



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE EL-HADJ LAKHDAR BATNA
INSTITUT DES SCIENCES VETERINAIRES ET DES SCIENCES
AGRONOMIQUES



MEMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de

MAGISTER

Filière

Sciences agronomiques

Option

Valorisation et amélioration de l'agro biodiversité végétale

Présenté par :

M^r RABTI Aboubakr

THEME

**ETUDE DE LA VARIABILITE PHENOTYPIQUE ET DU DETERMINISME GENETIQUE
DE QUELQUES CARACTERES A VARIATION CONTINUE CHEZ LE BLE TENDRE
(*Triticum aestivum* L.) EN CONDITIONS SEMI-ARIDES.**

Soutenu le : 15/01/2015

JURY

Grade et Université

Rapporteur: **M^r BOUZERZOUR H.** Prof. Université de Sétif-1.

Président : **M^r OUDJEH H B.** Prof. Université de Batna.

Examineur: **M^r BENBELKACEM A.** Maître de recherche (A). INRA /URC.

Examineur: **M^r HAZMOUNE T.** M. C. A. Université de Skikda.

Invitée: **M^{lle} BOULALOUAH N.** M. C. B. Université de Batna.

Année universitaire : 2014/2015.

SOMMAIRE

SOMMAIRE	1
REMERCIEMENTS.....	5
LISTE DES TABLEAUX	6
LISTE DES FIGURES.....	8
LISTE DES ABREVIATIONS	9
INTRODUCTION	10
CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE.....	12
1.1 ORIGINE ET GENETIQUE DU BLE TENDRE (<i>Triticum aestivum</i> L.).....	12
1.1.1. IMPORTANCE DU BLE TENDRE.....	13
1.1.2 LES VARIETES DE BLE TENDRE CULTIVEES EN ALGERIE	15
1.2 LES CONTRAINTES DE LA PRODUCTION DU BLE TENDRE ET LES MECANISMES	
D'ADAPTATION.....	15
1.2.1 LES CONTRAINTES HYDRIQUE ET THERMIQUE.....	15
1.2.2 LES MECANISMES D'ADAPTATION	16
1.2.2.1 L'ADAPTATION PHENOLOGIQUE	16
1.2.2.1 L'ADAPTATION MORPHOLOGIQUE.....	16
1.2.2.1 L'ADAPTATION PHYSIOLOGIQUE	17
1.3 L'AMELIORATION GENETIQUE DU BLE TENDRE.....	17
1.3.1 LA SELECTION POUR LA PRODUCTIVITE	18
1.3.2 LA SELECTION POUR L'ADAPTABILITE.....	18
1.4 LA SELECTION ASSISTEE PAR LES MARQUEURS MOLECULAIRES.....	19
1.5 VARIABILITES PHENOTYPIQUE, GENOTYPIQUE ET HERITABILITE DES CARACTERES	
D'INTERETS.....	20
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES	22
2.1 SITE EXPERIMENTAL.....	22
2.2 MATERIEL VEGETAL.....	22
2.3 CARACTERES MESURES.....	24
2.3.1 <i>La durée de la phase végétative</i>	24
2.3.2 <i>La surface de la feuille étendard</i>	24
2.3.3 <i>La hauteur de la végétation</i>	25
2.3.4 <i>La longueur de l'épi</i>	25
2.3.5 <i>La biomasse</i>.....	25
2.3.6 <i>Le contenu en chlorophylle</i>	25

2.3.7	<i>L'indice de récolte</i>	25
2.3.8	<i>La teneur relative en eau</i>	25
2.3.9	<i>L'intégrité de la membrane cellulaire (CMI)</i>	26
2.3.10	<i>Le nombre et le poids des épis</i>	26
2.3.11	<i>Le nombre de grains par plante et par épi</i>	26
2.3.12	<i>Le poids de 1000 grains</i>	27
2.3.13	<i>Le rendement grain par plante</i>	27
2.4	ANALYSE DES DONNEES	27
CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSION		31
3.1	PLUVIOMETRIE ET TEMPERATURES ENREGISTREES AU COURS DE L'EXPERIENCE	31
3.2	ANALYSE DE LA VARIABILITE PHENOTYPIQUE	32
3.2.1	La durée de la phase végétative	32
3.2.2	La surface de la feuille étendard	35
3.2.3	La hauteur de la végétation	35
3.2.4	La longueur de l'épi	37
3.2.5	La biomasse aérienne et l'indice de récolte	38
3.2.6	La chlorophylle, la teneur relative en eau et l'intégrité de la membrane cellulaire 39	
3.2.7	Le rendement et les composantes	39
3.3	VARIABILITES PHENOTYPIQUE ET GENOTYPIQUE, HERITABILITE ET GAIN GENETIQUE	42
3.3.1	Le coefficient de variation phénotypique	42
3.3.2	Le coefficient de variation génotypique	44
3.3.3	Le coefficient de détermination génétique au sens large (h^2bs)	45
3.3.4	Le gain génétique attendu en sélection	47
3.4	LIAISONS INTER CARACTERES	49
3.4.1	La phénologie	49
3.4.2	Les caractères physiologiques	52
3.4.3	Les caractères morphologiques	53
3.4.4	Le rendement et ses composantes	55
3.5	ANALYSE EN CHEMIN (PATH COEFFICIENT ANALYSIS)	57
3.5.1	Les effets de la durée de la phase végétative	58
3.5.2	Les effets de la surface de la feuille étendard	59
3.5.3	Les effets de la hauteur de la végétation	59
3.5.4	Les effets de la longueur de l'épi	60

3.5.5	Les effets de la biomasse aérienne	60
3.5.6	Les effets de l'indice de récolte	60
3.5.7	Les effets des caractères physiologiques	61
3.5.8	Les effets des composantes du rendement	61
3.6	SELECTION POUR LA TOLERANCE ET LE RENDEMENT GRAIN	63
3.6.1	L'analyse en composantes principales	63
	CONCLUSION	71
	RESUME	73
	ABSTRACT	74
	ملخص	75
	REFERENCES	76

REMERCIEMENTS

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

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

Je tiens à remercier Mademoiselle BOULALOUAH Nadia, Maitre de conférences A à l'Université de Batna, d'avoir accepté d'être Co-promotricede ce modeste travail.

Je tiens également à remercier Monsieur OUDJEHIH Bachir, Professeur à l'Université de Batna, d'avoir accepté d'évaluer ce travail en qualité de président malgré ses préoccupations et la charge de son travail.

Mes vifs remerciements vont également à Monsieur BENBELKACEM Abdelkader, Docteur à l'INRA, unité de Constantine et Monsieur HAZMOUNE Tahar, Maitre de conférences A à l'Université de Skikda d'avoir accepté de faire parti du jury et d'évaluer ce modeste travail.

Je n'oublierais pas de remercier Monsieur FELLAHI Zine El Abidine, INRA de Sétif pour son aide et son soutien ainsi que tous ceux qui m'ont aidé dans l'accomplissement de ce travail.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
Tableau 1. Evolution de la production et de la consommation mondiales de blé tendre (millions de tonnes).....	13
Tableau 2. Production mondiale de blé tendre, en millions de tonnes	14
Tableau 3. Liste des lignées parentales croisées, des populations F_2 et leur randomisation en plein champ.....	23
Tableau 4. Squelette de l'analyse de la variance du modèle additif adopté.....	29
Tableau 5. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance des caractères phéno-morpho-physiologiques mesurés chez les populations F_2 du croisement Testeurs x Lignées de blé tendre.....	32
Tableau 6. Valeurs moyennes des caractères phéno-morpho-physiologiques mesurés chez les parents et les populations F_2 du croisement Testeurs x Lignées de blé tendre..	33
Tableau 7. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance du rendement grain et des composantes du rendement mesurés chez les parents et les populations F_2 du croisement Testeurs x Lignées de blé tendre.....	40
Tableau 8. Valeurs moyennes du rendement grain et des composantes du rendement mesurés chez les parents et les populations F_2 du croisement Testeurs x Lignées de blé tendre.....	41
Tableau 9. Valeurs du coefficient de variation phénotypique des différents caractères mesurés chez les populations F_2	43
Tableau 10. Valeurs du coefficient de variation génotypique des différents caractères mesurés chez les populations F_2	44
Tableau 11. Valeurs de l'héritabilité au sens large des différents caractères mesurés chez les populations F_2	46
Tableau 12. Valeurs du gain génétique attendu de la sélection (GGA) sur la base des différents caractères mesurés chez les populations F_2	48
Tableau 13. Coefficients de corrélation phénotypiques et génotypiques entre les différentes paires des caractères mesurés chez les populations F_2	50
Tableau 14. Modèle de la régression progressive du rendement grain sur toutes les variables mesurées chez les populations F_2 issues d'un croisement testeurs x lignées	57

de blé tendre.....

Tableau 15. Modèle de la régression progressive du rendement grain sur toutes les variables mesurées chez les populations F_2 issues d'un croisement testeurs x lignées de blé tendre, sans le poids des épis..... 58

Tableau 16. Effet direct (en diagonale) et indirect (en dessus et en dessous de la diagonale) des variables mesurées sur le rendement grain chez les populations F_2 issues d'un croisement testeurs x lignées de blé tendre..... 59

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
Figure 1. Phylogénie des blés.....	12
Figure 2. Distribution de la pluie et de la température moyenne mensuelle des deux campagnes d'étude.....	31
Figure 3. Réduction de la durée de la phase végétative chez les différentes populations F_2 produites relativement au parent HD_{1220}	34
Figure 4. Relation entre la surface de la feuille étendard des populations F_2 et celles des parents inférieur (P_i), moyen (P_m) et supérieur (P_s).....	36
Figure 5. Réduction de la hauteur des populations F_2 relativement à MD et augmentation relativement à HD_{1220}	37
Figure 6. Augmentation relative de la longueur de l'épi des populations F_2 et lignées parentales relativement à la longueur de la lignée $Acsad_{899}$	38
Figure 7. Ecart de rendement des populations F_2 et lignées parentales relativement à la moyenne des rendements des parents.....	42
Figure 8. Représentation des populations F_2 de blé tendre et de leurs caractéristiques sur le plan formé par les axes 1 et 2 de l'analyse en composantes principales.....	64
Figure 9. Représentation des populations F_2 de blé tendre et de leurs caractéristiques sur le plan formé par les axes 1 et 3 de l'analyse en composantes principales.....	66
Figure 10. Représentation des populations F_2 de blé tendre et de leurs caractéristiques sur le plan formé par les axes 2 et 3 de l'analyse en composantes principales.....	68
Figure 11. Valeurs moyennes des caractères des différents groupes de populations F_2 identifiés par l'ACP.....	69
Figure 12. Valeurs moyennes des caractères des différents groupes de populations F_2 identifiés par l'ACP.....	69

LISTE DES ABREVIATIONS

INRAA	Institut National De La Recherche Agronomique d'Algérie
ICG	International Grain Council
MADR	Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural
ACSAD	Arab center for the Studies of Arid zones and Dry lands
ITGC	Institut Technique des Grandes Culturs
CIMMYT	International Maize and Wheat Improvement
H^2_{bs}	Héritabilité au sens large
CVp	Coefficient de Variation phénotypique
CVg	Coefficient de Variation génotypique
$\sigma^2_{F_2}$	Variance de la population F_2
σ^2_{Par}	Variance des lignées parentales
σ^2_G	Variance génotypique
σ^2_e	Variance environnementale
GGA	Gain Génétique Attendu de la sélection
Ppds5%	La plus petite différence significative, au seuil de 5%
DPV (j)	durée de la phase végétative en jours
CHL	Chlorophylle CCI (unité arbitraire)
TRE	Teneur relative foliaire en eau (%)
CMI	Intégrité cellulaire
SF _{FE}	Surface de la feuille étendard (cm ²)
PHT	Hauteur de la plante (cm)
LE	longueur de l'épi (cm)
BIO	Biomasse aérienne par plante (g)
HI	Indice de récolte (%)
NE	Nombre d'épis par plante
PNE	Poids des épis par plante (g)
NGE	Nombre de grains par épi
PMG	Poids de milles grains
RM	Rmada
HD	Hidhab
Wi	El Wifak
MD	Mahon Démias
Pop	Population
xxt	Croisement

INTRODUCTION

L'histoire de la domestication et l'introduction des céréales dans l'alimentation humaine sont étroitement liées à la sédentarisation de l'espèce humaine (Harlan, 1975). Elle marque l'entrée de l'homme dans la civilisation. La domestication est le résultat d'une succession de choix qui touchent les caractéristiques de la plante et les besoins immédiats de l'homme qui est devenu cueilleur (Harlan, 1975). L'amélioration des plantes a évolué depuis près de deux siècles, s'appuyant sur les progrès apportés par la recherche scientifique dans ce domaine, les techniques biologiques et les outils de mesure (Reynolds *et al.*, 2012).

Cette évolution a été accompagnée par une amélioration soutenue des rendements des principales cultures telles que les céréales qui sont passés de moins d'une 1 t ha^{-1} à plus 5 t ha^{-1} (Sharma *et al.*, 2012). Cette amélioration des rendements est la résultante de l'interaction du potentiel génétique de la variété adoptée et des techniques culturales mises en jeu en production. De ce fait les meilleures performances sont obtenues en milieux favorables et/ou sous irrigation (Lopes *et al.*, 2012). Dans les milieux caractérisés par des contraintes abiotiques sévères, l'évolution des rendements s'est faite en dents de scie, et la production se caractérise par une variation spatio temporelle très importante (Ceccarelli *et al.*, 2010 ; Kadi *et al.*, 2010 ; Nouar *et al.*, 2012).

En Algérie, les céréales constituent l'essentielle de la ration alimentaire quotidienne de la population et occupent une superficie de 2.7 millions d'hectares, moyenne de la période 2000/01 à 2011/2012 (Benbelkacem, 2013). La diversité des milieux de production qui s'étalent du littoral au semi-aride et parfois empiètent sur l'étage bioclimatique aride, amenuise le progrès génétique réalisable par la sélection (Annichiarico *et al.*, 2006 ; Nouar *et al.*, 2012). La variabilité pédo-climatique des milieux de production suggère que la sélection doit cibler aussi bien la performance de rendement que la tolérance des stress abiotiques pour identifier des génotypes résilients et plus réguliers du point de vue production (Nouar *et al.*, 2012).

La performance de rendement est déterminée par les composantes de rendement alors que la tolérance l'est par les caractéristiques morpho-physiologiques (Lopes *et al.*, 2012). Pour que la sélection, pour de tels caractères, soit efficace, il est nécessaire de connaître leur déterminisme génétique, leur degré de transmission d'une génération à l'autre ou héritabilité et la variabilité présente dans les populations en ségrégations. L'objectif de la présente

recherche est l'étude de la variabilité phénotypique et le déterminisme génétique des caractères liés à la performance de rendement et à la tolérance aux stress abiotiques notamment le déficit hydrique et les hautes températures chez des populations F₂ de blé tendre, issues d'un croisement lignées x testeurs (*Triticum aestivum* L.).

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1 ORIGINE ET GENETIQUE DU BLE TENDRE (*Triticum aestivum* L.)

Le génome du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) est constitué de trois génomes A, B et D et résulte de l'hybridation successive de génomes diploïdes et tétraploïdes avec des génomes diploïdes. La première hybridation s'est faite entre *Triticum urartu* Thum. Ex. Gandil. (AuAu, 2n=14) et *Aegilops speltoides* de la section Sitopsis (BB, 2n=14) (Dvorak *et al.*, 1998). Cette hybridation est à l'origine de l'apparition du blé tétraploïde, *Triticum turgidum* L. (2n= 28, AABB), dont la diversification a donné naissance à plusieurs groupes variétaux distincts dont *Triticum turgidum* var. durum et *Triticum turgidum diccocoïdes*. Le croisement naturel entre *Triticum turgidum diccocoïdes*(AABB) et l'espèce sauvage *Aegilops tauschii* (DD) donna naissance au blé tendre (Figure 1 ; Liao *et al.*, 2008).

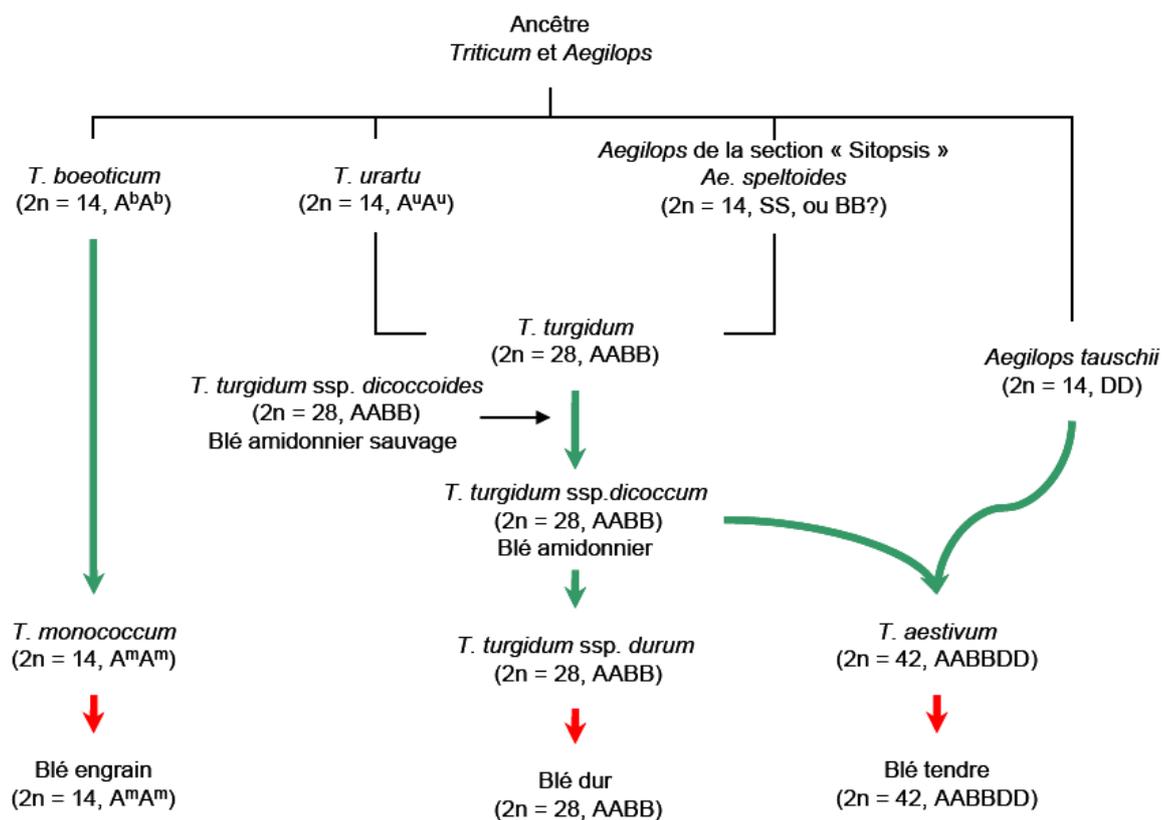


Figure 1. Phylogénie des blés (Liao *et al.*, 2008)

Le génome de *Triticum aestivum* a une taille de 16 milliards de paires de bases d'acide désoxyribonucléotide, organisé en trois séries de 7 chromosomes appartenant aux génomes A, B et D. Sears et Sears (1978) identifient et décrivent les différents chromosomes du blé tendre par monosomie, produisant un stock d'aneuploïdes de la variété chinese spring, très utilisée pour la cartographie génique. Les principales espèces de céréales cultivées appartiennent à la famille des poaceae : blé tendre, blé dur, maïs, riz, avoine, seigle, millet, sorgho (Molinié *et al.*, 2005). Les chromosomes des génomes A, B et D présentent une similitude génétique (synthénie) malgré leurs origines différentes.

Les 42 chromosomes du blé tendre sont classés en sept groupes de trois paires de chromosomes chacun (ABD). Les paires d'un même groupe sont homéologues, mais ne s'apparient pas entre eux à la méiose, seuls les chromosomes homologues s'apparient (AA vs BB vs DD). Ce phénomène est contrôlé génétiquement essentiellement par le gène *Ph1*, situé sur le bras long du chromosome 5B (Gill *et al.*, 1993). De ce fait le blé tendre se comporte, au moment de la méiose, comme un diploïde.

1.1.1. IMPORTANCE DU BLE TENDRE

Le blé tendre est l'une des premières plantes domestiquées par l'homme, il est largement cultivé dans le monde entier grâce à son adaptation à un large éventail de climats (Xiaojie *et al.*, 2012). Le blé tendre représente environ 21% de la production alimentaire mondiale. Basé sur les données moyennes des années 2007-09, la superficie mondiale de blé est 221.7 millions ha, avec un rendement moyen de 2977 kg/ha, et une production de 660 millions de tonnes (Tableau 1).

Tableau 1. Evolution de la production et de la consommation mondiales de blé tendre (millions de tonnes, IGC, 2013).

Campagnes	2007/08	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13
Production	611	685	679	653	695	693
Consommation	602	645	658	658	689	687

Le blé tendre est la céréale la plus répandue en termes de superficies mises en cultures. Il est principalement utilisé pour faire du pain, des nouilles, des biscuits et des gâteaux (Lopes *et al.*, 2012). La production mondiale de blé tendre a évolué, selon le Conseil International du Grain (IGC, 2013), de 611 à 695 millions de tonnes, au cours de la période allant de 2007/08

à 2012/13 (Tableau 1). Ce niveau de production couvre largement les besoins de la population mondiale avec des stocks en hausses (IGC, 2013).

La production Algérienne en blé tendre reste faible, quoiqu'elle ait connu des augmentations significatives depuis les années 1960, affleurant les 0.9 millions de tonnes en 2010 (Tableau 2). L'Algérie a importé plus de 2.1 millions de tonnes de blé tendre de la France en 2011, suite à la baisse de la production nationale. En 2009, la production de blé tendre a atteint 0.95 millions de tonnes contre 2 millions de tonnes de blé dur, 2.20 millions de tonnes d'orge et 0.09 millions de tonnes d'avoine soit un total, pour les céréales, de 5.25 millions de tonnes (MADR, 2011).

Tableau 2. Production mondiale de blé tendre, en millions de tonnes (<http://www.marketskeptics.com/2009/10-world-wheat-production.html>).

Pays	2007/08	2008/09	2009/10
Algérie	0.39	1.1	0.9
Afghanistan	3.4	1.5	4.1
Argentine	18.0	8.4	8.0
Australie	13.8	21.5	23.0
Bulgarie	2.4	4.6	3.6
Canada	20.1	28.6	22.5
Chine	109.3	112.5	114.5
Danemark	4.5	5.0	5.6
Egypte	8.3	7.9	7.9
France	32.8	39.0	39.4
Germany	20.8	26.0	25.1
Hongrie	4.0	5.6	4.1
Inde	75.8	78.6	80.6
Iran	15.0	10.0	12.0
Italie	7.2	9.7	6.6
Kazakhstan	16.5	12.6	14.5
Maroc	1.6	3.7	6.5
Pakistan	23.3	21.5	24.0
Pologne	8.3	9.3	9.2
Romanie	3.0	7.6	5.5
Russie	49.4	63.7	56.5
Spain	6.4	6.7	5.0
Syrie	4.0	2.1	3.2
Turquie	15.5	16.8	17.8
Ukraine	13.9	25.9	20.0
Royaume-Uni	13.2	17.2	14.6
États-Unis	55.8	68.0	59.4
Ouzbékistan	6.2	6.0	6.2
Autres	58.6	62.2	64.3
Total	611.0	682.3	663.8

1.1.2 LES VARIETES DE BLE TENDRE CULTIVEES EN ALGERIE

Selon l'institut technique des grandes cultures, 3 variétés sur une vingtaine de variétés de blé tendre inscrites sont cultivées en Algérie (Zeghouane *et al.*, 2008); il s'agit de Mahon Démias, c'est un blé introduit par les colons français en Algérie. Il est rustique et tardif. Doté d'une paille haute, cette variété est à semer en zones sèches et sur les sols légers. Anza, d'origine américaine (Californie), sélection du croisement Lr/N10B//3*Ane II8739-4R-1M-1R, est la variété de blé tendre qui est connue en Algérie sous le nom de Ghriss 75. Introduite depuis 1978, elle est précoce et très productive, grâce à son tallage-épi élevé. Hidhab est une variété précoce à paille moyenne et à épi long. Elle est résistante à la verse et à la rouille brune. Hidhab présente de bonnes caractéristiques technologiques pour la panification (Fellahi *et al.*, 2013).

1.2 LES CONTRAINTES DE LA PRODUCTION DU BLE TENDRE ET LES MECANISMES D'ADAPTATION

1.2.1 LES CONTRAINTES HYDRIQUE ET THERMIQUE

La sécheresse est un important stress environnemental qui affecte la croissance et le développement des plantes au niveau mondial, en particulier dans les zones arides et semi-arides du monde (Shao *et al.*, 2007 ; Xiaojie *et al.*, 2012). La sécheresse est chronique dans les régions à faible disponibilité en eau. Elle est due à des changements imprévisibles dans des conditions météorologiques au cours de la période de croissance de la culture.

Les effets de la sécheresse sont prévus d'augmenter avec le changement climatique (Harb *et al.*, 2010). Les hautes températures de fin de cycle sont une contrainte majeure pour la productivité du blé dans les milieux méditerranéens, ces températures ont tendance à augmenter à long terme, ce qui amplifie leur effet sur les cultures. Identifier des variétés qui tolèrent les hautes températures et les caractères à utiliser comme critères de sélection, à cette fin, est un important objectif de recherche pour améliorer la tolérance des stress et augmenter le potentiel de rendement des variétés futures de blé (Mohammadi, 2012).

La sécheresse est la contrainte environnementale la plus présente qui touche environ 32% des 99 millions d'hectares de blé dans les pays en développement et au moins 60 millions

d'hectares de culture du blé dans les pays développés (Rajaram , 2000). Le stress hydrique induit des pertes de rendement variant entre 17 et 70 %, selon Chennafi *et al.*, (2006).

L'étude des traits liés à la résistance à la sécheresse est essentielle pour sélectionner des génotypes plus résilients et aptes à produire sous des conditions de sécheresse qui pourraient s'avérer plus sévères à l'avenir, suite aux changements climatiques attendus (Xiaojie *et al.*, 2012).

1.2.2 LES MECANISMES D'ADAPTATION

1.2.2.1 L'ADAPTATION PHENOLOGIQUE

Pour éviter les périodes critiques du manque d'eau, certaines variétés accomplissent leur cycle de développement avant l'installation de la contrainte hydrique. La précocité constitue, de ce fait, un important mécanisme d'esquive du déficit hydrique de fin de cycle. La précocité assure une meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau.

En effet, en produisant une biomasse plus élevée, les génotypes à croissance rapide et à maturité précoce utilisent mieux l'eau disponible et ils sont moins exposés aux stress abiotiques que les génotypes tardifs. De ce fait le rendement grain est positivement corrélé à la précocité d'épiaison. La précocité d'épiaison est efficacement utilisée comme critère de sélection pour améliorer les productions des zones sèches (Reynolds *et al.*, 2005 ; Mekhlouf *et al.*, 2006).

