

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE FERHAT ABBAS-SETIF
UFAS (ALGERIE)

MEMOIRE

Présenté à la faculté des Sciences
Département d'Agronomie
pour l'obtention du diplôme de

MAGISTER

Option : Production et Amélioration des végétaux

Par

Laala Zahira

Thème

***Analyse en chemin des relations entre le rendement en grains
et les composantes chez des populations F3 de blé dur (Triticum durum Desf.)
Sous conditions semi-arides.***

Soutenu le :26/04/2010

Devant le jury :

Président	: Pr. H. Laouar	Professeur	Université Ferhat Abbas Sétif
Rapporteur	: Dr. A. Benmahammed	Maitre de conférence	Université Ferhat Abbas Sétif
Examineurs	: Pr. H. Bouzerzour	Professeur	Université Ferhat Abbas Sétif
	Dr. H. Chennafi	Maitre de conférence	Université Ferhat Abbas Sétif

Année 2010/2011

Remerciements

Je remercie avant tout ALLAH tout puissant, de m'avoir guidé toutes les années d'étude et m'avoir donné la volonté, la patience et le courage pour terminer ce travail.

J'adresse l'expression de mes très vives gratitudee et respects à mon encadreur, Monsieur Benmahammed Amar pour son soutien, pour ses conseils utiles et sa gentillesse et pour ses appréciations sur ce travail.

Je remercie également :

M^r Laouar H, professeur à l'université de Sétif pour avoir accepté de présider le jury.

Dr Chennafi H, maître de conférence à l'université de Sétif pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Mes sincères remerciements vont également à Monsieur Bouzerzour H Professeur à l'université de Sétif, qui a fait preuve d'un grand apport pour la réalisation de ce travail. Je lui suis très reconnaissante pour sa disponibilité, sa bienveillance et son soutien permanent. Je lui dois beaucoup pour le contenu du travail présenté, pour ses critiques constructives et son aide aux différentes entraves rencontrées, pour sa gentillesse et ses qualités humaines, Pour avoir accepté de faire partie du jury.

Je tiens également à remercier tous ceux et celles qui m'ont aidé dans la réalisation de ce travail.

Enfin, ce travail n'aurait pas été mené à terme sans les concessions et les encouragements de mes parents auxquels je dis tout simplement merci.

Un grand merci à toute ma famille.

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	01
CHAPITRE I – REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	
I.1.CLASSIFICATION DU BLE DUR (<i>Triticum durum</i> DESF.).....	03
I.2. LA CULTURE DU BLE DUR (<i>Triticum durum</i> DESF.).....	04
I.2.1. DANS LE MONDE.....	04
I.2.2. EN ALGERIE.....	05
I.3. LE CYCLE VEGETATIF DU BLE DUR.....	06
I.3.1. LA GERMINATION ET LA LEVEE.....	06
I.3.2. LE TALLAGE.....	06
I.3.3. LA MONTAISON-GONFLEMENT.....	06
I.3.4. L’EPIAISON-FLORAISON.....	07
I.3.5. LE REMPLISSAGE ET LA MATURATION DU GRAIN.....	08
I.4. LES CONTRAINTES DE LA PRODUCTION DU BLE DUR.....	08
I.4.1. LE STRESS HYDRIQUE.....	08
I.4.1.1. MECANISMES D’ADAPTATION AU DEFICIT HYDRIQUE.....	09
I.4.1.1.1. ADAPTATION PHENOLOGIQUES.....	09
I.4.1.1.2. ADAPTATION MORPHOLOGIQUES.....	10
I.4.1.1.3. ADAPTATION PHYSIOLOGIQUES.....	10
I.4.2. LE STRESS THERMIQUE.....	11
I.5. L’AMELIORATION GENETIQUE DU BLE DUR.....	12
I.5.1. OBJECTIFS ET CRITERES DE SELECTION.....	12
I.5.1.1. LA SELECTION POUR LA PRODUCTIVITE.....	13
I.5.1.2. LA SELECTION POUR L’ADAPTABILITE.....	15
I.5.2. LA SELECTION ASSISTEE PAR LES MARQUEURS MOLECULAIRES.....	17
I.5.2.1. LES DIFFERENTS TYPES DE MARQUEURS.....	19

