particulière lors de la sélection dans les futures générations, afin de développer des variétés excellentes.

Les résultats du ratio variance d'AGC sur variance d'ASC montrent aussi que la plupart des caractères étudiés sont sous contrôle génétique non additif. Par ailleurs les caractères : longueur de l'épi, nombre de grains de l'épi et le rendement en grains estimé par mètre linéaire sont contrôlés par des effets additifs.

L'étude des relations AGC-valeurs propres parentales (li) indique que le choix des parents à croiser dans un programme d'amélioration de l'orge est envisageable sur la base de la longueur de l'épi, la longueur de la feuille étendard, le nombre de talles et d'épi par plant et le nombre de grains de l'épi. Aussi la présence de corrélations significatives entre les $AGCF_1$ et les $AGC F_2$, pour les caractères : longueur de la paille, de l'épi, du col de l'épi et de la feuille étendard, nombre

d'épillets fertiles par épi, nombre de grains de l'épi, suggère la déviation à l'additivité pour le contrôle de ces caractères.

Une certaine supériorité par rapport au parent moyen a été constatée pour les caractères longueur de la paille, du col de l'épi, de l'épi et de la feuille étendard, de même pour le nombre d'épis par plant, le poids de grains de l'épi et le rendement en grains estimé par plant.

Les plus fortes héritabilités au sens large correspondent aux caractères longueur de la paille, du col de l'épi et de l'épi, nombre de grains de l'épi, biomasse aérienne et indice de récolte. Ces fortes valeurs d'héritabilité sont couplées avec des valeurs élevées de coefficients de variation génotypique suggèrent qu'il y a des possibilités de sélection des lignées performantes.

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

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **POEHLMAN, J.M.**, "Adaptation and distribution", *Barley*, V.26, (1985), Pp 1-17.
2. **SHARMA, P., and GUJRAL, H.S.**, "Milling behavior of hulled barley and its thermal and pasting properties", *Journal of Food Engineering*, V.97, n° 3, (2010), Pp 329-334.
3. **HAKIMI, M.**, " L'évolution de la culture de l'orge : le calendrier climatique traditionnel et les données agro météorologiques modernes", In the agrometeorology of rainfed barley-based farming systems. Proceeding of an international symposium (6 - 10 march 1989, Tunis), Ed. Jones M., Marthys G., Rijks D, (1993), Pp 157-166.
4. **F. A. O.**, "Food and Agriculture Organization (FAO) Statistics Division", (2019).
5. **RAHAL-BOUZIANE, H.**, "L'orge en Algérie : passé, présent et importance pour la sécurité alimentaire face aux nouveaux défis", *Recherche agronomique*, V.1, n° 27, (2015), Pp 7-24.
6. **BOUFENAR, Z., ZAGHOUANE, O., ZAGHOUANE F.**, "Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie", Ed. ITGC, ICARDA., Alger, (2006), 154 p.
7. **MAGLIONE, R.**, "Étude de l'intégrité du génome chloroplastique de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) en culture de microspores isolées", Maîtrise en biologie végétale (Maître en sciences (M. Sc.), Québec, Canada, (2016).
8. **CECCARELLI, S., GRANDO, S., & IMPIGLIA, A.**, "Choice of selection strategy in breeding barley for stress environments", *Euphytica*, n°103, (1998), Pp 307-318.
9. **BRANCOURT, H., DOUSSINAULT G., LECOMTE, B. P., LE BUANEC, B., & TROTTET, M.**, "Genetic improvement of agronomic traits of winter wheat cultivars released in France from 1946 to 1992", *Crop science*, V.43, n°1, (2003), Pp 37-45.
10. **HARLAN, J. R., & ZOHARY, D.**, "Distribution of wild wheats and barley", *Science*, V. 153, n°3740, Pp 1074-1080.

11. **ZOHARY, D.**, “The progenitors of wheat and barley in relation to domestication and agricultural dispersal in the Old World” The progenitors of wheat and barley in relation to domestication and agricultural dispersal in the Old World, (1969).
12. **JESTIN, L.**, “L’orge. In : Amélioration des espèces végétales cultivées”, Gallais, A et Bannerot, H, éd. INRA, (1992), Pp 55-70.
13. **GALLAIS, A., & BANNEROT, H.**, “Amélioration des espèces végétales cultivées. Objectifs et critères de sélection”, Editions Quae, (1992), 768 p.
14. **NEVO, E.**, “Origin, evolution, population genetics and resources for breeding of wild barley, *Hordeum spontaneum*, in the Fertile Crescent”, Barley: genetics, biochemistry, molecular biology and biotechnology, (1992), Pp 19 – 43.
15. **BADR, A., MÜLLER, K., SCHÄFER-PREGL, R., EI RABEY, H., EFFGEN, S., IBRAHIM, H. H POZZI, C., ROHDE, W., & SALAMINI, F.**, “On the origin and domestication history of barley (*Hordeum vulgare* L)”, Molecular Biology and Evolution, V. 17, n°4, (2000), Pp 499-510.
16. **THOMAS, H. M., & PICKERING, R. A.**, “The cytogenetics of a triploid *Hordeum bulbosum* and of some of its hybrid and trisomic derivatives”, Theoretical and applied genetics, V. 76, n°1, (1988), Pp 93-96.
17. **HARLAN, J.R.**, “Our vanishing genetics resources”, Science, V.188, n°4188 (1975), Pp 618-621.
18. **FINOT, V. L., BARRERA, J. A., MARTICORENA, C., & Rojas, G.** “Systematic diversity of the family Poaceae (Gramineae) in Chile”, The Dynamical Processes of Biodiversity-Case Studies of Evolution and Spatial Distribution”, (2011), Pp 71-108.
19. **ZOHARY, D., & HOPF, M.**, “Domestication of Plants in the Old World: The Origin and Spread of Cultivated Plants in West Asia, Europe, and the Nile Valley”, Oxford University Press, New York, (2000).
20. **POURKHEIRANDISH, M., & KOMATSUDA, T.**, “The importance of barley genetics and domestication in a global perspective”. Annals of Botany, V.100, n°5, (2007), Pp 999-1008.
21. **RASMUSSEN, DC.** “Barley breeding at present and in the future”, Barley Genetics VI, V. 2, (1992), Pp 865-877.

- 22. VON BOTHMER, R., JACOBSEN, N., BADEN, C., JORGENSEN, R. B., & LINDE-LAURSEN, I.**, “An ecogeographical study of the genus *Hordeum*”, 2nd ed. Systematic and Ecogeographic Studies on Crop Genepools.7. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, (1995).
- 23. MALYSHEVA-OTTO L.V., GANAL, M.W., & RODER, M.S.**, “Analysis of molecular diversity, population structure and linkage disequilibrium in a worldwide survey of cultivated barley germplasm (*Hordeum vulgare* L.)”. BMC Genet. V. 7, n°1, (2006), 6 p.
- 24. BONJEAN, A., & PICARDI, E.**, “Les céréales à paille : Origine, histoire, économie et sélection”. Ed. Soft Word groupe ITM, (1990), 310 p.
- 25. NILAN, R.A., & ULLRICH, S.E.**, “Barley: taxonomy, origin, distribution, production, genetics and breeding”, In: MacGregor, A.W. and R.S. Bhatti (eds.). Barley: chemistry and technology, American Association of Cereal Chemists, St-Paul, Minnesota, U.S.A, (1993), 486 p.
- 26. MAYER, K.F.X., WAUGH, R., LANGRIDGE, P., & CLOSE, T.J.**, “A physical, genetic and functional sequence assembly of the barley genome”, Nature, V. 491, (2012), Pp 711-716.
- 27. ARAUS, J.L., SLAFER, G.A., REYNOLDS, M.P., & ROYO, C.**, “Plant Breeding and Drought in C3 Cereals: What Should We Breed For”, Annals of Botany, V.89, n°7, (2002), Pp 925-940.
- 28. SALMI, M., HADDAD, L., OULMI, A., BENMAHAMMED, A., & BENBELKACEM, A.**, “Variabilité phénotypique et sélection des caractères agronomiques du blé dur (*Triticum durum* Desf.) Sous conditions semi-arides”, European Scientific Journal, V.11, n°21, (2015), Pp 99-111.
- 29. SAISHO, D., & TAKEDA K.**, “Barley: emergence as a new research material of crop science”. Plant Cell Physiology, V.52, n°5, (2011), Pp 724-727.
- 30. AI-DAKHEEL, A. J., FRAJ, M. B., SHABBIR, G. M., & AI GAILANI, A. Q. M.**, “Evaluation of Batini barley landraces from Oman and breeding lines under various irrigation salinity levels”. Agricultural Science Research Journal, V.2, n°1, (2012), Pp 42-50.
- 31. GRANDO, S., & MACPHERSON, H.G.**, (Eds.). Food Barley: Importance, Uses and Local Knowledge, Proceedings of the International Workshop on

Food Barley Improvement, V. 14, n° 17, January 2002. ICARDA, Aleppo, Syria (2005).

- 32. HAYES, P. M., CASTRO, A., MARQUEZ-CEDILLO, L., COREY, A., HENSON, C., JONES, B., & KLINGI, J.,** “Genetic diversity for quantitatively inherited agronomic and malting quality traits. In: von Bothmer R., Knuepfer H., Van Hintum T., Sato K. (eds.) Diversity in Barley (*Hordeum vulgare* L.)”, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, V. 7, (2002), Pp 201-226.
- 33. KEATING, B.A., CARBERRY P.S., BINDRABAN P.S., ASSENG S., MEINKE H., & DIXO J.,** “Eco-efficient Agriculture: Concepts, Challenges, and Opportunities”, Crop Science, V. 50, (2010), Pp S-109-S-119.
- 34. DAWSON, I.K., RUSSEL, J., POWELL, W., STEFFENSON, B., THOMAS, W.T.B., & WAUGH, R.,** “Barley: a translational model for adaptation to climate change”, New Phytologist, V.206, n°3, (2015), Pp 913-931.
- 35. NEWTON, A.C., FLAVELL, A.J., GEORGE, T.S., LEAT, P., MULLHOLLAND, B., RAMSAY L., REVOREDO-GIHA C., RUSSEL, J., STEFFENSON, B.J., SWANSTON, J.S., THOMAS, W. T. B., WAUGH, R., WHITE, P.J., & BINGHAM, I.J.,** “Crops that feed the world 4. Barley: a resilient crop? Strengths and weaknesses in the context of food security”. Food security, V.3, n° 2 (2011), p141.
- 36. BOULAL, H., ZAGHOUANE, O., EL MOURID, M., & REZGUI, S.,** “Guide pratique de la conduite des céréales d’automne (blés et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie)”. Ed. TIGC, INRA, ICARDA, Algérie, (2007), 176 p.
- 37. JOUVE, A.M., KHEFFACHE, Y., & BELGHAZI, S.,** “La filière des céréales dans les pays du Maghreb : constante des enjeux, évolution des politiques. In : Allaya M. (ed.). Les agricultures maghrébines à l'aube de l'an 2000”, Options Méditerranéennes : Série B. Etudes et Recherches, n°14, (1995), 376 p.
- 38. TELLAH, S.,** “Etude du comportement de 19 géotypes d’orges (*Hordeum vulgare* L) dans les conditions de la Mitidja”. Céréaliculture, n° 35, (2005), Pp 8-14.
- 39. ZEGHOUANE, O., BOUFENAR, F., & YOUSFI, M.,** “La technologie semencière : la production de semences des céréales à paille en Algérie”, Alger, (2008), 138 p.
- 40. KADI, Z., ADJEL, F., & BOUZERZOUR, H.,** “Analysis of the genotype x environment interaction of Barley grain yield (*Hordeum vulgare* L.) Under

semi-arid conditions". *Advance in Environmental Biology*, V.4, n° 1, (2010), Pp 34-40.

41. **HAKIMI, M.**, "Les systèmes traditionnels basés sur la culture de l'orge", *Proc. Symp. On the agrometeorology of rainfed barley based farming system*, Eds WMO/ICARDA, (1989), Pp 179-183.
42. **RAHAL-BOUZIANE, H.**, "Quelques cultures stratégiques pour l'Algérie face aux changements climatiques : l'orge (*Hordeum vulgare* L.) et le mil [*Pennisetum glaucum* L.) R. BR] ", *Algerian journal of arid environment*, V. 6, n° 1, (2016), Pp 15-31.
43. **CLERGET, Y.**, "Biodiversité des céréales Origine et évolution", Montbéliard, (2011), 17 p.
44. **VON BOTHMER, R., VAN HINTUM, TH., KNUPFFER, H., & SATO, K.**, "Diversity in Barley. In: von Bothmer R., van Hintum, T.h., Knüpffer, H., Sato K, *The domestication of Cultivated Barley*", Amsterdam: Elsevier Science B.V., (2003), Pp 9-27.
45. **BOUZERZOUR, H., BENMAHAMMED, A., & HASSOUS, K.L.**, "Variabilité génétique, héritabilité et corrélation entre caractères mesurés sur orge en milieu semi-aride", *Céréaliculture*, n° 30, (1997), Pp 11 - 15.
46. **HAKIMI, M.**, "L'évolution de la culture de l'orge : le calendrier climatique traditionnel et les données agro météorologiques modernes. In the agrometeorology of rainfed barley-based farming systems. Proceeding of an International symposium (6 - 10 march 1989, Tunis)", Ed. Jones M., Marthys G., Rijks D, (1993), Pp 157 - 166.
47. **MALKI, M., & HAMADACHE, A.**, " Pratique céréalière et savoir traditionnel en Algérie : analyse du proverbe populaire relatif à la pratique céréalière à la lumière des sciences agronomiques modernes". I.T.G.C, (2002), 65 p.
48. **BALDY, G.**, " Contribution à l'étude fréquentielle des conditions climatiques et de leurs influences sur la production des principales zones céréalières". Document du projet céréale, (1974), 170 p.
49. **DJEKOUNE, A., YKHLEF, N., BOUZERZOUR, H., HAFSI, M., HAMADA, Y., & KHALI, L.**, " Production du blé dur en zones semi-arides : identification des paramètres d'amélioration du rendement", *Actes des 3^{ème} Journées Scientifiques sur le blé dur*, Constantine, (2002).