1.2.2.2 L'ADAPTATION MORPHOLOGIQUE

L'adaptation peut prendre plusieurs formes, suite à des modifications d'ordre morphologiques pour améliorer l'absorption de l'eau, et/ou diminuer la transpiration et la compétition entre organes pour les assimilats produits. Ainsi certaines variétés réduisent de la surface foliaire et le nombre de tiges, pour ajuster leur consommation en eau. Elles sont dites plantes économes.

D'autres possèdent la capacité d'enrouler le limbe foliaire pour minimiser la transpiration et réduire l'effet du stress lumineux. D'autres variétés investissent dans le développement d'un système racinaire profond, pour avoir accès à des horizons plus humides, et ainsi elles s'assurent une meilleure alimentation hydrique. Ces plantes sont dites dépensières en eau (Slafer *et al.*, 2005).

1.2.2.3 L'ADAPTATION PHYSIOLOGIQUE

La diminution du potentiel hydrique du sol en conditions de sécheresse provoque une perte importante de la turgescence au niveau de la plante. L'augmentation de la production, dans ces conditions, dépend des mécanismes de tolérance qui assurent l'hydratation cellulaire et diminuent la perte en eau en maintenant un statut hydrique favorable au développement foliaire (Slafer *et al.*, 2005). Le maintien d'un potentiel hydrique élevé est lié à l'aptitude à extraire l'eau du sol et à la capacité de limiter les pertes d'eau par transpiration (Tardieu et Tuberosa, 2010).

La diminution de la transpiration engendre la réduction de la photosynthèse, et donc du rendement. Cependant, il apparaît que les génotypes qui ont la capacité photosynthétique intrinsèque la moins affectée par le déficit hydrique présentent une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau (Condon *et al.*, 2004). Les osmolytes qui s'accumulent sous conditions de déficit hydrique, sont les sucres et la proline (Kameli et Losel, 1995). Ces osmolytes jouent un rôle important dans l'ajustement osmotique et l'adaptation de la plante au manque d'eau (Zhang *et al.*, 1999). La présence de la variabilité génétique pour l'accumulation des sucres et de la proline, sous contrainte hydrique, suggère la possibilité de sélectionner, sur la base de ces caractères, des génotypes plus tolérants au stress hydrique (Zhang *et al.*, 1999).

1.3 L'AMELIORATION GENETIQUE DU BLE TENDRE

Le but principal de tout programme de sélection est la production de variétés possédant un rendement élevé et stable. L'environnement dans lequel se fait la sélection joue un rôle important. Tous les milieux n'ont pas la même aptitude à révéler les différences génotypiques. L'existence d'une interaction génotype -environnement complique les efforts de la sélection (Sanchez-Garcia *et al.*, 2012). Le processus de sélection est différent, selon qu'on cherche l'adaptation spécifique ou l'adaptation générale (Annichiarico *et al.*, 2006). Bouzerzour *et al.* (1998) mentionnent qu'en milieux variables, l'efficacité de la sélection sur la seule base du rendement grain est très variable, suite à l'effet de l'environnement qui fait varier le niveau de ce caractère et ses relations avec les autres variables, d'une année à l'autre.

1.3.1 LA SÉLECTION POUR LA PRODUCTIVITE

La productivité est définie comme la capacité de produire plus. C'est une notion relative. En sélection, elle désigne souvent le rendement grain. Une variété productive ne l'est, en fait que par rapport à une autre variété qu'elle remplace et à laquelle elle est comparée. Cette dernière est alors utilisée comme témoin de référence. L'amélioration du rendement grain est généralement abordée de manière directe ou indirecte. La sélection directe utilise le rendement lui-même qui est mesuré après la maturité de la plante. La sélection indirecte utilise les composantes du rendement et les caractères morpho-physiologiques (Reynolds *et al.*, 2007 ; Adjabi *et al.*, 2007).

La sélection du rendement grain n'est efficace que si les conditions de milieu qui ont permis la réalisation d'un rendement grain donné, se répètent de façon régulière. En milieux relativement plus stables, les progrès de la sélection directe sont, donc plus évidents, qu'ils ne le sont en milieux variables où les interactions génotype x environnements amenuisent le gain génétique réalisé (Bouzerzour *et al.*, 1995 ; Cattivelli *et al.*, 2002). L'inefficacité de la sélection directe est expliquée par des interactions génotype x lieux qui réduisent la variance génotypique et le coefficient de l'héritabilité (Annichiarico *et al.*, 2006 ; Kamoshita *et al.*, 2008).

1.3.2 LA SÉLECTION POUR L'ADAPTABILITE

L'objectif de la sélection est l'identification de nouvelles lignées qui portent un ensemble de caractéristiques désirables leur permettant d'être adoptées comme variétés agricoles, sans de grands risques pour les producteurs. Elles doivent produire plus pour réduire les coûts de production au niveau de l'exploitation et surtout doivent se distinguer par une meilleure régularité des rendements et une nette amélioration de la qualité du produit récolté (Lecomte, 2005). La diminution des coûts de production, en zones sèches, passe par l'adoption de variétés relativement plus plastiques et plus adaptées qui valorisent des itinéraires techniques moins intensifs et tolèrent un climat de nature variable (Benmahammed *et al.*, 2010).

L'adaptation se fait suite à l'action modificatrice des facteurs extérieurs qui influencent le comportement et la structure de la plante. L'adaptation est définie aussi comme la capacité

d'une plante à croître et à donner des rendements satisfaisants dans des zones sujettes à des stress de périodicités connues (Rebetzke *et al.*, 2007). La notion d'adaptation se confond parfois avec celles de résistance et de tolérance au stress. En fait l'adaptation n'est que la résultante de la tolérance des contraintes.

Une plante adaptée est donc celle qui tolère ou résiste à un stress donné et réussit à produire à un niveau satisfaisant par rapport à une autre plante qui sera dite non adaptée (Tardieu, 2003). Du point de vue adaptation à l'environnement de production, les génotypes trop précoces courent le risque d'être touchés par le gel tardif de printemps. Ceux qui sont trop tardifs, courent le risque d'être pénalisés par l'élévation de la température et le déficit hydrique de fin de cycle de la culture. Un juste milieu entre ces deux types est recherché (Abbassenne *et al.*, 1998).

1.4 LA SÉLECTION ASSISTÉE PAR LES MARQUEURS MOLECULAIRES

Le développement des marqueurs moléculaires durant les dernières années offre la possibilité d'établir de nouvelles approches pour améliorer les stratégies de sélection (Gupta *et al.*, 1999). Les marqueurs moléculaires deviennent un outil essentiel dans les programmes de sélection de blé dur (*Triticum durum* Desf.) et tendre (*Triticum aestivum* L.).

En effet, l'apparition des marqueurs moléculaires a permis l'élaboration de méthodologie pour localiser les gènes chez les blés, ceci devrait aboutir à l'établissement de cartes des marqueurs moléculaires qui permettent de localiser les loci contrôlant le rendement, la qualité et la tolérance aux principaux stress abiotiques, ce qui améliore l'efficacité de la sélection (Gupta *et al.*, 1999).

L'utilisation des marqueurs moléculaires renforce la sélection classique. Elle identifie et étiquette les gènes d'intérêts. Elle améliore la gestion et la manipulation de la variabilité génétique pour construire des génotypes cumulant des gènes favorables. Grâce aux marqueurs nucléaires, il devient, en effet possible, d'une part, de mieux lire le génotype à travers le phénotype et, d'autre part, de contrôler les recombinaisons entre loci ciblés (Jones *et al.*, 1997 ; Bartels et Sunkar, 2005). Ceci est d'autant plus intéressant que les marqueurs moléculaires sont relativement peu influencés par la fluctuation environnementale. Ils sont aussi indépendants de l'organe mesuré ou analysé et du stade de développement du sujet concerné (Eagles *et al.*, 2001 ; Najimi *et al.*, 2003).

La sélection assistée par des marqueurs (SAM) devient de plus en plus un complément nécessaire aux schémas de sélection classique d'amélioration des céréales (Hospital, 2001). Cette technique a été utilisée de manière avantageuse dans l'amélioration de la résistance aux maladies et aux insectes (Langridge *et al.*, 2001). Les marqueurs sont, en effet, considérés comme des caractères liés au caractère principal à sélectionner. Paterson *et al.* (1991) montrent l'existence de QTL (Quantitative Traits Loci) spécifiques pour l'adaptation à certains milieux.

Pour obtenir des variétés stables, il faut accumuler dans un même fond génétique, le maximum de QTL d'adaptation. La SAM devrait permettre de construire plus rapidement et avec plus de sécurité de tels génotypes. L'introduction directe d'un petit nombre de gènes par génie génétique offre une alternative attrayante et une approche rapide pour l'amélioration de la tolérance aux stress abiotiques.

La stratégie basée sur le génie génétique repose sur le transfert d'un ou plusieurs gènes qui codent soit pour un processus biochimique soit comme terminateurs de la voie des signaux de transcriptions (Yang *et al.*, 2003). Les produits résultants de l'action des gènes introduits apportent une certaine protection, directe ou indirecte, vis-à-vis des stress abiotiques (Yang *et al.*, 2003).

1.5 VARIABILITES PHENOTYPIQUE, GENOTYPIQUE ET HERITABILITE DES CARACTERES D'INTERETS

L'amélioration génétique de toute plante cultivée dépend essentiellement de l'ampleur de la variabilité intra population soumise à la sélection (Falconer et Mc Kay, 1996). De ce fait, la création de la variabilité génétique est un prérequis pour que la sélection soit efficace (Acquaah, 2007). L'estimation de la variabilité existante dans une population, est approchée par le calcul des coefficients de la variation phénotypique et génotypique. Une variabilité importante, pour un caractère donné, suggère la possibilité d'améliorer et de réaliser du progrès sur un tel caractère, comparativement à un caractère dont la variabilité créée est étroite (Acquaah, 2007).

La partie héritable de cette variabilité est estimée par le calcul de l'héritabilité aux sens large et étroit (Acquaah, 2007). 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 (Falconer et McKay, 1996 ; Acquah, 2007). Des valeurs de l'héritabilité couplées avec un gain génétique élevés, suggèrent la possibilité de sélectionner au sein des populations afin de développer de nouveaux génotypes présentant des caractéristiques souhaitables, parce que les effets génétiques de tels caractères sont de nature additive et donc sont fixables chez la descendance (Fellahi *et al.*, 2013). Des valeurs élevées des coefficients de variation génotypique et phénotypique ont été enregistrés pour le rendement en grain par plante, le nombre de talles productives par plante et le nombre de grains par épi dans un germoplasme de 70 génotypes de blé tendre (Ali *et al.*, 2008).

Fellahi *et al.* (2013) ont rapporté des valeurs élevées de l'héritabilité pour le contenu en chlorophylle, la longueur de l'épi, le nombre d'épis par plant, le nombre de grains par épi, le poids de 1000 grains et le rendement en grain. Degewione *et al.* (2013) rapportent des valeurs élevées de l'héritabilité pour la précocité à l'épiaison, la hauteur de la plante, la durée de la période de remplissage du grain et la durée à la maturité.

Hussain *et al.*, (2013) rapportent des valeurs de l'héritabilité moyennes à élevées mais variables selon les caractères et les populations F₂ étudiées pour, le poids de 1000 grains, le nombre de grains par épi, la longueur de l'épi et la surface de la feuille étendard. Ainsi une héritabilité de 92.39% est observée pour le poids de 1000 grains. Cette valeur baisse à 86.76% pour le nombre de grains par épi.

Le gain génétique attendu en sélection prend des valeurs moyennes mais variables, aussi, selon les caractères et les populations F₂ analysées. Les résultats indiquent que certaines variétés sont plus aptes à transmettre leurs caractéristiques agronomiques à la descendance plus que d'autres. Ces génotypes sont proposés comme géniteurs pour améliorer les caractères d'intérêts (Hussain *et al.*, (2013).

Khan *et al.* (2003) rapportent des valeurs de l'héritabilité au sens large pour la hauteur de la plante, variable de 49.83 à 88.83%, pour le nombre de talles par plant de 52.25 à 88.82%, pour la surface de la feuille étendard de 66.31 à 85.01%, pour la longueur du pédoncule de 47.72 à 84.59% et pour le rendement grain de 65.58 à 90.01%, dans des populations F₂ issues de 6 croisements de blé tendre.

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

2.1 SITE EXPERIMENTAL

L'expérimentation a été conduite sur le site expérimental de l'Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA), unité de Sétif, au cours de la campagne agricole 2012/13. Le site expérimental est situé aux coordonnées géographiques 36° 15' N et 5° 87' E, à une altitude de 981m. Le climat de la région du site expérimental est de type méditerranéen, continental, semi-aride, caractérisé par un été chaud et sec, et un hiver froid et humide (Chennafi *et al.*, 2006).

Le sol, de texture limono-argileuse et de faible profondeur, appartient à la catégorie des sols steppiques, généralement pauvres en matière organique, qui varie de 1.3%, en surface, à 2.4% en profondeur. Le taux de calcaire total est de 31.3 %, la densité apparente est de 1.35 g cm⁻³.

MATERIEL VEGETAL

Le matériel végétal est constitué de la génération F₂ de 20 croisements et des 9 parents croisés (Tableau 3). Ce matériel provient d'un dispositif de croisements lignées x testeurs réalisé en 2009/2010 par Fellahi (2013). Les lignées Acsad₉₀₁, Acsad₈₉₉, Acsad₁₀₆₉ et Acsad₁₁₃₅ sont des génotypes provenant du programme de sélection de l'Acsad (Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry lands), alors que les testeurs, Ain Abid, Mahon Démias, Rmada, HD₁₂₂₀, et El Wifak, sont des sélections de l'ITGC.

HD₁₂₂₀, (synonyme Hidhab), est une sélection de l'ITGC de Sétif datant de 1985, sélection faite à l'intérieur d'une population en ségrégation provenant de CIMMYT. C'est une variété à cycle court, précoce à l'épiaison, ce qui lui permet de tolérer les stress hydrique et thermique de fin de cycle. Elle se distingue par une capacité de tallage élevée, aux épis blancs, demi-compacts, aux barbes divergentes et à paille creuse et courte.

HD₁₂₂₀ présente une adaptation très large, embrassant toutes les régions du pays. Cette variété est très appréciée par les agriculteurs, elle est la plus cultivée à cause de son potentiel

de rendement élevé. Elle remplaça la variété Mahon-Démias dans plusieurs zones agro-climatiques. Elle présente une sensibilité élevée à la rouille jaune, et sans une couverture phytosanitaire adéquate, son rendement chute fortement sous forte attaque de ce pathogène. Elle possède de bonnes caractéristiques technologiques pour la panification, c'est un blé de force.

Tableau 3. Liste des lignées parentales croisées, des populations F₂ et leur randomisation en plein champ.

Parents et croisements	Rep I	Rep II	Rep III
Acsad ₉₀₁	1	34	62
Acsad ₈₉₉	2	48	67
Acsad ₁₁₃₅	3	42	73
Acsad ₁₀₆₉	4	53	81
Ain Abid	5	57	68
Mahon Démias	6	49	77
Rmada	7	35	74
HD ₁₂₂₀	8	30	63
El Wifak	9	57	86
Acsad ₉₀₁ □ Mahon Démias	10	43	82
Acsad ₉₀₁ □ Rmada	11	36	69
Acsad ₉₀₁ □ HD ₁₂₂₀	12	58	76
Acsad ₉₀₁ □ El Wifak	13	50	64
Acsad ₈₉₉ □ Mahon Démias	14	44	80
Acsad ₈₉₉ □ Rmada	15	37	87
Acsad ₈₉₉ □ HD ₁₂₂₀	16	55	70
Acsad ₈₉₉ □ El Wifak	17	45	59
Acsad ₁₁₃₅ □ Mahon Démias	18	31	85
Acsad ₁₁₃₅ □ Rmada	19	38	78
Acsad ₁₁₃₅ □ HD ₁₂₂₀	20	56	65
Acsad ₁₁₃₅ □ El Wifak	21	46	83
Acsad ₁₀₆₉ □ Mahon Démias	22	51	60
Acsad ₁₀₆₉ □ Rmada	23	39	71
Acsad ₁₀₆₉ □ HD ₁₂₂₀	24	32	75
Acsad ₁₀₆₉ □ El Wifak	25	47	79
Ain Abid □ Mahon Démias	26	40	66
Ain Abid □ Rmada	27	52	84
Ain Abid □ HD ₁₂₂₀	28	33	72
Ain Abid □ El Wifak	29	41	61

Rmada (synonyme Acsad₈₈₅) est une sélection de l'ITGC de Sétif de 2011. C'est une variété à cycle court. L'épi blanc est de type lâche, à faible glaucescence et présente une forme pyramidale. C'est une variété qui connaît un début d'adoption dans la région de Sétif, où elle cible de remplacer HD₁₂₂₀, grâce à sa tolérance à la rouille jaune. El Wifak est une sélection de l'ITGC de Sétif, datant de 2011. Elle se caractérise par sa précocité. Le grain est

de couleur roux, l'épi est blanc, et de forme pyramidale. C'est une variété productive, possédant de bonnes caractéristiques technologiques.

L'expérimentation est mise en place sur une parcelle dont les techniques culturales adoptées sont celles préconisées par la station INRA de Sétif. Le précédent cultural est une jachère travaillée. Le premier labour est réalisé au mois de mars, avec une charrue à soc réversible. Le labour profond est repris par deux fois, espacées dans le temps, avec un cover-crop 8/16. Le matériel végétal est conduit dans un dispositif en blocs complètement randomisés avec 3 répétitions. La parcelle élémentaire a 2 rangs espacés de 20 cm et long de 10 m, soit une surface parcellaire de 4 m². L'essai est fertilisé avec 100 kg ha⁻¹ de superphosphate avant le semis et 70 kg ha⁻¹ d'urée à 35% au stade tallage. Le désherbage chimique est effectué, juste après l'apport de l'engrais azoté, avec le Sekator (herbicide anti-dicotylédones) [100 g/l Amidosulfuron + 25 g/l Iodosulfuron + 250 g/l Mefenpyrdiéthyl] à raison de 0.15 l ha⁻¹, et le Dopler plus (herbicide anti-graminées) [20 g/l de Fenoxaprop-P-ethyl + 250 g/l de Diclofop-methyl + 40 g/l Mefenpyr-diethyl] à raison de 2 l ha⁻¹.

2.2 CARACTERES MESURES

2.2.1 *La durée de la phase végétative*

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

2.2.2 *La surface de la feuille étendard*

La longueur et la plus grande largeur de la feuille étendard ont été mesurées sur un échantillon de 5 feuilles prises au hasard au stade épiaison. La surface moyenne de la dernière feuille entièrement développée a été estimée selon Spagnoletti-Zeuli et Qualset (1990):

$$SF_{FE}(\text{cm}^2) = 0.607 (L \times l),$$

Où SF_{FE} = surface moyenne de la feuille étendard (cm²), L = longueur moyenne de la feuille étendard (cm), l = largeur moyenne de la feuille étendard (cm), et 0.607 = coefficient de régression de la surface estimée à partir du papier grammage sur celle déduite par le produit ($L \times l$).

2.2.3 La hauteur de la végétation

La hauteur de la plante est mesurée juste avant la récolte de la culture. Elle est prise en cm du sol à la strate moyenne des épis par plante.

2.2.4 La longueur de l'épi

La longueur de l'épi est mesurée à partir du premier article jusqu'au sommet de l'épi, barbes non incluses.

2.2.5 La biomasse

Le poids de la biomasse aérienne accumulée à maturité, déterminée à partir du poids sec de la plante.

2.2.6 Le contenu en chlorophylle

La teneur en chlorophylle est déterminée au stade épiaison à l'aide du CCM-200 (Opti-Sciences, Tyngsboro, Massachusetts, USA). Trois lectures sont réalisées par plante et par répétition.

2.2.7 L'indice de récolte

L'indice de récolte est déterminé par le rapport du rendement grain sur la biomasse mesurée à maturité : $HI (\%) = 100(RDT/BIO)$

2.2.8 La teneur relative en eau

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

$$\mathbf{TRE} (\%) = \frac{PF-PS}{PT-PS} \times \mathbf{100} ,$$

Où TRE = teneur relative en eau foliaire (%), PF = poids frais foliaire (mg), PS = poids sec foliaire (mg), et PT = poids turgide foliaire (mg).

2.2.9 L'intégrité de la membrane cellulaire (CMI)

Le test de l'intégrité cellulaire est effectué sur les deux dernières feuilles entièrement développées (feuilles étendards). Deux feuilles sont prises au hasard par traitement. Ces échantillons sont lavés à l'eau courante. Les feuilles sont découpées en morceaux de 1cm de long. Un échantillon de 10 morceaux du limbe foliaire est mis dans un tube à essai et lavé trois fois avec de l'eau distillée pour enlever les poussières adhérentes qui peuvent influencer sur les résultats du test. Trois tubes sont utilisés par traitement.

A Chaque tube on ajoute 10 ml d'eau distillée déminéralisée. Les tubes, ainsi traités, sont périodiquement agités manuellement et laissés à la température ambiante du laboratoire. Une première lecture est faite ($EC1$) avec le conductimètre 24 heures après. Les tubes sont ensuite mis au bain marie, dont la température est portée à 100°C, pendant 60 minutes. Une deuxième lecture de la conductivité est faite 24 heures après le passage des échantillons dans le bain marie ($EC2$). L'intégrité membranaire des cellules (CMI) ou pourcentage de cellules non endommagées par le stress hydrique est estimé, selon la procédure décrite par Bajji *et al.*, (2001) et Azimzadeh et Azimzadeh (2011) comme suit:

$$\mathbf{CMI} (\%) = \left[1 - \frac{EC1}{EC2} \right] \times \mathbf{100}$$

où CMI est le % de cellules non endommagées par en réponse au déficit hydrique, $EC1$, et $EC2$ sont respectivement les conductivités du traitement avant et après passage au bain marie.

2.2.10 Le nombre et le poids des épis

Le nombre et le poids des épis sont déterminés par comptage et pesage des épis présents par plante.

2.2.11 Le nombre de grains par plante et par épi

Le nombre de grains par épi est déduit par calcul en utilisant les moyennes du rendement grain, du poids de 1000 grains et du nombre d'épis par plante :

$$\begin{aligned} \text{NGP} &= 1000 (\text{RDT}/\text{PMG}) \\ \text{NGE} &= \text{NGP}/\text{NE}, \end{aligned}$$

Avec NGP, RDT, PMG, NE et NGE sont respectivement le nombre de grains produit par plante, le rendement grain, le poids de 1000 grains, le nombre d'épis et le nombre de grains par épi.

2.2.12 *Le poids de 1000 grains*

Le poids de 1000 grains est déduit du comptage des graines produites par plante.

2.2.13 *Le rendement grain par plante*

Le rendement grain est déterminé par plante après la récolte et après décorticage des épis produits par plante.

2.3 ANALYSE DES DONNEES

Les variables mesurées sur des plantes individuelles, par croisement, sont traitées par l'analyse des statistiques descriptives pour obtenir les moyennes, les valeurs minimales, les valeurs maximales, l'amplitude et les variances phénotypiques des populations F₂ ($\sigma^2_{F_2}$) et des parents (σ^2_{Par}). Dans cette analyse, la variance de la génération F₂ est égale à :

$$\sigma^2_{F_2} = \sigma^2_G + \sigma^2_e$$

La variance des lignées parentales est égale à :

$$\sigma^2_{\text{Par}} = \sigma^2_e$$

L'héritabilité au sens large (h^2_{bs}) est déduite, selon Falconer et McKay (1996) par le rapport suivant :

$$H^2_{bs} = \frac{\sigma^2_{F_2} - \sigma^2_{\text{Par}}}{\sigma^2_{F_2}}$$

Les coefficients de variation phénotypique (CV_p) et génotypique (CV_g) sont calculés par les formules suivantes :

$$CV_p (\%) = 100 \times \frac{\sqrt{\sigma^2_{F_2}}}{\bar{Y}}$$

$$CV_g (\%) = 100 \times \frac{\sqrt{\sigma^2_{F_2} - \sigma^2_e}}{\bar{Y}}$$

Où \bar{Y} est la moyenne du caractère étudié.

Le gain génétique (GG), réalisable, en théorie au niveau de la descendance, en réponse à la sélection, est déduit par la relation suivante :

$$GGA = K \times \sigma_{F_2} \times h^2_{bs}$$

Où

- $k = 2.06$ au seuil de 5% d'intensité de sélection
- σ_{F_2} est l'écart type de la variance phénotypique de la génération F_2

Les données des F_2 des différents croisements sont soumises à une analyse de la variance, prenant la plante comme répétition (moyenne de 10 plantes par répétition). Cette analyse permet de tester l'effet croisement. Elle permet aussi de déduire les composantes de la variance et de calculer le degré d'héritabilité pour l'ensemble des croisements, par caractère étudié. Le modèle additif d'une telle analyse de la variance est, selon Steel et Torrie (1982), le suivant :

$$Y_{ij} = \mu + g_i + b_j + e(ij)$$

Où :

- Y_{ij} = Valeur observée du génotype i sur le bloc j
- μ = Moyenne générale de l'essai
- g_i = Effet du génotype i
- b_j = Effet du bloc j
- $e(ij)$ = Résiduelle du modèle

Les différentes sources de variation et le test F de ce modèle sont indiqués au tableau 4.

Tableau 4. Squelette de l'analyse de la variance du modèle additif adopté (Mc Intosh, 1983).

Source de variation	ddl	CME	F test
Blocs	b-1	M1	M1/M6
Génotypes	g-1	M2	M2/M6
Parents	p-1	M3	M3/M6
F ₂	F ₂ -1	M4	M4/M6
Par vs F ₂	1	M5	M5/M6
Résiduelle	(g-1)(b-1)	M6	--
Totale	bg-1	--	--

La plus petite différence significative, au seuil de 5%, (Ppds5%) est calculée selon Steel

et Torrie (1982) comme suit :
$$Ppds_{5\%} = t_{5\%} \sqrt{\frac{2\sigma^2 e}{b}}$$

- **t** est la valeur du t de table au seuil de 5% pour (g-1)(b-1) degrés de liberté de la résiduelle.
- **σ²e** est la résiduelle de l'analyse de la variance de la variable considérée
- **b** est le nombre de blocs qui est égale à 3.

L'étude des relations entre les différentes variables mesurées a été faite sur la base du calcul des coefficients de corrélations phénotypes (rp), et génotypiques (rg). Ces corrélations donnent une idée sur les caractères susceptibles d'être utilisés comme critères de sélection. Ces coefficients sont calculés par les formules suivantes :

$$rp = \frac{Cov p(XY)}{\sqrt{\sigma^2 p(X) \cdot \sigma^2 p(Y)}}$$

$$rg = \frac{Cov g(XY)}{\sqrt{\sigma^2 g(X) \cdot \sigma^2 g(Y)}}$$

Les covariances Covp et Covg sont déduites par décomposition des espérances moyennes attendues de l'analyse de la covariance de la paire des caractères analysés (Weber et Moorthy, 1952). La signification des coefficients de corrélations phénotypiques et génotypiques est testée par rapport aux valeurs de la table du r, avec n-2 ddl et au seuil de 5% de probabilité.