I.5.2.1.1. LES MARQUEURS MORPHOLOGIQUES.....	19
I.5.2.1.2. LES MARQUEURS BIOCHIMIQUES.....	19
I.5.2.1.3. LES MARQUEURS MOLECULAIRES.....	20
I.5.2.2. UTILISATION DE LA SELECTION ASSISTEE PAR LES MARQUEURS (SAM).....	21
I.5.2.2.1. SELECION POUR LA RESISTANCE AUX MALADIES CRYPTOGAMIQUES.....	21
I.5.2.2.2. SELECTION POUR LA TOLERANCE AUX STRESS ABIOTIQUES.....	23
CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES	
II.1. MISE EN PLACE DE L'EXPERIMENTATION.....	26
II.2. VARIABLES MEASUREES.....	27
II .3. ANALYSE DES DONNEES.....	28
CHAPITRE III - RESULTATS ET DISCUSSION	
III.1. CONDITION CLIMATIQUES POUR L'ANNEE D'EXPERIMENTATION (2008-2009).....	32
III.2. ETUDE DES POPULATIONS F3.....	33
III.2.1. VARIABILITES DES CARACTERES MESURES.....	33
III.2.1.1. LA DUREE DE LA PHASE VEGETATIVE (DVP).....	33
III.2.1.2. LA HAUTEUR DU CHAUME (HT).....	35
III.2.1.3. LA BIOMASSE AERIENNE ET LE POIDS DES EPIS m ²	37
III.2.1.3.1. LA BIOMASSE AERIENNE.....	37
III.2.1.3.2. LE POIDS DES EPIS m ²	38
III.2.1.4. LES COMPOSANTES DU RENDEMENT: NE, NGE, NGM ² , PMG.....	38
III.2.1.4.1. LE NOMBRE D'EPIS m ²	38
III.2.1.4.2. LE NOMBRE DE GRAINS PAR EPI.....	40
III.2.1.4.3. LE NOMBRE DE GRAINS m ²	40
III.2.1.4.4. LE POIDS DE 1000 GRAINS.....	40
III.2.1.5. LES RENDEMENTS GRAIN, ECONOMIQUE ET L'INDICE DE RECOLTE.....	41

III.2.1.5.1. LE RENDEMENT GRAIN.....	41
III.2.1.5.2. L'INDICE DE RECOLTE.....	42
III.2.1.5.3. LE RENDEMENT ECONOMIQUE	44
III.2.2. ETUDE DES LIAISONS INTER CARACTERES	44
III.2.2.1. LIAISONS INTRA CROISEMENT.....	44
III.2.2.2. DETERMINANTS DU RENDEMENT GRAIN EN F3 : ANALYSE EN CHEMIN.....	49
III.2.2.2.1. MODELE DES COMPOSANTES DU RENDEMENT.....	49
III.2.2.2.2. MODELE DE LA BIOMASSE AERIENNE.....	51
III.2.3. SELECTION DIRECTE ET INDIRECTE.....	53
III.2.3.1. SELECTION DIRECTE SUR LA BASE DU RENDEMENT GRAIN.....	53
III.2.3.2. SELECTION INDIRECTE SUR LA BASE DE LA BIOMASSE AERIENNE.....	58
III.2.3.3. SELECTION INDIRECTE SUR LA BASE DU NOMBRE D'EPIS.....	61
III.2.3.4. SELECTION INDIRECTE SUR LA BASE DU POIDS DES EPIS.....	62
III.2.3.5. SELECTION INDIRECTE SUR LA BASE D'INDICE.....	64
DISCUSSION.....	68
CONCLUSION GENERALE.....	71

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II. 1. Squelette de la table de l'analyse de la variance montrant les composantes de la variation (Steel et Torrie, 1982).....	30
Tableau III. 1. Valeurs moyennes de la durée de la phase végétative et de la hauteur du chaume des populations F ₃ , des lignées parentales, amplitude, variances et degré d'héritabilité.....	34
Tableau III.2. Valeurs moyennes de la biomasse aérienne et du poids des épis m ⁻² des populations F ₃ , des lignées parentales, amplitude, variances et degré d'héritabilité.....	37
Tableau III.3. Valeurs moyennes du nombre d'épis m ² , du nombre de grains par épi, du nombre de grains m ² et du poids de 1000 grains des populations F ₃ , des lignées parentales, amplitude, variances et degré d'héritabilité.....	39
Tableau III.4. Valeurs moyennes du rendement grain, de l'indice de récolte et du rendement économique des populations F ₃ , des lignées parentales, amplitude, variances et degré d'héritabilité.....	42
Tableau III.5. Matrice des corrélations phénotypiques entre les caractères mesurés par croisement.....	45
Tableau III.6. Effets directs (soulignés) et indirects des composantes sur l'expression du rendement grain.....	49
Tableau III.7. Effets directs (souligné) et indirects des variables influant sur le rendement grain.....	52
Tableau III.8. Différentielle de sélection sur la base du rendement et des caractères liés en F ₂	54
Tableau III.9. Réponse en F ₃ à la sélection sur la base du rendement et des caractères liés en F ₂	56
Tableau III.10. Différentielle de la sélection en F ₂ à la sélection sur la base de l'indice	65
Tableau III.11. Réponses en F ₃ à la sélection en F ₂ sur la base de l'indice.....	66