- 50. CHENNAFI, H., BOUZERZOUR, H., SACI, A., & CHENAFI, A.,** “La pratique des façons culturales sur la culture du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en environnement semi-aride. In: Proceedings of the 5th International Conference on Land Degradation”, Valenzanos, Bari, Italy, 18-22 September, V. 67, (2008a), p 63.
- 51. CHENNAFI, H., AIDAOU, A., BOUZERZOUR, H., & SACI, A.,** “Yield response of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) Cultivar Waha to deficit irrigation under semiarid growth conditions”, *Asian Journal of Plant Sciences.*, V. 5, (2006), Pp 854-860.
- 52. GUENDEZ, M.,** “ 6es journées scientifiques des techniques phytosanitaires”, INPV, Alger, (2008).
- 53. ARBOUCHE, H.S., ARBOUCHE, Y., ARBOUCHE, F., & ARBOUCHE, R.,** “ Valeur nutritive de quelques variétés d’orge algériennes pour l’alimentation des ruminants”, *Revue. Institut National Recherche Agronomique Algérie*, V. 22, (2008), Pp 67-72.
- 54. HELLER, R.,** “Physiologie végétale. Tome 2. Développement”, Ed. Masson, Paris, (1982), 215 p.
- 55. MAZLIAK, P.,** “ Physiologie végétale II. Croissance et développement”, Ed. Hermann, Paris, (1982), 465 p.
- 56. BOUFENAR-ZAGHOUE, F., & ZAGHOUE, O.,** “Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie (blé dur, blé tendre, orge et avoine) ”, ITGC d’Alger, 1^{ère} Ed, (2006), 152 p.
- 57. CLEMENT, J.M.,** “Dictionnaire Larousse Agricole. Librairie Larousse”, Canada, (1981), 280 p.
- 58. GATE, P.,** “Ecophysiologie du blé”, Paris : Tec et Doc- Lavoisier, (1995), 430 p.
- 59. MASLE, J., & SEBILLOTTE, M.,** “Etude de l’hétérogénéité d’un peuplement de blé d’hiver. II- Origines des différentes catégories d’individus du peuplement ; éléments de description de sa structure”, *Agronomie*, V. 1, n°3, (1981), Pp 217 - 224.
- 60. JAMIESON, P. D., BROOKING, I. R., PORTER, J. R., & WILSON, D. R.,** “Prediction of leaf appearance in wheat: a question of temperature”, *Field crops Research*, V.41, n°1, (1995), Pp 35- 44.

- 61. MASLE, J.**, “L’élaboration du nombre d’épis chez le blé d’hiver. Influence de différentes caractéristiques de la structure du peuplement sur l’utilisation de l’azote et de la lumière », Thèse de doctorat, INA- PG, (1980), 274 p.
- 62. MEYNARD, J. M.**, “Les besoins en azote du blé d’hiver jusqu’au début de la montaison”, *Agronomie*, V.5, n°7, (1985), Pp 579 -589.
- 63. MASLE, J.**, “Elaboration du nombre de grains potentiel d’un peuplement de blé d’hiver”, *Comptes Rendus des sciences de l’Académie d’agriculture de France*, V.71, n°8, (1985), Pp 857 – 869.
- 64. GATE, P., & GRIMAUD, L.**, “L’épi de blé à la floraison : un outil remarquable pour l’analyse et la prévision du nombre de grains”, *Pers. Agri*, n° 132, (1989), Pp18 – 30.
- 65. COÏC, Y., COPPENET, M., & HELIAS, M.**, “Influence de l’époque d’apport des engrais azotés sur le comportement du rendement du blé”, *Comptes Rendus des sciences de l’Académie d’agriculture de France*, V. 36, n°3, (1950), Pp 231-234.
- 66. CHAMBENOIT, C.**, “Evaluation en Poitou - Charentes d’un modèle de fonctionnement d’une culture de blé tendre”, *Azodyn*, mémoire de fin d’études, ENITA Clermont – Ferrand, (1999), 36 p.
- 67. DEVAUX, P.**, “The *Hordeum bulbosum* (L.) Method. In: M. Maluszynski, Kasha K., Forster B. and Szarejko I. (éds). *Doubled haploid production in crop plants*”, A manual. Dordrecht, Boston, London, Kluwer Academic Publishers, (2003), Pp 15-19.
- 68. KASH, K.J. & KAO, K.N.**, “High frequency haploid production in barley (*Hordeum vulgare* L.)”, *Nature*. V.225, n° 5235, (1970), Pp 874-876.
- 69. DEMARLY, Y.**, “Amélioration des plantes et biotechnologies”, JOHN LIBBEY Eurotext, Paris, (1996), Pp 85-97.
- 70. KHALDOUN, A., BELLAH, F., & MEKLIICHE, L.**, “L’obtention variétale en Algérie cas des céréales à paille”, *INRAA*, Algérie, (2006), 82 p.
- 71. CHAKER, A., & BRINIS, L.**, “Impact d’un stress thermique au froid sur la physiologie de quelques génotypes de blé dur à un stade précoce”, *Revue, Céréaliculture*, n°17, (2005), Pp 5-17.
- 72. COUSIN, R.**, “Les essais diallèles”, *Le sélectionneur français*, n° 7, (1969), Pp 75-96.

- 73. DEMARLY, Y.**, “Génétique et amélioration des plantes”, Collection sciences agronomiques, éd. Masson, Paris, (1977), 273 p.
- 74. BOUHARMONT, J.**, “Création variétale et amélioration des plantes”, Agronomie moderne, bases physiologiques et agronomiques de la production végétale, (1994), Pp 312-338.
- 75. HAYMAN, B I.**, “The analysis of variance of diallel tables”, Biometrics, V .10, n° 2, (1954), Pp 235-244.
- 76. GRIFFING, B.**, “Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems”, Australia Journal of Biology Science. V .9, n° 4, (1956), Pp 463-493.
- 77. SPRAGUE, G. F. & TATUM, L. A.**, “General and specific combining ability in single crosses of corn”, Agronomy Journal, V.34, n°10, (1942), Pp 923-932.
- 78. FALCONER, D.S. & MACKEY, F.C.**, “Introduction to quantitative genetics”, Longman scientific & technical (ed.), London, (1996), 340 p.
- 79. ACQUAAH, G.**, “Principles of plant genetics and breeding”, John Wiley & Sons, (2009).
- 80. GALLAIS, A.**, “Théorie de la sélection en amélioration des plantes”, Eds. Masson, (1990), 588 p.
- 81. ZAHOUR, A.**, “ Eléments d’amélioration génétique des plantes”, Ed. Actes Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc, (1992), 223 p.
- 82. LE COCHEC, F., & SOREAU, P.**, “Hétérosis et hérédité de quatre caractères agronomiques dans les croisements de lignées fixes de betteraves fourragère et sucrière”. Revue Agronomique, V.12, n° 1, (1992), Pp 45-59.
- 83. LEFORT- BUSON, M.**, “Les distances génétiques : Estimations et applications”, Paris, I.N.R.A., (1985), 181 p.
- 84. ACQUAAH, G.**, “Principals of plant genetics and breeding”, Blackwell Publishing, Oxford, UK, (2007).
- 85. BOUZERZOUR, H., & DEKHILI, M.**, “Heritabilities, gains from selection and genetic correlations for grain yield of barley grown in two contrasting environments”, Field Crops Research, V.41, n°3, (1995), Pp 173-178.

- 86. KIRIGWI, F. M., VAN GINKEL, M., TRETOWAN, R., SEARS, R. G., RAJARAM, S., & PAULSEN, G. M.**, "Evaluation of selection strategies for wheat adaptation across water regimes", *Euphytica*, V.135, n°3, (2004), Pp 361-371.
- 87. BROWN, J., CALIGARI, P. D. S., & CAMPOS, H. A.**, "Plant Breeding, 2nd ed. of Introduction to Plant Breeding - revised and updated", John Wiley & Sons, (2014).
- 88. KHAN, H., RAHMAN, H., AHMED, H., & ALI, H.**, "Magnitude of heterosis and heritability in sunflower over environments", *Pakistan Journal of Botany*, n°1, (2008), Pp 301-308.
- 89. GALLAIS, A.**, "Hétérosis et variétés hybrides en amélioration des plantes", Ed Quæ., (2009), 376 p.
- 90. MAYO, H.**, "The theory of plant breeding", Clarendon, Press oxford, (1980), 293 p.
- 91. RAUF, S., SHAHZAD, M., TEIXEIRA DA SILVA, J.A., & NOORKA, I.R.**, "Biomass partitioning in sunflower (*Helianthus annuus* L.) Inbred lines and hybrids under contrasting saline regimes", *Journal of Crop Science and Biotechnology*, V.15, n° 3, (2011), Pp 53-57.
- 92. IMMER, F.R.**, "Relation between yielding ability and homozygosis in barley crosses", *J. Americ, Soc, Agron*, n°33, (1941), Pp 200 - 206.
- 93. HAGBERG, A.**, "Heterosis in barley", *Heridatas*, n°39, (1953), Pp 325-347.
- 94. JESTIN, L.**, "Quelques réflexions sur les possibilités de développement de variétés hybrides chez les orges", I.N.R.A Clement- Ferrand, (1987).
- 95. CHOO, T. M., KOTECHA, A., REINBERGS, E., SONG, L. S. P., & FFJER, S. O.**, "Diallel analysis of grain yield in barley using doubled-haploid lines", *Plant breeding*, V. 97, n°2, (1986), Pp 129-137.
- 96. GOMEZ-PANDO, L. R., ALDABA, G., IBAÑEZ, M., ARGUMEDO, K., & LORENZO, J. C.**, "Selection of new barley advanced lines considering several agricultural traits simultaneously: Comparison of two mathematical procedures", *Agricultural Science*, V.4, n° 3, (2016), Pp 1-5.
- 97. RAMLA, D., YAKHOU, S. M., BILEK, N., MIMOUN, H., & HANINFI-MEKLICHE, L.**, "Évaluation de la performance de quelques haploïdes doublés

d'orge (*Hordeum vulgare* L.) et identification des lignées transgressives dans une zone semi-aride Algérienne”, Nature & Technology, n°17, (2017), Pp 6-14.

- 98. BOUZERZOUR, H., & DJEKOUN, A.,** “Etude de l’interaction génotype x lieu du rendement de l’orge zone semi-aride”, revue sciences et technologies, Uni. Constantine, V.4, (1996), Pp 16-28.
- 99. BAHLOULI, F., BOUZERZOUR, H., BENMAHAMMED, A., & HASSOUS, K.L.,** “Selection of high yielding of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) Under semi-arid conditions”, Journal of Agronomy, V.4, n° 4, (2005), Pp 360-365.
- 100. BENMAHAMMED, A., NOUAR, H., HADDAD, L., LAALA, Z., OULMI, A., & BOUZERZOUR, H.,** “Analyse de la stabilité des performances de rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides”, Biotechnology, Agronomy, Society and environment, V. 14, n°1, (2010), Pp 177-186.
- 101. DORE, C., & VAROQUAUX, F.,** “ Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées”, (2006), 145 p.
- 102. MEKHOLOUF, A., & BOUZERZOUR, H.,** “Déterminisme génétique et associations entre le rendement et quelques caractères à variation continue chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) ”, Recherche Agronomique, INRAA, n° 7, (2000), Pp 37-49.
- 103. ANNICHIARICO, P., & IANNUCCI, A.,** “Adaptation strategy germplasm type and adaptive traits for field pea improvement in Italy, based variety response across climatically contrasting environments”, Field Crops Research, n° 108, (2008), Pp 133-142.
- 104. BENMAHAMMED, A., KERMICHE, A., HASSOUS, K.L., DJEKOUNE, A., & BOUZERZOUR H.,** “ Sélection multi caractères pour améliorer le niveau et la stabilité du rendement de l’orge (*Hordeum vulgare* L.) en zone semi-aride”, Sciences et Technologies, n° 19, (2003), Pp 98-103.
- 105. ANNICHIARICO, P., ABDELLAOUI, Z., MELOUKI, M., & ZERARGUI, H.,** “Grain yield, straw yield and economic values of tall semi dwarf durum wheat cultivars in Algeria”, The Journal of Agricultural Science, n° 143, (2005), Pp 54-64.
- 106. REYNOLDS, M.P., PELLGRINESCH, A., & SKOVMAND, B.,** “Sink-limitation to yield and biomass: a summary of some investigations in spring wheat”, Annals of Applied Biology, n°146, (2005), Pp 39-49.

- 107. SLAFER, G.A., ARAUS, J.L. ROYO C., & DEL MORAL, L.F.G.,** “Promising eco-physiological traits for genetic improvement of cereal yields in Mediterranean environments”, *Annals of Applied Biology*, n°146, (2005), Pp 61-70.
- 108. MEGHERBI, A., MEHDADI, Z., TOUMI, F., MOUEDDENE, K., & BACHIR BOUADJRA, S.E.,** “ Tolérance à la sécheresse du blé dur (*Triticum durum* Desf.) et identification des paramètres morpho physiologiques d’adaptation dans la région de Sidi Bel-Abbés (Algérie occidentale) ”, *Acta Botanica Gallica*, V.159, n°1, (2012), Pp137-143.
- 109. SRIVASTAVA, J.P.,** “Barley and wheat improvement for moisture - limiting areas in West Asia and North Africa”, In: Srivastava, J.P., PROCEDDU, E., ACEVEDO, E., and VARMA, S, Drought tolerance in winter cereals. Proceedings of an International Workshop, 27-31 October 1985, Capri, Italy, (1987), Pp 65-78.
- 110. BENMAHAMMED, A., KRIBAA, M., BOUZERZOUR, H., & DJEKOUNE, A.** “Assessment of stress tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.) Advanced breeding lines under semi-arid conditions of the eastern high plateaus of Algeria”, *Euphytica*, V.172, n°3, (2010 a.), Pp 383–394.
- 111. WITCOMB, J.R., & D.S. VIRK, D.S.,** “Number of crosses and population size for participatory and classical plant breeding”, *Euphytica*, V.122, n°3, (2001), Pp 451-462.
- 112. SIMEBO, W., R. GRETZMACHER, A. & EDELBAUER.,** “Genotypic variation for nitrogen use efficiency in Ethiopian barley”, *Field Crops Research*, V.85, n° 1, (2004), Pp 43–60.
- 113. ACEVEDO, E., NACHIT, M.M., & ORTIZ FERRARA, G.,** “Effects of heat stress on wheat and possible selection tools for use in breeding for tolerance”, In: Proceedings of the international conference on Wheat for the non-traditional warm areas, Eds. DA., Saunders, UNDP and Cimmyt Sponsors, (1991), Pp 401-420.
- 114. HANSON, P.R., JENKINS, G., & WESTCOTT, B.,** “Early generation selection in a cross of spring barley”, *Z. Pflanzenzuchtg*, V. 83, n°1, (1979), Pp 64-80.
- 115. SHARMA, R.C., & SMMITH, E.L.,** “Selection for high and low harvest index in winter wheat populations”, *Crop Sciences*, V.26, n°6, (1986), Pp 1147-1150.