Les caractères qui jouent un rôle important dans la détermination du rendement grain, sont identifiés par l'analyse de la régression progressive (Fellahi *et al.*, 2013 ; Hannachi *et al.*,

2013).L'analyse en chemin est faite pour estimer les effets directs et indirects des variables influentes sur le rendement grain selon la méthode rapportée par Garcia Del Moral *et al.*, (2005) et attribuée à Dewey et Lu (1959).

Les effets directs (P_i) sont estimés par les coefficients de régression partiels (béta) donnés par la régression progressive. Les effets indirects (P_j) sont déduits par le produit du coefficient de corrélation (r) entre les deux caractères d'intérêts (i et j) et l'effet direct (P_j) du caractère lié (Dewey et Lu, 1959).Pour caractériser les populations F_2 étudiées en fonction des variables mesurées, une analyse en composantes principales a été réalisée avec le logiciel Past (Hammer *et al.*, 2001).

CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 PLUVIOMETRIE ET TEMPERATURES ENREGISTREES AU COURS DE L'EXPERIENCE

Le cumul des pluies enregistrées au cours du cycle de développement de la plante varie de 352.1 mm en 2011/12 à 398.0 mm en 2012/2013. Du point de répartition, on note que la campagne 2011/12, s'est caractérisée par une pluviométrie assez bien répartie jusqu'au mois d'avril, qui a enregistré le maximum de la campagne avec 79.5mm. Les mois de mai et juin 2012 ont été relativement secs (Figure 2).

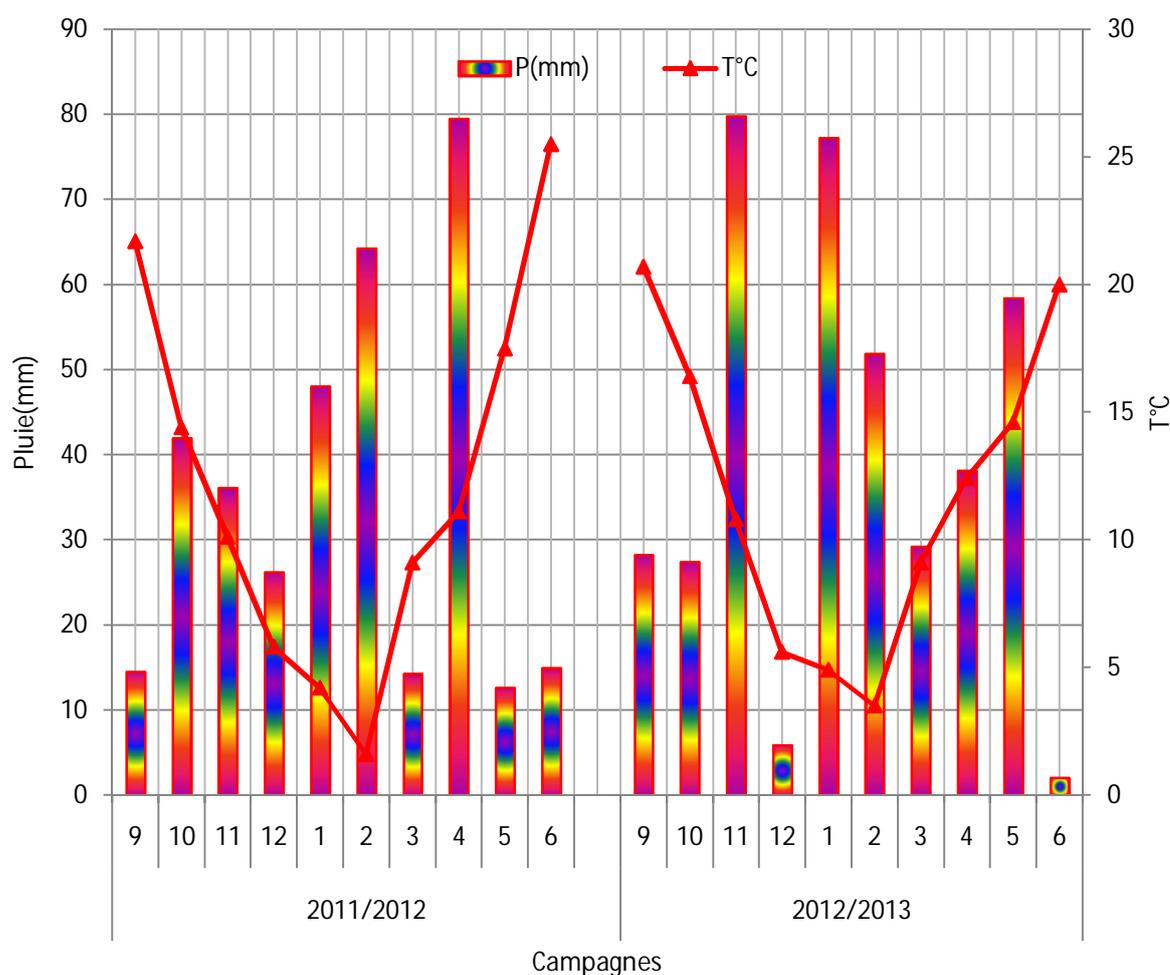


Figure 2. Distribution de la pluie et de la température moyenne mensuelle des deux campagnes d'étude.

La campagne 2012/13 a été relativement plus humide, avec cependant deux mois très secs, les mois de décembre et de juin. Là aussi le mois de juin a été précédé par un mois de mai bien arrosé, avec 58.5 mm (Figure 2).

L'analyse du régime thermique indique que les mois de novembre à mars enregistrent des températures moyennes basses. Ceci empêche tout développement de la végétation et ne permet pas aux eaux des pluies automnales et hivernales d'être valorisées par la culture.

Les mois d'avril, mai et juin connaissent, par contre, une élévation importante de la température de l'air, passant du dessous de 10°C à plus de 20°C (Figure 2). Ce phénomène brusque la végétation à terminer un cycle qui vient juste de démarrer et de ce fait raccourcit la durée de la phase de remplissage du grain qui représente, souvent, moins de 20% de la durée du cycle (Haddad, 2010).

3.2 ANALYSE DE LA VARIABILITE PHENOTYPIQUE

3.2.1 La durée de la phase végétative

L'analyse de la variance met en évidence un effet génotype significatif pour l'ensemble des caractères mesurés et soumis à l'analyse (Tableau 5). Les résultats de l'analyse suggèrent la présence de la variabilité d'origine génétique au sein du matériel végétal produit. Cette variabilité mérite d'être exploitée à des fins de sélection pour améliorer les performances et l'adaptation du blé tendre à la variation des milieux de productions (Tableau 5).

Tableau 5. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance des caractères phéno-morpho-physiologiques mesurés chez les populations F₂ du croisement Testeurs x Lignées de blé tendre.

Sources	Ddl	DPV	SF _{FE}	PHT	LE	BIO	CHL	HI	TRE	CMI
Rep	2	19.25	3.24	210.1	0.76	8.3	11.79	24.07	5.99	6.1
Gen	28	21.94*	13.9*	316.4*	2.30*	49.5*	39.8*	194.7*	38.5*	14.7*
Par	8	30.39*	18.6*	537.7*	4.98*	48.7*	68.2*	107.6*	17.3*	24.3*
Xss	19	17.82*	12.6*	227.7*	1.17*	42.6*	29.7*	237.9*	49.4*	11.3*
P vs Xss	1	30.00*	0.14 ^{ns}	231.3*	2.20*	186.8*	3.5 ^{ns}	53.5*	1.97 ^{ns}	4.0 ^{ns}
Erreur	56	3.30	3.7	12.5	0.28	3.94	9.13	11.9	3.5	6.0

DPV (j) = durée de la phase végétative, en jours, CHL = Chlorophylle CCI (unité arbitraire), TRE = Teneur relative foliaire (%), CMI = Intégrité de la membrane cellulaire (%), SF_{FE} = Surface de la feuille étendard (cm²), PHT = Hauteur de la plante (cm), LE = longueur de l'épi (cm), BIO = Biomasse aérienne par plante (g), HI = Indice de récolte (%).

La durée de la phase végétative est intéressante, du point de vue sélection, pour adapter le cycle de la variété au milieu de production, qui se caractérise, le plus souvent, par des stress abiotiques, en début et en fin de cycle (Benmahammed *et al.*, 2010). Des différences sont observées aussi bien entre les géniteurs croisés qu'entre les populations F₂ produites, comme l'indique les effets parents et croisements qui sont significatifs (Tableau 5). Chez les parents, la durée de la phase végétative varie de 132.0 jours, moyenne de la variété El Wifak, à 140.6

jours, valeur observée chez HD₁₂₂₀, avec une moyenne de l'ensemble des parents de 136.3 jours (Tableau 6).

Tableau 6. Valeurs moyennes des caractères phéno-morpho-physiologiques mesurés chez les parents et les populations F₂ du croisement Testeurs x Lignées de blé tendre.

Par/Pop	DPV	SF _{FE}	PHT	LE	BIO	HI	CHL	TRE	CMI
Parents									
A ₉₀₁	136.33	18.49	59.58	10.14	17.65	46.18	30.05	79.62	93.70
A ₈₉₉	138.00	15.25	65.28	9.65	22.37	51.23	38.07	83.58	94.64
A ₁₁₃₅	134.67	15.19	73.10	10.89	23.60	55.54	33.06	84.47	95.21
A ₁₀₆₉	134.00	16.61	68.10	11.59	22.69	45.34	36.80	84.48	92.98
AA	138.67	20.69	76.60	14.29	25.78	58.95	27.97	84.99	85.97
MD	140.33	17.89	104.82	11.51	32.27	39.81	23.47	78.19	91.54
RM	133.00	13.02	68.30	11.37	22.17	50.51	31.80	80.41	95.31
HD	140.67	17.50	63.42	11.20	23.60	47.80	33.99	81.87	93.33
WIF	132.00	13.37	66.20	11.27	20.30	43.41	37.12	81.92	93.11
Moy Parents	136.35	16.45	71.71	11.32	23.38	48.75	32.48	82.17	92.87
Populations F₂(X_{ss})									
A ₉₀₁ /MD	135.67	16.59	88.97	11.16	28.20	47.15	27.63	79.36	91.70
A ₉₀₁ /RM	136.33	17.94	66.05	10.96	21.74	43.57	31.20	87.35	92.06
A ₉₀₁ /HD	137.33	19.93	68.03	10.70	24.80	45.86	29.33	78.64	93.97
A ₉₀₁ /WIF	134.33	16.81	67.20	11.21	22.50	44.75	31.57	82.91	88.85
A ₈₉₉ /MD	136.00	16.69	90.97	11.10	30.57	40.16	28.01	76.28	97.43
A ₈₉₉ /RM	132.67	13.92	68.63	11.56	26.63	48.25	32.00	85.09	95.78
A ₈₉₉ /HD	139.33	17.54	65.20	11.02	26.07	45.13	34.48	87.82	92.85
A ₈₉₉ /WIF	130.00	14.28	70.27	11.39	28.57	42.50	34.57	77.79	93.49
A ₁₁₃₅ /MD	135.33	16.34	88.27	11.72	31.18	43.99	33.67	85.95	93.03
A ₁₁₃₅ /RM	132.00	16.56	71.90	11.75	31.12	43.65	35.37	85.54	93.88
A ₁₁₃₅ /HD	136.67	15.80	72.20	12.07	29.80	36.74	33.82	86.17	91.59
A ₁₁₃₅ /WIF	133.00	14.39	72.20	11.91	23.08	46.87	36.62	81.85	95.73
A ₁₀₆₉ /MD	135.00	15.13	89.97	11.30	27.07	43.71	31.86	72.82	91.00
A ₁₀₆₉ /RM	131.33	14.85	72.37	11.95	20.07	82.19	36.12	83.60	94.98
A ₁₀₆₉ /HD	134.67	14.89	68.23	11.30	28.75	51.02	37.60	86.50	94.52
A ₁₀₆₉ /WIF	133.00	13.79	71.60	11.69	18.60	45.08	39.22	84.34	94.08
AA/MD	137.33	21.58	87.13	12.14	30.30	44.37	30.23	84.11	91.47
AA/RM	136.67	16.54	77.28	12.99	25.36	48.71	29.62	83.34	94.17
AA/HD	138.00	18.46	75.00	12.69	30.20	46.86	32.29	81.97	92.66
AA/WIF	137.00	18.63	73.23	12.73	26.37	50.56	33.13	78.48	93.45
MoyF ₂	135.00	16.53	75.24	11.67	26.55	47.06	32.92	82.50	93.33
Ppds _{5%}	2.97	3.26	5.81	0.86	3.25	5.66	4.94	3.07	4.01

PREC (j) = précocité au stade épiaison en jours, CHL = Chlorophylle CCI (unité arbitraire), TRE = Teneur relative foliaire (%), CMI = intégrité de la membrane cellulaire vis-à-vis du stress hydrique (%), SF = Surface de la feuille étendue (cm²), PHT = Hauteur de la plante (cm), LE = longueur de l'épi (cm), BIO = Biomasse aérienne par plante (g), HI = Indice de récolte (%).

Chez les populations F₂, la durée moyenne de cette phase est de 135.0 jours. La population qui est la plus précoce est A₈₉₉/El Wifak, avec une moyenne de 130.0 jours et celle

qui est la plus tardive est A₈₉₉/HD, avec une moyenne de 139.33 jours (Tableau 6). Chez ces deux populations qui sont issues de croisements dont un parent est constant, en l'occurrence Acsad₈₉₉, présentent l'effet génique du parent variable, suggérant que la dominance agit dans le sens de la réduction de la durée à l'épiaison chez la population A₈₉₉/El Wifak et dans le sens de la tardiveté chez la population A₈₉₉/HD (Tableau 6).

La comparaison de la moyenne générale de l'ensemble des populations F₂ à celle de l'ensemble des parents indique une réduction de la durée de la phase végétative chez les populations F₂ produites de 1.35 jours. Cet écart est statistiquement significatif comme l'indique le contraste « parents vs croisements » (Tableaux 5 et 6). Comparativement à la variété HD₁₂₂₀, qui est la plus tardive, les différentes populations F₂ produites apportent un gain en précocité qui varie de -1 à -10 jours (Figure 1). Les croisements ayant comme parents communs El Wifaket Rmada présentent une plus grande réduction de la durée de la phase végétative (Figure 3).

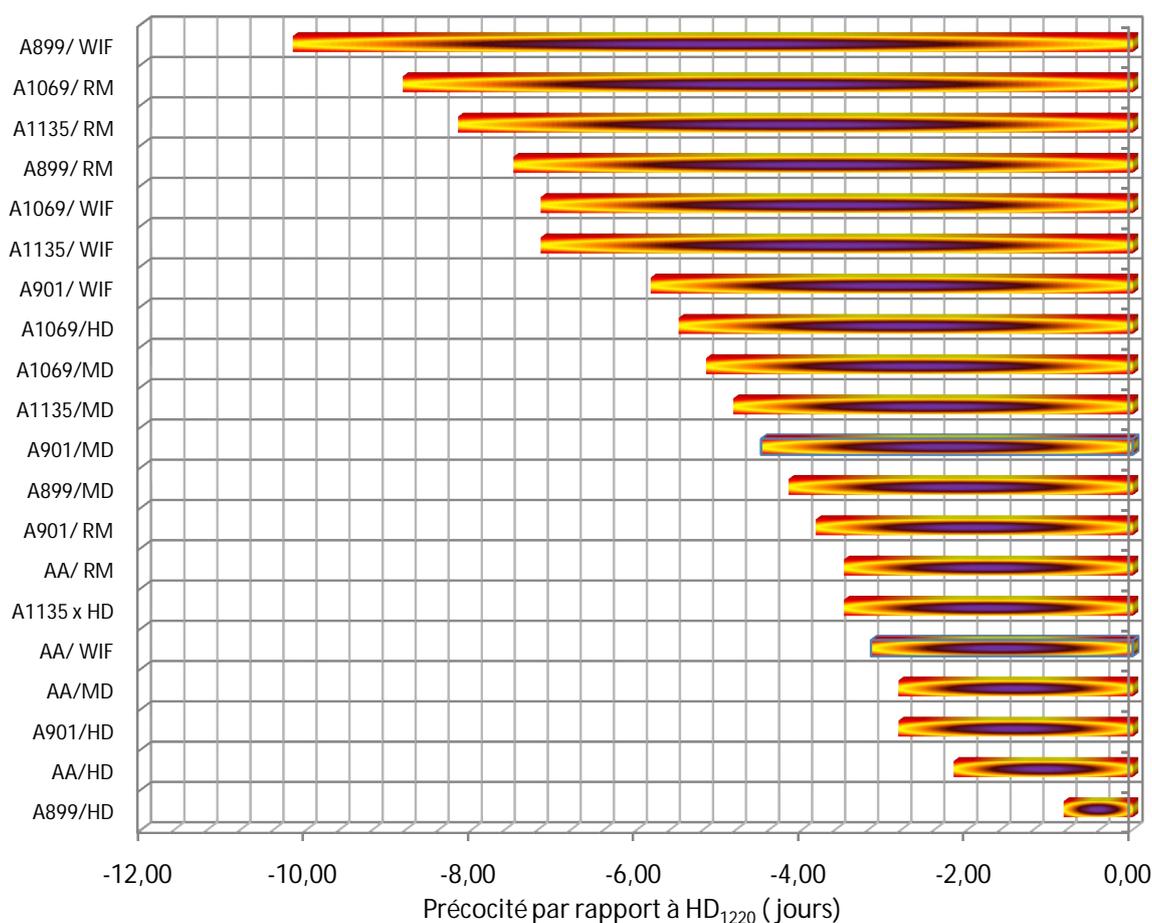


Figure 3. Réduction de la durée de la phase végétative chez les différentes populations F₂ produites relativement au parent HD₁₂₂₀.

3.2.2 La surface de la feuille étendard

L'analyse de la variance des données relatives à la surface de la feuille étendard indique des effets génotypes, parents et croisements significatifs alors que la différence entre la moyenne de l'ensemble des parents et celle de l'ensemble des populations F_2 n'est pas significative (Tableau 5). Ces résultats suggèrent la présence de la variabilité pour la surface de la feuille étendard chez les parents croisés et chez les populations produites, cependant, en moyenne, il n'y a pas de gain, dans le sens désiré de la sélection, chez les populations créées par rapport à la moyenne parentale.

Chez les lignées parentales, les variétés Ain Abid et Acsad₉₀₁ présentent la surface de la feuille étendard, la plus élevée, avec des moyennes, respectivement, de 20.7 et 18.49 cm². Par contre, les variétés Rmada et El Wifak, avec des moyennes, respectives, de 13.02 et 13.37 cm², se caractérisent par la surface de la feuille étendard la plus petite (Tableau 6). La plus petite différence significative est de 3.26cm² et la moyenne de l'ensemble des parents est de 16.45 cm (Tableau 6).

Chez les populations F_2 , le croisement AA/MD présente la surface de la feuille étendard, la plus élevée, avec une moyenne de 21.58 cm² alors que la population Acsad₁₀₆₉/El Wifaka la plus petite surface de la feuille étendard dont la moyenne est de 13.79cm². La moyenne générale des populations F_2 est de 16.53 cm².

La surface de la feuille étendard de la génération F_2 est significativement corrélée avec celle du parent moyen ($r= 0.7280$, $P<0.01$) et celle du parent supérieur ($r=0.6622$, $P<0.01$), mais pas avec la moyenne du parent inférieur ($r=0.3905$, $p>0.05$). Ces résultats suggèrent que pour améliorer la surface de la feuille étendard de la descendance, il serait judicieux de croiser des lignées qui possèdent une surface de la feuille étendard élevée et réaliser des croisements de type High x High (Ghaderi *et al.*, 1984). La relation entre les valeurs des populations F_2 et les valeurs parentales est indiquée en figure 4.

3.2.3 La hauteur de la végétation

L'analyse de la variance de la hauteur de la végétation indique des effets moyens génotype, parent, croisement et contraste 'parents vs croisements' significatifs (Tableau 5). Ceci suggère que des différences significatives existent pour la hauteur de la végétation entre les différents génotypes, les lignées parentales et les populations F_2 . La hauteur moyenne de

l'ensemble des populations F_2 est significativement plus grande que la moyenne des parents croisés de 3.53 cm, comme le suggère la signification statistique du contraste (Tableaux 5 et 6). Chez les parents, le cultivar Mahon Démias présente la hauteur la plus élevée avec une moyenne de 104.8 cm, alors que la lignée Acsad₉₀₁ est la plus courte de paille avec une moyenne de 59.6 cm. La moyenne générale des parents est de 71.7 cm et la valeur prise par la ppds5% est de 5.8 cm (Tableau 6).

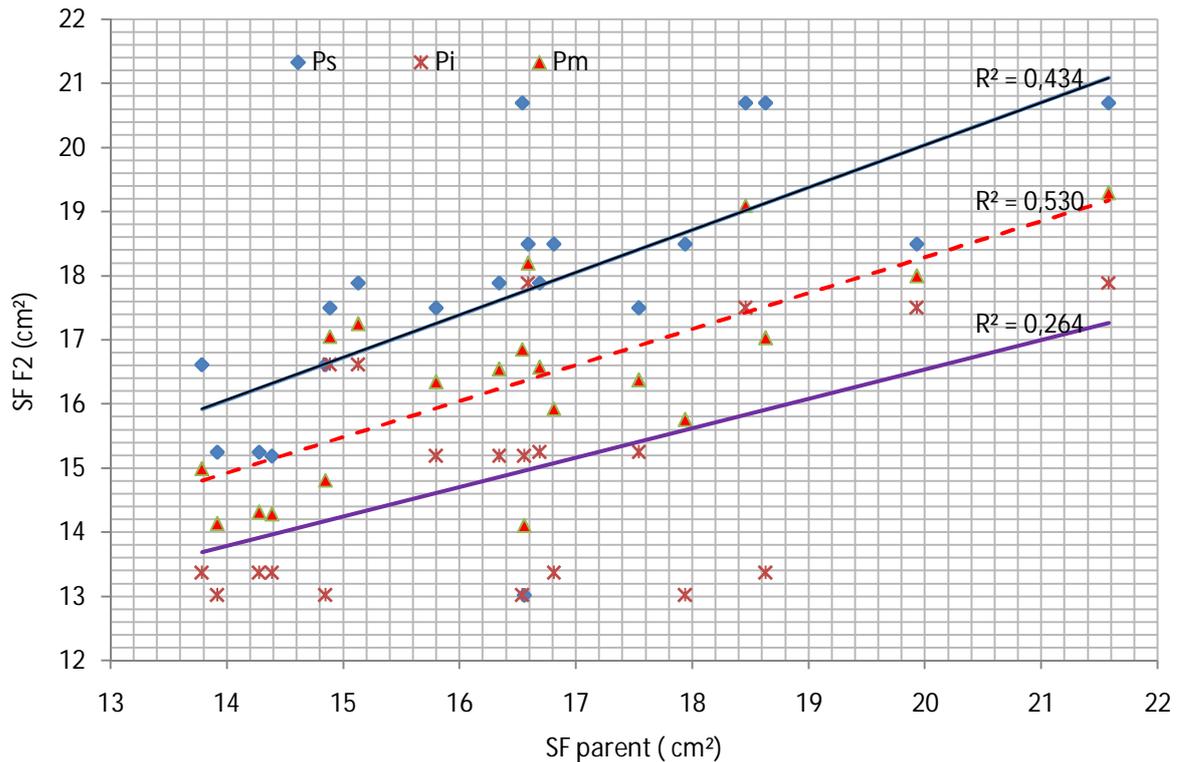


Figure 4. Relation entre la surface de la feuille étendard des populations F_2 et celles des parents inférieur (Pi), moyen (Pm) et supérieur (Ps).

Chez les F_2 , la population la plus haute est représentée par le croisement Acsad₈₉₉/Mahon Démias avec une moyenne de 90.9 cm ; alors que la population la plus courte est représentée par le croisement Acsad₈₉₉/HD₁₂₂₀ (Tableau 6).

On note, chez les populations créées, une réduction de la hauteur de la végétation variable de 13.2 à 37.8% relativement au cultivar MD, qui est le témoin standard. Par contre, on note une augmentation de la hauteur de la végétation relativement à la variété adoptée HD₁₂₂₀. Cette augmentation varie de 2.8% à 43.4%, respectivement chez Acsad₈₉₉/HD₁₂₂₀ et Acsad₈₉₉/MD, qui représentent les extrêmes (Figure 5).

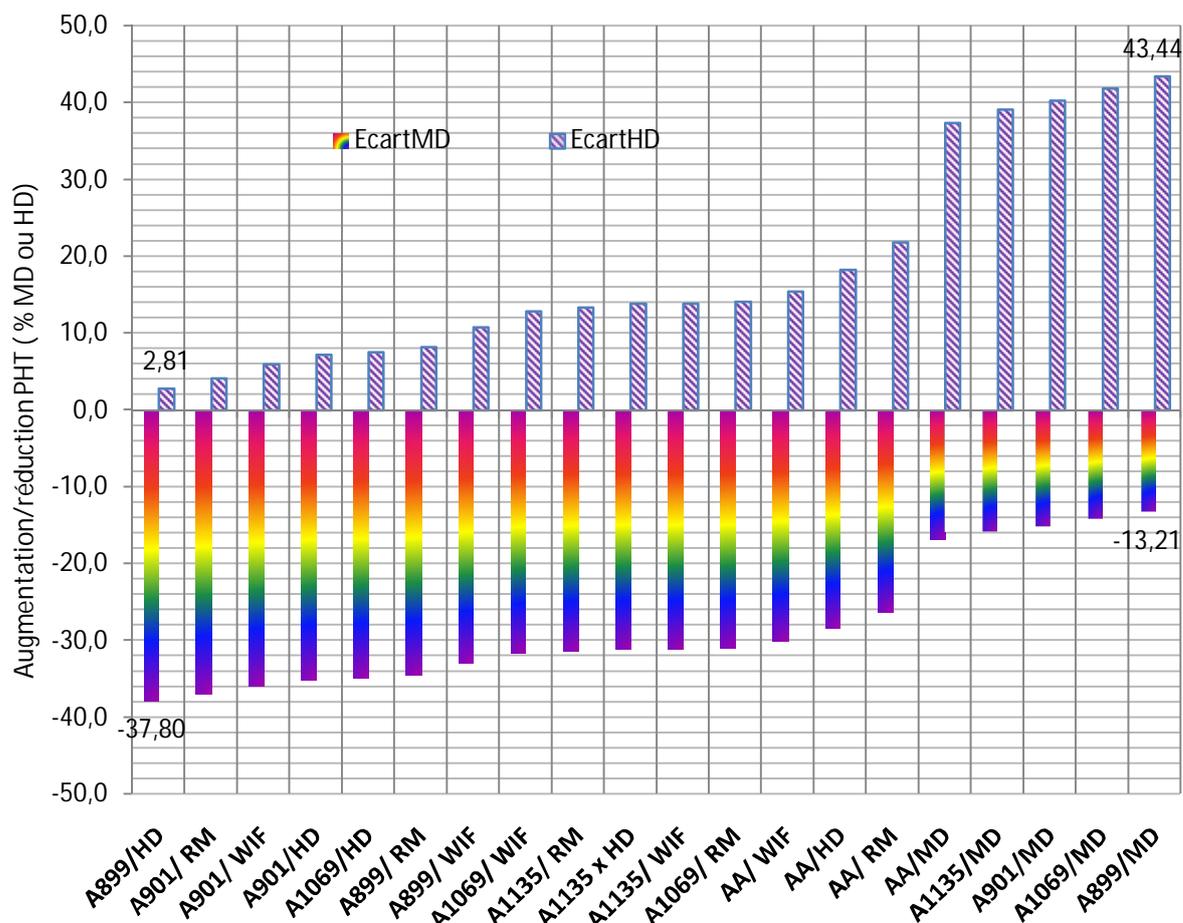


Figure 5. Réduction de la hauteur des populations F_2 relativement à MD et augmentation relativement à HD_{1220} .