LISTE DES FIGURES

Figure I.1. Variation de la production des céréales.....	5
Figure I.2. Stades repères du cycle de développement du blé.....	7
Figure I.3. Sélection précoce: comparaison de la sélection classique et la SAM.....	18
Figure I.4. Méthode d'introggression des gènes à partir des apparentés, utilisation des marqueurs moléculaires (Feuillet <i>et al.</i> , 2003).....	22
Figure I.5. Comportement des lignées de blé divergentes pour le nombre de gènes de résistance sous infection naturelle de la rouille brune (Schachermayer <i>et al.</i> , 1995)...	24
Figure II.1. Vue du dispositif expérimental de l'essai mise en place sur le site de recherche de la station de L'ITGC de Sétif au cours de la campagne 2008/2009.....	27
Figure II.2. Modèle de l'analyse en chemin appliqué au poids des épis de la génération F ₂	29
Figure III. 1. Températures et précipitations mensuelles des périodes 2008/2009...	32
Figure III.2. Distribution fréquentielle de la durée de la phase végétative des trois populations F ₃ et valeurs moyennes des lignées parentales.....	33
Figure III.3. Distribution fréquentielle de la hauteur du chaume des populations F ₃ et valeurs moyennes des parents.....	36
Figure III.4. Distribution fréquentielle du rendement des populations F ₃ et valeurs moyennes des parents.....	43
Figure III.5. Relation entre le rendement grain et la biomasse aérienne des trois croisements.....	46
Figure III.6. Relation entre le rendement grain et le nombre d'épis m ² des trois croisements.....	48
Figure III.7. Moyennes (en % de la valeur maximale) des réponses directes et corrélatives de la sélection sur la base du rendement chez les trois croisements.....	58
Figure III.8. Moyennes (en % de la valeur maximale) des réponses directes et corrélatives de la sélection sur la base de la biomasse aérienne chez les trois croisements.....	60
Figure III.9. Moyennes (en % de la valeur maximale) des réponses directes et corrélatives de la sélection sur la base du nombre d'épis par plant chez les trois croisements.....	62

Figure III.10. Gain de rendement grain obtenu en F3 en réponse à la sélection directe sur la base du rendement et indirecte sur la base de la biomasse et du nombre d'épis par plant en F2 chez les trois croisements..... **63**

Figure III.11. Moyenne de rendement grain obtenu en F3 en réponse à la sélection directe sur la base du rendement et indirecte sur la base de la biomasse et du nombre d'épis par plant en F2 chez les trois croisements..... **64**

Figure III.12. Moyennes (en % de la valeur maximale) des réponses directes et corrélatives de la sélection sur la base de l'indice chez les trois croisements..... **67**

Figure III.13. Moyennes de rendement grain suite à la sélection direct sur la base du rendement et celle sur indice SWI intégrant la biomasse, la hauteur du chaume, le nombre et le poids des épis..... **67**