- 116. FARQUHAR, G. D., & SHARKEY, T. D.**, "Photosynthesis and carbon assimilation", In Boote, K. J., Bennett, J. M., Sindair, T. R., & Paulsen, G. M. (Eds.), *Physiology and determination of crop yield*, American Society of Agronomy, Madison, WI, (1994), Pp187-210.
- 117. RICHARDS, R.A., REBTZKE. G.J., VAN HERWAARDLEN A.F., DUGGANB, B.L., & CONDON, A.G.**, "Improving yield in rainfed environments through physiological plant breeding", *Annals of Arid Zone*, V. 26, n° 3, (1997), Pp 255-266.
- 118. ARAUS, J.L., ALIDIB, T., & NACHIT, M.M.**, "Some insights into morphological traits associated with cereal yield increases in Mediterranean environments", In: *Proceeding of SEWANA*, Eds. ICARDA, (1998), Pp139-157.
- 119. REGUIEG, M. M., LABDI M., BENBELKACEM, A., HAMOU, M., MAATOUGUI, M. E. H., GRANDO S., & CECCARELLI, S.**, "First Experience on Participatory Barley Breeding in Algeria", *Journal of Crop Improvement*, V. 27, n° 4, (2013), Pp 469-486.
- 120. ZAIRI, M., BOUCHENTOUF, S. N., HADJAM, N., BENALI, M., HAMOU, M., & LABDI, M.**, " La qualité technologique de quelques lignées d'orge issues de la sélection participative en zones semi-arides", *Agriculture*, numéro spécial 1, (2016), Pp 162 - 173.
- 121. PREVOST, PH.**, "Les bases de l'agriculture", 3rd ed, Tec & doc, Paris : Baillière, (1999), 290 p.
- 122. VILAIN, M.**, "Production végétale T.1, les composantes de la production", Ed. J.B. Balliere et fils, Paris, (1987), 403 p.
- 123. BOUZERZOUR, H., & MONNEVEUX, P.**, "Analyses des facteurs de stabilité du rendement de l'orge dans les conditions des hauts plateaux algériens. A l'occasion des colloques n°64 : Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne : Diversité génétique et amélioration des variétés", (Montpellier, France, 15-17 décembre 1992). Eds. Ben Salem, M et Monneveux, P, Ed. INRA, Paris, (1993), Pp 205-215.
- 124. FISCHER, R. A., & MAURER, R.**, "Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses", *Crop and Pasture Science*, V.29, n°5, (1978), Pp 897-912.
- 125. COUVREUR, F.**, "La culture du blé se raisonne", *Cultivar*, (1981), Pp 39-41.

- 126. JONARD, P.**, "Etude comparative de la croissance de deux variétés de blé tendre", *Annale, Amélioration des plantes*, n°14, (1964), Pp 101-130.
- 127. FISCHER, R.A.**, "Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperatures", *Journal of Agricultural Sciences*, Cambridge, (1985), Pp 447- 461.
- 128. NACHIT, M.**, "Durum wheat improvement. In VARMA Ed., Cereal improvement program 1986", ICARDA. PUBL. 112. EN, Aleppo, (1986), Pp 78-101.
- 129. LEDENT, J.F.**, "Vernalisation and anthesis in a collection of wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) A quantitative study in controlled environments", *Bulletin de la Société Royale de Botanique de Belgique*, n°112, (1978), Pp 186-192.
- 130. GRIGNAC, P.**, "Relation between yield, yield components and some morphological characters", *Genetics and breeding of durum wheat symp.* Bari, (1973), Pp 275-284.
- 131. GRENNAN, A. K.**, "High Impact Abiotic Stress in Rice", *Plant Physiology*, V. 140, (2006), Pp1139-1141.
- 132. GALLAGHER, J.N., BISCOE, P.V., HUNTER, B.**, "Effects of drought on grain growth", *Nature*, n°264, (1976), Pp 541-542.
- 133. FISCHER, R. A., & MAURER, R.**, "Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses", *Crop and Pasture Science*, V. 29, n°5, (1978), Pp 897-912.
- 134. STONE, P. J. & NICOLAS, M.E.**, "Wheat cultivars vary widely in their responses of grain yield and quality to short periods of post-anthesis heat stress", *Australian Journal of Plant Physiology*, V.21, (1994), Pp 887-900.
- 135. COMBE, L., & PICARD, D.**, "Elaboration du rendement des principales cultures annuelles", INRA, Paris, (1994), 191p.
- 136. ABBASSENE, F., BOUZERZOUR, H., & HACHEMI, L.**, "Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride", *Annales Agronomiques, INA*, V.18, (1997), Pp 24-36.
- 137. PRASAD, B., CARVER, B.F., STONE, M.L., BABAR, M.A., RAUN, W.R., & KLAT, A.R.**, "Genetic Analysis of Indirect Selection for Winter Wheat Grain

Yield Using Spectral Reflectance Indices”, *Crop science*, V.47, (2007), Pp 1716-1425.

138. **BOUZERZOUR, H.**, “Sélection pour le rendement, le degré de précocité, la biomasse aérienne et l’indice de récolte chez l’orge (*Hordeum vulgare* L) en zone semi-aride”, Thèse Doctorat d’état, Université de Constantine, (1998), 170 p.
139. **MENAD, A., MEZIANI, N., BOUZERZOUR, H. & BENMAHAMMAD, A.**, “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*, n°5, 2011, Pp 99-106.
140. **DONALD, C.M.**, “The breeding of crop ideotypes”, *Euphytica*, V.17, (1968), Pp 385-403.
141. **RASMUSSEN, D.C.**, “An evaluation of ideotype breeding”, *Crop Science*, V.27, (1987), Pp 1140-1146.
142. **FISCHER, R.A., AGUILAR, I. & LAING D.R.**, “Post-anthesis sink size in a high yielding dwarf wheat: yield response to grain number”, *Australian Journal of Agricultural Research*, V.28, (1977), Pp 165-175.
143. **ZEGHOUANE, O., ZEGHOUANE-BOUFENAR, F.**, “Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie”, 1^{ère} éd, ITGC, Algérie, (2006), 154 p.
144. **HENIN, S., GRAS, R., & MONNIER, G.**, “Le profil cultural. L’état physique du sol et ses conséquences agronomiques”, Ed. Masson et Cie, Paris, (1969), 332 p.
145. **RAMANUJAM, S., TIWARI, A.S., & MEHRA, R.B.**, “Genetic divergence and hybrid performance in agronomic crops”, *Theoretical and Applied Genetics*, n°45, (1974), Pp 211-214.
146. **EGNAW, S.T., & HADADO, T.T.**, “Genetic diversity of qualitative traits of barley (*Hordeum vulgare* L.) Landrace populations collected from Gamo Highlands of Ethiopia”, *International Journal of Biodiversity and Conservation*, V.6, n°9, (2014), Pp 663-673.
147. **BEN SALEM M., BOUSSEN, H., & SLAMA, A.**, “Évaluation de la résistance à la contrainte hydrique et calorique d’une collection de blé dur : recherche de paramètres précoces de sélection”, Sixièmes Journées scientifiques du réseau Biotech. Génie Génétique des plantes, Agence

francophone pour l'enseignement supérieur et la recherche (AUPELF / UREF). Orsay. Sécheresse, n° 2, (1997), Pp 75- 83.

- 148. CUESTA-MARCOS, A., CASAS, A.M., HAYES, P.M., GRACIA, M.P., LASA, J.M., CIUDAD, F., CODESAL, P., MOLINA-CANO, J.L., & IGARTUA, E.**, “Yield QTL affected by heading date in Mediterranean grown barley”, *Plant Breed*, n° 128, (2008), Pp 46–53.
- 149. RAHAL-BOUZIANE, H.**, “Etude de la diversité génétique et des potentialités agronomiques et fourragères de génotypes d’orge (*Hordeum vulgare L.*) traditionnellement cultivés en Algérie”, Thèse de doctorat, ENSA, (2016), 135 p.
- 150. SIDDIQUE, K. H. M., KIRBY, E. J. M., & PERRY, M. W.**, “Earn stem ratio in old and modern wheat varieties; relationship with improvement in number of grains per ear and yield”, *Field Crops Research*, n° 21, (1989), Pp 59-78.
- 151. BELKHARCHOUCHE, H., BENBELKACEM, A., BOUZERZOUR, H., & BENMAHAMMED, A.**, “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*, V.9, n° 8, (2015), Pp184-191.
- 152. SLAMA, A., BEN SALEM, M., BEN NACEUR, M., & ZID, E.**, “Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance ”, *INRAT*, V.16, n°3, (2005), Pp 225-229.
- 153. AURIAU, P., DOUSSINAULT, G., JAHIER, J., LECOMTE, C., PIERRE, J., PLUCHARD, P., ROUSSET, M., SAUR, L., & TROTTE, M.**, “Le blé tendre. In amélioration des espèces végétales cultivées”, ed. INRA, Paris, (1992), Pp 22-38.
- 154. SETOTAW, T.A., DOS SANTOS DIAS, L.A., & MISSIO, R.F.**, “Genetic divergence among barley accessions from Ethiopia”, *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, n° 10, (2010), Pp. 116-123.
- 155. BOYELDIEU, J.**, “Les cultures céréalières ”, ed. Hachette, Paris, France, (1980), 255 p.
- 156. MASLE J.G.**, “ Comment se fait le rendement ”, Extrait de la revue agricole, (1982), Pp 107-116.
- 157. BENBELKACEM, A.**, “ La recherche variétale sur les blés en Algérie”, *Céréaliculture*, n° 26, (1993), Pp 3 - 8.

- 158. MORAGUES, M., GARCIA DEL MORAL, L.F., MORALEJO, M., & ROYO, C.**, “Yield formation strategies of durum wheat landraces with distinct pattern of dispersal within the Mediterranean basin I: yield components”, *Field Crops Research*, n°95, (2006), Pp 194–205.
- 159. BENSEMANE, L., BOUZERZOUR, H., BENMAHAMMED, A., & MIMOUNI, H.**, “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*, n° 5, (2011), Pp 1454-1460.
- 160. ERROUX, J.**, “Introduction au catalogue des blés durs cultivés en Algérie”, *bulletin de la société d’histoire naturelle de l’Afrique du Nord*, n°5, (1974), Pp 5-95.
- 161. WARDLAW, I.F.**, “Interaction between drought and chronic high temperature during kernel filling in wheat in a controlled environment”, *Annals of botany*, n° 90, (2002), Pp 469-476.
- 162. STANGER, T.F., LAUER, J.G., & CHAVAS, J.P.**, “The profitability and risk of long-term cropping system featuring different rotation and nitrogen rates”, *Agronomy Journal*, V. 100, n°5, (2008), Pp 105-113.
- 163. KOKSAL, Y.**, “Path coefficient analysis of some yield components in durum wheat (*Triticum durum* Desf)”, *Pakistan Journal of Botany*, V.41, n° 2, (2009), Pp 745-751.
- 164. HANIFI, L.**, “ Contribution à l’étude de l’hétérosis et de l’intérêt des F₁, F₂ et lignées haploïdes doublées chez l’orge ”, Thèse de doctorat d’Etat. Université des sciences et technologies de Lille, (1999), 177 p.
- 165. PASSIOURA, J.B.**, “Grain yield, harvest index and water use of wheat”, *Journal of the Australian Institute of Agricultural Science*, n° 43, (1977), Pp117-120.
- 166. FELLAHI, Z., HANNACHI, A., GUENDOZ, A., BOUZERZOUR, H., & BOUTEKRABT, A.**, “Genetic variability, heritability and association studies in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes”, *Electronic Journal of Plant Breeding*, V. 4, (2013 b), Pp 1161 - 1166.
- 167. SEDIRA, H.**, “Sélection de lignées d’orge issues de croisements entre Tichedrett et cinq variétés d’orge, locales et introduites, mémoire de magister en sciences agronomiques”, (2011), 130 p.

- 168. MOURET, J.C., CONESA, A. P., BOUCHIER, A., GAID, M., & OULD SAID, O.**, “Identification des facteurs de variabilité du rendement du blé dur en conditions hydriques limitantes dans la région de Sidi Bel Abbes ”, Ed. INRA France, les colloques n° 55, (1991), Pp 35- 47.
- 169. LE GOUIS, J., JEUFFROY, M.H., HEUMEZ, E., & PLUCHARD, P.**, “Différences variétales pour le fonctionnement du blé tendre en conditions de nutrition azotée sub-optimales ”, Euphytica, (2000), Pp. 34-39.
- 170. HOUN, S., DEKAK, A., & KHAMAR, L.**, “ Effets des dates de semis et le traitement hydrique sur 12 variétés de blé dur en zone semi-aride”, Céréaliculture, n° 37, (2002), Pp 17-23.
- 171. HANIFI-MEKLICHE, L., BOUKECHA, D., & MEKLICHE, A.**, “ analyse agronomique et génétique de quelques variétés de blé dur et de leurs hybrides F₁ en conditions pluviales”, Sciences & Technologie. C, Biotechnologies, n° 27, (2008), Pp 9-14.
- 172. SEDIRA, H., & AISSAT, A.**, “Etude de comportement de six variétés d’orge (*Hordeum vulgare* L.) cultivées dans les conditions de la zone subhumide (Mitidja) ”, Agro-Ecologie, V. 2, n° 2, (2014), Pp 183 -189.
- 173. YAN, W., HUNT L.A., SHENG Q. & SZLAVNICS Z.**, “Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot”, Crop Sciences, n°40, (2000), Pp 597-605.
- 174. BENMAHAMMED, A., NOUAR, H., HADDAD, L., LAALA, Z., OULMI, A., & BOUZERZOUR, H.**, “Analyse de la stabilité des performances de rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides”, Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, V.14, n°1, (2010), Pp 177-186.
- 175. BENMAHAMMED, A.**, “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, (2005) ,125 p.
- 176. HADDAD, L., BOUZERZOUR, H., BENMAHAMMED, A., ZERARGUI, H., HANNACHI, A., BACHIR, M., SALMI, M., OULMI, A., NOUAR, H., & LAALA, Z.**, “Analysis of the phenotypic variability of some varieties of durum wheat (*Triticum durum* Desf) to improve the efficiency of performance under the constraining conditions of semi-arid environments”, Journal of Fundamental and Applied Sciences, V.8, n°3, (2010), Pp 1021-1036.

- 177. BOUZERZOUR, H., & BENMAHAMMED, A.**, “Environmental factors limiting barley grain yield in the high plateau of Eastern Algeria”, *Rachis*, V.12, (1994), Pp 11-14.
- 178. BOUSALHIH, B.**, “Déterminisme génétique de l'indice de récolte et de certains caractères morphologiques et agronomiques chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans les conditions du haut Chéllif ”, Thèse doctorat en sciences agronomiques, ENSA. Alger, (2015) ,125p.
- 179. SAMPSON, D. R.**, “Choosing the best parents for a breeding program from among eight oat cultivars crossed in diallel”, *Canadian Journal of Plant Science*, V. 56, n°2, (1976), Pp 263-274.
- 180. SHULYDIN, A.F.**, “Intraspecific hybridization of triticale: breeding and seed production”, n° 2, (1977), Pp 14-15.
- 181. ULLAH, S., KHAN, A.S., RAZA, A., & SADIQUE, S.**, “Gene action analysis of yield and yield related traits in spring wheat (*Triticum aestivum*)”, *international journal of agriculture & biology*, n°12, (2010), Pp 125-128.
- 182. KHAN, A. S., & HABIB, I.**, “Gene action in a five parental diallel cross of spring wheat (*Triticum aestivum* L.)”, *Pakistan Journal of Biological Sciences*, n° 6, (2003), Pp 1945 -1948.
- 183. HASSAN, M. S., EL-SAID, R. A. R., & ABD-EL-HALEEM, S. H. M.**, “Estimation of heritability and variance components for some quantitative traits in bread wheat (*Triticum aestivum* L.)”, *World Applied Sciences Journal*, V. 27, n°2, (2013), Pp 944 -949.
- 184. BEKRAR, Y.**, “ Analyse génétique d'une population F₂ diallèle de blé dur (*Triticum durum* Desf.) : application de la méthode Hayman”, mémoire de Magister, Université Sétif n° 1, (2015), 84 p.
- 185. KAUKAB, S., SAEED, M. S., & UR REHMAN, A.**, “Genetic analysis for yield and some yield traits in spring wheat”, *Universal Journal of Agricultural Research*, V.2, n°7, (2014), Pp 272-277.
- 186. FELLAHI, Z. E. A., HANNACHI, A., BOUZERZOUR, H., DREISIGACKER, S., YAHYAOU, A., & SEHGAL, D.**, “Genetic analysis of morpho-physiological traits and yield components in F₂ partial diallel crosses of bread wheat (*Triticum aestivum* L.)”, *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, V.70, n°3, (2017), Pp 8237-8250.