3.2.4 La longueur de l'épi

Les effets génotypes, parents, croisements ainsi que le contraste parents vs croisements sont significatifs pour la longueur de l'épi (Tableau 5). La longueur moyenne de l'épi des lignées parentales est de 11.3 cm alors que celle des populations F_2 est de 11.62 cm. La différence de 0.34 cm est statistiquement significative, indiquant une amélioration de la longueur de l'épi chez la descendance comparativement à la moyenne des parents croisés (Tableau 6).

Chez les géniteurs, la longueur moyenne de l'épi varie de 9.6 cm pour $Acsad_{899}$ à 14.2 cm pour Ain Abid, alors que chez les populations F_2 , le croisement $Acsad_{901}/HD_{1220}$ présente l'épi le plus court de 10.7 cm alors que le croisement AA/RM a l'épi le plus long de 12.9 cm (Tableau 6). Comparativement à la lignée $Acsad_{899}$ qui présente l'épi le plus court, toutes les populations F_2 apportent un gain pour la longueur de l'épi qui varie de 5 à 35%, alors que le cultivar Ain Abid, qui possède l'épi le plus long, présente un avantage de 48% (Figure 6).

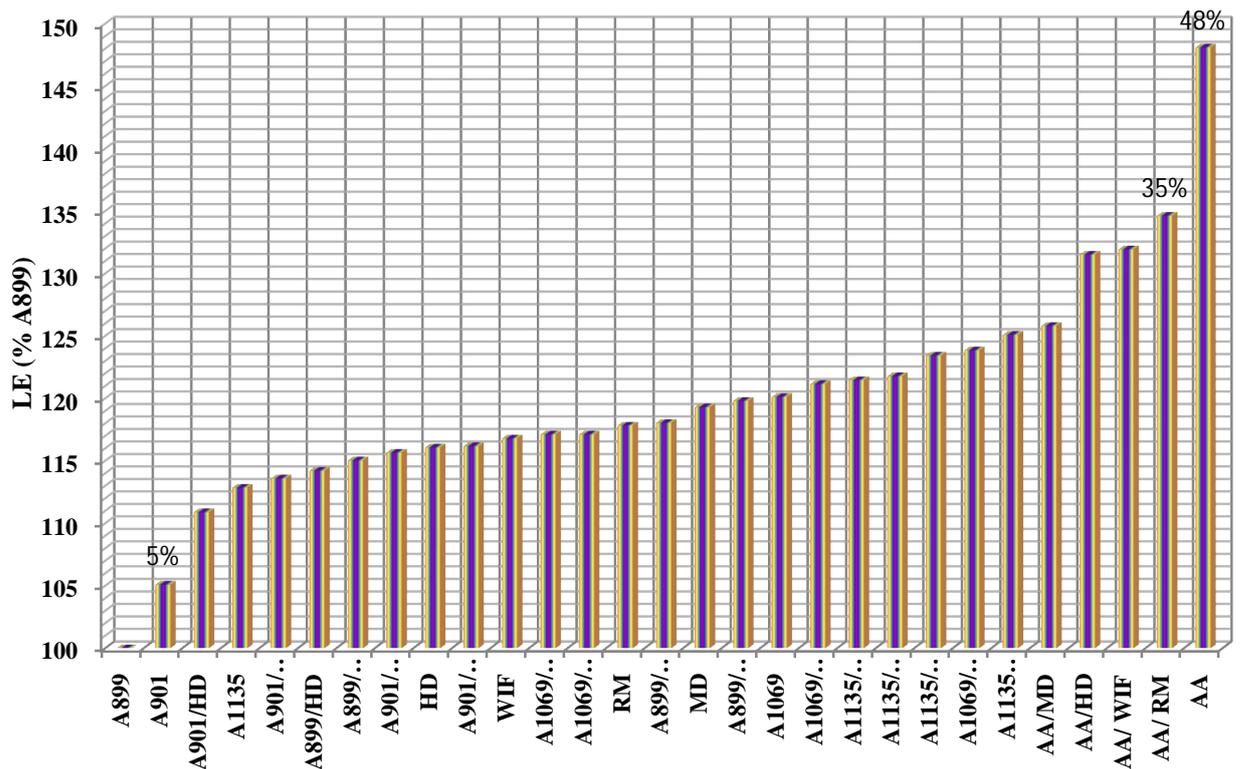


Figure 6. Augmentation relative de la longueur de l'épi des populations F₂ et lignées parentales relativement à la longueur de la lignée Acsad₈₉₉.

3.2.5 La biomasse aérienne et l'indice de récolte

L'analyse de la variance de la biomasse aérienne et l'indice de récolte indique des effets génotypes, parents, populations F₂ et parents vs populations F₂ significatifs (Tableau 5). Le contraste indique qu'il y a une amélioration de la biomasse aérienne de la descendance comparativement à la moyenne des lignées parentales croisées de 3.17 g par plante, concomitante à une réduction de l'indice de récolte de 1.7%, ce qui suggère que l'augmentation de la biomasse n'est pas valorisée sous forme de grain chez la descendance (Tableaux 5 et 6).

Chez les parents, les valeurs extrêmes de la biomasse sont de 17.6 g/plante (Acsad₉₀₁) et 32.2 g/plante (Mahon Démiás), et celle de l'indice de récolte, vont de 39.8% (Mahon Démiás) et 58.9% (Ain Abid). Chez les populations F₂, le meilleur croisement pour la biomasse est A₁₁₃₅/MD avec 31.2 g/plante et celui qui présente le meilleur indice de récolte est Acsad₁₀₆₉/HD₁₂₂₀ avec une valeur moyenne de 51.0% (Tableau 6). Les populations qui présentent les plus faibles valeurs moyennes sont Acsad₁₀₆₉/RM pour la biomasse aérienne par plante (20.1 g) et Acsad₁₁₃₅/HD₁₂₂₀ pour l'indice de récolte (36.7%).

3.2.6 La chlorophylle, la teneur relative en eau et l'intégrité de la membrane cellulaire

L'analyse de la variance des valeurs prises par les caractères indicateurs de la tolérance aux stress abiotiques, chlorophylle, teneur relative en eau et intégrité cellulaire, indique des effets génotypes, parents et populations F₂ significatifs alors que le contraste Parents vs F₂ n'est pas (Tableau 5). Ces résultats indiquent l'existence de la variabilité pour ces caractères chez les parents croisés et les populations F₂ produites. Cependant la moyenne de l'ensemble des populations F₂ n'est pas significativement différente de la moyenne de l'ensemble des parents croisés (Tableau 5). Les moyennes des parents sont de 32.5 unités de chlorophylle, 82.2% teneur relative en eau et 92.9% pour l'intégrité de la membrane cellulaire. Pour les populations F₂, ces valeurs moyennes sont de 32.9 unités de chlorophylle, 82.5% pour la teneur relative en eau, et 93.3% pour l'intégrité de la membrane cellulaire (Tableau 6).

Chez les parents A₈₉₉ présente le meilleur contenu en chlorophylle (38.1), Ain Abid, la meilleure valeur de la teneur relative en eau (84.9%) et Rmada la meilleure valeur de l'intégrité de la membrane cellulaire (95.3%). Le cultivar MD présente le plus faible contenu en chlorophylle et la plus faible valeur de la teneur relative en eau alors qu'Ain Abid présente la plus faible valeur de l'intégrité de la membrane cellulaire (Tableau 6).

Chez les populations F₂, le croisement Acsad₉₀₁/MD présente le plus faible contenu en chlorophylle (27.6), Acsad₉₀₁/El Wifak, la plus faible CMI (88.8%) et Acsad₁₀₆₉/MD, la plus faible valeur de la teneur relative en eau de 72.8%. Les valeurs moyennes les plus élevées sont observées chez Acsad₈₉₉/MD pour l'intégrité de la membrane cellulaire (97.4%), Acsad₈₉₉/HD pour la teneur relative en eau (87.8) et Acsad₁₀₆₉/El Wifak, pour le contenu en chlorophylle (39.2) (Tableau 6). Selon Hamblin *et al.*, (2014), un faible contenu en chlorophylle est bénéfique pour la plante en conditions contraignantes. La végétation est de couleur moins verte, permettant de réfléchir la lumière en excès et donc une moindre surchauffe.

3.2.7 Le rendement et les composantes

L'analyse de la variance du rendement et ses composantes indique des effets génotype, parent, population F₂ et contraste 'Parents vs F₂' significatifs, hormis le nombre de grains par épi pour laquelle le contraste n'est pas significatif (Tableau 7). Ces résultats indiquent

l'existence de la variabilité pour ces caractères aussi bien chez les parents croisés que chez la descendance représentée par les populations F₂ produites. Les valeurs moyennes des parents sont de 6.56 épis, pour le nombre d'épis par plante, 16.95 g pour le poids des épis produit par plante, 328,0 graines pour le nombre de graines produites par plante, 51.21 graines pour le nombre de grains par épi, 36.06 g pour le poids de 1000 grains et 11.36 g pour le rendement grain (Tableau 8).

Tableau 7. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance du rendement grain et des composantes du rendement mesurés chez les parents et les populations F₂ du croisement Testeurs x Lignées de blé tendre.

Sources	Ddl	NE	PNE	NGP	NGE	PMG	RDT
Rep	2	2.38	11.65	1625.50	19.79	3.05	0.27
Gen	28	4.14*	33.59*	11815.00*	204.36*	19.08*	12.57*
Par	8	5.17*	56.37*	22406.00*	339.25*	30.24*	16.08*
Xss	19	3.64*	24.04*	7863.72*	146.00*	15.03*	10.81*
P vs Xss	1	5.25*	24.46*	2160.54*	222.66 ^{ns}	6.78*	17.90*
Erreur	56	0.43	3.31	407.04	6.94	5.19	0.69

NE = Nombre d'épis par plante, PNE = Poids des épis par plante (g), NGP = Nombre de grains par plante, NGE = Nombre de grains par épi, PMG = Poids de 1000 grains (g), RDT = Rendement grain par plante (g).

Les moyennes des populations F₂, pour les mêmes caractères sont de 7.09 épis, pour le nombre d'épis par plante, 18.10 g pour le poids des épis produit par plante, 338,77 graines pour le nombre de graines produites par plante, 47.75 graines pour le nombre de grains par épi, 47.75 g pour le poids de 1000 grains et 12.34 g pour le rendement grain (Tableau 8). Les moyennes des populations F₂, pour ces variables, sont significativement différentes des moyennes des parents, à l'exception du nombre de grain par épi pour lequel la différence n'est pas significative (Tableau 7). Ces résultats suggèrent un progrès réalisable pour le rendement et ses composantes sauf pour le nombre de grains par épi.

Parmi les parents, Ain Abid (AA) présente les valeurs moyennes les plus élevées pour le poids des épis, le nombre de grains produit par plante, le nombre de grains par épi et le rendement grain ; alors que se caractérise par un nombre d'épis par plante et un poids de 1000 grains élevés, associés un faible nombre de grains par épi (Tableau 8). Acsad₉₀₁ présente les plus faibles moyennes du nombre d'épis, du poids des épis et du rendement grain. HD₁₂₂₀ enregistre le plus faible poids de 1000 grains et El Wifak le plus faible nombre de grains par plante (Tableau 8).

Tableau 8. Valeurs moyennes du rendement grain et des composantes du rendement mesurés chez les parents et les populations F₂ du croisement Testeurs x Lignées de blé tendre.

Par/Pop	NE	PNE	NGP	NGE	PMG	RDT
Parents						
A ₉₀₁	5.07	12.42	245.45	52.06	33.52	8.14
A ₈₉₉	5.37	13.11	323.39	60.60	39.47	11.46
A ₁₁₃₅	7.27	19.06	341.34	43.88	38.39	13.10
A ₁₀₆₉	5.50	15.80	284.29	53.81	34.59	9.83
AA	7.53	26.12	528.66	70.49	33.89	15.63
MD	9.23	20.81	314.68	34.08	40.79	12.84
RM	6.57	15.02	323.03	49.24	34.69	11.21
HD	6.63	15.19	359.85	54.30	31.31	11.26
WIF	5.90	15.06	231.34	42.43	37.93	8.77
Moy Parents	6.56	16.95	328.00	51.21	36.06	11.36
Populations F₂(Xss)						
A ₉₀₁ /MD	7.37	18.42	361.88	47.79	36.74	13.24
A ₉₀₁ / RM	4.93	13.40	270.77	55.06	34.80	9.42
A ₉₀₁ /HD	5.83	15.80	341.98	60.23	33.20	11.35
A ₉₀₁ / WIF	5.20	14.08	279.45	54.20	35.99	10.06
A ₈₉₉ /MD	8.80	19.57	338.42	39.90	36.26	12.27
A ₈₉₉ / RM	7.73	19.27	375.58	45.73	34.17	12.83
A ₈₉₉ /HD	8.13	19.56	345.24	42.58	34.07	11.74
A ₈₉₉ / WIF	8.03	21.15	358.21	44.80	33.86	12.13
A ₁₁₃₅ /MD	8.13	19.65	346.71	42.66	39.60	13.71
A ₁₁₃₅ / RM	8.53	20.61	376.17	44.08	40.63	13.31
A ₁₁₃₅ x HD	6.67	15.69	290.10	43.57	37.59	10.91
A ₁₁₃₅ / WIF	6.83	16.31	283.90	43.26	38.09	10.81
A ₁₀₆₉ /MD	7.60	17.18	286.97	37.74	41.24	11.84
A ₁₀₆₉ / RM	6.67	15.24	434.64	52.29	37.21	16.48
A ₁₀₆₉ /HD	7.33	20.52	395.29	54.10	36.12	14.63
A ₁₀₆₉ / WIF	5.97	12.74	232.20	39.38	36.00	8.35
AA/MD	7.87	22.57	345.75	44.10	38.86	13.44
AA/ RM	6.60	19.70	330.87	50.23	37.30	12.35
AA/HD	7.77	20.71	407.59	49.98	34.71	14.14
AA/ WIF	5.90	19.84	373.78	63.36	36.92	13.80
Moy F ₂	7.09	18.10	338.77	47.75	36.67	12.34
Ppds _{5%}	1.08	2.98	33.00	4.31	3.73	1.37

NE = Nombre d'épis par plante, PNE = Poids des épis par plante (g), NGP = Nombre de grains par plante, NGE = Nombre de grains par épi, PMG = Poids de 1000 grains (g), RDT = Rendement grain par plante (g).

La performance de rendement des populations F₂ et des lignées parentales, exprimée en % de la moyenne des parents est donnée en figure 7. Neuf populations F₂ et trois lignées parentales, MD, AA et A1135, présente un avantage de rendement grain supérieur à 10% (Figure 7).

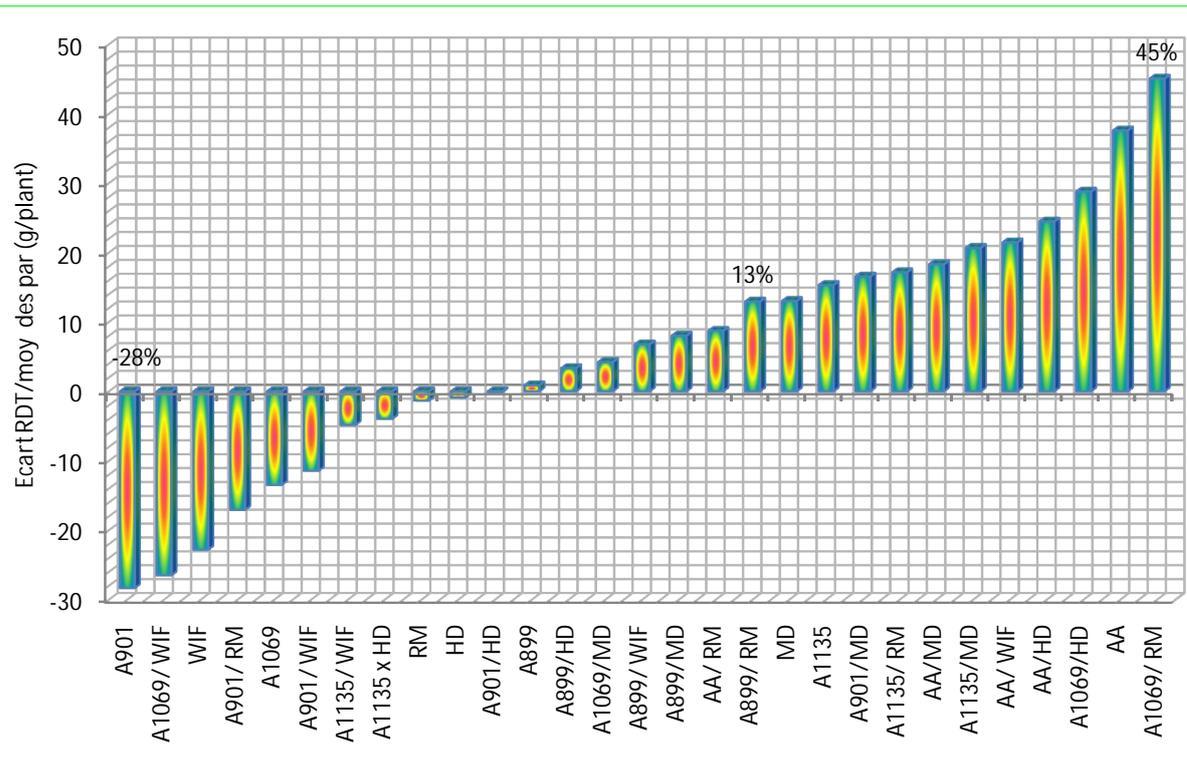


Figure 7. Ecart de rendement des populations F_2 et lignées parentales relativement à la moyenne des rendements des parents.

3.3 VARIABILITES PHENOTYPIQUE ET GENOTYPIQUE, HERITABILITE ET GAIN GENETIQUE

3.3.1 Le coefficient de variation phénotypique

Deshmukh *et al.*, (1986) considèrent que les coefficients de la variabilité phénotypique (CVp) et génotypique (CVg) dont la valeur est supérieure à 20% sont élevés, ceux dont la valeur est située entre 10 et 20%, sont moyens et ceux dont la valeur est inférieure à 10% sont faibles. Des valeurs élevées pour les CVp et CVg suggèrent que la sélection sur la base des caractères concernés serait efficace, parce qu'il y a une bonne corrélation entre le phénotypique mesuré et l'expression du génotype (Singh *et al.*, 1994).

Dans le contexte de la présente étude, trois caractères mesurés, la hauteur de la végétation, la longueur de l'épi et l'indice de récolte présentent des CVp de valeurs faibles à intermédiaires, variant de 5.31 pour l'indice de récolte, du croisement Acsad₁₀₆₉/MD, à 17.15 pour la longueur de l'épi du croisement AA/MD (Tableau 9).

Les CVp observés du contenu en chlorophylle, et de la surface foliaire sont moyens à élevés, variant de 13.26 % pour le contenu en chlorophylle du croisement A₁₀₆₉/MD à 29.20 % pour la surface foliaire de la feuille étendard du croisement A₉₀₁/MD (Tableau 9). Par contre, les CVp des caractères qui relèvent du poids total ou d'une partie de la plante, présentent des CVp, très élevés, variant de 32.44 % pour le nombre d'épis du croisement A₈₉₉/Wi à 71.16 % pour le rendement grain par plante du croisement A₉₀₁/RM (Tableau 9).

Sur la seule base des CVp, les résultats indiquent que la sélection sur la base de la hauteur de la végétation, la longueur de l'épi et l'indice de récolte serait moins aisée et peu efficace, suite à la faible variabilité présente. Par contre, elle serait plus efficace sur la base du contenu en chlorophylle et de la surface foliaire et très efficace sur la base de la biomasse, du rendement et du nombre et du poids des épis. Ces caractères présentent des coefficients de variation phénotypiques élevés en valeurs.

Tableau 9. Valeurs du coefficient de variation phénotypique (%) des différents caractères mesurés chez les populations F₂.

Pop	CHL	SF _{FE}	PHT	LE	BIO	HI	PNE	NE	RDT
A901/MD	17.28	29.60	10.67	11.80	37.38	9.96	43.10	35.73	46.07
A901/RM	25.28	25.37	10.86	9.46	44.49	10.96	46.38	56.58	71.16
A901/HD	17.80	23.40	13.44	7.93	40.47	13.74	38.80	41.75	51.80
A901/Wi	21.69	22.86	15.13	10.91	40.60	10.37	41.93	57.64	54.71
A899/MD	19.24	26.26	13.42	11.39	52.33	13.10	45.49	51.64	63.11
A899/RM	21.02	26.46	11.50	8.37	45.29	12.50	43.49	40.41	46.60
A899/HD	22.85	24.98	11.47	8.09	42.32	12.58	39.71	37.47	42.16
A899/Wi	15.27	24.51	14.41	12.04	38.29	13.54	40.14	32.44	38.59
A1135/MD	16.48	23.78	10.78	13.49	41.34	12.27	40.24	43.11	40.91
A1135/RM	17.93	21.04	12.78	11.42	45.79	14.31	41.63	51.78	48.59
A1135/HD	20.16	25.94	13.90	10.85	55.02	9.78	52.02	36.76	55.69
A1135/Wi	20.78	28.82	14.34	11.20	42.48	8.52	44.62	41.93	54.95
A1069/MD	22.70	25.98	10.45	12.01	51.53	5.31	45.34	47.96	49.64
A1069/RM	16.27	18.64	12.34	10.61	62.31	12.59	48.02	42.67	56.00
A1069/HD	13.26	22.77	10.81	7.47	38.30	12.21	39.86	40.06	44.11
A1069/Wi	14.03	21.61	10.71	8.22	47.17	11.31	60.48	39.96	57.54
AA/MD	20.54	22.49	14.76	17.15	46.90	11.57	43.14	35.44	45.08
AA/RM	21.94	25.23	13.02	9.29	41.17	13.63	45.02	41.08	44.37
AA/HD	15.18	23.24	9.10	11.58	40.81	6.47	40.69	44.43	41.89
AA/Wi	15.19	21.09	7.34	6.57	62.86	16.34	54.50	43.52	57.81

CHL = Chlorophylle CCI (unité arbitraire, SF_{FE} = Surface de la feuille étendard (cm²), PHT = Hauteur de la plante (cm), LE = longueur de l'épi (cm), BIO = Biomasse aérienne par plante (g), HI = Indice de récolte (%), NE = Nombre d'épis par plante, PNE = Poids des épis par plante (g), RDT = Rendement grain par plante (g).

Les résultats de la présente étude corroborent ceux de Nandini *et al.*, (2010) qui rapportent une large amplitude des CVp entre croisements et entre caractères, qui varient de 1.71 pour la durée de la phase végétative à 28.43 pour le rendement grain par plante. Les valeurs des CVp observées pour la biomasse aérienne par plante et l'indice de récolte étaient de 23.038% et 23.03%, respectivement. Les valeurs notées dans la présente étude pour le rendement, la biomasse aérienne et le nombre d'épis sont relativement plus élevées.

3.3.2 Le coefficient de variation génotypique

L'étude des coefficients de variation génotypiques laisse apparaître que, le rendement gain par plante, la longueur de l'épi et la hauteur de la végétation présentent des CVg faibles, avec des valeurs inférieures à 10 %, hormis quelques croisements. Les CVg du contenu en chlorophylle, de la surface foliaire et de l'indice de récolte sont faibles à intermédiaires ; alors que ceux de la biomasse aérienne, du nombre et du poids des épis sont élevés (Tableau 10).

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

Pop	CHL	SF	PHT	LE	BIO	HI	PNE	NE	RDT
A ₉₀₁ /MD	9.94	15.36	8.91	3.66	26.28	18.93	33.80	16.31	11.87
A ₉₀₁ /RM	21.04	17.22	8.32	6.21	20.70	16.01	26.82	26.06	12.04
A ₉₀₁ /HD	11.58	14.03	11.89	5.11	22.25	11.35	24.15	18.53	9.69
A ₉₀₁ /Wi	16.93	7.72	13.24	8.73	23.35	16.40	18.90	47.26	12.73
A ₈₉₉ /MD	11.53	12.69	12.14	2.24	43.19	12.81	34.23	44.90	10.26
A ₈₉₉ /RM	11.88	17.43	8.60	5.13	12.98	11.58	25.77	21.91	9.87
A ₈₉₉ /HD	19.27	11.90	8.66	5.75	18.43	13.59	24.08	20.28	4.59
A ₈₉₉ /Wi	6.40	10.08	12.08	10.28	22.33	9.80	25.47	15.49	11.06
A ₁₁₃₅ /MD	7.59	8.15	8.40	4.96	30.33	10.97	32.00	34.88	6.92
A ₁₁₃₅ /RM	7.89	13.84	10.28	6.55	29.55	5.52	32.81	40.05	8.86
A ₁₁₃₅ /HD	14.12	15.86	11.95	6.92	41.67	13.51	43.45	6.27	8.20
A ₁₁₃₅ /Wi	14.04	20.13	11.95	6.75	14.45	20.68	26.39	20.30	7.94
A ₁₀₆₉ /MD	17.73	10.49	8.58	6.65	42.04	17.91	35.40	39.16	9.72
A ₁₀₆₉ /RM	7.28	7.27	10.41	7.41	52.68	11.65	35.51	31.07	9.75
A ₁₀₆₉ /HD	6.08	7.85	8.64	2.51	13.13	11.99	27.62	25.55	7.52
A ₁₀₆₉ /Wi	5.18	4.95	8.00	3.57	20.26	12.85	43.22	21.11	9.20
AA/MD	14.68	11.39	13.33	13.41	35.33	13.00	33.96	17.59	8.77
AA/RM	13.22	15.23	11.32	6.58	12.33	8.68	33.83	13.90	6.06
AA/HD	8.73	10.41	6.70	10.05	25.10	20.56	32.70	32.09	6.70
AA/Wi	7.19	8.39	1.49	2.82	53.65	3.38	45.57	21.55	9.71

CHL = Chlorophylle CCI (unité arbitraire, SF = Surface de la feuille étendard (cm²), PHT = Hauteur de la plante (cm), LE = longueur de l'épi (cm), BIO = Biomasse aérienne par plante (g), HI = Indice de récolte (%).NE = Nombre d'épis par plante, PNE = Poids des épis par plante (g), RDT = Rendement grain par plante (g).