LISTE DES ABREVIATIONS

ADE	Aide à la décision économique
ADN	Acide désoxyribonucléique
SAM	Sélection assisté par les marqueurs
QTL	Quantitative traits loci (loci des caractères quantitatifs)
NGM ² (/m ²)	Nombre de grains par mètre carré
NGE	Nombre de grains par épi
RDT(g/m ²)	Rendement grain
PMG(g)	poids de 1000 grains
NE (m ²)	Nombre d'épis par mètre carré
DPV(j)	Durée de la phase végétative
HT (cm)	Hauteur de la plante en centimètre
BIO	Biomasse aérienne
PE (g/m ²)	Poids des épis
HI (%)	Indice de récolte
RDT _{EC} (g/m ²)	Rendement économique
WNE(g/m ²)	Poids des épis
RS	Réponse à la sélection
ET _G	Ecart type génotypique
ET _P	Ecart type Phénotypique
Ppds _{5%}	Plus petite différence significative
CV _G	Coefficient de variation génotypique
CV _P	Coefficient de variation phénotypique
h ² _{bs}	Degré d' héritabilité au sens large
R ²	Coefficient de détermination entre les variables et le rendement
r	Coefficient de corrélation entre les variables et le rendement
μ'	Moyenne observée en F ₃ de la fraction sélectionnée en F ₂
μF ₃	Moyenne de la population F ₃
R	La réponse réalisée en F ₃ de la fraction sélectionnée
R(%μF ₃)	La réponse réalisée de la moyenne de la génération F ₃
μF ₂	Moyenne observée de la génération F ₂
S	Différentielle de la sélection
S(%μF ₂)	Différentielle de sélection de la moyenne de la génération F ₂
σ ² _p	Variance phénotypique
σ ² _e	Variance environnementale
σ ² _G	Variance génotypique

INTRODUCTION

La culture des céréales à paille en générale et celle du blé dur (*Triticum durum*, Desf.) en particulier est confrontée, en zones semi-arides d'altitude, à diverses contraintes climatiques qui rendent le rendement en grain très peu efficace comme critère de sélection. En effet, la majeure partie des emblavures se trouve sur les hautes plaines caractérisées par une altitude assez élevée (800 à 1200 m), des hivers froids, un régime pluviométrique insuffisants et irrégulier, des gelées printanières fréquentes, et l'apparition du sirocco du fin de cycle (Baldy, 1974).

Dans les milieux semi-arides, la présence d'interaction génotype \times milieux très fortes rend le rendement moins intéressant comme seul critère de sélection (Bouzerzour et djekoune, 1996). L'amélioration génétique des plantes pour une meilleure adaptation aux contraintes environnementales reste prometteuse.

En Algérie, la sélection du blé dur s'est faite en puisant fortement dans les introductions des centres internationaux de la recherche agronomique. Les variétés sélectionnées réussissent bien dans les plaines intérieures et sur le littoral, mais le niveau de rendements en grains reste très variable sur les hautes plaines (Bouzerzour et al, 2002a).

Les variétés nouvelles sont le plus souvent sélectionnées sur la base de leur niveau de rendement sans tenir compte des caractères adaptatifs qui sont des régulateurs de la production en milieux variables. La réussite de leur production dépend en grande partie, du choix de la variété appropriée, c'est-à-dire de sa résistance aux maladies, de son adaptation au sol et au climat, de son rendement et de la qualité du grain.

En milieux variable l'efficacité de la sélection sur la base d'un seul caractère qui soit à même d'amener des changements appréciables dans la moyenne du rendement en grain des populations criblées est très variable suite à l'influence de l'environnement qui fait varier le niveau de ce caractère et ses relations avec les autres variables d'une année à l'autre. Ceccarelli et al,(1992) ; Bouzerzour et al, (1998),

Les sélectionneurs se tournent vers d'autres caractères potentiels et moins fluctuant qui peuvent être utilisés en parallèle ou indépendamment du rendement dans une approche multi caractères (Annicchiarico et Iannucci, 2008 ; Benmahammed et *al.*, 2003). Parmi la multitude de caractères morphologiques possibles figurent la précocité d'épiaison, la biomasse aérienne, la hauteur du chaume, le nombre et le poids des épis et l'indice de récolte (Annicchiarico et *al.*, 2005 ; Reynolds et *al.*, 2005 ; Slafer et *al.* ; 2005).

La présente étude analyse l'effet de la sélection, pratiquée en F2, de la biomasse, du poids des épis, et de leur combinaison sous forme d'un indice sur le rendement grain, mesuré en F3 de trois populations de blé dur (*Triticum durum* Desf.), sous conditions semi-arides.

CHAPITRE I – REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. CLASSIFICATION DU BLE DUR (*Triticum durum* DESF.)

Le blé appartient à la famille des graminées (Gramineae = Poaceae), qui comprend plus 10000 espèces différentes (Mac Key, 2005). Plusieurs espèces de ploïdie différentes sont regroupées dans le genre *Triticum* qui est un exemple classique d'allo polyploïdie, dont les génomes homéologues dérivent de l'hybridation inter espèces appartenant à la même famille (Levy et Feldman, 2002). Le Blé dur (*T. turgidum ssp. durum* Desf.) est un allo tétraploïde ($2n = 28$, AABB) qui a pour origine l'hybridation suivie d'un doublement chromosomique entre *Triticum Urartu* (génome AA) et une espèce voisine, *Aegilops speltoides* (génome BB) (Huang *et al.*, 2002).