- 187. EL-HADDAD, M. M.**, “Genetical analysis of diallel crosses in spring wheat”, Egyptian Journal of Genetic. Cytology, V. 4, (1975), Pp 174-188.
- 188. JADOON, S. A., MOHAMMAD, F., ULLAH, H., & KHALIL, I. H.**, “Gene action for pre and post-harvest traits in F₂ wheat populations”, QScience Connect, V. 2012, n° 1, (2012), p 11.
- 189. RIGGS, T., & HAYTER, M.**, “Diallel analysis of the number of grains per year in spring barley”, Heredity, V. 31, n° 1, (1973), Pp 95-105.
- 190. FELLAHI, Z. E. A., HANNACHI, A., BOUZERZOUR, H., & BENBELKACEM, A.**, “Inheritance pattern of metric characters affecting grain yield in two bread wheat (*Triticum aestivum* L.) Crosses under rainfed conditions”, Jordan Journal of Biological Sciences, V.147, n°3380, (2015), Pp 1-7.
- 191. PICARD, B., BRANLARD, G., OURY, F. X., BERARD, P., & ROUSSET, M.**, “Étude de la diversité génétique du blé tendre. II. Application à la prédiction de l’hétérosis ”, Agronomie, EDP Sciences, V.12, n°9, (1992), Pp 683-690.
- 192. DESHMUKH, S.N.N., BASU, M.S., & REDDY, P.S.**, “Genetic variability, character association and path coefficient analysis of quantitative traits in Virginia bunch varieties of groundnut”, Indian Journal of Agricultural sciences, V. 56, (1986), Pp 516-521.
- 193. HANIFI-MEKLICHE L. & GALLAIS A.**, “Heterosis, genetic effects and value of F₂s and doubled-haploid lines in barley breeding”, Agronomie, n° 19, (1999), Pp 509-520.
- 194. HOUSHMAND, S., & VANDA, M.**, “Estimate of genetic parameters of grain yield and some agronomic traits in durum wheat using diallel”, College of Agriculture, Shahrekord University, Iran, (2008), Pp 1-3.
- 195. BOUZERZOUR, H., DJEKOUNE, A.D., BENMAHAMMED, A., & DJEKHABA, F.**, “Combining ability analysis of barley genotypes grown in semi- arid region, INAT, V. 10, n° 2, (1995), Pp 74-84.
- 196. AMAYA, A. A., BUSCH, R. H., & LEB SOCK, K. L.**, “Estimates of Genetic Effects of Heading Date, Plant Height, and Grain Yield in Durum Wheat 1”, Crop science, V.12, n° 4, (1972), Pp 478-481.

- 197. DIERS, B.W., MCVETTY, P.B.E., & OSBORN, T.C.**, “Relationships between heterosis and genetic distance based on RFLP markers in oilseed rape”, *Crop Science*, V. 36, n° 1, (1996), Pp 79–83.
- 198. BHOWMIK, A., ALI, M.S., & SADEQUE, Z.**, “Genetic analysis of kernel weight in wheat (*Triticum aestivum* L)”, *Bangladesh Journal of Botany*, V. 19, n° 1, (1990), Pp 21-27.
- 199. AHMED, Z., KUMAR, P., KATYAR, R.P., & GUPTA, R.R.**, “Heterosis in macaroni wheat”, *Indian Journal of Genetic Plant Breeding*, n° 39, (1979), Pp 279-284.
- 200. Gallais, A.**, “Sur la signification de l’aptitude générale à la combinaison”, *Annales de l’amélioration des plantes*, V. 26, n° 1, (1976), Pp 1-13.
- 201. LABDI, M., GHOMARI, S. & HAMD, S.**, “Combining Ability and Gene Action Estimates of Eight Parent Diallel Crosses of Chickpea for Ascochyta Blight”. *Advances in Agriculture*, V.2015, (2015), 7 p.
- 202. DAVID, J. L., DUSAUTOIR, J. C., RAYNAUD, C., & Roumet, P.**, “Heritable variation in the ability to produce haploid embryos via pollination with maize and embryo rescue in durum wheat”, *Genome*, V. 42, n° 2, (1999), Pp 338-342.
- 203. KALHORO, F. A., RAJPAR, A. A., KALHORO, S. A., MAHAR, A., ALI, A., OTHO, S. A., & BALOCH, Z. A.**, “Heterosis and combining ability in F₁ population of hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.)”, *American Journal of Plant Sciences*, V. 6, n° 7, (2015), Pp 1011-1026.
- 204. SEDCOLE, J.R.**, “A review of the theories of heterosis”, *Egyptian journal of genetics and cytology*, V. 10, n° 2, (1981), Pp 117-146.
- 205. MORGAN, C. L., AUSTIN, R. B., FORD, M. A., BINGHAM, J., ANGUS, W. J., & CHOWDHURY, S.**, “An evaluation of F₁ hybrid winter-wheat genotypes produced using a chemical hybridizing agent”, *Journal of Agricultural Sciences*, V. 112, n° 2, (1989), Pp 143-149.
- 206. BRIGGLE, L. W.**, “Heterosis in Wheat - A Review 1”, *Crop Science*, V.3, n° 5, (1963), Pp 407-412.
- 207. FELLAHI, Z., HANNACHI, A., BOUTALBI, W., RABTI, A., GUENDOZ, A., BOUZERZOUR, H.**, “Genetic insight into yield-associated traits of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) Crosses grown in semi-arid environment”, *numéro spécial 1*, (2016), Pp 179 - 188.

- 208. BHATERIA, S., SOOD, S. P., & PANTHANIA, A.**, “Genetic analysis of quantitative traits across environments in lin seed (*Linum usitatissimum* L.)”, *Euphytica*, n° 150, (2006), Pp 185-194.
- 209. SALMI, M.**, “Caractérisation morpho-physiologique et biochimique de quelques générations F₂ de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides”, mémoire de magister, université Sétif1, (2015), 84 p.
- 210. PEIGHAMBARI, S. A., SAMADI, B.Y., NABIPOUR, A., CHARMET, G., & SARRAFI, A.**, “QTL analysis for agronomic traits in a barley doubled haploids population grown in Iran”, *Plant science*, V. 169, n°6, (2005), Pp 1008-1013.
- 211. HANIFI-MEKLICHE, L., MEKLICHE, A., & MONNEVEUX, P.**, “Genotype x environment interaction and stability analysis on barley (*Hordeum vulgare* L.) Lines in Algeria”, *Acta Agronomica, Hungarica*, V. 59, n° 4, (2011), Pp 325-336.
- 212. MEHTA, B., SHARMA, S.K., & LUTHRA, O.P.**, “Studies on combining ability in wheat”, Haryana Agricultural University. *J. Res.* n° 28, (1998), Pp 2-3.
- 213. CROWLEY, O., WINKLER, L. R., HOWLETT, S. A., DÖRING, T. F., & WOLFE, M. S.**, “Is mass selection a tool to improve quality in winter wheat composite cross populations?”, In *International Symposium on Evolutionary Breeding in Cereals*, The Organic Research Centre, Hamstead Marshall, UK, (2013), p 13.
- 214. MURPHY, K., BALOW, K., LYON, S.R., & JONES, S.S.**, “Response to selection, combining ability and heritability of coleoptiles length in winter wheat”, *Euphytica*, V. 164, n° 3, (2008), Pp 709-718.
- 215. LAALA, Z., OULMI, A., SARAQUI, T., HADDAD, L., NOUAR, H., BENMAHAMMED, A., BOUZERZOUR, H.**, “ effet de la sélection de la biomasse et des épis sur le rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf) sous conditions semi-arides”, *Annales de la faculté des sciences et sciences de l'ingénieur*, université de Ouargla, n° 4, (2009), Pp 56-69.

ANNEXE A

LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS

J.C.	: Jésus Christ
FAO	: Food and Agriculture Organization
qx/ha	: Quintaux par hectare
M. tonnes	: Millions de tonnes
M. has	: Millions d'hectares
IR	: Indice de récolte
RG	: Rendement en grains
BIO	: Biomasse
ANOVA	: Analysis Of Variance
Etc	: etcétera
°C	: Degré Celsius
m ²	: Mètre carré
Cm	: Centimètre
Mm	: Millimètre
PMG	: Poids de mille grains
<i>H</i>	: <i>Hordeum</i>
AGC	: Aptitudes générale à la combinaison
ASC	: Aptitudes générale à la combinaison
H ²	: Héritabilité
HDs	: Haploïdes Doubées
NG	: Nombre de grains
RDT	: Rendement
Univ	: Université
T. max	: Températures maximales
T. Min	: Températures minimales
T. moy	: Températures moyennes

ANRH	:	Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
Ph	:	Potentiel Hydrogène
mmohs/cm	:	Millimhos par centimètre
M	:	Mètre
m ²	:	Mètre carré
G	:	grammes
Wr	:	Covariance
Vr	:	Variance
t	:	Valeur propre parentale
Ddl	:	Degré de liberté
SCE	:	Somme des Carrés des Ecart
CM	:	Carrés Moyens
P	:	parent
P	:	probabilité
plant/m ²	:	Plant par mètre carré
g/m linéaire	:	Gramme par mètre linéaire
R	:	Coefficient de corrélation
CV	:	Coefficient de variation
LE	:	Longueur de l'épi
NGE	:	Nombre de grains de l'épi
LP	:	Longueur de la paille
LCE	:	Longueur du col de l'épi
LE	:	Longueur de l'épi
LFE	:	Longueur de la feuille étendard
NT	:	Nombre de talles
NE	:	Nombre d'épi
NEPF	:	Nombre d'épillets fertiles
NEPS	:	Nombre d'épillets stériles

NGE : Nombre de grains de l'épi
PGE : Poids de grains de l'épi
RGE : Rendement en grains estimé
Li : Valeur propre
F₁ : Génération F₁
F₂ : Génération F₂
CVG : Coefficient de variation génétique
CVe : Coefficient de variation résiduelle

ANNEXE B

Tableau 1 : Liste des variétés d'orge inscrites au catalogue officiel (CNCC, 2015)

Variété	Origine	Pédigrée	Obtenteur	Précocité	Tolérance aux maladies
Bahria	Syrie	Espérance x Two (OWS) x (Atlas46 x Peonusa)	ACSAD	Précoce	Résistante
Hermione	France	NEVADA x 092015 - 538	Florimond Desprez	Tardive	Résistante, Sensible aux : - Oïdium sur feuille. - Helminthosporiose
Hispanic	France	FDO 8109-80-2 x MOSAR	Florimond Desprez	Moyenne	Résistante, Sensible aux : - Oïdium sur feuille. - Helminthosporiose
Marnie	Allemagne	Pas d'information	SAATZUCHT JOSEF BREUN GDBR	Tardive	Résistante, Sensible à l'Helminthosporiose
Vertige	France	Pas d'information	Serasem	Tardive	Résistante
Zibeline	France	Nikel x Loustic	Serasem	Moyenne	Résistante, Sensible à l'Helminthosporiose
Dingo	Italie	Ketos x Siberia	PRO-SE-ME	Tardive	Résistante, Sensible aux : - Oïdium sur feuille. - Oïdium sur épi.
Djebel	France	Pas d'information	Serasem	Très Tardive	Résistante
Djurdjura	France	12961xcarolaxNikelxSeychells	Serasem	Tardive	Résistante
El Bahia	Caractéristiques déjà citées dans le tableau 1.4 (chapitre matériel et méthodes)				
El Fouara	Caractéristiques déjà citées dans le tableau 1.4 (chapitre matériel et méthodes)				
Exito	France	Drina x Plaisant x SM 3521	Secobra Recherches	Très précoce	Résistante, Sensible à l'Helminthosporiose
Jaidor	France	(Rita x Baladia 16) x (33 x Emir) x (1038 x Robur)	INRA France	Tardive	Résistante
Majestic	France	Pas d'information	Serasem	Très Tardive	Résistante
Nailia	Syrie	CMB 72-189-3Y, IB -2Y-1B x1Y-0B cross 366/16/12	ACSAD	Précoce	Résistante
Nickel	France	Pas d'information	Serasem	Très Tardive	Résistante, Sensible à l'Helminthosporiose
Princess	France	Pas d'information	Serasem	Très Tardive	Résistante
Rihane 03	Caractéristiques déjà citées dans le tableau 1.4 (chapitre matériel et méthodes)				
Saida 183	Caractéristiques déjà citées dans le tableau 1.4 (chapitre matériel et méthodes)				
Siberia	France	Clarine x Energy/Monaco x 3626	Secobra Recherches	Tardive	Résistante, Sensible à l'Helminthosporiose
Tichedrett	Caractéristiques déjà citées dans le tableau 1.4 (chapitre matériel et méthodes)				

ANNEXE C

Tableau 1 : Analyse de la variance des géotypes testés durant la 1ère année.

CARACTERES	S.C.E			D.D.L			CARRÉS MOYENS			TEST F	Sig	C.V
	Var. génotype	Var. blocs	Var. Résiduelle	Var. génotype	Var. blocs	Var. Résiduelle	Var. génotype	Var. blocs	Var. Résiduelle			
PE	160	0	2,84	5	2	10	32,00	0	1,9	1,69	THS	4,44
LP	2476,17	228,43	527,25	5	2	10	495,23	76,15	35,15	14,09	THS	9,16
LCE	576,32	11,77	51,67	5	2	10	115,26	3,92	3,44	33,46	THS	8,35
LE	12,40	0,06	3,13	5	2	10	2,48	0,02	0,21	11,88	THS	8,44
LB	59,28	2,05	17,16	5	2	10	11,86	0,68	1,14	10,36	THS	8,64
LFE	25,00	0,46	3,24	5	2	10	5,00	0,23	0,32	15,45	THS	7,44
NP/M ²	8728,21	2087,46	3286,29	5	2	10	1745,64	695,82	219,09	7,97	THS	7,31
NT	6,40	0,08	5,01	5	2	10	1,28	0,03	0,33	3,83	S	10,73
NEP	4,50	0,06	1,12	5	2	10	0,90	0,02	0,07	12,07	THS	8,39
NEPF	148,11	3,57	30,25	5	2	10	29,62	1,18	2,02	14,69	THS	11,13
NEPS	39,60	4,03	13,29	5	2	10	7,92	1,34	0,89	8,94	THS	22,72
NGE	1332,95	32,15	272,21	5	2	10	266,59	10,72	18,15	14,69	THS	11,13
PGE	5,21	0,09	0,87	5	2	10	1,04	0,03	0,06	18,07	THS	9,35
PMG	624,00	29,33	186,67	5	2	10	124,80	9,78	12,44	10,03	THS	6,66
BIO	110339,70	319,46	5317,79	5	2	10	22067,94	106,49	354,52	62,25	THS	5,64
RG	1065,99	146,82	1275,76	5	2	10	213,20	48,94	85,05	2,51	NS	20,94
RGE	10985,21	406,46	2876,29	5	2	10	2197,04	135,49	191,75	11,46	THS	10,77
IR	0,21	0,01	0,01	5	2	10	0,04	0,00	9,91	42,62	THS	7,85

Tableau 2 : Analyse de la variance des géotypes testés durant la 2ème année.