Les coefficients de variation phénotypiques sont, en générale, plus élevés en valeurs que les CVg, ce qui indique un effet du milieu sur l'expression des caractères. Cet effet du milieu n'est pas héritable, c'est-à-dire qu'il n'est pas transmis à la descendance. Ainsi la dissimilitude entre les CVp et CVg du rendement grain indique un effet du milieu qui exagère les valeurs observés prises par ce caractère, dont la variance génotypique est relativement plus faible (Tableau 9 et 10). Ainsi la sélection sur la base du rendement serait nettement moins efficace, suite aux faibles valeurs prises par le CVg.

Les résultats concernant les CVg sont en accord avec ceux rapportés par Amin *et al.*, (1992), Panwar et Singh (2000), Bergale *et al.*, (2001), Dwivedi *et al.*, (2004) et Sharma *et al.* (1995). Ces auteurs observent que les CVg étaient plus faibles, en valeurs, que les CVp. Les résultats de cette étude divergent de ceux de Sharma *et al.* (1995) pour le CVg du rendement grain qu'ils notent comme étant élevé alors que dans la présente étude une forte réduction comparativement au CVp du même caractère est observée, suggérant la présence d'un effet environnement plus qu'un effet génétique dans l'expression de ce caractère.

3.3.3 Le coefficient de détermination génétique au sens large (h^2bs)

Selon Falconer et Mc Kay (1996) le progrès en amélioration des plantes est conditionné par la nature et le degré de la variation d'origine génétique et non génétique observable chez les différents caractères mesurés. Dans la mesure où l'ensemble des caractères mesurables sont plus ou moins soumis à l'effet du milieu, l'étude de l'héritabilité et du gain génétique attendu en sélection sont utiles pour déterminer les possibilités d'amélioration.

L'héritabilité est indicatrice du degré d'expression du génotype au travers le phénotype (Chandrababu et Sharma, 1999). L'héritabilité au sens large est le ratio de la variance génétique à la variance phénotypique. Elle représente la proportion de la variabilité phénotypique qui est d'origine génétique, qui est héritable et fixable en totalité ou en partie, selon l'importance de la variance de dominance. L'héritabilité est utile pour faire le choix de la méthode de sélection à employer pour améliorer le caractère ciblé.

Pramoda et Gangaprasad (2007) mentionnent que les valeurs de l'héritabilité inférieures à 40 % sont considérées comme faibles, elles sont moyennes entre 40 à 60 %, élevées entre 60 et 80 % et très élevées, au-delà de 80 %. Dans la présente étude, les valeurs prises par le degré de détermination génétique varient pratiquement de 0.0 à 0.89, selon le caractère et la

population F₂(Tableau 11). La hauteur de la végétation montre une héritabilité élevée, de l'ordre de 0.65%, alors que l'indice de récolte et le poids des épis présentent une héritabilité juste moyenne, de l'ordre de 0.51%.

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

Pop	CHL	SF _{SF}	PHT	LE	BIO	HI	PNE	NE	RDT
A901/MD	0.33	0.27	0.70	0.10	0.49	0.63	0.62	0.21	0.45
A901/RM	0.69	0.46	0.59	0.43	0.22	0.57	0.33	0.21	0.51
A901/HD	0.42	0.36	0.78	0.42	0.30	0.47	0.39	0.20	0.26
A901/Wi	0.61	0.11	0.77	0.64	0.33	0.61	0.20	0.67	0.44
A899/MD	0.36	0.23	0.82	0.04	0.68	0.42	0.57	0.76	0.68
A899/RM	0.32	0.43	0.56	0.38	0.08	0.50	0.35	0.29	0.27
A899/HD	0.71	0.23	0.57	0.51	0.19	0.61	0.37	0.29	0.05
A899/Wi	0.18	0.17	0.70	0.73	0.34	0.40	0.40	0.23	0.34
A1135/MD	0.21	0.12	0.61	0.14	0.54	0.34	0.63	0.65	0.17
A1135/RM	0.19	0.43	0.65	0.33	0.42	0.14	0.62	0.60	0.36
A1135/HD	0.49	0.37	0.74	0.41	0.57	0.67	0.70	0.03	0.33
A1135/Wi	0.46	0.49	0.69	0.36	0.12	0.69	0.35	0.23	0.22
A1069/MD	0.61	0.16	0.67	0.31	0.67	0.89	0.61	0.67	0.44
A1069/RM	0.20	0.15	0.71	0.49	0.71	0.39	0.55	0.53	0.57
A1069/HD	0.21	0.12	0.64	0.11	0.12	0.54	0.48	0.41	0.21
A1069/Wi	0.14	0.05	0.56	0.19	0.18	0.50	0.51	0.28	0.28
AA/MD	0.51	0.26	0.82	0.61	0.57	0.52	0.62	0.25	0.32
AA/RM	0.36	0.36	0.76	0.50	0.09	0.37	0.56	0.11	0.12
AA/HD	0.33	0.20	0.54	0.75	0.38	0.89	0.65	0.52	0.17
AA/Wi	0.22	0.16	0.04	0.18	0.73	0.07	0.70	0.25	0.56

CHL = Chlorophylle CCI (unité arbitraire), SF_{SF} = Surface de la feuille étandard (cm²), PHT = Hauteur de la plante (cm), LE = longueur de l'épi (cm), BIO = Biomasse aérienne par plante (g), HI = Indice de récolte (%). NE = Nombre d'épis par plante, PNE = Poids des épis par plante (g), RDT = Rendement grain par plante (g).

Le contenu en chlorophylle, la surface foliaire, la longueur de l'épi, la biomasse aérienne, le nombre d'épis et le rendement grain présentent une faible héritabilité dont la valeur moyenne de l'ensemble des populations F₂ est inférieure à 40% (Tableau 11). Une variation existe pour ce paramètre génétique vu que certains croisements montrent des valeurs très élevées de l'héritabilité pour certains caractères, telle que la hauteur des populations A₈₉₉/MD (h²_{bs} = 0.82) et AA/MD (h²_{bs} = 0.82) ou l'indice de récolte des croisements A₁₀₆₉/MD et AA/HD (Tableau 11). Des valeurs élevées de l'héritabilité sont suggestives d'une contribution significative de la variance génétique avec ses composantes additive, de dominance et d'interaction.

Des valeurs moyennes similaires sont rapportées par divers auteurs dont Panwar et Singh. (2000), Asif *et al.*, (2004) et Rasal *et al.*, (2008). Les caractères complexes, tel que le rendement grain sont influencés par l'environnement et de ce fait présentent une faible héritabilité. La sélection précoce de tels caractères est généralement peu efficace.

Des valeurs élevées de l'héritabilité sont rapportées pour la surface de la feuille étandard par Ahmad (1991), chez le blé tendre. Collaku (1994) rapporte une héritabilité élevée pour la longueur de l'épi. Ceci ne corrobore pas les résultats de la présente étude, pour ces deux caractères. Ces résultats suggèrent un effet environnement et probablement un effet du fond génétique étudié.

La valeur de l'héritabilité, seule, ne fournit aucune indication sur le degré d'amélioration attendue de la sélection d'un caractère donné, chez la descendance. De ce fait il est utile de calculer, en parallèle du degré de détermination génétique, le gain génétique attendu en sélection (Vashistha *et al.*, 2013).

3.3.4 Le gain génétique attendu en sélection

Les valeurs observées du gain génétique attendu de la sélection (GGA), exprimées en pourcentage de la moyenne de la population indiquent que la sélection des meilleures 5% des lignées de la population de base apporte une amélioration qui varie d'un minimum de 0.30% noté pour la surface foliaire de la feuille étandard à un maximum de 34.41% observé pour l'indice de récolte (Tableau 12).

Globalement les meilleures valeurs du GGA sont observées pour la hauteur de la végétation où certaines populations affichent des valeurs proches de 20.0% : populations AA/MD et A₈₉₉/MD. La biomasse aérienne ainsi que le l'indice de récolte présentent aussi des valeurs élevées du GGA, tel est le cas des populations A₈₉₉/MD, A₁₀₆₉/MD, A₁₀₆₉/RM et AA/El Wifak, pour la biomasse aérienne et les populations AA/MD, et A₁₀₆₉/MD, pour l'indice de récolte (Tableau 12).

Des valeurs assez moyennes du GGA sont observées chez certaines populations pour le rendement grain et le poids des épis. Par contre les valeurs du GGA, notées pour le nombre d'épis, la longueur de l'épi, la surface foliaire et le contenu en chlorophylle, sont très faibles. Ces résultats suggèrent que les possibilités d'améliorer la hauteur de la végétation, la biomasse aérienne et l'indice de récolte, chez les populations produites existent, suite à la

variabilité d'origine génétique fixable, donc de nature additive. Cependant cette possibilité est faible à nulle, chez le matériel génétique produit par croisement, pour les caractères tels le contenu en chlorophylle, la surface foliaire, la longueur de l'épi, le nombre d'épi et le rendement grain (Tableau 12).

Tableau 12. Valeurs du gain génétique attendu de la sélection (GGA) sur la base des différents caractères mesurés chez les populations F₂.

Pop	CHL	SF _{SF}	PHT	LE	BIO	HI	PNE	NE	RDT
A ₉₀₁ /MD	3.69	2.72	13.65	0.26	10.71	13.04	10.06	1.13	5.19
A ₉₀₁ /RM	13.23	4.32	8.66	0.92	4.05	10.80	4.34	1.22	6.28
A ₉₀₁ /HD	4.88	3.56	14.58	0.73	5.89	7.05	4.89	1.04	2.85
A ₉₀₁ /Wi	9.47	0.90	16.03	1.61	5.75	12.08	2.47	5.51	4.68
A ₈₉₉ /MD	4.50	2.11	20.57	0.10	23.48	6.59	10.38	7.43	11.22
A ₈₉₉ /RM	4.40	3.41	9.10	0.75	1.75	8.24	5.43	1.80	3.00
A ₈₉₉ /HD	12.81	1.84	8.78	0.93	4.24	10.00	5.48	1.67	0.55
A ₈₉₉ /Wi	2.05	1.22	14.67	2.06	7.75	6.02	6.60	1.22	3.69
A ₁₁₃₅ /MD	2.72	0.94	11.89	0.44	15.77	5.75	11.95	5.89	2.12
A ₁₁₃₅ /RM	2.71	3.10	12.25	0.91	11.35	2.08	11.98	5.23	5.11
A ₁₁₃₅ /HD	7.61	3.15	15.27	1.10	18.07	14.13	14.24	0.15	4.73
A ₁₁₃₅ /Wi	7.34	4.17	14.81	1.00	2.34	16.67	5.25	1.38	2.72
A ₁₀₆₉ /MD	10.35	1.32	13.04	0.86	22.33	34.41	11.68	5.23	6.26
A ₁₀₆₉ /RM	2.66	0.87	13.08	1.27	27.24	6.43	10.05	3.73	9.06
A ₁₀₆₉ /HD	2.44	0.83	9.71	0.20	2.51	9.11	7.82	2.35	2.60
A ₁₀₆₉ /Wi	1.63	0.32	8.80	0.37	3.77	9.06	9.18	1.44	3.29
AA/MD	7.03	2.56	21.60	2.62	16.95	9.31	11.29	1.41	4.33
AA/RM	5.01	3.13	15.66	1.25	1.94	5.64	9.97	0.64	1.36
AA/HD	3.75	1.77	7.63	2.28	10.24	28.32	11.93	3.71	2.16
AA/Wi	2.59	1.28	0.46	0.32	26.15	0.91	15.14	1.37	8.91

CHL = Chlorophylle CCI (unité arbitraire), SF_{SF} = Surface de la feuille étandard (cm²), PHT = Hauteur de la plante (cm), LE = longueur de l'épi (cm), BIO = Biomasse aérienne par plante (g), HI = Indice de récolte (%).NE = Nombre d'épis par plante, PNE = Poids des épis par plante (g), RDT = Rendement grain par plante (g).

Ces résultats sont confirmés par la comparaison des valeurs de l'héritabilité, du GGA et des CV_G. Cette comparaison indique que des valeurs élevées pour ces trois caractères (h²_{bs}, CV_g et GGA) sont notées chez plus de 50% des populations étudiées pour la hauteur de la végétation, la biomasse aérienne, l'indice de récolte et à degré moindre pour le poids des épis (Tableaux 10, 11, 12). Dans ce contexte Johnson et Hernandez (1980) 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. En effet des valeurs élevées concomitantes de ces trois paramètres

confortent sur les possibilités de sélectionner des génotypes possédant des caractéristiques désirables parmi la descendance.

Ces résultats corroborent ceux rapportés par Ghimirary et Sarkar (2000) et Shazly *et al.* (2000) qui rapportent des valeurs élevées de l'héritabilité de la hauteur de la plante associées à des valeurs élevées du gain génétique. Mais ils en diffèrent pour le nombre d'épis et le rendement grain pour lesquelles la sélection ne semble pas efficace, suite à de faibles valeurs pour ces trois paramètres, observées dans la présente étude alors que les auteurs cités ci-dessus ainsi que Afiah *et al.* (2000) rapportent des valeurs élevées pour les trois paramètres de ces deux caractères. Pour ce qui est de la biomasse aérienne, les résultats de la présente étude corroborent ceux rapportés par Gupta *et al.*, (1999) qui mentionnent des valeurs de 99.8% pour h^2_{bs} et 21.99% pour le GGA de la biomasse aérienne. Mandal *et al.*, (2008) font remarquer qu'une héritabilité élevée est due à des effets additifs qui assurent que la sélection de la descendance serait efficace.

Mandal *et al.*, (2008) rapportent une faible héritabilité ainsi qu'une faible valeur du GGA pour la surface de la feuille étendard, ce qui corroborent les résultats de la présente étude, pour ce caractère. Ces auteurs mentionnent que, dans de tels cas, il y a prédominance de la variation de nature non additive dans l'expression du caractère analysé. La sélection précoce de tels caractères serait relativement peu efficace. Dans de tels cas, il serait plus judicieux de faire avancer le matériel végétal vers un degré de fixité plus avancé avant de débiter la sélection.

Les valeurs des coefficients de variation phénotypiques, génotypiques, du gain génétique et de l'héritabilité obtenues dans la présente étude corroborent partiellement les résultats de plusieurs études (Priya *et al.*, 2013), cependant certaines contradictions apparaissent (notamment pour le nombre d'épis, la surface foliaire et le contenu en chlorophylle) et semblent s'expliquer par la différence des milieux d'étude, la nature des stress subis par le matériel végétal généré ainsi que la diversité du matériel parental utilisé en croisement.

3.4 LIAISONS INTER CARACTERES

3.4.1 La phénologie

Les coefficients de corrélations phénotypiques et génotypiques sont des paramètres important en amélioration, ils sont utilisés pour déterminer le degré d'association entre paire de caractères mesurés. En effet un coefficient de corrélation de valeur zéro indique que les deux caractères pris en considération sont indépendants l'un de l'autre du point de variation, donc ils peuvent être considérés comme étant sous contrôle génétique de gènes indépendants (Garcia del Moral *et al.*, 2003).

De ce fait on ne peut pas prédire la variation de l'un, connaissant la variation de l'autre caractère. Par contre lorsque la valeur prise par le coefficient de corrélation est proche de l'unité, elle est indicatrice de la dépendance des deux caractères, dont les gènes impliqués dans le contrôle génétique sont soit liés ou montrent un effet pléiotropique. Dans ce cas, si on connaît les valeurs d'un des deux caractères, on peut prédire les valeurs de l'autre caractère. La sélection de l'un conduit à la sélection de l'autre caractère simultanément (Acquaah, 2007). Les valeurs des coefficients de corrélation sont données au tableau 13.

Tableau 13. Coefficients de corrélation phénotypiques et génotypiques entre les différentes paires des caractères mesurés chez les populations F₂.

Caract	Cor	DPV	CHL	TRE	CMI	SF	PHT	LE	BIO	HI	NE	PNE	NGE	PMG
CHL	rp	-0.482	1.000											
CHL	rg	-0.403	1.000						n-2=	18				
TRE	rp	0.008	0.401	1.000					rp5%	=	0.444			
TRE	rg	0.549	1.091	1.000					rg5%	=				
CMI	rp	-0.348	0.331	-0.084	1.000									
CMI	rg	-0.417	-0.131	0.940	1.000									
SF	rp	0.689	-0.554	0.010	-0.509	1.000								
SF	rg	0.767	-0.611	0.340	-0.277	1.000								
PHT	rp	0.218	-0.587	-0.405	-0.164	0.194	1.000							
PHT	rg	0.251	-0.531	-1.221	-0.633	0.244	1.000							
LE	rp	0.064	-0.175	0.143	-0.428	0.287	0.251	1.000						
LE	rg	0.085	-0.261	0.341	-0.198	0.316	0.248	1.000						
BIO	rp	0.242	-0.388	-0.092	-0.118	0.276	0.659	0.292	1.000					
BIO	rg	0.448	-0.387	-1.109	-0.893	0.233	1.092	0.385	1.000					
HI	rp	-0.190	0.184	0.159	0.076	-0.078	-0.187	0.207	-0.379	1.000				
HI	rg	-0.049	0.107	1.263	-0.152	-0.239	-0.556	0.491	-0.823	1.000				
NE	rp	0.077	-0.331	-0.128	0.045	0.050	0.670	0.272	0.807	-0.132	1.000			
NE	rg	-0.036	-0.246	-0.887	-0.038	-0.180	0.876	0.132	0.889	-0.814	1.000			
PNE	rp	0.181	-0.380	0.022	-0.278	0.388	0.493	0.633	0.738	0.012	0.757	1.000		
PNE	rg	0.052	-0.194	-0.431	-0.637	0.043	0.777	0.695	0.771	-0.194	0.732	1.000		
NGE	rp	0.242	0.017	0.173	-0.299	0.409	-0.478	0.208	-0.302	0.422	-0.531	0.001	1.000	
NGE	rg	0.248	0.087	1.144	-0.112	0.478	-0.681	0.314	-0.735	0.351	-0.961	-0.563	1.000	
PMG	rp	-0.125	0.019	-0.103	0.004	-0.170	0.588	-0.001	0.351	-0.081	0.318	0.132	-0.470	1.000
PMG	rg	-0.104	0.018	-0.855	-0.701	-0.252	0.678	-0.041	0.597	0.061	0.537	0.520	-0.831	1.000
RDT	rp	0.092	-0.200	0.063	-0.091	0.224	0.396	0.502	0.551	0.548	0.583	0.731	0.194	0.197
RDT	rg	0.096	-0.125	-0.396	-1.162	0.096	1.060	1.019	0.956	-0.651	0.837	1.127	-0.816	0.424

DPV (j) = durée de la phase végétative en jours, CHL = Chlorophylle CCI (unité arbitraire, TRE = Teneur relative foliaire (%), CMI = Intégrité cellulaire, SF = Surface de la feuille étandard (cm²), PHT = Hauteur de la plante (cm), LE = longueur de l'épi (cm), BIO = Biomasse aérienne par plante (g), HI = Indice de récolte (%).NE = Nombre d'épis par plante, PNE = Poids des épis par plante (g), NGE = Nombre de grains par épi, PMG = Poids de milles grains.

L'analyse des coefficients de corrélations phénotypiques indique que la durée de la phase végétative, qui représente la phénologie de la plante, est positivement corrélée avec la surface foliaire et négativement avec le contenu en chlorophylle. Ainsi chez les populations étudiées, une longue durée de la phase végétative est associée à une feuille étendue de surface élevée et un faible contenu en chlorophylle. Cette association est confirmée génotypiquement uniquement pour la surface foliaire, mais pas pour le contenu en chlorophylle. Ces résultats suggèrent que l'effet de l'environnement est plus important pour le contenu en chlorophylle, alors que l'effet génotypique l'est plus pour la surface de la feuille étendue (Tableau 13).

La durée de la phase végétative est significativement et positivement corrélée, génotypiquement, avec la biomasse aérienne et la teneur relative en eau (Tableau 13). L'association phénotypique, non significative, entre ces caractères, indique que l'effet environnement agit dans un sens chez certaines populations et dans l'autre chez d'autres, rendant la relation entre la durée de la phase végétative et la biomasse, d'une part et entre la durée de la phase végétative et la teneur relative, d'autre part, moins évidente.

La signification de la corrélation génétique indique que le degré d'association entre les caractères considérés est sous contrôle génétique, avec une prépondérance de la variance d'origine génétique dans l'expression de ces caractères (Ahmad *et al.*, 1978).

Ces résultats suggèrent que les génotypes tardifs ont tendance à avoir un contenu en chlorophylle réduit associé à une surface de la feuille étendue, une biomasse aérienne et une teneur relative en eau élevées. L'association avec la surface de la feuille étendue est due à des effets aussi bien environnementaux que génétiques, alors que celles avec la biomasse et la teneur relative en eau sont dues à des effets génétiques qui sont masqués par l'effet du milieu ; par contre l'association avec la chlorophylle est d'origine environnementale.

Dans le cas où l'objectif de la sélection est de réduire la durée à l'épiaison pour éviter les stress de fin de cycle, comme c'est, souvent, le cas pour les variétés destinées aux hautes plaines orientales, ces résultats suggèrent la difficulté de sélectionner des lignées précoces au stade épiaison et se caractérisant, simultanément, par un contenu en chlorophylle, une surface foliaire et une biomasse aérienne élevées.

3.4.2 Les caractères physiologiques

La physiologie de la plante est approchée, dans le cas de la présente étude, à travers la mesure du contenu en chlorophylle et la surface de la feuille étendard, qui représentent les capacités photosynthétiques de la plante ; la teneur relative en eau et l'intégrité de la membrane cellulaire, qui représentent les capacités de la plante à tolérer les stress hydrique et thermique. Les coefficients de corrélation phénotypiques et génotypiques, liant le contenu en chlorophylle à la hauteur de la végétation et à la surface de la feuille étendard sont significatifs et de signe négatifs (Tableau 13).

Ces résultats indiquent que l'augmentation du contenu en chlorophylle est associée à une réduction de la hauteur et de la surface de la dernière feuille et que l'expression de cette association est d'origine aussi bien environnementale que génotypique. Le coefficient de corrélation génotypique entre le contenu en chlorophylle et la teneur relative en eau est significatif et de signe positif, alors que le coefficient de corrélation phénotypique n'est pas significatif, ce qui indique que l'environnement masque l'effet génétique contrôlant la liaison entre les deux caractères (Tableau 13).

La teneur relative en eau présente des coefficients de corrélations génotypiques significatifs et positifs avec l'intégrité de la membrane cellulaire, l'indice de récolte et le nombre de grains par épi ; et négatifs avec la hauteur de la végétation, la biomasse aérienne, le nombre d'épis et le poids de 1000 grains (Tableau 13). Les coefficients de corrélations phénotypiques ne sont pas significatifs, ce qui suggère un effet du milieu qui masque l'expression d'origine génotypique de ces liaisons.

Les résultats indiquent que les populations F_2 qui se distinguent par des valeurs élevées de la surface foliaire, la biomasse aérienne, le poids des épis, le poids de 1000 grains et le rendement grain se montrent plus sensibles au stress hydrique et présentent une faible intégrité de la membrane cellulaire. Le fait que les valeurs des coefficients de corrélations phénotypiques n'atteignent pas le seuil de signification statistique, suggère un effet du milieu qui masque les différences entre populations étudiées et dilue les relations entre ces caractères et l'intégrité cellulaire. Par contre la relation entre l'intégrité cellulaire et la surface foliaire

est faite surtout d'un effet environnemental, avec peu ou pas d'effet génotypique (Tableau 13).

La feuille étendard est un des derniers organes photosynthétiques qui restent en activité avant la maturité physiologique. Cet organe joue un rôle important au cours du remplissage du grain. Il est attendu qu'une surface de la feuille étendard foliaire plus large, capte plus de lumière et fixe plus d'hydrates de carbone favorables à un haut rendement (Lupton, 1973). Cependant en milieu semi-aride, de larges feuilles contribuent plus à la perte d'eau par transpiration pour rafraichir la canopée, d'où l'intérêt des feuilles de tailles relativement réduites et à la limite des génotypes qui enroulent leur feuillage sous stress sévère). Le tout est dépendant des relations de ce caractère avec le rendement, le poids de 1000 grains et la biomasse aérienne (Bouzerzour et Benmahammed, 2009).

Dans le cadre de la présente étude, la surface foliaire présente une liaison positive avec le nombre de grains par épi. Cette liaison est non significative au niveau phénotypique et l'est au niveau génotypique, suggérant que le milieu masque la relation qui existe au niveau génotype. Cette relation génotypique indique qu'une surface foliaire relativement importante améliore le nombre de grains par épi (Tableau 13).

3.4.3 Les caractères morphologiques

Parmi les caractères morphologiques, la hauteur de la végétation présente des liaisons significatives avec plusieurs caractères. Au niveau génotypique, des liaisons significatives et positives sont notées avec la biomasse aérienne, le nombre d'épis, le poids des épis, le poids de 1000 grains et le rendement grain, et des liaisons significatives et négatives sont notées avec l'indice de récolte et le nombre de grains par épi (Tableau 13). Au niveau phénotypique, les liaisons de la hauteur avec l'indice de récolte et le rendement grain, ne sont pas significatives. Ces résultats indiquent qu'au niveau génotypique, l'amélioration de la hauteur de la végétation est associée à l'amélioration de la biomasse, du rendement grain et des composantes du rendement et a une réduction de l'indice de récolte. Au niveau phénotypique ces relations se maintiennent sauf celles avec l'indice de récolte et le rendement grain qui sont masquées par l'effet environnement.

Ali *et al.*, (2007) et Akram *et al.*, (2008) rapportent que la hauteur de la végétation n'est pas significativement liée au poids de 1000 grains et au rendement grain, ce qui confirme

partiellement les résultats de cette étude. Saleem *et al.*, (2006) notent que la hauteur de la végétation est significativement et négativement corrélée avec le nombre d'épis, le nombre de grains par épi, le poids de 1000 grains et l'indice de récolte. Iqbal *et al.*, (2007) rapportent une liaison négative entre la hauteur et le nombre de grains par épi. Les résultats de la présente étude suggèrent la sélection des populations F₂, de hautes paille, suite aux multiples liaisons positives de ce caractère avec les traits liés à la performance de rendement.

La longueur de l'épi est une caractéristique intéressante chez un génotype donné. Elle doit être prise en considération, simultanément ; avec le nombre de grains par épi et par épillet. En effet des épis longs portant un nombre de grains par épi et par épillet élevés, contribuent significativement à l'amélioration du rendement grain (Peymaninia *et al.*, 2012 ; Iftikhar *et al.*, 2012). Selon Inamullah *et al.*, (2006), suite au degré moyen de l'héritabilité de cette caractéristique ainsi que son faible gain génétique, en F₂, il est conseillé de ne pas sélectionner précocement sur la base de ce caractère, parce que cette sélection serait peu efficace, suite à l'effet du milieu sur ce caractère et à la présence des composantes de la variance non fixables.

La longueur de l'épi présente des liaisons génotypiques positives significatives avec l'indice de récolte et le rendement grain. Les coefficients de corrélations phénotypiques correspondants ont des valeurs plus faibles et seul celui qui lie la longueur de l'épi au rendement grain est significatif (Tableau 13). Les populations F₂ ayant des épis plus longs ont tendance à avoir un rendement grain et un indice de récolte plus élevés. Inamullah *et al.*, (2006) rapportent des coefficients de corrélations phénotypiques et génotypiques significatifs et positifs entre la longueur de l'épi et le nombre de grains par épi, le poids de 1000 grains et l'indice de récolte.