L'allo polyploïdie se caractérise par un appariement bivalent et une transmission disomique. En effet, selon Mac Key (2005), l'appariement à la méiose se produit entre les chromosomes véritablement homologues et très rarement entre les homoéologues. L'appariement bivalent est déterminé principalement par un gène suppresseur majeur, Ph_1 , situé sur le chromosome 5_{BL} (Kimber et Sears, 1987). Les blés tétraploïdes forment deux groupes, le groupe de l'amidonier (*Triticum turgidum ssp. Dicoccoides*, génome AABB, $2n = 28$) et le groupe *Timopheevi* ($2n = 28$, AAGG), dont la culture est actuellement limitée à l'Arménie et la Transcaucasie (Bozzini, 1988).

La domestication du blé diploïde s'est produite dans le nord du croissant fertile au Proche Orient. Le blé tétraploïde a été domestiqué dans du bassin du Jourdain, plus au sud (Levy et Feldman, 2002). D'autres centres de diversité du blé tétraploïde sont représentés par le plateau éthiopien, le bassin méditerranéen et le Transcaucasie (Feldman, 2001). L'Ethiopie a été considérée par Vavilov (1951) comme étant le centre d'origine de blé tétraploïde, alors que Feldman la considère comme un centre de diversité.

La taille du génome diffère pour les membres de la famille des graminées, de 450 Mb pour le riz à 13000 Mb pour le blé tétraploïde (Arumuganathan et Earle, 1991). Cette variation est due en partie aux différences dans de ploïdie et à la quantité d'ADN no codon. En effet, la taille du génome de blé dur est près de cinq fois plus grande que le génome humain (Keller et *al*, 2005).

I.2. LA CULTURE DU BLE DUR (*Triticum durum* Desf.)

I.2.1. DANS LE MONDE

Selon, Kantety *et al.*, (2005) , le blé dur est cultivé sur 10% des superficies réservées aux céréales (blé dur, tendre, riz et maïs). La culture de cette espèce est surtout localisée dans les pays du pourtour méditerranéen (Algérie, Maroc, Espagne, France, Italie, Grèce, Syrie), le Kazakhstan, l'Ethiopie, l'Argentine, le Chili, la Russie, le Mexique, le Canada (Ammar *et al.*, 2006).

La production mondiale de blé dur est de 29.3 millions de tonnes moyenne annuelle pour la période 1988/1997 (ADE ,2000). Les plus grands producteurs de blé dur dans le monde sont l'Union Européenne avec une moyenne de production de 7,9 millions de tonnes (1987/1997). Cette production le fait de quatre pays membre : l'Italie, la Grèce, la France et l'Espagne, avec une production moyenne annuelle respectivement égale à : 4,1 ; 1,5 ; 1,4 et 0,9 millions de tonnes. En dehors, de la Communauté Européenne les autres pays gros producteurs sont la Turquie, le Canada, les Etas-Unis d'Amérique dont la production est respectivement 4,3 ; 4,0 ; et 2,5 millions de tonnes.

I.2.2. EN ALGERIE

En Algérie, la superficie consacrée traditionnellement aux céréales varie de 3 à 3,5 millions d'hectares. Le blé dur occupe une place privilégiée suite à son utilisation dans l'alimentation quotidienne de la population sous diverses formes. La superficie moyenne de blé dur varie de 0,82 à 1,49 x 10⁶ ha pour la période 2000 à 2007. Les rendements

restent faibles et très variables d'une année à l'autre, à l'image de la production qui varie de 4.9 à 20 millions de quintaux/an pour la même période (Figure I.1). La culture des céréales d'hiver demeure encore difficile à maîtriser tant que celle-ci reste confrontée et soumise à plusieurs contraintes (aléas climatiques, faible maîtrise de l'itinéraire technique, etc.). La faiblesse de la production céréalière en Algérie découle en majeure partie des faibles potentiels des rendements. Il est donc impératif de faire accroître les rendements à l'hectare, parce qu'il n'est plus possible d'étendre les superficies consacrées aux céréales d'hiver (Benbelkacem et Kellou,2001). D'après Acevedo (1989), les futurs progrès visent l'accroissement du rendement dans les zones défavorable par le biais du développement de cultivars à adaptation spécifique au stress de l'environnement.