CARACTERES	S.C.E			D.D.L			CARRÉS MOYENS			TEST F	Sig	C.V
	Var. géotype	Var. blocs	Var. Résiduelle	Var. géotype	Var. blocs	Var. Résiduelle	Var. géotype	Var. blocs	Var. Résiduelle			
PE	365.33	0,00	1.49	5,00	2,00	10,00	73.07	0,00	9.94	7.35	THS	1.04
LP	1322.8	65.61	303.68	5,00	2,00	10,00	264.569	21.8	20.245	13.06	THS	7.8
LCE	461.659	15.46	121.07	5,00	2,00	10,00	92.331	5.15	8.0718	11.438	THS	11.35
LE	12.819	0.628	7.9375	5,00	2,00	10,00	1.5639	0.29	0.5291	4.845	HS	11.85
LB	29.99	2.56	11.98	5,00	2,00	10,00	5.99	0.85	0.79	7.51	HS	6.63
LFE	32.59	0.03	0.3	5,00	2,00	10,00	6.52	0.01	0.03	21.9	THS	7.85
NP/M ²	13242.58	918.43	2970.43	5,00	2,00	10,00	2648.52	306.14	198.03	13.37	THS	6.34
NT	5.60833	0.565	5.225	5,00	2,00	10,00	1.1216	0.18	0.348	3.22	S	13.44
NEP	3.8633	0.04833	2.5066	5,00	2,00	10,00	0.7726	0.01	0.167	4.623	HS	11.88
NEPF	21.022	10.59	20.706	5,00	2,00	10,00	4.2044	3.53	1.3804	3.045	S	7.74
NEPS	4.06833	0.298	1.3916	5,00	2,00	10,00	0.81366	0.09	0.009277	8.77	THS	13.59
NGE	1517.16	49.4	292.49	5,00	2,00	10,00	303.432	16.4	19.499	15.56	THS	10.09
PGE	5.6599	0.85773	3.2324	3,00	2,00	10,00	1.1319	0.28	0.2154	5.25	HS	19.56
PMG	697.681	7.113	200.52	5,00	2,00	10,00	139.536	2.37	13.3685	10.43	THS	6.53
BIO	149042.225	413.8645	1942.3229	5,00	2,00	10,00	29808.5	137.9	129.4881	230.2025	THS	3.43
RG	826.375	5.25	26.375	5,00	2,00	10,00	165.275	1.75	1.75833	93.99	THS	3.34
RGE	21003.3	6.401	66.42	5,00	2,00	10,00	2400.66	2.13	4.428	948.6	THS	1.48
IR	0.1395	0.001	0.0034	5,00	2,00	10,00	0.0279	5.19	2.2722	122.79	THS	3.41

Tableau 3 : corrélations entre les paramètres étudiés durant la 1ère année.

		PE	NP	LP	LCE	LEP	LB	LFE	NT	NEP	NEPF	NEPS	NGE	PGE	PMG	BIO	RDT	RDTML	IR	
PE	Pearson Correlation	1																		
NP	Pearson Correlation	,891*	1																	
LP	Pearson Correlation	-,358	-,642	1																
LCE	Pearson Correlation	-,426	-,588	,734	1															
LEP	Pearson Correlation	-,454	-,421	,029	-,444	1														
LB	Pearson Correlation	,891*	,813*	-,211	-,109	-,760	1													
LFE	Pearson Correlation	,767	,623	,129	-,194	-,354	,804	1												
NT	Pearson Correlation	,648	,546	-,359	,074	-,811	,759	,273	1											
NEP	Pearson Correlation	,736	,707	-,691	-,699	-,130	,568	,379	,604	1										
NEPF	Pearson Correlation	,757	,561	,183	-,275	-,130	,655	,938**	,113	,328	1									
NEPS	Pearson Correlation	,525	,318	,357	,314	-,679	,783	,809	,498	,184	,621	1								
NGE	Pearson Correlation	,673	,495	,301	,040	-,469	,793	,972**	,292	,218	,883*	,901*	1							
PGE	Pearson Correlation	,208	-,061	,767	,677	-,516	,411	,536	,147	-,399	,516	,728	,701	1						
PMG	Pearson Correlation	,122	-,059	,630	,121	,223	,004	,449	-,474	-,421	,656	,181	,476	,628	1					
BIO	Pearson Correlation	,585	,221	,144	,206	-,436	,491	,290	,665	,339	,376	,386	,325	,453	,145	1				
RDT	Pearson Correlation	,505	,742	-,383	-,193	-,604	,720	,566	,373	,275	,335	,501	,546	,124	-,131	-,216	1			
RDTML	Pearson Correlation	,696	,374	,353	,032	-,245	,573	,729	,251	,171	,864*	,546	,733	,689	,705	,727	,037	1		
IR	Pearson Correlation	-,173	-,162	-,280	-,600	,867*	-,594	-,410	-,477	,165	-,137	-,788	-,571	-,649	,071	-,107	-,628	-,124	1	
* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).																				
** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).																				

Tableau 4 : corrélations entre les paramètres étudiés durant la 2ème année.

		PE	NP	LP	LCE	LEP	LB	LFE	NEP	NEPF	NEPS	NGE	PGE	PMG	BIO	RDT	RDTML	IR	
PE	Pearson Corrélation	1																	
NP	Pearson Corrélation	,480	1																
LP	Pearson Corrélation	-,028	-,642	1															
LCE	Pearson Corrélation	-,100	-,588	,734	1														
LEP	Pearson Corrélation	-,319	-,421	,029	-,444	1													
LB	Pearson Corrélation	,577	,813*	-,211	-,109	-,760	1												
LFE	Pearson Corrélation	,453	,623	,129	-,194	-,354	,804	1											
NEP	Pearson Corrélation	,465	,707	-,691	-,699	-,130	,568	,379	1										
NEPF	Pearson Corrélation	,549	,501	,187	-,309	-,070	,626	,935**	,412	1									
NEPS	Pearson Corrélation	,318	,318	,357	,314	-,679	,783	,809	,184	,650	1								
NGE	Pearson Corrélation	,418	,495	,301	,040	-,469	,793	,972**	,218	,873*	,901*	1							
PGE	Pearson Corrélation	,363	-,061	,767	,677	-,516	,411	,536	-,399	,449	,728	,701	1						
PMG	Pearson Corrélation	,298	-,059	,630	,121	,223	,004	,449	-,421	,566	,181	,476	,628	1					
BIO	Pearson Corrélation	,924**	,221	,144	,206	-,436	,491	,290	,339	,365	,386	,325	,453	,145	1				
RDT	Pearson Corrélation	-,068	,742	-,383	-,193	-,604	,720	,566	,275	,272	,501	,546	,124	-,131	-,216	1			
RDTML	Pearson Corrélation	,842*	,374	,353	,032	-,245	,573	,729	,171	,808	,546	,733	,689	,705	,727	,037	1		
IR	Pearson Corrélation	,044	-,162	-,280	-,600	,867*	-,594	-,410	,165	-,104	-,788	-,571	-,649	,071	-,107	-,628	-,124	1	
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).																			
*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).																			

Tableau 5 : corrélations entre les paramètres étudiés au niveau des hybrides F₁.

Hybrides F1		PE	LP	LCE	LE1	LB	LFE	NT	NE	NEPF	NEPS	NGE	PGE	PMG	RG	RGE	BIO	IR	
PE	Pearson Correlation	1																	
LP	Pearson Correlation	-,267	1																
LCE	Pearson Correlation	-,344	,850**	1															
LE	Pearson Correlation	,031	,418*	,257	1														
LB	Pearson Correlation	,261	-,067	,135	-,076	1													
LFE	Pearson Correlation	,354	,239	,175	,228	-,025	1												
NT	Pearson Correlation	-,070	,602**	,577**	,444*	,219	,240	1											
NE1	Pearson Correlation	,084	,497**	,486**	,452*	,152	,391*	,838**	1										
NEPF	Pearson Correlation	,232	,287	,226	,054	,274	,476**	,369*	,319	1									
NEPS	Pearson Correlation	,156	-,399*	-,330	-,115	-,136	,205	-,146	-,016	-,111	1								
NGE	Pearson Correlation	,258	,173	,159	-,241	,410*	,416*	,260	,171	,901**	-,069	1							
PGE	Pearson Correlation	,170	,288	,176	,184	-,034	,347	,377*	,409*	,688**	,026	,543**	1						
PMG	Pearson Correlation	-,101	,045	-,091	,124	,146	-,221	-,169	-,396*	-,018	-,595**	,036	-,057	1					
RG	Pearson Correlation	,116	,411*	,412*	,085	,030	,288	,449*	,399*	,603**	,050	,461*	,409*	-,318	1				
RGE	Pearson Correlation	,216	,379*	,312	,310	,108	,468**	,653**	,735**	,650**	-,007	,511**	,882**	-,160	,444*	1			
BIO	Pearson Correlation	-,113	,250	,269	,092	,242	,331	,452*	,328	,542**	-,363*	,529**	,514**	,243	,090	,522**	1		
IR	Pearson Correlation	,426*	,259	,160	,419*	-,011	,306	,437*	,587**	,299	,099	,134	,603**	-,207	,404*	,691**	,103	1	
*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).																			
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).																			

Tableau 6 : corrélations entre les paramètres au niveau des hybrides F₂.

Hybrides F2		PE	LP	LCE	LE	LB	LFE	NT	NE	NEPF	NEPS	NGE	PGE	PMG	RG	RGE	BIO	IR	
PE	Pearson Correlation	1																	
LP	Pearson Correlation	-,235	1																
LCE	Pearson Correlation	-,196	,866**	1															
LE	Pearson Correlation	-,047	,375*	,256	1														
LB	Pearson Correlation	,353	-,154	,056	-,531**	1													
LFE	Pearson Correlation	,372*	,299	,432*	,175	,305	1												
NT	Pearson Correlation	,048	,105	,175	,343	-,156	,319	1											
NE	Pearson Correlation	,052	,023	,133	,337	-,208	,032	,562**	1										
NEPF	Pearson Correlation	,294	,179	,365*	-,025	,348	,237	,053	,181	1									
NEPS	Pearson Correlation	,206	,049	,202	-,265	,499**	,229	,035	-,101	,097	1								
NGE	Pearson Correlation	,242	,189	,345	-,367*	,536**	,226	-,143	-,146	,868**	,179	1							
PGE	Pearson Correlation	,285	,296	,374*	-,252	,471**	,306	-,099	-,062	,792**	,235	,902**	1						
PMG	Pearson Correlation	-,063	,192	,079	-,418*	,337	,114	,089	-,034	-,031	-,082	,225	,216	1					
RG	Pearson Correlation	-,089	,281	,408*	,106	,049	,333	-,063	-,092	,238	,267	,232	,152	-,233	1				
RGE	Pearson Correlation	,218	,306	,373*	,322	,137	,398*	,016	-,040	,218	,083	,193	,284	-,128	,444*	1			
BIO	Pearson Correlation	-,059	,371*	,421*	,065	,342	,256	,186	,129	,307	,016	,409*	,390*	,388*	,090	,522**	1		
IR	Pearson Correlation	,422*	,195	,180	,544**	-,007	,271	-,002	,012	,139	,138	-,034	,038	-,457*	,404*	,691**	,103	1	
*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).																			
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).																			

Tableau 7 : corrélations entre les valeurs des hybrides F₁ et leurs parents moyens.

		Hybrides F1														
		NT	NE	LP	LE	LCE	LFE	NEPF	NEPS	NGE	PMG	PGE	RG	RGE	BIO	IR
NT	Pearson Correlation	,048														
NE	Pearson Correlation		,264													
LP	Pearson Correlation			,445*												
LE	Pearson Correlation				,726**											
LCE	Pearson Correlation					452*										
LFE	Pearson Correlation						,330									
NEPF	Pearson Correlation							,289								
NEPS	Pearson Correlation								,033							
NGE	Pearson Correlation									,666**						
PMG	Pearson Correlation										-,169					
PGE	Pearson Correlation											,388*				
RG	Pearson Correlation												,064			
RGE	Pearson Correlation													,360		
BIO	Pearson Correlation														,422*	
IR	Pearson Correlation															,019
*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).																
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).																

Tableau 8 : corrélations entre les valeurs des hybrides F₂ et leurs parents moyens.

		Hybrides F2														
		NT	NE	LP	LE	LCE	LFE	NEPF	NEPS	NGE	PMG	PGE	RG	RGE	BIO	IR
NT	Pearson Correlation	-,031														
NE	Pearson Correlation		,219													
LP	Pearson Correlation			,548**												
LE	Pearson Correlation				,648**											
LCE	Pearson Correlation					,392*										
LFE	Pearson Correlation						315									
NEPF	Pearson Correlation							,298								
NEPS	Pearson Correlation								,248							
NGE	Pearson Correlation									,679**						
PMG	Pearson Correlation										-,085					
PGE	Pearson Correlation											629**				
RG	Pearson Correlation												,378*			
RGE	Pearson Correlation													,253		
BIO	Pearson Correlation														,183	
IR	Pearson Correlation															-,276
*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).																
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).																

Tableau 9 : Corrélations entre moyennes AGC (F_1 et réciproques) et valeurs des ASC des caractères.