La biomasse aérienne est positivement et significativement corrélée, aux niveaux phénotypique et génotypique, avec le nombre d'épis, le poids des épis, le poids de 1000 grains et le rendement grain. Les coefficients de corrélations génotypiques sont plus élevés, en valeur absolue, que les coefficients de corrélations phénotypiques. Ces résultats suggèrent que, chez les populations F₂ étudiées, l'amélioration de la biomasse aérienne est due à la contribution des épis (nombre et poids), à la grosseur du grain et au rendement grain (Tableau 13).

La biomasse aérienne est cependant significativement et négativement corrélée, au niveau génotypique, avec l'indice de récolte et le nombre de grains par épi. Les coefficients de corrélation phénotypiques ne sont pas significatifs pour ces deux caractères ainsi que celui qui lie la biomasse au poids de 1000 grains (Tableau 13). Ces trois caractères sont donc différemment sensibles à la variation environnementale.

3.4.4 Le rendement et ses composantes

Le nombre d'épis par plante est lié positivement avec le poids de 1000 grains, le rendement et le poids des épis et négativement avec le nombre de grains par épi, au niveau génotypique. Au niveau phénotypique, la liaison nombre d'épis par plante poids de 1000 grains n'est pas significative. Le nombre de grains par épi est négativement lié au poids de 1000 grains et au rendement grain, au niveau génotypique, Au niveau phénotypique, seule la liaison entre le poids de 1000 grains et le nombre de grains par épi est significative (Tableau 13). Bhuyian *et al.*, (1998) rapportent une corrélation significative et négative entre le nombre d'épis et le poids de 1000 gains. Ce résultat ne corrobore pas celui de la présente étude.

Jaglan *et al.* (1997) mentionnent l'existence d'une corrélation négative entre le nombre de grains par épi et le poids de 1000 grains, ce qui corrobore les résultats de la présente étude. De telles liaisons négatives s'expliquent par le mécanisme de compensation qui s'instaure généralement entre le nombre de grains par épi et le nombre d'épis d'une part et entre le nombre de grains par épi et le poids de 1000 grains d'autre part (Abbassenne *et al.*, 1998).

L'absence de liaison significative, dans la présente étude, entre le rendement et le poids de 1000 grains, aussi bien au niveau phénotypique que génotypique, est en contradiction avec les résultats de Sarkar *et al.*, (2002), Khaliq *et al.*, (2004) et Tsegaye *et al.*, (2012). Ces derniers auteurs rapportent une corrélation positive et hautement significative aux niveaux phénotypique et génotypique, entre ces deux variables.

Globalement l'analyse des coefficients de corrélations entre les différentes paires de caractères indique que dans la plus part des cas les coefficients génotypiques sont supérieures en valeurs absolues que les valeurs des coefficients de corrélations phénotypiques. Ceci indique que génotypiquement la relation existe, mais qu'elle est masquée phénotypiquement par l'effet du milieu qui modifie l'expression des caractères, réduisant les valeurs de

coefficients de corrélations phénotypiques. Les effets de l'environnement qui réduisent les valeurs des coefficients de corrélations, sont rapportés, chez le blé tendre, par Agarawal *et al.*, (1997) ainsi que Deswal *et al.*, (1997).

Les alternatives de l'amélioration de la production de blé tendre sont peu nombreuses, se limitant soit à l'extension des superficies et à l'amélioration de la production par unité de surface emblavée (Nouar *et al.*, 2012). L'extension des superficies n'est possible qu'au détriment d'autres cultures. Ceci n'est pas souhaitable, donc il reste la voie de l'amélioration du rendement par unité de surface. Cette amélioration se ferait, soit via l'itinéraire technique (irrigation, apport d'azote et désherbage) soit en adoptant des cultivars résilients vis-à-vis des stress et à haut rendement grain (Benmahammed *et al.*, 2010). La variété reste donc, l'intrant le moins coûtant, surtout si elle produit plus et de manière régulière.

La sélection pour améliorer le rendement grain peut se faire soit directement, sur la base du rendement grain lui-même, ou indirectement, sur la base des caractères qui lui sont associés (Benmahammed *et al.*, 2010). Pour ce faire l'étude des liaisons des caractères phéno-morphologiques avec le rendement et/ou la détermination des effets direct et indirects de ces caractères sur le rendement apporte des informations très utiles au sélectionneur.

Dans le cas de la présente étude, le rendement grain présente des corrélations génotypiques très élevées, en valeurs absolues, avec l'intégrité cellulaire, la hauteur de la végétation, la longueur de l'épi, la biomasse aérienne, l'indice de récolte, le nombre et le poids des épis et le nombre de grains par épi. Hormis les corrélations de l'intégrité cellulaire, la hauteur de la végétation et le nombre de grains par épi, qui ne sont pas significatives, les autres corrélations phénotypiques le sont (Tableau 13). Ces résultats suggèrent une multitude de caractères qui sont de potentiels critères de sélection, en plus du rendement lui-même.

Dans ce contexte, Sharma *et al.* (1995) suggèrent d'utiliser le nombre d'épis et de grains par épi pour améliorer le rendement grain. Kashif et Khaliq (2004) ainsi que Aycicek et Yildirim (2006) suggèrent l'utilisation concomitante des trois composantes du rendement : nombre de grains par épi, nombre d'épis et poids de 1000 grains, soit en succession soit sous forme d'index, pour améliorer le rendement grain.

Le coefficient de corrélation indique une relation mutuelle entre deux variables et non une relation de cause à effet. De ce fait Dewey et Lu (1959) proposent de décomposer les

coefficients de corrélations des variables qui sont liées au rendement grain en effet direct du caractère sur le rendement grain et effets indirects du caractère considéré via les autres caractères, inclus dans le modèle, sur le rendement grain (Dewey et al., 1959 ; Bensemane *et al.*, 2011 ; Fellahi *et al.*, 2013). Ce type d'analyse est plus connu sous le nom d'analyse en chemin (Garcia del Moral *et al.*, 2003).

3.5 ANALYSE EN CHEMIN (PATH COEFFICIENT ANALYSIS)

Dans cette méthode d'analyse, il est essentiel d'identifier un modèle intégrant les variables causales (causing) et la variable résultante (caused). Dans la présente étude, deux variables sont ciblées en amélioration : la biomasse aérienne et le rendement grain. Les variables causales, qui, potentiellement, déterminent les deux variables résultantes, sont la précocité, la hauteur de la végétation, la surface de la feuille étandard, la longueur de l'épi, l'intégrité cellulaire, la teneur relative en eau, le contenu en chlorophylle, l'indice de récolte et les trois composantes du rendement (nombre d'épis, nombre de grains par épi et le poids de 1000 grains), le poids des épis par plante et le nombre de grains par plante.

En soumettant à l'analyse de la régression progressive, toutes les variables causales et le rendement grain, comme variable résultante, le modèle ne retient que le poids des épis, l'indice de récolte, la biomasse aérienne et le nombre de grains par épi qui déterminent significativement le rendement grain, avec un coefficient de détermination de 0.994 (Tableau 14).

Tableau 14. Modèle de la régression progressive du rendement grain sur toutes les variables mesurées chez les populations F₂ issues d'un croisement testeurs x lignées de blé tendre.

Source de variation	ddl	CME	Test F.	Prob.
Régression	4	16.933	329.356	0.000
Résiduelle	15	0.051		
Variables X	β	b	Test t.	Prob.
PNE	0.173	0.116	3.446	0.004
HI	0.923	0.197	26.641	0.000
BIO	0.726	0.366	12.984	0.000
NGE	0.093	0.025	3.189	0.006
R ²	0.994			
Cte	-9.941			

Il est à noter que le modèle retenu, qui suggère que l'amélioration de la biomasse aérienne engendre celle du rendement grain, ne contient aucune variable qui est supposée conditionner la tolérance des stress, tels que le contenu en chlorophylle, la teneur relative en eau, l'intégrité cellulaire, et la durée de la phase végétative. De ce fait, ce modèle cible l'amélioration du rendement grain qui ne semble pas être corrélé avec la résilience des stress.

Les deux variables, qui contribuent, directement, le plus au rendement, sont l'indice de récolte dont l'effet direct β est de 0.923, et la biomasse dont l'effet direct β est de 0.726 (Tableau 14). De plus, ce modèle retient le poids des épis qui est une variable fortement corrélée avec le rendement grain. Sans le poids des épis, le modèle retenu est constitué de trois variables qui sont l'indice de récolte, la biomasse et le nombre de grains par épi (Tableau 15).

Tableau 15. Modèle de la régression progressive du rendement grain sur toutes les variables mesurées chez les populations F_2 issues d'un croisement testeurs x lignées de blé tendre, sans le poids des épis.

Source de variation	Ddl	CME	Test F.	Prob.
Régression	3	22.3741	259.085	0.000
Résiduelle	16	0.086		
Variables X	β	b	Test t.	Prob.
HI	0.970	0.207	23.543	0.000
BIO	0.887	0.447	22.138	0.000
NGE	0.098	0.027	2.578	0.020
R ²	0.990			
Cte	-10.522			

3.5.1 Les effets de la durée de la phase végétative

Les effets directs et indirects des douze caractères sur le rendement en grain sont donnés au tableau 16. L'analyse de ces effets montre que la corrélation phénotypique non significative, qui lie la durée de la phase végétative au rendement grain est constituée d'un très faible effet direct et de deux effets indirects appréciables de signes opposés. Le premier effet indirect est celui via la biomasse aérienne qui tend à augmenter le rendement des génotypes tardifs et l'autre via l'indice de récolte qui tend à augmenter le rendement chez les populations F_2 précoces à l'épiaison. Les effets indirects des autres caractères sur le rendement grain via la durée de la phase végétative sont peu perceptibles (Tableau 16).

3.5.2 Les effets de la surface de la feuille étendard

La corrélation non significative qui lie la surface de la feuille étendard au rendement grain est faite d'un faible effet direct de signe négatif et de trois effets indirects appréciables en valeur absolue via la biomasse aérienne, le nombre de grains par épi et l'indice de récolte (Tableau 16). Les effets indirects suggèrent que l'augmentation de la surface foliaire s'accompagne de l'augmentation de la biomasse aérienne et du nombre de grains par épi avec des effets (indirects) positifs sur le rendement. Par contre il y a une réduction de l'indice de récolte avec un effet négatif sur le rendement grain. Les effets indirects des autres variables via la surface foliaire sont négligeables (Tableau 16).

Tableau 16. Effet direct (en diagonale) et indirect (en dessus et en dessous de la diagonale) des variables mesurées sur le rendement grain chez les populations F₂ issues d'un croisement testeurs x lignées de blé tendre.

	PREC	SF	PHT	LE	BIO	HI	CHL	TRE	CMI	NE	NGE	PMG	R
PREC	0.050	-0.014	0.025	0.005	0.121	-0.242	-0.032	0.003	0.021	-0.035	0.092	0.000	-0.007
SF	0.036	-0.100	0.024	0.005	0.137	-0.129	-0.036	0.000	0.025	-0.042	0.182	0.000	0.103
PHT	0.007	-0.014	0.167	0.006	0.241	-0.111	-0.031	-0.018	0.001	0.209	-0.203	0.002	0.255
LE	0.004	-0.008	0.017	0.060	0.061	0.146	0.008	0.003	-0.004	0.006	0.044	0.001	0.336
BIO	0.012	-0.027	0.079	0.007	0.507	-0.342	-0.021	-0.004	0.000	0.321	-0.109	0.001	0.425
HI	-0.016	0.017	-0.025	0.012	-0.229	0.757	0.017	0.003	-0.019	-0.065	0.150	0.000	0.601
CHL	-0.024	0.055	-0.079	0.007	-0.159	0.198	0.066	0.014	-0.014	-0.016	-0.071	0.000	-0.022
TRE	0.004	0.001	-0.083	0.005	-0.053	0.057	0.027	0.036	0.004	-0.050	0.019	0.000	-0.035
CMI	-0.014	0.033	-0.003	0.003	-0.003	0.187	0.012	-0.002	-0.076	0.148	-0.049	-0.001	0.236
NE	-0.004	0.010	0.080	0.001	0.376	-0.114	-0.003	-0.004	-0.026	0.433	-0.280	0.001	0.471
NGE	0.010	-0.041	-0.076	0.006	-0.124	0.253	-0.010	0.002	0.008	-0.271	0.448	-0.001	0.204
PMG	-0.007	0.006	0.097	0.018	0.141	-0.006	0.007	-0.004	0.013	0.116	-0.179	0.003	0.204

3.5.3 Les effets de la hauteur de la végétation

La corrélation non significative qui lie la hauteur de la végétation avec le rendement est faite d'un faible effet direct de signe positif et de quatre effets indirects via la biomasse, l'indice de récolte, le nombre d'épis et le nombre de grains par épi. Ces effets indirects ont des valeurs absolues appréciables mais de signes opposés (Tableau 16). Ces effets indirects suggèrent que la sélection indirecte via la biomasse aérienne et le nombre d'épis élevés pourra apporter des améliorations significatives du rendement en grain vu que les effets indirects de ces deux caractères sur le rendement sont de signes positifs. Les effets indirects des autres variables via la surface de la feuille étendard sont négligeables (Tableau 16).

3.5.4 Les effets de la longueur de l'épi

La longueur de l'épi ne présente pas de corrélation significative avec le rendement en grain suite au faible effet direct de signe positif du premier sur le second. Par contre on enregistre un seul effet indirect appréciable de signe positif via l'indice de récolte (Tableau 16). Cet effet indirect suggère qu'un rendement grain élevé s'accompagne d'un indice de récolte élevé et avec un effet positif sur ce premier. Les autres effets indirects ont très peu d'incidence sur le rendement grain (Tableau 16).

3.5.5 Les effets de la biomasse aérienne

La corrélation significative qui lie la biomasse aérienne au rendement en grain est faite d'un effet direct très appréciable bien que cette relation n'est pas tellement étroite ($R=0.425$) (Tableau 16). Ce résultat signifie que la sélection pour le rendement en grain chez la population créée passe par la prise des individus présentant une biomasse aérienne élevée comme critère de sélection. Cette relation est faite aussi de trois effets indirects remarquables en valeurs absolues via l'indice de récolte, le nombre d'épis et le nombre de grains par épi (Tableau 16). Ces effets indirects suggèrent que l'amélioration du rendement grain s'accompagne avec une réduction de la valeur de l'indice de récolte et du nombre de grain par épi avec un effet négatif et une augmentation du nombre d'épi avec un effet positif. Les effets indirects des autres caractères sur le rendement grain via la biomasse aérienne sont peu perceptibles (Tableau 16).

3.5.6 Les effets de l'indice de récolte

La liaison significative et étroite ($R=0.601$) entre l'indice de récolte et le rendement en grain est traduite d'un effet direct très appréciable (Tableau 16). Cela indique qu'un haut rendement en grain chez la population créée est tributaire d'un indice de récolte élevé qui doit être pris comme critère de sélection dans le cas de la présente étude. Cette relation est faite aussi de deux effets indirects appréciables en valeurs absolues et de signes opposés via la biomasse aérienne et le nombre de grains par épi (Tableau 16). Ces effets indirects suggèrent que l'amélioration du rendement grain s'accompagne d'une réduction de la biomasse aérienne avec un effet négatif et une augmentation du nombre de grains par épi avec un effet positif.

Les effets indirects des autres caractères sur le rendement grain via l'indice de récolte sont peu perceptibles (Tableau 16).

3.5.7 Les effets des caractères physiologiques

La corrélation non significative qui lie l'intégrité cellulaire au rendement grain est faite d'un très faible effet direct de signe négatif et de deux effets indirects appréciable de signe positif via l'indice de récolte et le nombre d'épi par plante (Tableau 16). Ces effets indirects suggèrent qu'un rendement grain élevé s'accompagne avec un indice de récolte à valeur élevée et un nombre d'épi élevé avec un effet positif pour ces deux variables. Les autres effets indirects ont très peu d'incidence sur le rendement grain (Tableau 16). La relation entre la teneur en chlorophylle et le rendement en grain est non significative. Deux effets indirects appréciables en valeurs absolues, de signes opposés, via la biomasse aérienne et l'indice de récolte sont observés (Tableau 16). Ces deux effets indirects supposent que l'augmentation du contenu en chlorophylle des feuilles s'accompagne d'accroissement de la biomasse aérienne avec un effet indirect positif sur le rendement. Par contre il y a une réduction de l'indice de récolte avec un effet négatif sur le rendement grain. Les effets indirects des autres variables via la teneur en chlorophylle sont négligeables (Tableau 16). La corrélation non significative qui lie la teneur relative en eau et le rendement en grain est faite d'un très faible effet direct de signe positif. Les effets indirects des autres variables via la teneur relative en eau sont négligeables (Tableau 16).

3.5.8 Les effets des composantes du rendement

La corrélation significative qui lie le nombre d'épis par plante au rendement grain est faite d'un appréciable effet direct ($R=0.471$) (Tableau 16), cela signifie qu'un haut rendement grain chez la population créée est tributaire d'un nombre d'épis par plante élevé qui doit être pris comme un critère de sélection dans le cas de la présente étude. Cette relation est faite aussi de trois effets indirects importants en valeurs absolues et de signes différents via la biomasse aérienne, l'indice de récolte et le nombre de grains par épi (Tableau 16). Le premier via la biomasse aérienne qui tend à augmenter le rendement des génotypes ayant un nombre d'épis élevé et l'autre via l'indice de récolte et le nombre de grains par épi qui tend à baisser le rendement chez les populations F_2 . Les effets indirects des autres caractères sur le rendement grain via le nombre d'épis par plante sont peu perceptibles (Tableau 16).

Le nombre de grains par épi est significativement lié au rendement grain, cette liaison est faite d'un effet direct moyennement appréciable ($R=0.204$) (Tableau 16), cela signifie qu'un haut rendement grain chez la population créée est tributaire d'un nombre de grains par épi élevé. Ce caractère peut être considéré comme critère direct de sélection dans le cas de la présente étude qui pourra engendrer des améliorations du rendement. Aussi, cette relation est la résultante de trois effets indirects importants en valeurs absolues et de signes différents via la biomasse aérienne, l'indice de récolte et le nombre d'épis par plante (Tableau 16). Le premier effet indirect est celui via l'indice de récolte qui tend à augmenter le rendement des géotypes ayant un nombre de grains par épi élevé et l'autre via la biomasse aérienne et le nombre d'épis par plante qui tend à baisser le rendement chez les populations F_2 ayant un nombre de grains par épi élevé. Les effets indirects des autres caractères sur le rendement grain via le nombre de grains par épi sont peu perceptibles (Tableau 16).

Le poids de mille grains ne présente aucune relation significative avec le rendement en grain, elle est traduite par un effet direct très faible. Les effets indirects du poids de mille grains via la biomasse aérienne, le nombre d'épis par plante et le nombre de grains par épi qui sont appréciable en valeur absolue mais de signes différents (Tableau 16). Les effets indirects via la biomasse aérienne et le nombre d'épis par plante sur le rendement grain tendent à améliorer ce dernier par l'influence positive sur le poids de mille grains, par contre le nombre de grains par épi joue un rôle réduisant du rendement grain chez les populations F_2 par l'influence négative sur le poids de mille grains. Les effets indirects des autres caractères sur le rendement grain via le poids de mille grains sont négligeables (Tableau 16).

L'analyse en chemin indique que les caractères suivants : la biomasse aérienne ; le nombre de grains par épi, l'indice de récolte et le nombre d'épis par plante présentent des effets directs élevés sur la réalisation du rendement grain. Parmi ces quatre caractères, la biomasse, l'indice de récolte et le nombre de grain par épi ont été identifiés par la régression progressive ; alors que le nombre d'épis n'apparaît pas comme un caractère déterminant largement le rendement grain. Ces quatre caractères peuvent être utilisés comme critères de sélection pour identifier les lignées performantes en rendement grain. Les autres variables mesurées présentent de faibles effets directs et de ce fait ne semblent pas aptes à engendrer des améliorations significatives du rendement chez les lignées sélectionnées sur la base de ces caractères. Comparativement Aycicek et Yildirim (2006), ainsi que Soughi *et al.*, (2006) rapportent que la hauteur de la plante, le poids des grains par épis et le nombre d'épis par

plantejouent un rôle déterminant dans la réalisation du rendement grain et pourront être des critères efficaces pour sélectionner des génotypes de blé tendre de haut potentiel de rendement.

3.6 SELECTION POUR LA TOLERANCE ET LE RENDEMENT GRAIN

3.6.1 L'analyse en composantes principales

L'analyse en chemin est effectuée sur l'ensemble des données des populations F_2 générées par le croisement diallèle. Des différences existent entre les populations F_2 , pour les quatre caractères identifiés par l'analyse en chemin comme ayant des effets directs et indirects appréciables sur le rendement grain. De ce fait certaines populations sont plus intéressantes pour un ou plusieurs de ces caractères que d'autres. L'identification et la sélection de ces populations apporterait un progrès génétique nettement plus élevé.

Les trois premiers axes de l'analyse en composantes principales expliquent 61.45% du total de la variation disponible dans les données soumises à l'analyse. Ainsi l'axe 1 explique 25.11%, l'axe 2 explique 20.99% et l'axe 3 explique 15.36%. A l'axe 1 sont corrélés la hauteur de la végétation (0.8509), la biomasse (0.8294), le nombre d'épis par plante (0.7458), le poids de 1000 grains (0.5187) et la teneur relative en eau (- 0.3859). Cet axe représente la biomasse et le statut hydrique dont les valeurs s'opposent chez les populations F_2 liées à cet axe (Figures 8 et 9).

A l'axe 2 sont corrélés le contenu en chlorophylle (0.6352), l'intégrité cellulaire (0.5295), la précocité au stade épiaison (-0.7692), et la surface de la feuille étandard (-0.7933). Cet axe représente donc trois phénomènes qui sont la durée de la phase végétative, la capacité photosynthétique et la tolérance des stress. La durée de la phase végétative et la surface de la feuille étandard s'opposent au contenu en chlorophylle et à l'intégrité cellulaire chez les populations F_2 bien représentées par cet axe 2 (Figures 8 et 9).

A l'axe 3 sont positivement corrélés la longueur de l'épi, (0.5366), l'indice de récolte (0.714), le nombre de grain par épi (0.5908) et le rendement grain (0.8302). Cet axe représente donc l'efficacité de conversion de la biomasse en grain et le rendement grain. Les valeurs de ces quatre caractères sont positivement corrélées à l'axe 3 (Figures 9 et 10).

Du point répartition et représentation des différentes populations F_2 , on note que A901/MD (11), A901/RM (12), A901/HD (13), A901/WIF (14), A889/RM (22), A1135/MD

(31), A1135/RM (32) et AA/MD (51) sont bien représentées sur le plan formé par les axes 1 et 2 (Figure 8). Les populations A901/RM (12), A901/HD (13) et A901/WIF (14) ont des coordonnées négatives avec les deux axes.

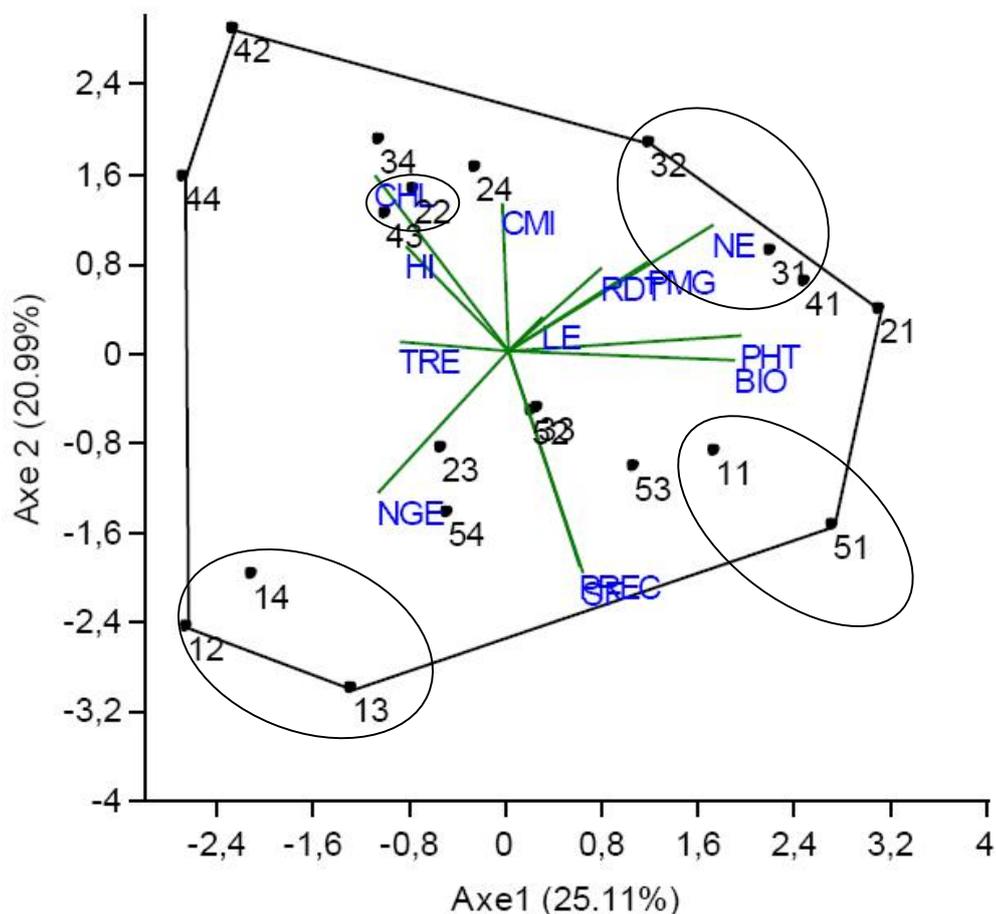


Figure 8. Représentation des populations F_2 de blé tendre et de leurs caractéristiques sur le plan formé par les axes 1 et 2 de l'analyse en composantes principales.

Ces trois populations se caractérisent, relativement à l'axe 1, par de faibles valeurs pour la hauteur, la biomasse, le nombre d'épis et le poids de 1000 grains et des valeurs élevées pour la teneur relative en eau (Figure 8). Relativement à l'axe 2, ces populations se caractérisent par la tardiveté au stade épiaison, des feuilles étendards aux larges dimensions, un faible contenu en chlorophylle et une faible stabilité membranaire (Figure 8). La sélection à l'intérieur de ces populations n'a de mérite que pour améliorer la teneur relative en eau et la surface de la feuille étendard et constituer ainsi des géniteurs désirables pour ces deux caractéristiques.

Les populations A₁₁₃₅/MD (31) et A₁₁₃₅/RM (32) ont des coordonnées positives sur les deux axes 1 et 2. Ces populations se distinguent, relativement à l'axe 1, par des valeurs élevées de la hauteur, de la biomasse, du nombre d'épis, du poids de 1000 grains et de faibles valeurs de la teneur relative en eau, associées, relativement à l'axe 2, à des valeurs élevées de la chlorophylle et la stabilité de la membrane cellulaire. Elles sont précoces au stade épiaison et ont une feuille étendard de faibles dimensions (Figure 8). Ces populations portent des gènes favorables à l'expression des variables qui déterminent le rendement grain. De plus, elles sont résilientes et aptes à éviter les stress abiotique de fin de cycle suite à la précocité au stade épiaison. Ces deux populations méritent des suivis futurs, le criblage devant se faire sur la base de la surface foliaire, la hauteur, le poids des épis et le nombre d'épis (Tableaux 10, 11 et 12).