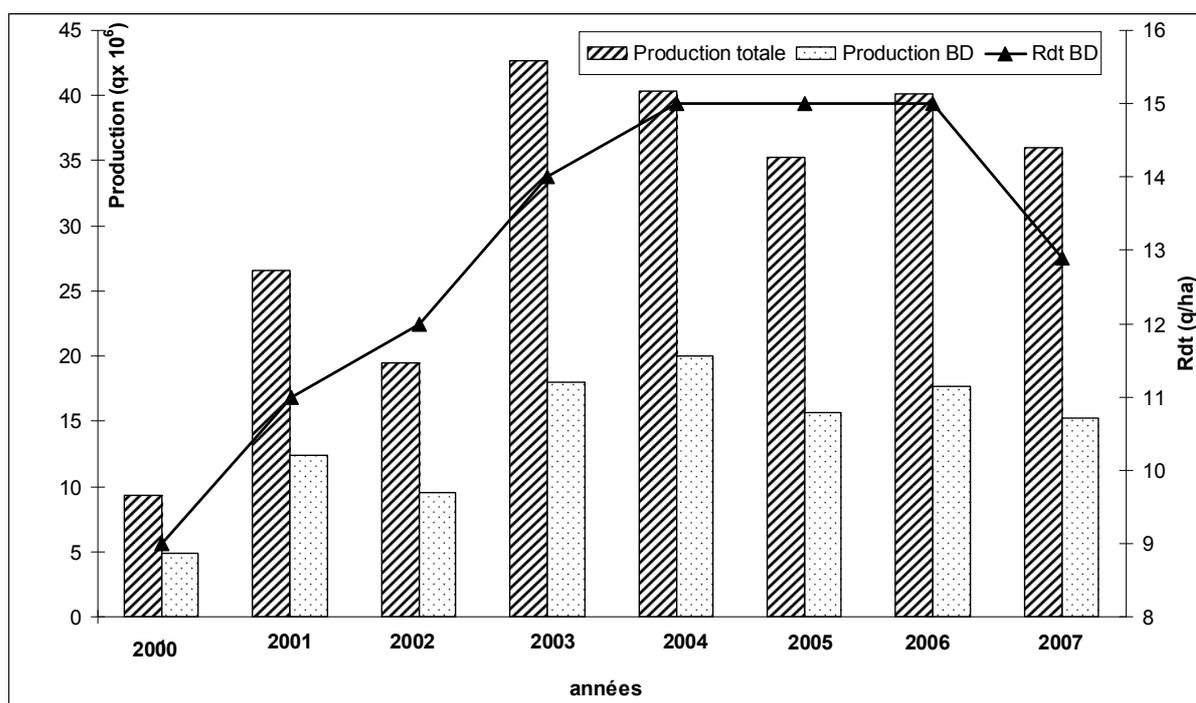


Figure I.1. Variation de la production des céréales durant la période 2000-2007.

I.3. LE CYCLE VEGETATIF DU BLE DUR

I.3.1. LA GERMINATION ET LA LEVEE

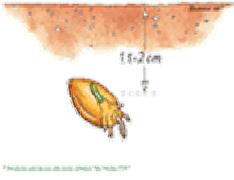
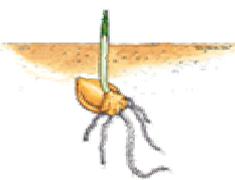
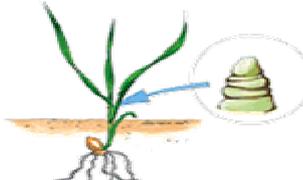
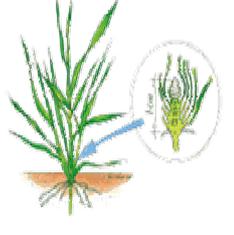
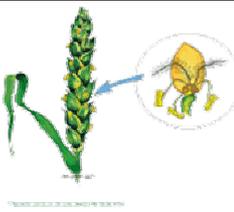
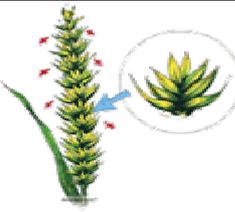
Au cours de la germination la coléorhize s'épaissit en une masse blanche et brise le tégument de la graine au niveau du germe, c'est le début de l'émission des racines primaires, garnis de poils absorbants (Figure I.2). En même temps, le coléoptile, gagnant la première vraie feuille, s'allonge vers la surface, où il laisse percer la première feuille, c'est la levée. La deuxième et la troisième feuille suivent bien après.