Variétés		T/SA	T/B	T/F	T/SO	T/R	SA/B	SA/F	SA/SO	SA/R	B/F	B/SO	B/R	F/SO	F/R	R/SO	R
LP	M AGC	0,62	0,65	0,09	0,89	0,30	-0,01	-0,57	0,23	-0,36	-0,53	0,27	-0,32	-0,30	-0,88	-0,09	-0,001ns
	ASC	5,89	3,32	-8,79	-5,19	4,78	1,89	-0,84	0,81	-7,75	5,13	-7,03	-3,31	4,81	-0,31	6,60	
LCE	M AGC	0,28	0,25	0,25	0,47	0,33	-0,26	-0,26	-0,04	-0,18	-0,29	-0,07	-0,21	-0,07	-0,07	0,01	-0,013ns
	ASC	2,89	1,29	-2,85	-3,70	2,37	0,98	1,07	0,19	-5,13	0,29	-2,44	-0,12	2,28	-0,79	3,67	
LE	M AGC	0,02	0,00	-0,02	0,07	-0,09	0,03	0,01	0,10	-0,06	-0,01	0,08	-0,08	0,06	-0,10	-0,01	0,002ns
	ASC	0,53	-0,39	-0,32	-0,30	0,48	0,59	0,03	-0,09	-1,06	-0,41	-0,01	0,23	0,38	0,32	0,03	
LFE	M AGC	0,05	0,07	0,10	0,03	-0,05	0,03	0,05	-0,02	-0,10	0,07	0,00	-0,08	0,03	-0,05	-0,12	-0,007ns
	ASC	-0,21	-0,31	-0,08	0,44	0,16	-0,33	1,20	-0,02	-0,63	-0,24	-0,49	1,37	0,04	-0,92	0,03	
NT	M AGC	3,85	3,88	3,55	4,18	3,92	3,66	4,58	3,83	3,54	4,37	4,00	3,97	4,34	3,57	4,12	0,37ns
	ASC	0,68	-0,19	-0,71	-0,11	0,34	0,19	-0,08	0,06	-0,85	0,27	-0,52	0,25	0,41	0,11	0,16	
NE	M AGC	0,02	0,05	0,04	0,05	-0,01	0,00	-0,01	-0,01	-0,07	0,02	0,03	-0,03	0,01	-0,05	-0,04	0,002ns
	ASC	0,13	0,17	-0,57	-0,09	0,36	-0,35	0,19	0,57	-0,55	0,06	-0,24	0,36	0,12	0,20	-0,37	
NEP F	M AGC	0,19	0,25	0,19	-0,03	0,10	0,09	0,03	-0,19	-0,06	0,09	-0,12	0,00	-0,19	-0,06	-0,28	0,005ns
	ASC	1,49	-0,94	-0,76	-0,09	0,29	0,44	0,52	-1,59	-0,86	-1,26	1,31	0,46	0,89	0,62	-0,51	
NEP S	M AGC	-0,02	0,00	0,02	-0,03	-0,02	0,00	0,02	-0,02	-0,01	0,04	-0,01	0,00	0,02	0,03	-0,02	0,022ns
	ASC	0,00	0,17	-0,10	-0,01	-0,06	-0,14	-0,03	0,15	0,03	0,09	0,32	-0,45	-0,45	0,48	-0,01	
NGE	M AGC	0,77	0,92	0,87	-0,54	0,43	0,46	0,41	-1,00	-0,03	0,56	-0,84	0,13	-0,89	0,08	-1,33	0,003ns
	ASC	3,77	-3,43	-2,45	2,18	-0,08	2,73	0,89	-4,41	-2,97	-2,88	0,95	2,63	2,65	1,79	-1,38	
PGE	M AGC	0,03	0,07	0,01	0,02	0,01	0,03	-0,03	-0,02	-0,03	0,01	0,02	0,01	-0,04	-0,05	-0,04	-0,003ns
	ASC	0,20	0,08	-0,22	-0,12	0,05	-0,09	0,20	-0,18	-0,12	-0,22	0,53	-0,29	-0,17	0,42	-0,06	
PMG	M AGC	0,44	-0,11	-0,21	0,02	-0,05	0,29	0,19	0,41	0,34	-0,36	-0,14	-0,21	-0,23	-0,30	-0,08	0,001ns
	ASC	1,13	-0,75	1,88	1,51	-3,77	2,89	-3,29	-3,08	2,35	-1,61	-3,02	2,49	4,34	-1,32	0,26	
BIO	M AGC	2,60	4,82	2,68	0,78	0,99	1,49	-0,66	-2,56	-2,34	1,57	-0,34	-0,12	-2,48	-2,26	-4,16	0,00ns
	ASC	-3,08	6,51	-9,03	3,17	2,43	17,14	35,97	-41,21	-8,82	-30,69	-22,86	29,90	44,09	-40,33	16,81	
RG	M AGC	-0,64	0,36	0,67	0,38	0,21	-0,77	-0,46	-0,75	-0,92	0,54	0,25	0,09	0,56	0,39	0,10	0,001ns
	ASC	30,32	-4,12	-9,78	-16,21	-0,21	6,66	-15,12	-8,68	-13,18	-1,56	6,51	-7,49	11,98	14,48	6,41	
RGE	M AGC	2,91	5,22	1,94	1,93	-0,14	2,20	-1,08	-1,09	-3,16	1,23	1,22	-0,85	-2,06	-4,13	-4,14	0,001ns
	ASC	12,93	-5,44	-28,37	-1,44	22,32	-13,85	22,70	3,94	-25,73	-6,08	29,11	-3,74	-13,52	25,26	-18,10	
IR	M AGC	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	-0,01	0,00	-0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	-0,01	-0,01	0,033ns
	ASC	0,06	-0,07	-0,05	0,00	0,06	-0,10	-0,02	0,15	-0,09	0,04	0,17	-0,04	-0,17	0,22	-0,15	

Tableau 10 : Corrélations entre les valeurs AGCF₁ et AGCF₂

Variétés		T	SA	B	F	SO	R	r
LP	AGC F1	1,276	-0,046	0,033	-1,093	0,501	-0,671	0,86*
	AGC F2	1,067	0,103	0,441	-1,291	-0,138	-0,181	
LCE	AGC F1	0,789	-0,227	-0,285	-0,294	0,150	-0,133	0,92 **
	AGC F2	0,479	-0,102	0,010	-0,224	-0,029	-0,135	
LE	AGC F1	-0,01	0,05	0,01	-0,03	0,16	-0,17	0,76 *
	AGC F2	-0,01	-0,07	0,12	-0,12	0,21	-0,12	
LFE	AGC F1	0,097	0,004	0,046	0,095	-0,040	-0,203	0,81*
	AGC F2	0,267	-0,414	0,616	0,603	-0,434	-0,638	
NT	AGC F1	0,057	-0,010	0,020	-0,020	0,010	-0,060	0,70NS
	AGC F2	0,003	0,008	0,034	-0,013	0,002	-0,034	
NE	AGC F1	0,073	-0,030	0,035	0,004	0,019	-0,101	0,26NS
	AGC F2	-0,014	-0,021	-0,001	-0,008	0,060	-0,016	
NEPF	AGC F1	0,345	0,028	0,160	0,028	-0,407	-0,155	0,90 **
	AGC F2	0,171	-0,077	0,128	0,030	-0,278	0,026	
NEPS	AGC F1	-0,021	-0,016	0,016	0,061	-0,030	-0,011	0,47NS
	AGC F2	0,028	0,040	-0,004	0,041	-0,067	-0,038	
NGE	AGC F1	1,224	0,310	0,617	0,512	-2,301	-0,362	0,93**
	AGC F2	0,945	-0,112	0,550	0,311	-2,184	0,490	
PGE	AGC F1	0,071	-0,008	0,073	-0,049	-0,039	-0,048	0,63NS
	AGC F2	0,033	0,020	0,053	-0,009	-0,106	0,008	
PMG	AGC F1	0,044	0,837	-0,263	-0,455	-0,011	-0,151	0,11NS
	AGC F2	0,214	0,103	0,006	0,502	-0,626	-0,199	
BIO	AGC F1	5,931	-0,735	3,707	-0,576	-4,381	-3,946	0,28NS
	AGC F2	1,045	2,347	-2,252	5,675	-3,200	-3,616	
RG	AGC F1	0,49	-1,77	0,24	0,85	0,27	-0,07	0,18NS
	AGC F2	2,75	-1,31	1,84	-2,39	-1,34	0,45	
RGE	AGC F1	5,930	-0,108	4,513	-2,056	-2,069	-6,210	0,65NS
	AGC F2	1,314	0,220	3,212	0,783	-4,233	-1,296	
IR	AGC F1	-0,112	0,018	-0,032	0,028	0,148	-0,052	0,63NS
	AGC F2	0,001	-0,002	0,013	-0,010	-0,008	0,007	

Tableau 11 : Valeurs de l'hétérosis / parent moyen des caractères mesurés chez les hybrides F₁.

Hybrides	LP	LCE	LE	LFE	NT	NE	NEPF	NEPS	NGE	PGE	PMG	BIO	RG	RGE	IR
TXSA	10,89	3,01	27,67	-11,86	-15,95	-5,75	44,11	-31,03	43,35	8,21	5,09	-25,47	21,96	-6,23	26,42
TXB	1,40	3,94	-7,57	0,67	-7,69	-10,58	-9,32	-6,97	-9,75	-1,92	-14,28	-26,58	-39,96	-11,63	20,42
TXF	3,66	7,71	3,87	0,70	-30,63	-30,86	7,79	-17,95	8,15	-11,50	-5,36	-31,13	13,92	-35,69	-7,07
TXSO	10,34	7,83	-16,54	13,00	-13,62	-16,05	6,99	-18,45	26,46	-12,13	-9,71	-21,67	9,62	-26,00	-9,92
TXR	8,39	15,12	15,32	1,90	-10,22	-6,85	-1,85	-43,71	-2,67	-22,64	-6,67	-31,44	6,52	-22,42	13,73
SAXB	6,30	-8,87	14,71	6,59	-11,62	-8,55	-0,41	-27,79	1,17	-31,19	12,33	-39,70	-29,89	-47,82	-12,29
SAXF	-2,88	-1,70	14,33	6,53	3,92	20,30	4,93	7,14	3,88	-3,63	-7,98	-20,00	-58,25	2,72	28,16
SAXSO	-3,67	-4,04	3,70	10,92	2,54	6,97	-34,98	27,76	-49,15	-16,79	6,80	-32,77	-70,77	-23,50	10,14
SAXR	-23,19	-37,34	-3,07	-32,84	-32,12	-46,37	-22,88	-2,50	-23,85	-42,13	25,96	-40,00	-93,99	-71,37	-50,94
BXF	23,83	-2,13	-9,55	15,78	-22,58	-2,54	-2,23	2,44	-2,09	-32,33	-20,65	-40,14	-19,00	-34,81	7,14
BXSO	12,76	6,83	10,11	23,76	-22,40	-20,94	11,63	17,00	-15,06	38,09	-9,81	-34,48	16,89	4,14	48,21
BXR	-2,78	2,34	6,18	-25,44	-5,90	-9,83	-18,71	-35,23	-19,01	-55,71	7,91	-14,94	-44,59	-60,30	30,80
FXSO	17,04	19,25	4,30	4,99	-40,67	-37,12	-4,05	-15,00	-3,17	-20,11	22,51	3,97	-53,62	-52,35	-56,40
FXR	-6,22	-1,23	4,87	10,57	-15,95	-18,00	7,29	19,58	7,56	-10,04	-3,80	-48,72	132,41	-21,21	53,54
SOXR	15,50	35,61	-1,80	-11,72	-45,39	-31,80	-31,39	16,50	-46,96	-56,41	4,44	-23,23	42,64	-73,74	-66,01
SAXT	6,88	-0,31	22,77	-5,23	-31,30	-15,09	-9,93	-17,24	-10,39	-30,24	5,67	-50,31	-9,53	-44,94	11,32
BXT	33,14	9,66	19,22	23,80	-7,69	8,64	16,65	-29,39	14,66	-18,44	-12,90	-28,27	-4,10	-10,78	24,57
FXT	-27,96	-27,76	-0,42	25,16	-25,00	-11,11	6,38	8,43	6,41	-21,61	-14,43	-42,60	-24,27	-47,17	-3,03
SOXT	-11,08	-14,65	17,73	5,47	-14,89	-16,05	-4,39	1,41	-25,03	-3,94	3,30	-38,33	-23,70	-22,76	14,45
RXT	1,51	3,24	11,79	5,44	-19,64	-32,33	-3,63	-3,26	-4,81	-19,50	-9,87	-34,75	-15,58	-40,32	-7,84
BXSA	6,37	-1,81	19,77	-5,16	-20,81	4,82	-6,54	-18,72	-6,53	-18,42	10,50	-30,36	-71,96	-27,66	4,98
FXSA	-16,19	-12,90	5,90	3,46	-35,92	-56,55	-12,09	2,86	-12,71	-55,18	7,36	-46,67	-78,35	-81,67	-65,05
SOXSA	15,51	18,39	13,65	-2,93	-16,39	-3,03	-23,67	8,62	-35,18	-52,99	5,33	-66,39	-67,91	-60,78	13,42
RXSA	-21,01	-18,64	-23,40	-9,88	-32,12	-44,02	-23,73	-10,53	-29,62	-48,17	22,12	-54,29	-44,44	-72,79	-39,62
FXB	15,18	1,25	0,78	-3,44	-16,05	-2,54	-20,82	5,00	-15,35	-21,77	-11,24	-45,58	-16,00	-24,86	37,14
SOXB	4,38	17,32	2,25	1,47	-13,22	2,19	-10,66	11,43	-27,05	1,76	-13,34	-31,03	-18,01	-1,02	33,93
RXB	-6,43	-3,28	0,00	-11,33	-5,90	8,55	-2,39	-25,00	-2,02	-24,29	-0,53	-38,69	-32,43	-18,87	-53,63
SOXF	23,60	37,60	15,45	11,24	-11,11	4,80	-5,55	66,67	-25,74	-47,09	-25,27	-25,38	117,39	-49,69	-36,05
RXF	-14,86	-6,91	0,83	-20,17	-31,30	-42,86	-32,15	38,89	-32,94	-50,48	-0,22	-54,82	-75,17	-70,11	-34,01
RXSO	9,27	32,21	-1,48	-13,95	-25,00	-47,32	-27,96	6,50	-43,95	-21,88	5,08	-15,83	-50,59	-59,70	-47,31

Tableau 12 : Valeurs de l'hétérosis / parent moyen des caractères mesurés chez les hybrides F₂.