La population A₈₈₉/RM (22) est négativement liée à l'axe 1 et positivement liée à l'axe 2. Elle est courte, produit peu de biomasse et d'épis par plant, a un faible poids de 1000 grains et une teneur relative en eau élevée, associées, sur l'axe 2, à un contenu en chlorophylle et une stabilité membranaire élevés. Cette population est précoce au stade épiaison et présente une feuille étendard aux dimensions réduites (Figure 8). La sélection à l'intérieur de cette population n'a de mérite que pour améliorer la hauteur, l'efficience de reconversion de la biomasse sous forme de grains dans un fond génétique précoce à l'épiaison (Tableaux 11 et 12).

Les populations AA/MD (51) et A901/MD (11) sont positivement liées à l'axe 1 et négativement à l'axe 2 (Figure 8). Elles présentent des valeurs élevées pour la hauteur, la biomasse, le nombre d'épis et le poids de 1000 grains, de faibles valeurs de la teneur relative en eau. Elles sont tardives à l'épiaison, ont des feuilles étendards aux larges dimensions, un faible contenu en chlorophylle et une faible stabilité membranaire (Figure 8). La sélection à l'intérieur de ces deux populations contribue, certes, à l'amélioration des déterminants du rendement grain, dans un fond génétique qui est tardif au stade épiaison et sensible au stress abiotique.

Sur le plan formé par les axes 1 et 3, les populations A1069/WIF (44), A1069/MD (41) et A889/MD (21) sont bien représentées (Figure 9). La population A1069/WIF (44) est négativement liée aux deux axes. Elle se caractérise, sur l'axe 1, par de faibles valeurs pour

les déterminants du rendement grain (la hauteur de la végétation, la biomasse aérienne, le poids de 1000 grains, le nombre d'épis par plante) et une teneur relative en eau élevée. L'information apportée par l'axe 2 indique que cette population présente de faibles valeurs pour le rendement, le nombre de grains par épi, l'indice de récolte et la longueur de l'épi (Figure 9). Aucune sélection n'est à faire à l'intérieur de cette population qui porte beaucoup de caractéristiques indésirables.

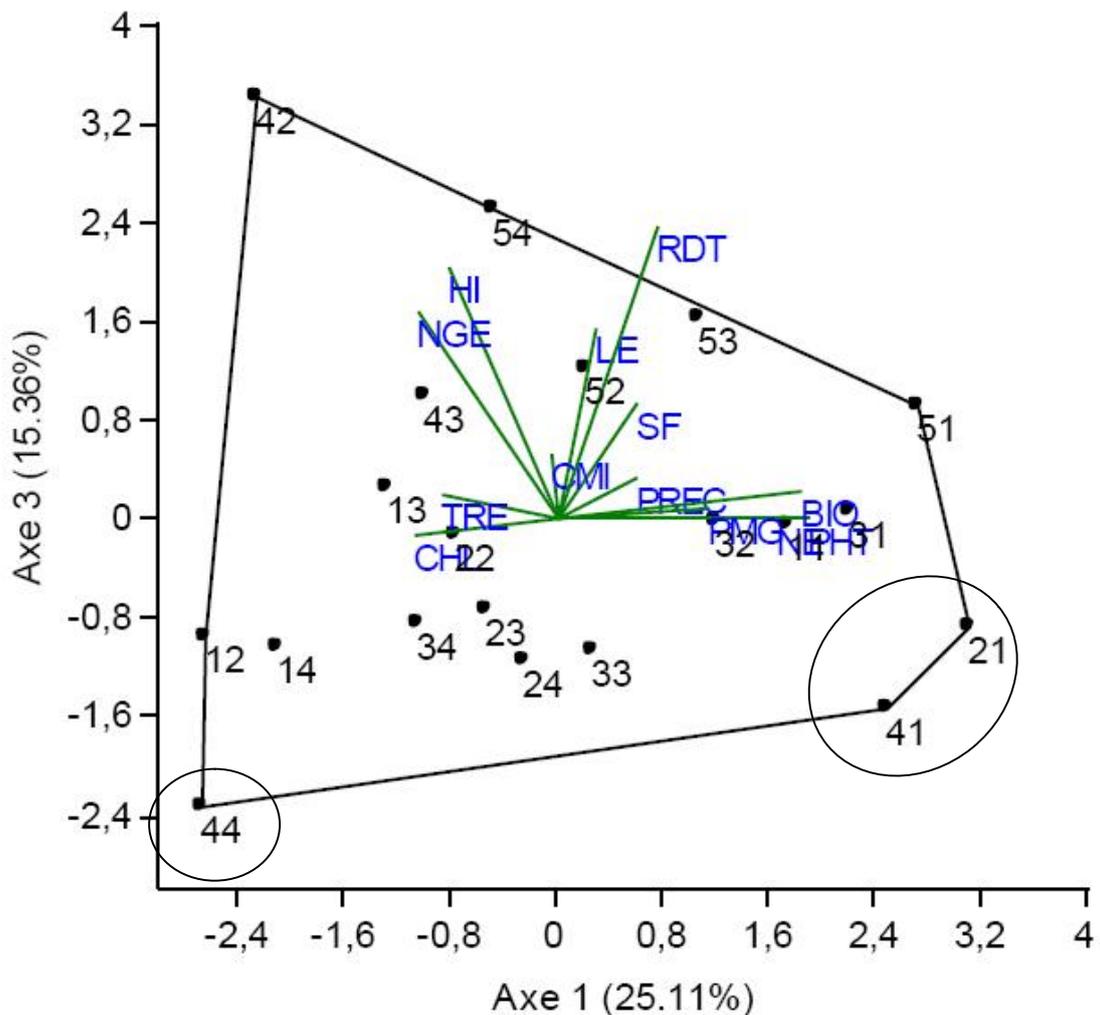


Figure 9. Représentation des populations F_2 de blé tendre et de leurs caractéristiques sur le plan formé par les axes 1 et 3 de l'analyse en composantes principales.

Les populations A_{1069}/MD (41) et A_{889}/MD (21) sont positivement corrélées à l'axe 1 et négativement à l'axe 3. Elles se distinguent, donc, par des valeurs élevées pour les déterminants du rendement, une faible valeur de la teneur relative en eau et des valeurs élevées

pour l'indice de récolte, le rendement grain, le nombre de grains par épi et la longueur de l'épi (Figure 9). Hormis la faible teneur relative en eau, ces deux populations se distinguent par des valeurs moyennes élevées pour toutes les variables désirables en sélection pour améliorer le rendement grain. La sélection de ces deux populations, pour des suivis futurs, est fortement recommandable. Le criblage devant se faire sur la base de la biomasse, le nombre d'épis et le poids des épis (Tableaux 10, 11 et 12).

Sur le plan formé par les axes 2 et 3, les populations A₈₈₉/HD (23), A₈₈₉/WIF (24), A₁₁₃₅/HD (33), A₁₁₃₅/WIF (34), A₁₀₆₉/RM (42), A₁₀₆₉/HD (43), AA/RM (52), AA/HD (53) et AA/WIF (54) sont bien représentées (Figure 10). Les populations A₁₀₆₉/RM (42), A₁₀₆₉/HD (43) sont positivement corrélées aux deux axes. Elles se caractérisent par des valeurs élevées pour le contenu en chlorophylle, la stabilité membranaire, la longueur de l'épi, l'indice de récolte, le nombre de grain par épi et le rendement grain.

Elles sont précoces au stade épiaison et présentent une feuille étandard aux faibles dimensions (Figure 10). La sélection de ces deux populations est souhaitable, suite à leur potentiel de rendement gain, cependant il leur manque les caractères qui, dans la présente étude, conditionnent le rendement grain, comme la hauteur de la végétation, la biomasse aérienne, le nombre d'épis et le poids de 1000 grains.

Les populations A₈₈₉/HD (23) et A₁₁₃₅/HD (33) sont négativement corrélées aux axes 2 et 3 (Figure 10). Elles s'opposent aux deux populations précédentes : A₁₀₆₉/RM (42), A₁₀₆₉/HD (43). De ce fait, elles ne sont pas intéressantes pour la sélection vu qu'elles se distinguent par des faibles valeurs pour les caractères d'intérêts. Les populations A₁₁₃₅/WIF (34) et A₈₈₉/WIF (24) sont positivement liées à l'axe 2 et négativement à l'axe 3 (Figure 10).

Elles présentent des valeurs élevées du contenu en chlorophylle, de la stabilité de la membrane cellulaire ; de plus, elles sont précoces au stade épiaison et ont une feuille étandard de taille réduite. Elles ont aussi de faibles valeurs pour les caractères bien représentés par l'axe 3 : la longueur de l'épi, le nombre de grains par épi, l'indice de récolte et le rendement grain (Figure 10). Ces populations ne sont intéressantes, en sélection, que pour le contenu en chlorophylle et la stabilité de la membrane cellulaire.

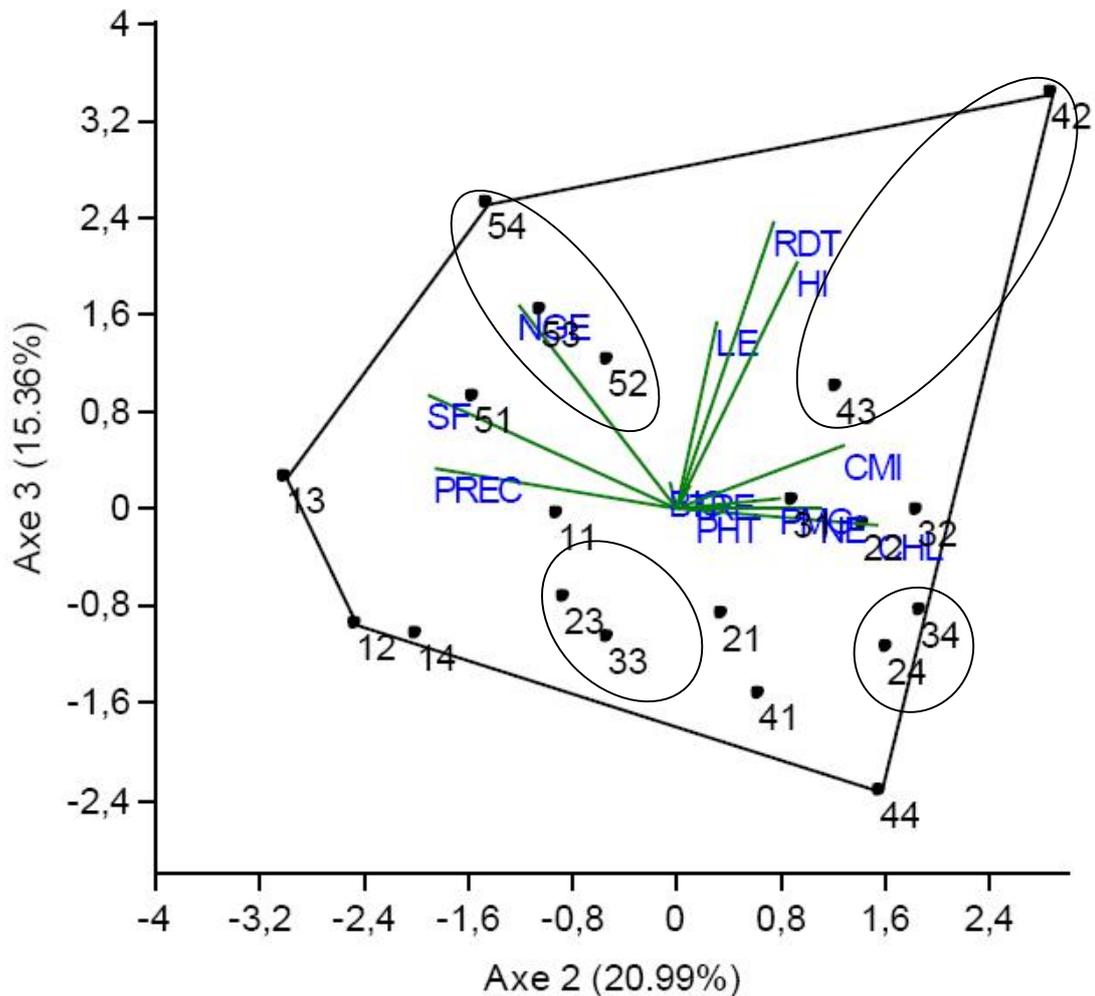


Figure 10. Représentation des populations F_2 de blé tendre et de leurs caractéristiques sur le plan formé par les axes 2 et 3 de l'analyse en composantes principales.

Les populations AA/RM (52), AA/HD (53) et AA/WIF (54) sont négativement corrélées à l'axe 2 et positivement corrélées à l'axe 3 (Figure 10). Elles se distinguent par des valeurs élevées de l'indice de récolte, du nombre de grains par épi et du rendement grain, associées à de faibles valeurs de la chlorophylle, de la stabilité de la membranecellulaire, à la tardiveté au stade épiaison et présentent des feuilles étandard aux larges dimensions (Figure 10). Ces populations sont intéressantes, en sélection, pour améliorer le rendement en grain, dans un fond génétique qui est sensible aux stress hydrique et thermique. Les résultats de l'analyse en composantes principales indiquent l'identification de 10 groupes de populations F_2 , dont les valeurs moyennes prises par les différents caractères mesurés sont schématisées par les figures 11 et 12.

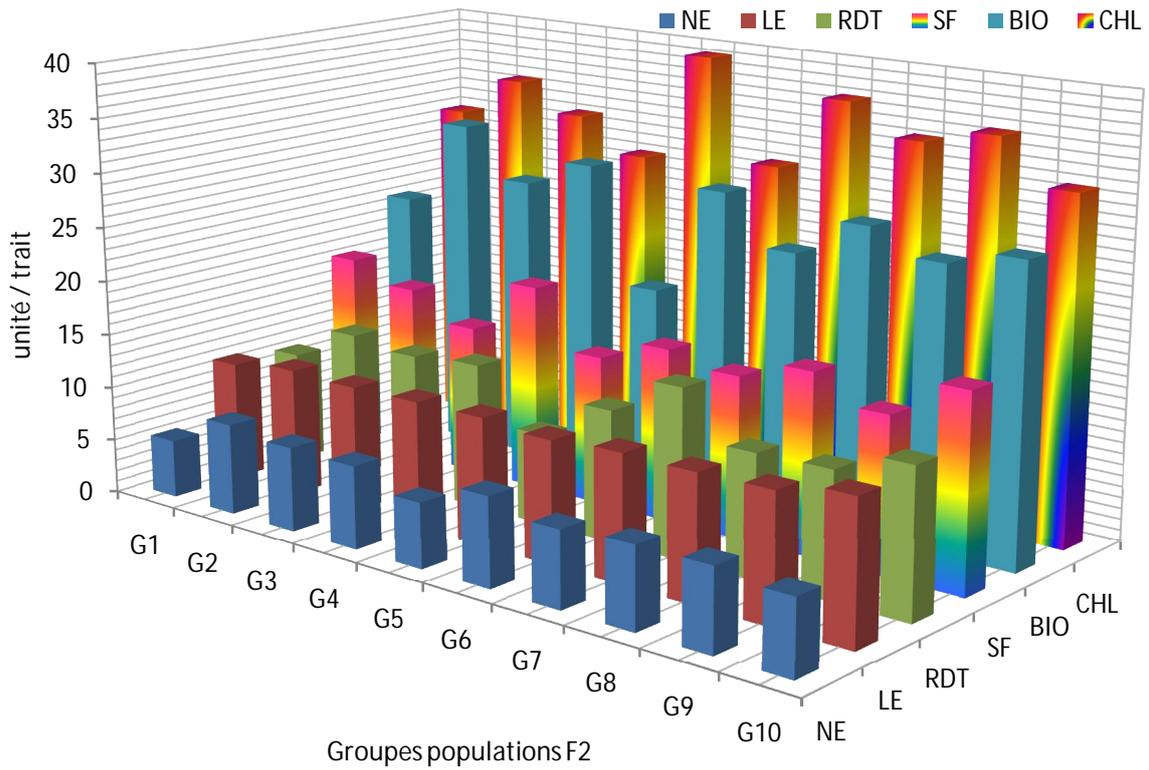


Figure 11. Valeurs moyennes des caractères des différents groupes de populations F₂ identifiés par l'ACP

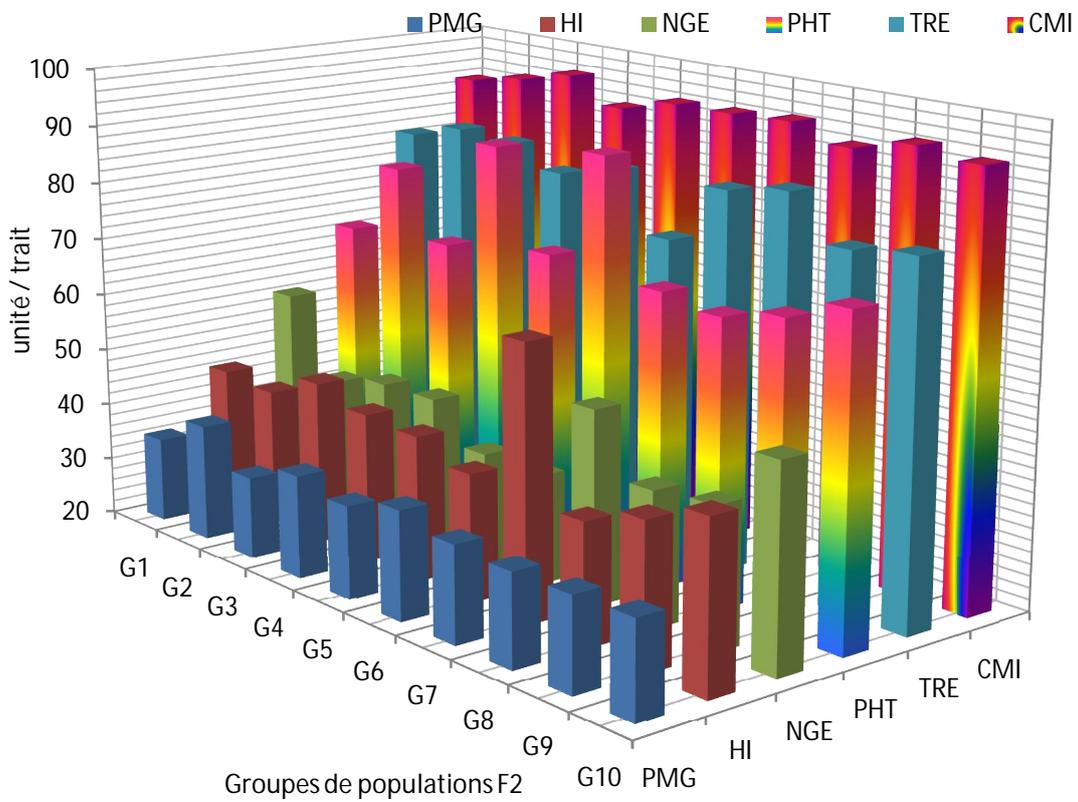


Figure 12. Valeurs moyennes des caractères des différents groupes de populations F₂ identifiés par l'ACP

Les figures 11 et 12 montrent que certains caractères ne sont pas discriminants entre groupes de populations, tel est le cas du poids de 1000 grains, de la teneur relative en eau, de la stabilité de la membrane cellulaire, du nombre d'épis et de la longueur de l'épi. De plus ces figures indiquent qu'il est difficile d'identifier un groupe de populations F_2 qui est satisfaisant pour l'ensemble des caractères mesurés.

CONCLUSION

Les conclusions auxquelles débouche cette étude concernent la présence de la variabilité intra et inter populations F_2 pour l'ensemble des variables mesurées. Les populations F_2 sont plus précoces de 1 à 10 jours que le cultivar HD₁₂₂₀. La surface de la feuille étendard varie de 13.7 à 21.5 cm². La hauteur des populations analysées est réduite de 13.2 à 37.8 % relativement à celle du cultivar MD. La longueur de l'épi varie de 10.7 cm à 12.9 cm. Ain Abid possède l'épi le plus long. Les moyennes de la biomasse aérienne varient de 20.1 à 31.2 g et celles de l'indice de récolte de 36.7 à 51.0%. Les valeurs moyennes des populations F_2 de la chlorophylle, la teneur relative en eau et de l'intégrité de la membrane cellulaire sont, respectivement, de 32.9 unités, 82.5%, et 93.3%. Les moyennes du rendement et ses composantes, des populations F_2 , sont significativement plus élevées que les moyennes des parents. Neuf populations F_2 présentent un avantage de rendement supérieur à 10%.

Les coefficients de variation phénotypiques sont plus élevés en valeurs que les CVg, suggérant un effet du milieu sur l'expression des caractères. Ainsi la sélection sur la base du rendement serait nettement moins efficace, en F_2 , suite aux faibles valeurs prises par le CVg des différentes populations F_2 . Les valeurs prises par l'héritabilité au sens large varient de 0.0 à 0.89, selon le caractère et la population F_2 . La hauteur montre une héritabilité élevée, l'indice de récolte et le poids des épis présentent une héritabilité moyenne, alors que le contenu en chlorophylle, la surface foliaire, la longueur de l'épi, la biomasse aérienne, le nombre d'épis et le rendement grain présentent une faible héritabilité.

Les meilleures valeurs du GGA sont notées pour la hauteur, la biomasse aérienne et l'indice de récolte, suggérant les possibilités d'améliorer ces caractères chez les populations étudiées. Des valeurs moyennes à faibles sont notées pour le rendement, les composantes du rendement, la longueur de l'épi, la surface foliaire et le contenu en chlorophylle. La sélection précoce de ces caractères n'est pas envisageable. Les populations tardives ont tendance à avoir un contenu en chlorophylle réduit associé à une surface de la feuille étendard, une biomasse aérienne et une teneur relative en eau élevées. Les populations F_2 performantes sont plus sensibles au stress hydrique.

L'analyse en chemin indique que la biomasse aérienne, le nombre de grains par épi, l'indice de récolte et le nombre d'épis par plante présentent des effets directs élevés. Ces caractères peuvent être utilisés comme critères de sélection pour identifier les lignées

performantes. Les autres variables mesurées présentent de faibles effets directs et de ce fait ne sont pas aptes à engendrer des améliorations significatives du rendement. L'axe 1 de l'analyse en composantes principales représente la biomasse et le statut hydrique, par contre l'axe 2 représente globalement la durée de la phase végétative, la capacité photosynthétique et la tolérance des stress ; alors que l'axe 3 représente l'indice de récolte et le rendement grain. La répartition des différentes populations F₂ sur les plans formés par les trois axes de l'ACP, forme 10 groupes de populations qui divergent pour un ou plusieurs caractères simultanément, suggérant différentes stratégies de sélection.

Ainsi A₁₁₃₅/MD et A₁₁₃₅/RM se distinguent par des valeurs élevées de la hauteur, la biomasse, le nombre d'épis, le poids de 1000 grains, la chlorophylle, la stabilité de la membrane cellulaire et de faibles valeurs de la teneur relative en eau. Elles sont précoces au stade épiaison et ont une feuille étendard de faibles dimensions. Ces populations portent des gènes favorables à l'expression des variables qui déterminent le rendement grain, elles sont résilientes et aptes à éviter les stress abiotique de fin de cycle suite à leur précocité au stade épiaison. Les résultats de l'analyse en composantes principales montrent les difficultés à identifier une ou plusieurs populations qui sont désirables pour l'ensemble des caractères mesurés.

RESUME

Cette recherche a été conduite sur le site expérimental de l'Unité de Recherche de l'INRAA de Sétif, au cours des campagnes 2012/13 et 2013/14. Elle porte sur le suivi et l'analyse de la variabilité présente chez des populations F_2 générées par un croisement diallèle de type lignées x testeurs. Les résultats indiquent la présence de la variabilité intra et inter populations F_2 pour les 13 variables mesurées, qui représentent la phénologie, la tolérance des stress abiotiques notamment le déficit hydrique et les hautes températures, le rendement grain et l'efficacité de reconversion de la biomasse sous forme de grains. La présence de la variabilité est indiquée par les valeurs de l'amplitude et des coefficients de variation phénotypiques et génotypiques. Les valeurs de l'héritabilité au sens large varient de 0.0 à 0.89, selon le caractère et la population F_2 . La hauteur a une héritabilité élevée alors que les caractères liés à la tolérance et aux performances de rendement présentent une faible héritabilité. Des GGA faibles sont notées pour le rendement, les composantes du rendement, la longueur de l'épi, la surface foliaire et le contenu en chlorophylle suggérant que la sélection précoce de ces caractères n'est pas envisageable en F_2 . Des effets directs élevés, sur le rendement, viennent de la biomasse aérienne, du nombre de grains par épi, de l'indice de récolte et du nombre d'épis par plante. L'analyse en composantes principales répartie les différentes populations F_2 en 10 groupes qui diffèrent pour plusieurs caractères, suggérant différentes stratégies de sélection pour améliorer plus d'un caractère à la fois. Ainsi des populations qui portent des gènes favorables à l'expression du rendement grain, et qui sont résilientes et aptes à éviter les stress abiotiques de fin de cycle ont été identifiées. Les résultats montrent qu'aucune population n'est désirable pour l'ensemble des 13 caractères mesurés.

Mots clés : *Triticum aestivum* L. - F_2 - h^2_{bs} – tolérance- GGA -ACP -sélection

ABSTRACT

The present research was conducted at the experimental field of the Algeria's National Institute of Agricultural Research (INRAA), Unit of Setif during the 2012/13 and 2013/14 cropping season. It focused on screening and analyzing the variability within F_2 populations generated by lines x testers mating design. The results indicated the presence of sufficient variability within and between F_2 populations for the 13 measured variables: the phenology, tolerance of abiotic stresses including water deficit and high temperatures, the grain yield and efficiency of conversion of biomass to grains. The presence of variability was indicated by the range values and coefficients of phenotypic and genotypic variation. The values of the broad-sense heritability ranged from 0.0 to 0.89, depending on the character and the F_2 population. The plant height had a high heritability whereas traits related to tolerance and yield performance had low estimates. Low genetic advance (GGA) were noted for yield, yield components, spike length, flag leaf area and chlorophyll content, suggesting that early selection for these characters is not efficient in this F_2 generation. High direct effects on grain yield generated from the above-ground biomass, the number of grains per spike, harvest index and the number of spikes per plant. The principal component analysis divided the different F_2 populations into 10 groups which differed for more than one character, suggesting that different selection strategies are available to improve more than one character at the same time. Thus populations that had favorable genes for grain yield and resilient against abiotic stress have been identified. The results showed that no population was desirable for all the 13 characters measured.

Key words: *Triticum aestivum* L. – F_2 – h^2 – bs – Tolerance – GGA – PCA – selection.