I.3.2. LE TALLAGE

Sitôt émise la troisième feuille émise, le deuxième entre-nœud qui porte le bourgeon terminal s'allonge à l'intérieur du coléoptile et stoppe sa montée à 2 centimètre sous la surface du sol, pour former le plateau de tallage. A l'aisselle des feuilles (à partir de la quatrième feuille), des bourgeons axillaires entrent alors en activité pour donner de nouvelles talles. La première talle se forme à la base de la première feuille et la deuxième talle à la base de la deuxième feuille. Les bourgeons axillaires à l'aisselle des feuilles des talles donnent naissance à l'émission de talles secondaires.

I.3.3. LA MONTAISON -GONFLEMENT

Elle se distingue par la montée de l'épi sous l'effet de l'élongation des entre-nœuds qui constituent le chaume. Les talles montantes entrent en compétitions pour les facteurs du milieu avec les talles herbacées qui de ce fait n'arrivent pas à monter en épis à leur tour. Ces dernières régressent et meurent (Masle, 1982). Ce phénomène se manifeste chez les jeunes talles par une diminution de la croissance puis par un arrêt de celle-ci (Masle , 1981).

			
1- La germination	2- La levée	3- Trois feuilles	4- Début tallage
			
5- Épi à 1 cm	6- Un nœud	7- Méiose pollinique	8- L'épiaison
			
9- La floraison	10- Bâillement	11- Grain formé	12- Épi à maturité

Source : blé hybride HYN0 (onglet « le blé en générale »).

Figure I.2. Stades repères du cycle de développement du blé

I.3.4. L'ÉPIAISON-FLORAISON

Une fois l'épi émerge de la gaine de la feuille étandard, c'est le stade épiaison, au cours duquel la formation des organes floraux se termine. La floraison débute 4 à 5 jours plus tard. Durant la floraison, les fleurs demeurent généralement fermées (fleurs

cléistogames), et les trois anthères éclatent et libèrent le pollen (anthèse). Les fleurs s'ouvrent rarement avant la libération du pollen. La floraison dure de trois à six jours, selon les conditions météorologiques. Elle débute au centre de l'épi, puis se poursuit vers les deux extrêmes de l'épi. La durée de réceptivité du stigmate de blé dépend de la variété et des conditions du milieu, mais se situe entre 3 à 13 jours. Une fois fécondée, l'ovaire grossit rapidement. Au bout de deux semaines après la fécondation, l'embryon est physiologiquement fonctionnel et peut produire une nouvelle plantule (Bozzini, 1988).

I.3.5. LE REMPLISSAGE ET LA MATURATION DU GRAIN

C'est la dernière phase du cycle végétatif. Elle correspond à l'élaboration de la dernière composante constitutive du rendement qui est le poids du grain, suite à la migration des substances glucidiques produites par la feuille étendard et stockées dans le pédoncule de l'épi (Gate, 2003). Elle exige la chaleur et un temps sec, elle se fera sitôt en plusieurs étapes, la maturité laiteuse (le grain contient encore 50% d'humidité et le stockage des protéines touche à sa fin), la maturité physiologique (le grain a perdu en humidité et l'amidon a été constitué), la maturité complète (la teneur en humidité atteint environ 20 %), le grain est mûr et prêt à être récolté, c'est alors la période des moissons.

I.4. LES CONTRAINTES DE LA PRODUCTION DU BLE DUR

I.4.1. LE STRESS HYDRIQUE

Le manque d'eau ou déficit hydrique représente le stress abiotique le plus sévère auquel la culture du blé dur fait face dans les conditions de productions des zones arides et semi- arides (Chennafi *et al.*, 2006). En effet, l'eau joue un rôle essentiel dans la croissance et le développement de la culture du blé dur. Le manque d'eau se traduit par une réduction de la croissance de la plante et de sa production par rapport au potentiel du génotype. Un manque d'eau précoce affecte principalement la croissance des racines, le développement des feuilles et des organes reproducteurs (Debaeke *et al.*, 1996). Ceci

se répercute sur le rendement économique de la culture, qui peut chuter de plus de 80% (Chennafi *et al.*, 2006)