Hybrides	LP	LCE	LE	LFE	NT	NE	NEPF	NEPS	NGE	PGE	PMG	BIO	RG	RGE	IR
TXSA	-4,22	-15,76	3,50	-11,86	-12,03	-16,16	-18,24	-2,33	-22,24	-35,00	2,93	-20,91	-14,16	-52,64	-39,62
TXB	6,92	-3,16	19,39	0,67	-15,51	-4,95	-6,17	-3,20	-6,26	-7,66	-5,26	-21,52	-5,40	-16,30	5,88
TXF	-9,82	-14,86	-8,10	0,70	-30,00	-18,18	-7,74	1,12	-7,60	-25,94	-14,41	-18,76	-8,10	-27,47	-33,33
TXSO	10,34	7,83	-16,39	13,00	-20,72	-11,39	10,42	-21,11	25,27	-4,04	-6,98	-23,11	9,62	-31,34	-15,01
TXR	14,48	6,44	32,61	1,90	-14,89	-5,07	35,62	-30,56	34,30	19,08	-7,33	-0,71	133,42	19,37	19,61
SAXB	13,34	8,25	9,97	6,59	2,62	-11,33	-13,91	-3,45	-14,41	-21,02	8,86	-41,40	41,87	-23,65	31,56
SAXF	0,16	4,03	17,08	6,53	15,54	-4,31	2,24	-13,80	-3,52	-0,26	7,78	-20,00	-27,83	-14,19	18,45
SAXSO	2,07	1,94	15,24	10,92	9,59	-5,97	-16,28	-12,54	-28,88	-20,03	-5,13	14,29	22,07	-22,01	-34,25
SAXR	-23,37	-38,56	-2,89	-32,84	9,02	-29,91	-22,42	-24,05	-24,50	-38,63	22,07	-33,43	-89,32	-66,10	-45,28
BXF	30,62	16,22	14,10	15,78	22,66	-4,29	-20,35	-34,77	-19,34	-22,83	19,88	-40,14	-12,00	-24,39	26,43
BXSO	-4,39	-0,11	27,95	23,76	-2,13	-0,47	-6,29	-15,38	-25,96	-29,03	-27,05	-25,29	56,23	-40,97	-25,00
BXR	7,72	5,63	35,27	-12,49	11,39	30,59	9,48	-16,28	8,89	-9,20	-3,20	-9,49	-8,55	27,31	39,10
FXSO	17,04	18,15	4,30	4,99	-12,96	-10,00	-2,76	-34,43	-1,20	-22,77	23,89	10,09	-43,97	-46,13	-52,91
FXR	-6,22	-5,28	4,68	10,57	-19,30	-16,67	7,56	15,38	6,90	-1,27	-6,83	-41,54	127,59	-37,34	7,07
SOXR	4,66	10,10	12,78	-11,72	10,55	4,59	-7,52	-34,43	-15,38	-30,08	4,34	-19,19	14,74	-19,05	-1,42
SAXT	6,89	-5,41	9,52	-5,23	-14,29	-10,92	7,62	-2,22	6,54	-20,24	5,67	-46,17	-1,44	-29,99	30,19
BXT	25,77	9,66	40,64	23,80	-13,24	-3,96	13,44	-21,65	14,61	0,60	-5,99	-24,05	-4,10	-6,47	22,49
FXT	-24,88	-29,11	-0,48	25,16	-28,00	-22,08	7,06	-66,29	5,39	-16,32	-12,39	-40,40	-22,33	-49,73	-19,19
SOXT	-3,66	-6,33	19,72	5,47	1,81	8,02	2,86	-8,64	-18,28	-50,31	-13,86	-38,44	22,22	-46,67	-17,85
RXT	3,42	-3,22	50,49	5,44	-18,44	-13,62	20,09	-30,34	22,08	4,99	-15,45	-31,44	44,48	-6,31	37,25
BXSA	9,35	1,38	8,93	-5,16	2,80	-19,21	3,48	-24,14	2,87	-15,03	5,40	-27,39	-3,81	-29,05	-2,33
FXSA	-15,90	-14,02	-28,60	3,46	11,57	13,79	24,66	36,71	17,58	19,95	16,56	15,91	-18,40	39,23	21,04
SOXSA	1,96	-7,77	23,37	-2,93	0,46	-18,49	-15,76	-9,86	-47,47	-43,23	-21,63	-39,50	-17,92	-52,56	-23,84
RXSA	-5,02	-12,00	-16,44	-9,88	-19,64	-28,04	-21,57	-16,46	-22,11	-38,63	22,95	-44,29	-26,07	-66,28	-16,98
FXB	-9,36	3,22	-4,94	-3,44	-11,29	-7,32	1,77	6,98	1,98	-6,30	-14,89	-40,14	7,00	-14,40	41,43
SOXB	-3,23	11,88	32,96	1,47	15,56	14,69	11,17	-48,72	-15,71	-43,40	-11,56	-32,76	32,96	-32,02	-2,20
RXB	-12,39	-6,39	0,00	-16,25	-4,35	17,65	-2,15	-53,49	-2,05	-14,04	-2,79	-30,51	-30,18	-15,94	20,42
SOXF	23,60	37,29	15,40	23,22	18,58	-7,50	-4,52	32,86	-27,87	-40,46	-23,30	50,46	27,54	-12,01	-44,19
RXF	-14,72	-9,89	-2,63	-20,17	-14,73	-25,93	-31,26	15,38	-33,18	-43,50	-8,07	-12,21	-68,97	-51,45	-44,78
RXSO	10,90	10,41	-0,69	-13,95	-0,43	14,32	-17,30	-34,43	-25,78	-19,21	14,08	-3,71	56,98	-0,35	10,48

BEHAVIOUR STUDY OF AUTOCHTONE AND INTRODUCED GENOTYPES OF BARLEY (*HORDEUM VULGARE* L.) UNDER SUB-HUMID CONDITIONS OF NORTH ALGERIA. STUDY OF F₁ AND F₂ GENERATIONS OBTAINED BY DIALLEL CROSSING

SEDIRA Houria^{1*}, BOUSALHIH Brahim² and AISSAT Abdelkader¹

1. Blida University 1- Faculty of Nature and Life Sciences - Department of Biotechnology - Biotechnology Laboratory of Aromatic and Medicinal Plants, road of Soumâa, Blida, Algeria.

2. Djilali Bounaama University of Khemis Miliana - Research Laboratory Water, Rock and Plants, road of Theniet El Had, Soufay 44225 Khemis Miliana, Algeria.

Reçu le 26/05/2019, Révisé le 26/06/2019, Accepté le 28/06/2019

Abstract

Description of the subject: A complete cross diallel 6 x 6, without diagonal, including 06 varieties of barley (*Hordeum vulgare* L.) of various originesins was carried out at the Experimental Station of the Department of Biotechnology (Blida University 1). The F₁ and F₂ generations and their parents were used to investigate (made) the subject of a comparative study of the characters that make up the grain yield.

Objective: Characterization of the parents and their hybrids F₁ and F₂. The diallel analysis allows us to quantify the importance of the heterosis, and explore the possibility of transmission of quantitative traits in the F₁ and F₂ generations.

Methods: Genetic analysis is carried out according to method 3, model I (fixed model) of Griffing (1956), and the Hayman method (1954).

Results: The results of the comparative study between the genotypes show that the difference is purely genotypic for characters: number of spikes per plant, thousand grain weight and grain yield. The hybridization released between the varieties, as the conventional form n (n-1) is given by obtaining 30 crosses. The passage to the generation F₁ to the F₂ had shown an increase of the heterosis effect that means a good specific combining ability.

Conclusion: The different genetic analysis released (Griffing, Hayman) shows that the characters: number of spikes per plant, number of grains per spike (those) are the most additives ones. The Hayman analysis has also shown the possibilities of characters transgression from the parental forms in both (of) generations F₁ and F₂.

Key words: Heterosis; general and specific combining ability; additivity.

ÉTUDE DE COMPORTEMENT DE VARIÉTÉS D'ORGE (*HORDEUM VULGARE* L.) LOCALES ET INTRODUITES SOUS CONDITIONS SUB-HUMIDES DU NORD ALGÉRIEN. ÉTUDE DES GÉNÉRATIONS F₁ ET F₂ ISSUES DU CROISEMENT DIALLELE

Résumé

Description du sujet : Un croisement diallele 6 x 6 complet, sans diagonale, comprenant 06 variétés d'orge (*Hordeum vulgare* L.) d'origines diverses a été effectué à la Station Expérimentale du Département de Biotechnologies (Université de Blida1). Les générations F₁ et F₂ et leurs parents respectifs ont fait l'objet d'une étude comparative des caractères qui composent le rendement en grains.

Objectifs : Caractérisation des parents et leurs hybrides F₁ et F₂. L'analyse diallele nous permet de chiffrer l'importance de l'hétérosis, et d'explorer la possibilité de transmission des caractères quantitatifs dans les générations F₁ et F₂.

Méthodes : L'analyse génétique est réalisée selon la méthode 3, modèle I (modèle fixe) de Griffing (1956) et la méthode de Hayman (1954).

Résultats : Les résultats de l'étude comparative entre les génotypes, montre que la différence est purement génotypique pour les caractères : nombre d'épis par plant, poids de mille grains et le rendement en grains. L'hybridation réalisée entre les variétés, selon la formule conventionnelle n (n - 1) s'est soldée par l'obtention de 30 croisements. Le passage de la génération F₁ à celle de la F₂, a montré une augmentation de l'effet hétérosis ce qui indique une bonne aptitude spécifique à la combinaison.

Conclusion : Les différentes analyses génétiques réalisées (Griffing, Hayman) montrent que les caractères : nombre d'épis par plants, et nombre de grains de l'épi sont les plus additifs. L'analyse de Hayman a montré aussi des possibilités de transgression des caractères à partir des formules parentales chez les deux générations F₁ et F₂.

Mots clés : Hétérosis ; aptitudes générale et spécifique à la combinaison ; héritabilité ; additivité.

* Corresponding author: SEDIRA Houria, E-mail:hsedira@yahoo.fr.

INTRODUCTION

In Algeria, barley (*Hordeum vulgare* L.) is ranked as the second cereal after durum wheat where it is mainly used for livestock feed. It is used in its various forms: grain, straw and even thatch [1, 2, and 3]. The yield of this specie is generally low and irregular, due to the effects of climatic constraints and applied technical cultivation which remains poorly performing [4, 5]. Yield growth has only become noticeable and regular since the beginning of the second half of the 20th Century [6]. Genetic progress accounts for between 33% and 66% of this improvement [6, 7]. The increase in yield can be done by appropriate cultivation techniques (tillage, fertilization and phytosanitary treatments), but also by searching for high performance genotypes adapted to the different environments [8]. Therefore, the importance of a barley breeding program based on the creation and research of genotypes, integrating the best agronomic characters of local (tolerance to deficit water) and introduced varieties (high productivity and resistance to diseases) are required. Many studies have been done to improve yield,

which is polygenic trait and depends on environmental conditions [9, 10]. To this end, our work consists in studying the behavior of 6 barley genotypes in the sub-humid zone (Algeria), and for which a 6 x 6 diallel crossing complete without diagonal has been realized, then a genetic analysis (General Combining Ability, Specific Combining Ability, General and Specific reciprocal effects combining, Transgression, Heterosis, Additivity is performed in F₁ and F₂ progenies based on yield components and grain yield. Diallel cross plan has been adopted to accommodate the maximum genetic information about parents and their progenies.

MATERIAL AND METHODS

1. Conducting the experiment

The study is based on 6 parental barley lines and F₁ and F₂ hybrids from the 6x6 diallel cross without selfing (Table 1). The parents are: Bahia, Fouara, and Soufara, Rihane and the two local varieties were Saïda and Tichedrett. The parental lines were chosen to ensure high genetic variability.

Table1: Crosses made between parents

	♂	Tichedrett	Saïda	Bahia	Fouara	Soufara	Rihane
♀							
Tichedrett		-	T/SA	T/B	T/F	T/SO	T/R
Saïda		SA/T	-	SA/B	SA/F	SA/SO	SA/R
Bahia		B/T	B/SA	-	B/F	B/SO	B/R
Fouara		F/T	F/SA	F/B	-	F/SO	F/R
Soufara		SO/T	SO/SA	SO/B	SO/F	-	SO/R
Rihane		R/T	R/SA	R/B	R/F	R/SO	-

T : Tichedrett, SA : Saïda, B: Bahia, F: Fouara, SO: Soufara, R: Rihane.

The experiment was carried out in the field, during the campaigns 2012 / 2013, 2013 / 2014 and 2014/2015, at the experimental station of the Department of Biotechnology (University of Blida1, Algeria) which is a site located in a sub-littoral zone with a relatively mild climate. Rainfall varies from year to year from 550 mm to 650 mm. The three campaigns were favorable for our crop. However, in April we didn't receive any precipitation.

2. Experimental design

The seedling of the varieties was carried out in December during the 2012/2013 campaign, according to a complete randomized block design with 04 replications. The elementary plot consisting of 6 lines of 3 m spaced 20 cm.

A diallel crossing with reciprocal between the six barley genotypes was carried out during the same campaign. The F₀ seed (30 combinations) to produce the F₁ generation was subdivided into two lots, one was sown in 2013/14 to produce F₁ seed and the second was sown during the following season 2014/15, to have a design containing parents, F₁ and F₂. The F₁ and F₂ generations were sown in the middle of their respective parents by adopting a complete randomized block design with 3 replications. The element plot has a row of a of 2 m length. The spaces between the plants and rows were respectively 5 cm and 20 cm.

3. Measurements

The characters measured at the mature stage are the number of spikes per plant (NSP), the number of grains per spike (NGS); thousand grain weight (TGW), and the grain yield per linear meter (GY). At complete maturity of the grain, the harvest was done manually: (i) For the varieties, each of them has been harvested separately, (ii) The hybridized spikes are harvested separately, and are placed in bags individually, (iii) For F₂ hybrids, based on their phenotype, the best plants were harvested individually, and the rest were harvested as a mixture for each hybrid.

All measurements were made on 10 plants per repetition.

4. Data analysis

The results obtained were analyzed by the CoStat 6.400 software for the genotype effect. Combination skills are studied according to method 3 (combinations F₁, F₂ and their reciprocals without parents), model I (fixed model), Griffing [11], A graphical analysis of Hayman [12] was also performed to estimate heritability in traits studied. This type of test can be analyzed only when certain conditions are satisfied Cousin [13], the conditions governing the Hayman method have been verified.

5. Calculation of average heterosis

The heterosis in relation to the average of the parents is calculated as follows: $[(\text{Value of the Hybrid} - P_1 + P_2 / 2) / (P_1 + P_2 / 2)] \times 100$. It measures the gap to additivity.

RESULTS

1. Study of parental characteristics

The analysis of variance of the different parents tested shows very highly significant genotypic differences ($p < 0.001$). The year effect is not significant ($p > 0.05$) for the characters studied. The variety x year interaction was not significant for the number of spike per plant (NSP), one thousand grain weight (TGW) and the grain yield per linear meter (GY), indicating that the expression of the potential of measured characters is not very variable. The variety x years interaction was significant ($p < 0.05$) for the number of grains per spike (NGS). The coefficients of variation of the error vary from 10.45% (TGW) to 14.08% (NSP). During the two years, the average number of kernels of the spike is 41.02 grains; the varieties are classified in two groups. The group "a" is formed by the varieties: Bahia, Tichedrett, Saïda, Fouara and Rihane. While group "b" is constituted by Soufara (Table 2).

Table 2: Interaction effect variety x year on the yield components of grains and yield grains per linear meter

Character	Number of spikes/plant (NSP)	Number of grains/spike (NGS)	Thousand grain weight (TGW)	Grain yield /linear meter (GY)
Genotype				
Tichdrett	3.66	44.19 a	52.21	125.71
Saïda	2.9	40.93 a	59.42	170.55
Bahia	3.55	48.44 a	54.25	140.94
Fouara	3.5	43.93a	56.63	156.61
Soufara	3.46	25.77 b	47.79	106.06
Rihane	3.01	42.86 a	56.75	113.65
Average year 1	3.25	38.29	53	128.54
Average year 2	3.44	43.75	56.01	142.63
General average	3.35	41.02	54.51	135.59
CV%	14.08	10.52	10.45	13.64
Genotype effect	***	***	***	***
Year effect	ns	ns	ns	ns
Interaction effect	ns	*	ns	ns

*and *** significant at $p < 0.05$ and $p < 0.001$ respectively, ns: not significant.

2. Analysis of F₁ and F₂ of the different characters

2.1. Heterosis of F₁ and F₂ hybrids

The determination of the heterosis effect with respect to the average parent highlights the differences in additivity (partial and total dominance). The averages of the F₁ hybrids are lower than those of the parents for all the

characters studied. The results in Table 3 show a negative mean heterosis effect varying from -36.78% for the grain yield to -1.77% for the weight of one thousand grains.

At the F₂ generation level, only the number of spikes per plant (+ 1.47%) showed a positive heterosis effect compared to the average

parent. A negative heterosis effect between -25.08% and -0.70% was revealed for the rest of the characters within the F₂ combinations.

Table 3: Heterosis of the different characters relative to the average parent in F₁ and F₂

Characters	Values of heterosis in F ₁			Values of heterosis in F ₂		
	Average F ₁	Parental average	Hétérosis average (%)	Average F ₂	Parental average	Hétérosis average (%)
Number of spike per plant	2.86	3.41	- 16.13	3.45	3.41	+ 1.47
Number of grains per spike	36.87	41.08	-10.25	38.44	41.08	- 6.43
Thousand grains weight	54.68	55.33	-1.17	55.14	55.53	- 0.70
Grain yield /linear meter	110.69	175.10	-36.78	131.18	175.10	- 25.08

2.2. Analysis of general and specific combining ability (GCA and SCA)

GCA is the average gametic effects of an individual; it represents the additivity effect, however, the SCA measures the gaps in CGA additivity forecasts (so it only makes sense for a zygote). This model is the simplest, the most biologically rational [14, 15].