أجريت هذه الدراسة في الموقع التجريبي التابع للمعهد الوطني الجزائري للبحث الزراعي (INRAA)، وحدة البحث بسطيف خلال الموسمين الفلاحيين 2013/2012، 2014/2013. الهدف منها هو دراسة وتحليل التباين الموجود في هجناء الجيل الثاني F_2 من القمح اللين والمحصل عليها بواسطة التصالب ثنائي الأليل من نوع سلالة \times كشاف. تشير النتائج إلى وجود تباين معنوي داخل وبين هجناء الجيل الثاني F_2 بالنسبة للمتغيرات الثلاثة عشر المقاسة، والتي تمثل مختلف أطوار النبات وكذا تحمل الاجهادات غير الحيوية بما في ذلك نقص المياه وارتفاع درجات الحرارة، والمردود الحبي وكفاءة تحويل الكتلة الإحيائية إلى حبوب. الأمر الدال على وجود تباين هو قيم ومعاملات التغيرات المظهرية والوراثية. تراوحت قيم التوريث بالمعنى الواسع ما بين 0.0 و0.89، وهذا حسب الصفة المقاسة والعشيرة F_2 . تميز ارتفاع النبات بدرجة توريث عالية في حين أن الصفات المتعلقة بتحمل الاجهادات وكفاءة المردود فقد أبدت قيما ضعيفة. كما لوحظت نسب منخفضة للمكسب الوراثي (GGA) بالنسبة للمردود ومكوناته، طول السنبل، مساحة الورقة العلم ومحتوى اليخضور، مما يشير إلى عدم جدوى الانتخاب المبكر بالنسبة لهذه الصفات في الجيل الثاني F_2 . التأثيرات المباشرة على المردود مصدرها كل من الكتلة الإحيائية، عدد الحبات في السنبل، مؤشر الحصاد وعدد السنابل في النبات. أظهر تحليل المكونات الرئيسية تقسيما يضم 10 مجموعات لمختلف عشائر الجيل الثاني F_2 والتي تختلف عن بعضها البعض في عدة صفات، مما يشير إلى إمكانية اقتراح عدة طرق للانتخاب وذلك لتحسين عدة صفات في وقت واحد. كما تم تحديد العشائر الحاملة للمورثات المسؤولة عن المردود الحبي وكذا القدرة على تجنب الإجهاد غير الحيوي في نهاية الموسم. بينت النتائج أيضا عدم وجود عشائر تضم جميع الصفات المقاسة والمرغوب فيها في آن واحد.

الكلمات المفتاحية: *Triticum aestivum* L. - F_2 - h^2_{bs} - التحمل - GGA - ACP - الانتخاب.

REFERENCES

1. Abbassenne, F., Bouzerzour, H. et Hachemi, L. 1998. Phénologie et production du blé dur en zone semi-aride d'altitude. *Annales INA - El Harrach, Alger*, 18: 24 - 36.
2. Acquaah, G. 2007. Principals of plant genetics and breeding. Blackwell Publishing, Oxford, UK.
3. Adjabi, A., Bouzerzour, H., Lelarge, C., Benmahammed, A., Mekhlouf, A. and Hannachi, A. 2007. Relationships between grain yield performance, temporal stability and carbone isotope discrimination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under Mediterranean conditions. *Journal of Agronomy*, 06 (2): 294 - 301.
4. Agarawal, R.K., Sharma, R., Sharma, G.S., Singh, R.B. and Nandon R. 1977. Variability land association of coleptile length and other traits in wheat. *Indian J. Agric. Sci.* 47: 234 - 236.
5. Ahmad, Z., Sharma, J. C., Katiyar, R. P. and Bhatia, R. S. 1978. Path analysis of productivity in wheat. *India J. Genet. Plant breed.* 28: 299 - 303.
6. Ahmad, R., Stark, J.C., Tanveer, A. and Mustafa, T. 1999. Yield potential and stability indices as methods to evaluate spring wheat genotypes under drought. *Agric. Sci.*, 4: 9 - 53.
7. Akram,
8. Z., Ajmal, S.U., Munir, M. 2008. Estimation of correlation coefficient among some yield parameters of wheat under rainfed conditions. *Pakistan J. Bot.*, 40 (4): 1777 - 1781.
9. Ali, Y., Atta, B. M., Akhter, J., Monneveux, P. and Lateef, Z. 2008. Genetic variability, association and diversity studies in wheat (*Triticum aestivum* L.) germplasm. *Pak. J. Bot.* 40: 2087- 2097.
10. Amin, M.R., Barma, N.C.D. and Razzague, M.A. 1992. Variability, heritability, genetic advance and correlation study in some quantitative characters in durum wheat. *Rachis News Letter.* 11: 30 - 32.
11. Annichiarico, P., Bellah, F. and Chiari, T. 2006. Repeatable genotype x location interaction and its exploitation by conventional GIS-based cultivar recommendation for durum wheat in Algeria. *Europ. J. Agronomy*, 24: 70 - 81.
12. Asif, M., Mujahid, Y., Kisana, N.S., Mustafa, S.Z. and Ahmad, I. 2004. Heritability, genetic variability and path coefficient of traits in spring wheat, *Sarhad J. Agric.* 20 (1): 87 - 91.
13. Aycicek, M. and Yildirim, T. 2006. Heritability of yield and some yield components in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Bangladesh J. Bot.* 35: 17-22.

14. Azimzadeh, S.M. and Azimzadeh, S.J. 2011. Study on drought tolerance of 12 varieties of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) in east part of Iran. *Advances in Environmental Biology*, 5: 3256-3262.
15. Bajji, M., Kinet, J.M. and Lutts, S. 2001: The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance test in durum wheat. *Plant Growth Regul*, 36: 61 - 70.
16. Barrs, H.D. and Weartherley, P.E. 1962. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Aust. J. Biol. Sci*, 24: 519 - 570.
17. Bartels, D. and Sunkar, R. 2005. Drought and salt tolerance in plants. *Crit Rev Plant Sci.*, 24:23 - 58.
18. Benbelkacem, A. 2013. Rapport national des activités du projet Inraa-Icarda 2012-2013. Pp:45.
19. Benmahammed, A., Nouar, H., Haddad, L., Laala, Z., Oulmi, A. et Bouzerzour, H. 2010. Analyse de la stabilité des performances de rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 14: 177 - 186.
20. Bensemane, L., Bouzerzour, H., Benmahammed, A. and Mimouni, H. 2011. Assessment of the Phenotypic Variation Within Two- And Six-rowed Barley (*HordeumVulgare*L.) Breeding Lines Grown Under Semi-Arid Conditions. *Advanced in Environmental Biology*, 5 (7): 1454 - 1460.
21. Bhuyian, M.M.A., Shamsuddin, A.K.M., Uddin, M.K., Islam, M.M., and. Begum, S.N. 1998. Coefficients of variation, genetic parameters, correlation and path analysis in bread wheat. *Bangladesh J. Nuclear Agric*. 14: 9 - 14.
22. Bouzerzour, H., Zerargui, H. and Dekhili, M. 1994. Relationships among duration of vegetative and grain filling periods, yield components and grain yield in durum wheat. *Awamia*, 75:15 - 23.
23. Bouzerzour, H. et Djekoun, A. 1996. Etude de l'interaction génotype x lieu du rendement de l'orge en zone semi-aride. *Science et Technologie*, 7: 16 - 28.
24. Bouzerzour, H., Djekoune, A., Benmahammed, A. et Hassous, L. 1998. Contribution de la biomasse aérienne, de l'indice de récolte et de la précocité au rendement de l'orge (*H. vulgare* L.) en zone semi-aride d'altitude, Méthodes et techniques. *Cahiers Agricultures*, 07: 307 - 17.
25. Bouzerzour H. and Benmahammed, A. 2009. Variation in early growth, canopy temperature, translocation and yield of four Durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes under semi arid conditions. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, 5: 142 - 150.

26. Cattivelli, L., Baldi, P., Crosatti, N., Di Fonzo, N. and Stanca, M. 2002. Chromosome regions and stress related sequences involved in resistance to abiotic stress in *Triticeae*. *Plant Molecular Biology*, 48: 649 - 665.
27. Ceccarelli, S., Grando, S., Maatougui, M., Michael, M., Slash, M., Haghparast, R., Rahmanian, M., Taheri, A., Al-Yassin, A., Benbelkacem, A., Labdi, M., Mimoun, H. and Nachit, M. 2010. Plant breeding and climate changes. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 148: 627 - 637.
28. Chandrababu, R. J., and Sharma, R. K. 1999. Heritability estimates in almond (*Prunus dulcis*). *Scientia Horticulture*, 79: 237-243.
29. Chennafi, H. 1996. Optimisation de l'apport d'appoint d'eau sur trois variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) à différents stade. Cas des hautes plaines Sétifiennes. *Thèse de Magister. INA - El Harrach. Alger*. 64 pages.
30. Chennafi, H., Aïdaoui, A., Bouzerzour, H. and Saci, A. 2006. Yield response of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivar Waha to deficit irrigation under semiarid growth conditions. *Asian J. Plant Sci.*, 05: 854 - 860.
31. Condon, A.G., Richards, R.A. and Rebetzke, G.J. 2004. Breeding for high water-use efficiency. *Journal of Experimental Botany*, 55: 2447 - 2460.
32. Degewione, A., Dejene, T. and Sharif, M. 2013. Genetic variability and traits association in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *International Research Journal of Agricultural Sciences*, 1: 19-29.
33. Deshmukh, S. N. N., Basu, M. S. and Reddy, P. S. 1986. Genetic variability, character association and path coefficient analysis of quantitative traits in Virginia bunch varieties of groundnut. *Indian J. Agri. Sci.*, 56:516-521.
34. Deswal, R. K., Grakg, S. S., and Berwal, K. K. 1996. Genetic variability and characters association between grain yield and its components in wheat. *Annals Biol. Ludhiana*. 12(2): 221 - 224.
35. Dewey, D.R. and Lu, K.H. 1959. A Correlation and path-coefficient analysis of components of crested wheatgrass seed production. *Agron. J.*, 51: 515-518.
36. Dvorak, J., Luo, M.C., Yang, Z. L. and Zhnag, H. B. 1998. The structure of the *Aegilops tauschii* gene pool and the evolution of hexaploid wheat. *Theor Appl Genet*. 97: 657-670.
37. Dwivedi, A.N., Pawar, I.S., Shashi, M., and Madan, S. 2002. Studies on variability parameters and character association among yield and quality attributing traits in wheat. *Haryana Agric. Univ. J. Res*, 32(2): 77-80.

38. Eagles, H.A., Bariana, H.S., Ogonnaya, F.C., Rebetzke, G.J., Hollamby, G.J., Henry, R.J., Henschke, P.H. and Carter, M. 2001. Implementation of markers in Australian wheat breeding. *Australian Journal of Agricultural Research*, 52: 1349 - 1356.
39. Falconer, D.S. and Mackey, F.C. 1996. Introduction to quantitative genetics. 4th ed., Longman, New York, pp: 464.
40. Fellahi Z. 2013. Aptitude à la combinaison et héritabilité de quelques caractères agronomiques du blé tendre (*Triticum aestivum* L.). *Mémoire de Magistère, Université Saad Dahlab- Blida*, 136 pages.
41. Fellahi, Z., Hannachi, A., Guendouz, A., Bouzerzour, H. and Boutekrabt, A. 2013. Genetic variability, heritability and association studies in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Electronic Journal of Plant Breeding*, 4: 1161-1166
42. Garcia del Moral, L.F., Rharrabti, Y., Elhani, S., Martos, V. and Royo, C. 2005. Yield formation in Mediterranean durum wheat under two contrasting water regimes based on path-coefficient analysis. *Euphytica*, 143: 213-222.
43. Ghaderi, A., Adams, M. W. and Nassib, A. M. 1984. Relationship between genetic distance and heterosis for yield and morphological traits in dry edible bean and faba bean. *Crop Sci.* 24: 37 - 42.
44. Gill, K.S., Gill, B.S., Endo, T.R. and Mukai, Y. 1993. Fine physical mapping of Ph1, a chromosome pairing regulator gene in polyploid wheat. *Genetics*, 134: 1231-1235.
45. Giunta, F., Motzo, R. and Deidda, M. 2002. SPAD readings and associated leaf traits in durum wheat, barley and triticale cultivars. *Euphytica*, 125: 197 - 205.
46. Gupta, P.K., Varshney, R.K., Sharma, P.C. and Ramesh, B. 1999. Molecular markers and their applications in wheat breeding. *Plant Breeding*, 118: 369-390.
47. Haddad, L. 2010. Contribution à l'étude de la stabilité des rendements du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous climat méditerranéen. *Mémoire de Magister. Département Agronomie. FSNV. UFA. Sétif*. 70 pages.
48. Hamblin, J., Stefanova, K. and Angessa, T.T. 2014. Variation in Chlorophyll Content per Unit Leaf Area in Spring Wheat and Implications for Selection in segregating Material. *Plos one*, 9: 1-9.
49. Hammer, O., Harper, D.A. T. and Ryan, P.D. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4: 1-9.
50. Hannachi, A., Fellahi, Z., Bouzerzour, H. and Boutekrabt, A. 2013. Correlation, Path Analysis and Stepwise Regression in Durum Wheat (*Triticum Durum* Desf.) under Rainfed Conditions. *Journal of Agriculture and Sustainability*, 3: 122 - 131.

51. Harb, A., Krishnan, A., Ambavaram, M.M. R. and Pereira, A. 2010. Molecular and physiological analysis of drought stress in Arabidopsis reveals early responses leading to acclimation in plant growth. *Plant Physiology*, 154: 1254 -1271.
52. Harlan, J. R. 1975. Crops and man. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, pp: 295.
53. Hospital, F. 2001. Size of donor chromosome segments around introgressed loci and reduction of linkage drag in marker-assisted backcross programs. *Genetics*, 158: 1363 - 1379.
54. <http://www.markets.keptics.com/2009/10-world-wheat-production.html>.
55. Hussain, F., Rafiq, M., Iqbal, Z., Iqbal, J. and Chowdhry M. A. 2013. Estimates of heritability and genetic advance for grain yield and yield components in different segregating population of wheat. *J. Agric. Res*, 51: 17- 23.
56. Ifftikhar, J., Khalil, H., Abdul Bari., S. K. and Zada, I. 2009. Genetic variation for yield and yield components in rice. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 4(6): 60 – 64.
57. IGC, 2013. Grain market report. *GMR*, 420, www.igc.int.
58. Inamullah, H., Ahmad, F., Muhammad, N., Sirajuddin, G. Hassan and Gul, R. 2006. Diallel analysis of the inheritance pattern of agronomic traits of bread wheat. *Pak.J.Bot.*, 38: 1169-1175.
59. Iqbal, M., Navabi, A., Salmon, D.F., Yang, R.C. and Spaner, D. 2007. Simultaneous selection for early maturity, increased grain yield and elevated grain protein content in spring wheat. *Plant breed. J.*, 126:244-250.
60. Jaglan, R. S., Tanden, J. P. and Munshi, S. 1997. Correlation studies in tall versus dwarf populations of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Indian J. Agric. Res*, 31(1): 19 - 22.
61. Johnson, C.E. and Hernandez, T.P. 1980. Heritability studies of early and total yield in tomatoes. *Horti.sci.*, 15:280-285.
62. Jones, M., Dingkuhn, M., Aluko, G.K. and Semon, M. 1997. Interspecific *Oryza sativa* L. x *O. glaberrima* Steud. progenies in upland rice improvement. *Euphytica*, 94: 237 - 246.
63. Kadi, Z., Adjel, F. and Bouzerzour, H. 2010. Analysis of the genotype x environment interaction of barley grain yield (*Hordeum vulgare* L.) under semi arid conditions, *Advances in Environmental Biology*, 4: 30 - 40.
64. Kameli, A. and Losel, D.M. 1995. Contribution of carbohydrates and other solutes to osmotic adjustment in wheat leaves under water stress. *J. Plant. Physiol.*, 145: 363-366.
65. Kamoshita, A., Babu, R.C., Boopathi, N.M. and Fukai, S. 2008. Phenotypic and genotypic analysis of drought-resistance traits for development of rice cultivars adapted to rainfed environments. *Field Crops Research*, 109: 1 - 23.

66. Kashif, M. and Khaliq, I. 2004. Heritability, Correlation and path coefficient analysis for some metric traits in wheat. *Int.J.Agric Sci.Bio.*,6:138-142.
67. Khaliq, I., Parveen, N. and Chowdhery, M.A. 2004. Correlation and path coefficient analysis in bread wheat. *Int'l. J. Agric. Biol.*, 6: 633-635.
68. Khan, A.S., Saleem, I. and Ali, Z. 2003. Heritability of various morphological traits in wheat. *Int. J. Agric. Biol*, 5: 138-140.
69. Langridge, P., Lagudah, E.S., Holton, T.A., Appels, R., Sharp, P.J. and Chalmers, K.J. 2001. Trends in genetic and genome analyses in wheat: a review. *Australian Journal of Agricultural Research*, 52: 1043 - 1077.
70. Lecomte, C. 2005. L'évaluation expérimentale des innovations variétales. Proposition d'outils d'analyse de l'interaction génotype - milieu adaptés à la diversité des besoins et des contraintes des acteurs de la filière semences. Thèse de Doctorat, INA P-G, Paris, France. 173 pages.
71. Lopes, M.S., Reynolds, M.P.,Jalal-Kamali, M.R.,Moussa, K. S., Feltaous, M.Y.,Tahir, I.S.A., Barma, N.,Vargas, Mannes, M.Y. and Baum, M. 2012. The yield correlations of selectable physiological traits in a population of advanced spring wheat lines grown in warm and drought environments. *Field Crops Res*, 128: 129 - 136.
72. Lupton, F.G.H. 1973. Selection criteria determining yield in semi dwarf wheat varieties. *Ann. Appl. Biol*, 72: 47-50.
73. MADR, 2011. Annuaire statistique du Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural. Série B, (2011).
74. Mandal, A. B., Sadhu, D. P. and Sarkar, K. K. 1997. Correlation and path analysis in bread wheat. *Env. & Ecol*. 537 - 539.
75. McIntosh, M.S. 1983. Analysis of combined experiments. *Crop Sci*, 75:153-156.
76. Mekhlouf, A., Bouzerzour, H., Bemahammed, A., Hadj Sahraoui, A. et Harkati, N. 2006. Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. *Sécheresse*, 17: 507 - 513.
77. Mohammadi, M. 2012. Effects of kernel weight and source-limitation on wheat grain yield under heat stress. *African Journal of Biotechnology*, 11: 2931-2937.
78. Molinié, A., Faucet, V., Castegnaro, M. and Pfohl-Leszkowicz, A. 2005. Analysis of some breakfast cereals on the French market for their contents of ochratoxin A, citrinin and fumonisin B1: development of a method for simultaneous extraction of ochratoxin A and citrinin. *Food Chemistry*,92: 391 - 400.

79. Mondal, A. B., Sadhu, D. P. and Sarkar, K. K. 1997. Correlation and path analysis in bread wheat. *Env. & Ecol.* 15(3): 537 - 539.
80. Najimi, B., El Jaafari, S., Jlibène, M. et Jacquemin, J. 2003. Applications des marqueurs moléculaires dans l'amélioration du blé tendre pour la résistance aux maladies et aux insectes. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 7: 17 - 35.
81. Nandini, B., Ravishankar, C. R., Mahesha, B., Shailaja, H. and Kalyana, M. K. N. 2010. Study of correlation and path analysis in F2 population of finger millet. *Int. J. Plant Sc.*, 5(2): 602 - 605.
82. Nandini, B., Ravishanker, C. R., Mahesha, B. Boranayaka, M. B. and Shadaksharai T. V. 2010. An assessment of variability generated in F2 generation of four crosses of finger millet (*Eleusine coracana* (Gaertn)). *Electronic Journal of Plant Breeding.* 1: 747 - 751.
83. Nouar, H., Bouzerzour, H., Haddad, L., Menad, M., Hazmoune, H. and Zerargui, H. 2012. Genotype x Environment Interaction Assessment in Durum Wheat (*Triticum durum* Desf) using AMMI and GGE Models. *Advances in Environmental Biology*, 6: 3007-3015
84. Paroda, R.S. and Joshi, A.B. 1970. Correlation and path coefficient and implication of discriminate function for selection in wheat. *Heredity*, 25:383-392.
85. Paterson, A.H., Damon, S., Hewitt, J.D., Zamir, D., Rabinowitch, H.D., Lincoln, S.E., Lander, E.C. and Tanksley, S.D. 1991. Mendelian factors underlying quantitative traits in tomato: comparison across species, generation and environments. *Genetics*, 127: 181 - 197.
86. Pramoda, H.P. and Gangaprasad, S. 2007. Biometrical basis of handling segregation population for improving productivity in onion (*Allium cepa* L.). *J. Asian Hort.*, 3: 278-280.
87. Priya, B., Mukherjee, S., Das, B., Satyanarayana, N.H. Sarkar, K.K., Uikey, B.L. and Mukhopadhyay, S. K. 2013. Studies on Characters Related to Yield and Quality of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Grown in Gangetic Plains of West Bengal, India. *International Journal of Bio-resource and Stress Management*, 4(3): 389 - 394.
88. Rajaram, S. 2000. International wheat breeding: Past and present achievements and future directions. Oregon state university Extension service, special report 1017.
89. Rebetzke, G.J., Ellis, M.H., Bonnett, D. G. and Richards, R.A. 2007. Molecular mapping of genes for coleoptiles growth in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theor. Appl. Genet.*, 114: 1173 - 1183.
90. Reynolds, M., Dreccer, F. and Trethowan, R. 2007. Drought-adaptive traits derived from wheat wild relatives and landraces. *Journal of Experimental Botany*, 58: 177 - 186.

91. Reynolds, M.P., Pellegrineschi, A. and Skovmand, B. 2005. Sink-limitation to yield and biomass: a summary of some investigations in spring wheat. *Ann. Appl. Biol.*, 146: 39-49.
92. Reynolds, M.P., Pask, A.J.D. and Mullan, D.M. 2012. Physiological breeding I: interdisciplinary approaches to improve crop adaptation. *DF CIMMYT, Mexico*, pp: 174.
93. Saleem, U., Khaliq, I., Mahmood, T. and Rafiq, M. 2006. Phenotypic and genotypic correlation coefficient between yield and yield components in wheat. *J. Agric. Res.* 44: 1-6.
94. Shazli, M. S., Ashry, M. A., Nachit, M. and Sebae, A.S. 2000. Performance of selected wheat genotypes under different environment conditions in Eastern Egypt. Proceedings of a seminar on durum wheat improvement in the Mediterranean region. *New Challenges Zaragoza, Spain*, 595 - 600.
95. Sanchez-Garcia, M., Álvaro, F., Martín-Sánchez, J. A., Sillero, J. C., Escribano, J. and Royo, C. 2012. Breeding effects on the genotype × environment interaction for yield of bread wheat grown in Spain during the 20th century. *Field Crops Research*, 126: 79 – 86.
96. Sarkar, C.G.K., Srivastava, P.D.L. and Deshmukh, P.S. 2002. Effect of terminal high temperature stress tolerance in bread wheat (*Triticum aestivum* L. Em.Thell): Estimation of character association and contribution of yield attributes to grain yield. *Ann. Agric. Res.*, 23:75-78.
97. Sharma, M.K., Richharia, A.K. and Agarwal, R.K. 1996. Variability, heritability, genetic advance and genetic divergence in upland rice. *Int. Rice Res. Not*, 21:25-26.
98. Sears, E.R. and Sears, L.M.S. 1978. The telocentric chromosomes of common wheat. In: Ramanujams, S. (Eds.), Proc. 5th Int., “Wheat Genetics Symp”, New Delhi, India. *Agricultural Research Institute*, 389 - 407.
99. Shao, H.B., Chu, L.Y., Wu, G., Zhang, J.H., Lu, Z. H. and Hu, Y.C. 2007. Changes of some anti-oxidative physiological indices under soil water deficits among 10 wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes at tillering stage. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 54: 143 – 149.
100. Sharma, D.J., Yadav. R.K. and Sharma, R.K. 1995. Genetic variability and association of some yield components in winter × spring nursery of wheat. *Adv Plant Sci*, 8: 95 – 99.
101. Sharma, K., Singh, M., Singh, B., Sharma, A. and Mishra. P. K. 2012. Development and evaluation of grain yield monitoring system. *Journal of Agricultural Engineering*, 49: 1-8.
102. Singh, G.P., Maurya, K.R., Prasad, B. and Singh, A.K. 1994. Genetic variability in *Capsicum annuum* L. *J. appl. Biol.*, 4:19-22.

- 103.** Slafer, G.A., Araus, J., Royo, C. and Del Moral, L.F.G. 2005. Promising eco-physiological traits for genetic improvement of cereal yields in Mediterranean environments. *Ann. of Applied Biol.*, 146: 61 - 79.
- 104.** Soughi, H.A., Arabi, M.K. and Abrubi, S.A.M. 2006. Stability analysis of grain yield and study on relationship between traits in advanced bread wheat lines in Gorgan. *Paj.Saz. Agron. Horti.*, 70:56-62
- 105.** Spagnoletti-Zeuli, T.L. and Qualset, P.O. 1990. Flag leaf variation and the analysis of diversity in durum wheat. *Plant Breeding*, 105: 189 - 202.
- 106.** Steel, R.G.D. and Torrie, J.H. 1960. Principles and procedures of statistics. *Mc Graw Hill book Co., Inc., NY*. 420 pages.
- 107.** Tardieu, F. and Tuberosa, R. 2010. Dissection and modelling of abiotic stress tolerance in plants. *Current opinion in Plant Biology*, 13: 206 – 212.
- 108.** Tardieu, F. 2003. Virtual plants: modeling as a tool for the genomics of tolerance to water deficit. *Trends Plant Sci.*, 08: 9 - 14.
- 109.** Tsegaye, D., Dessalgn, T., Dessalegn, Y. and Share, G. 2012. Analysis of genetic diversity in some durum wheat (T. Durum) genotypes grown in Ethiopia. *Afr. J. Biotechnol.* 11: 9606 - 9611.
- 110.** Weber, C. R. and Moorthy, B.R. 1952. Heritability and varitability of oil content and agronomic characteristics in the F₂ generation of soybean crosses. *Agronomy Journal*, 44: 202-209.
- 111.** Xiaojie, C., Donghong, M., Tauqeer, A. Y. and Yin-Gang, H. 2012. Evaluation of 14 morphological, yield-related and physiological traits as indicators of drought tolerance in Chinese winter bread wheat revealed by analysis of the membership function value of drought tolerance (MFVD). *Field Crops Research*, 137: 195 – 201.
- 112.** Yang, J.C., Zhang, J.H., and Wang, Z.Q. 2003. Involvement of abscisic acid and cytokinins in the senescence and remobilization of carbon reserves in wheat subjected to water stress during grain filling. *Plant. Cell. Environ.*, 26: 1621 - 1631.
- 113.** Zeghouane, O., Boufenar-Zeghouane, F. et Yousfi M. 2008. la technologie semencière: La production de semence des céréales à paille en Algérie. *Edition ITGC*, 138 pages.
- 114.** Zhang, J., Nguyen, H.T. and Blum, A. 1999. Genetic analysis of osmotic adjustment in crop plants. *J Exp Bot*, 50:291-302.