The analysis of variance of combining abilities carried out according to the model of Griffing (1956) shows very highly significant effects of GCA, SCA and reciprocal effects for the number of grains per spike and thousand grain weight (Table 4).

Table 4. Analysis of variance of general and specific combining ability and reciprocal effects of different characters in F₁.

Characters	M.S					
	GCA (df=5)	SCA (df=9)	Reciprocal effects		Treatments (df=29)	Block (df=1)
			General (df=5)	Specific (df=10)		
Number of spikes per plant	2.08*	0.75 ^{ns}	0.78***	1.03**	1.08**	0.00 ^{ns}
Number of grains per spike	882.9***	45.11***	77.72***	119.02***	220.67***	4.54 ^{ns}
Thousand grains weight	115.34***	42.05***	70.84***	67.05***	68.27***	0.38 ^{ns}
Grain yield / linear meter	11820.91***	2192.46**	1452.24***	5156.86**	4747.12***	193.75 ^{ns}

*, ** and ***, ns: significant at p <0.05, p <0.01, and p <0.001, not significant respectively.

In the F₁ generation, a highly significant (p <0.01) effect of genotypes was observed for the number of spikes per plant and a very highly significant effect (p <0.001) for the characters number of grains per spike, weight of thousand grains and grain yield. No meaning for the block effect.

except for the number of spikes per plant. The general reciprocal effects are very highly significant for all measured variables. Finally, the specific reciprocal effects are highly and very highly significant for all traits. In the second generation F₂, a significant genotype effect (p <0.05) could be demonstrated for the weight of one thousand grains, a highly significant effect (p <0.01) for the number of spikes per plant and very highly significant for the number of grains per spike and grain yield per linear meter (p <0.001) (Table 5).

General Combining Ability (GCA) effects are significant to very highly significant for all the traits studied. While, Specific Combining Ability (SCA) effects are highly to very highly significant for all traits,

Table 5: Analysis of variance of general and specific combining ability and reciprocal effects of different characters in F₂.

Characters	M.S					
	GCA (df=5)	SCA (df=9)	Reciprocaleffects		Traitements (df=29)	Block (df=1)
			General (df=5)	Specific (df=10)		
Number of spikes per plant	0.97*	0.82 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.25*	0.51**	0.01 ^{ns}
Number of grains per spike	727.25***	113.67***	128.84***	77.45***	209.59***	3.93 ^{ns}
Thousand grains weight	118.35 ^{ns}	109.49*	85.84 ^{ns}	118.90*	110.19*	14.67 ^{ns}
Grain yield / linear meter	12550.29***	2031.76*	1869.19*	5316.20***	4949.83***	2263.45 ^{ns}

*, **, *** and ns: significant at p <0.05, p <0.01, p <0.001 and not significant respectively.

The existence of significant genotype effect had allows to continue the analysis at the individual level. A significant effect of GCA was revealed for the number of spikes per plant, and a very highly significant GCA effect controls the characters studied except for the one thousand grain weight parameter where no GCA effect was observed ($p > 0, 05$).

2.3. Heredity of characters according to Hayman's analysis in F_1

The calculation of the variance (V_r) and the covariance (W_r) allows drawing graphs (parabolas and regression lines) from which a genetic interpretation (dominance, transgression ...) is realized.

In the F_1 generation, incomplete dominance characterized the number of spikes per plant, number of grains per spike, and the weight of one thousand kernels. The graphs which represent these parameters show that the regression line intersects the (W_r) axis above the origin (Fig. 1). The W_r / V_r regression line passes below the origin, which shows a super dominance effect for grain yield per linear meter.

2.4. Heredity of characters according to Hayman's analysis in F_2

In F_2 hybrids, the number of spikes per plant and the number of grains per spike are influenced by incomplete dominance. A superdominance effect governed the characters: thousand grain weight and grain yield per linear meter (Fig. 2). The distant position of the parabola of the points representing the parents tested indicates that transgressive forms can be obtained in the offspring of the crosses made between the parents included in this test [13]. The graphs ($W_r + V_r$, t) show that the negative-action dominance ($b > 0$) is unfavorable for the expression of the characters studied (Fig. 2). The graphs ($W_r + V_r$, t) show that the negative-action dominance ($b > 0$) is unfavorable for the expression of the characters studied (Fig. 2).

DISCUSSION

The analysis of the parental genotypes indicates the presence of a rather important variability which justifies the genetic analysis and the utility of the selection.

The year effect and even the interaction variety x year are not significant for the majority of the characters studied which suggests that the expression of the potential of these characters is not very variable.

The calculation of the heterosis relative to the average parent is negative for the majority of the characters measured. According to Jung and Lelly [16], the absence of heterosis or its low value in barley probably reflects an important additive action of the genes. The average heterosis increased from (-16.13%) to (+1.47%) between F_1 and F_2 for the number of spikes, the same results are observed in durum wheat, by Bousalhih [17].

In barley, according to Fejer and Fedak 1978 In Ramage [18], the heterosis for the number of spikes per plant parameter reached 10% compared to the average parent in a very low density seedling.

The analysis of variance of the General and specific combining abilities indicates a significant difference between genotypes, which suggests that genes present effects of additivity and dominance for the control of the characters studied.

A strong GCA effect reveals the preponderance of additive effects for character control. According to Lefort-Buson, and Dattée, 1985, Samad and al. [19, 20], selection may be performed on the GCA of the lines even before the production phase of the hybrid. The analysis of grain yield per linear meter, in both F_1 and F_2 generations, showed a very highly significant GCA effect which indicates the dominance of the additive type genes, the same result is found by Lee and Brewbaker [21] in corn, for this trait.

The SCA effect is significant for all traits except the number of spikes per plant. Houshmand and al. [22] found a significant SCA effect for all traits studied in durum wheat except flag leaf length. The analysis of heredity of characters according Hayman showed the possibilities of transgression from parental formulas in both F_1 and F_2 . Superdominance is found in both generations for grain yield per linear meter.

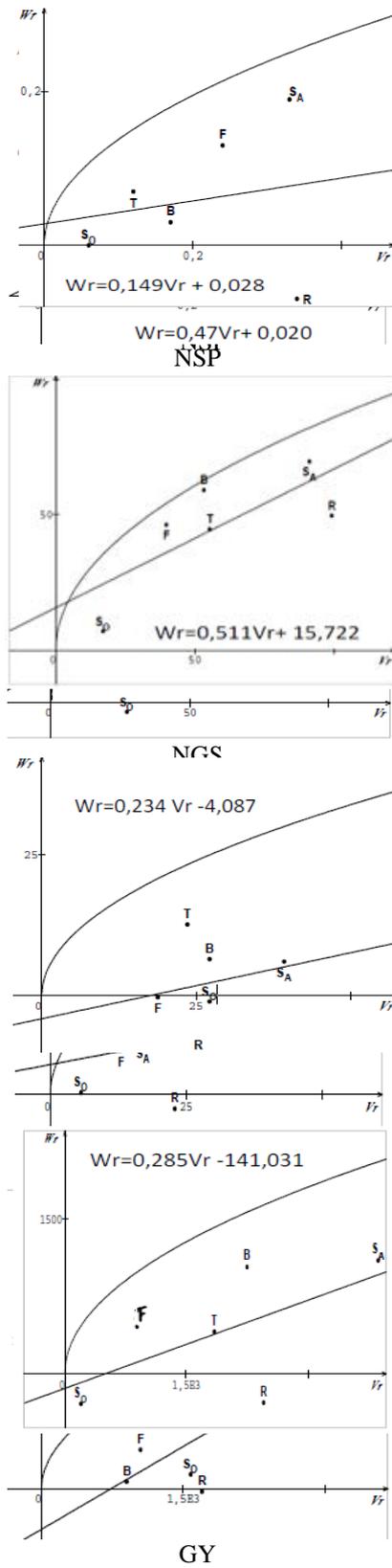


Figure 1: Graphical analysis of Hayman in F_1

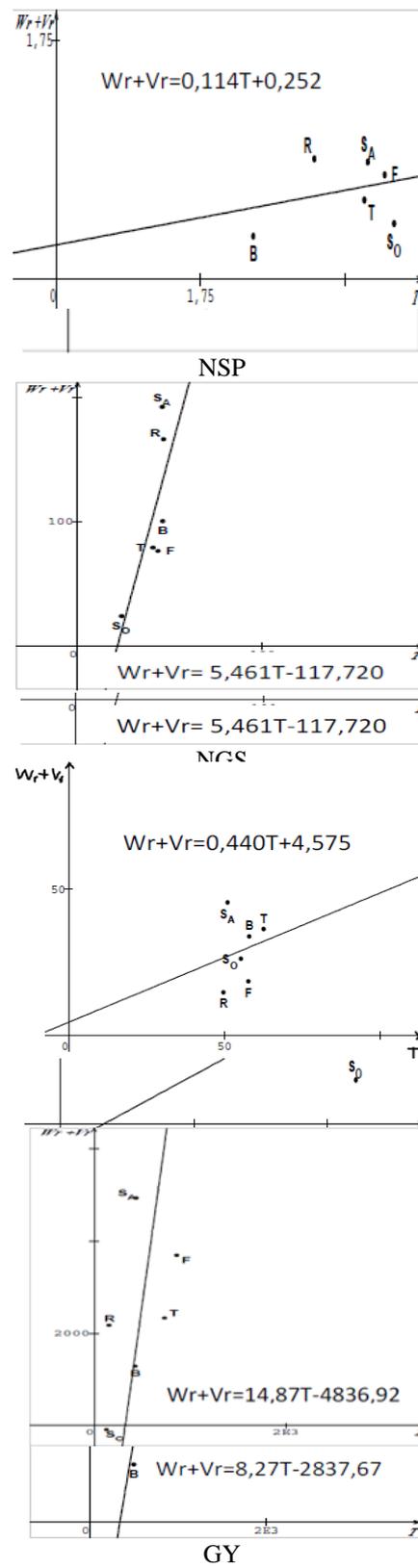


Figure 2: Graphical analysis of Hayman in F_2

CONCLUSION

The results indicate the presence of variability between the different genotypes for the variables analyzed. The absence of genotype x year interaction for grain yield indicates stability in the behavior of parent genotypes.

The heterosis effect compared to the average parent is negative except the number of spikes per plant (+1.47%) at the level of the F₂ generation. The transition from the F₁ generation to that of F₂, showed an increase in the heterosis effect which shows the importance of additive genes.

The mean squares of the GCA are higher than those of the SCA, which indicates that the choice of parents before hybridization remains a priority.

The number of spikes per plant, and the number of grains of the spike show effects of partial dominance, which tends to confirm the strong additivity of these characters.

The super dominance of grain yield suggests the non-additivity of this trait, while its components (number of spikes per plant, number of grains of the spike and the weight of a thousand grains) are more additive, therefore, it would be more effective to make the selection on these components.

REFERENCES

- [1]. **Tellah S. (2005)**. Etude du comportement de 19 génotypes d'orges (*Hordeum vulgare* L) dans les conditions de la Mitidja. *Céréaliculture*.35 : 8-14.
- [2]. **Hakimi M. (1989)**. Les systèmes traditionnels basés sur la culture de l'orge. Proc. Symp. On the agrometeorology of rainfed barley based farming system. Eds WMO/ICARDA: 179 -183.
- [3]. **Ceccarelli S., Grando S. and Hamblim J. (1992)**. Relationship between barley grain yields measured in low and high yielding environment. *Euphytica*. 64: 49-58.
- [4]. **Benmahammed A., Djekoun A., Bouzerzour H. and Hassous L. (2005)**. *Dirassat Journal of Agricultural Sciences*,. 32: 239-247.
- [5]. **Peltonen-Sainio P., Jauhiainen L. and Laurila I. P. (2009)**. Cereal yield trends in Northern European conditions: Changes in yield potential and its realization. *Field Crops Research*,. 110: 85–90.
- [6]. **Austin R. B., Bingham J., Blackwell R. D., Evans L. T., Ford M. A., Morgan C L. and Taylor M. (1980)**. Genetic improvements in winter wheat yields since 1900 and associated physiological changes. *The journal of agricultural science*, 94: 675-689.
- [7]. **Ceccarelli S., Grando S. and Impiglia A. (1998)**. Choice of selection strategy in breeding barley for stress environments. *Euphytica*. 103: 307-318.
- [8]. **Salmi M., Haddad L., Oulmi A., Benmahammed A. and 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.
- [9]. **Picard E. (1991)**. Stratégie de sélection pour les céréales. Intégration de biotechnologie en amélioration des céréales. Conférence de Saragosse, I.N.R.A / I.C.A.R.D.A : 14p.
- [10]. **Pasqualone A., Lottic Bruno A. and Devita P. (2000)**. Use of issr marks of cultivars identification in durum Wheat. *CIHEAM. Options Méditerranéennes*, 157-161.
- [11]. **Griffing B. (1956)**. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.*, 9: 463-493.
- [12]. **Hayman B. I. (1954)**. The analysis of variance of diallel tables. *Biometrics*, 10: 235 - 244.
- [13]. **Cousin R. (1969)**. Les essais diallèles. *Le sélectionneur français*, 7: 75 - 96.
- [14]. **Demarly Y. (1977)**. *Génétique et amélioration des plantes*. Masson (Ed), 520 p.
- [15]. **Mather K. and Jinks J. L. (1982)**. *Biometrical genetics*. Chapman and Hall (3rd ed). London.
- [16]. **Jung C. and Lelley T. (1985)**. Genetic interactions between wheat and rye genome in triticale. 2: Morphological and yield characters. *Theor. Appl. Genet.*, 70: 427-432.
- [17]. **Bousalhih B. (2015)**. Déterminisme génétique de l'indice de récolte et de certains caractères morphologiques et agronomiques chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans les conditions du haut Chéllif. Thèse de doctorat .ENSA, Alger, 120 p.
- [18]. **Ramage R. T. (1983)**. Heterosis and Hybrid Seed Production in Barley, In. *Heterosis reappraisal of theory and practice*. Frankel (Ed), New York, 290p.

- [19]. **Lefort - Buson M. and Dattée Y. (1985).** Etude de l'hétérosis chez le colza oléagineux d'hiver (*Brassica napus* L.). II. Structure génétique d'une population de lignées. *Agronomie*, EDP Sciences. 5 (3): 201-208.
- [20]. **Samad M. A., Fautrier A. G., McNeil D. L. and Sedcole J. R. (1989).** General and specific combining ability of reproductive characters, yield, and yield components for yield improvement in pea, *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 17(4): 307-313.
- [21]. **Lee M. H. and Brewbaker J. L. (1984).** Effects of brown midrib-3 on yields and yield components of maize. *Crop science*, 24 (1):105-108.
- [22]. **Houshmand S. and Vanda M. (2008).** Estimate of genetic parameters of grain yield and some agronomic traits in durum wheat using diallel crosses. *In* 11th International Wheat Genetics Symposium. Proc.1:218. Sydney University Press.