Le déficit hydrique à la montaison se traduit par la production très réduite du nombre d'épis par unité de surface. Il induit aussi la réduction du nombre de sites des grains par épi. Vers le stade méiose-épiaison, c'est l'avortement des fleurs qui est devenu important (Debaeke *et al.*, 1996). Le manque d'eau après la floraison, combiné à l'effet des hautes températures, entraînent une diminution du poids moyen du grain. Il affecte, en effet, la vitesse et la durée du remplissage du grain (Triboi, 1990). L'adaptation est un mécanisme nécessaire pour les variétés à adopter dans les régions arides et semi-arides, pour tolérer la sécheresse (Slama *et al.*, 2005)

I.4.1.1. MECANISMES D'ADAPTATION AU DEFICIT HYDRIQUE

Pour contrer le manque d'eau, les plantes développent plusieurs stratégies adaptatives qui varient en fonction de l'espèce et des conditions du milieu. La résistance d'une plante à une contrainte hydrique peut être définie, du point de vue physiologique, par sa capacité à survivre et à s'accroître et, du point de vue agronomique, par l'obtention d'un rendement plus élevé que celui des plantes sensibles. Selon Passioura (2004), la résistance globale d'une plante vis-à-vis du déficit hydrique est la résultante de nombreuses modifications phénologiques, anatomiques, morphologiques, physiologiques et biochimiques. Ces dernières interagissent pour permettre le maintien de la croissance, du développement et de la production (Passioura, 2004).

I.4.1.1.1. ADAPTATIONS PHENOLOGIQUES

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 la biomasse la plus élevée, les génotypes à croissance rapide et à

maturité précoce utilisent mieux l'eau disponible et ils sont moins exposés aux stress environnementaux que les génotypes tardifs (Bajji, 1999). De ce fait le rendement grain est positivement corrélé à la précocité d'épiaison (Gonzalez, 1999). La précocité de l'épiaison est efficacement utilisée comme critère de sélection pour améliorer les productions des zones sèches (Ali Dib, 1992 ; Ben Salem *et al.*, 1997).

I.4.1.1.2. ADAPTATIONS MORPHOLOGIQUES

L'adaptation peut prendre forme, 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 talles, 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).

I.4.1.1.3. ADAPTATIONS PHYSIOLOGIQUES

La diminution du potentiel hydrique du sol en conditions de sécheresse provoque une perte importante de la turgescence au niveau de la plante (Henchi, 1987). 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 (Sorrells *et al.*, 2000). Le maintien d'un potentiel hydrique élevé est lié à l'aptitude à extraire l'eau du sol et à la capacité à limiter les pertes d'eau par transpiration (Turner, 1986). 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.

Le stress hydrique provoque la mise en place d'un état de régulation hydrique de la plante qui se manifeste par la fermeture stomatique et un ajustement du potentiel osmotique (Brisson et Delecolle, 1992). Les osmolytes, les plus importants, qui s'accumulent chez les céréales en conditions de déficit hydrique, sont représentés, entre autres, par le sucre et la proline (Kameli et losel, 1996). Ces osmolytes jouent un rôle important dans l'ajustement osmotique et l'adaptation de la plante au manque d'eau (Morgan, 1984 ; Zhang *et al.*, 1999). L'existence chez les céréales d'une variation intra-spécifique pour l'accumulation de la proline sous l'effet du déficit hydrique suggère la possibilité d'une sélection, sur la base de ce caractère, des génotypes performants en condition de stress hydrique (Bergarreche *et al.*, 1993).

I.4.2. LE STRESS THERMIQUE

La température est un facteur important pour la durée de pré et de la post - anthèse. Le taux de développement des génotypes dans les durées de la pré –et de la post- anthèse sont différents en raison de la variation de la température selon les années et les environnements (Akkaya *et al.*, 2006). Dans les environnements méditerranéens, les hautes températures de fin de cycle sont considérées comme un facteur important de limitation de rendement. Des températures, au-dessus de 30°C, affectent le poids final de grain (Al-Khatib et Paulsen, 1984). L'effet des hautes températures peut modifier, non seulement le poids final de grain, mais aussi le nombre de grains par épi et par unité de surface (Wardlaw *et al.*, 1989 ; Calderini *et al.*, 1999).

Pendant la période de tallage herbacé, des températures assez élevées, de l'ordre de 15-20°C, peuvent exercer un rôle favorable en permettant à la plante de produire un nombre de talles suffisants. En revanche pendant la phase de montaison, l'occurrence plus fréquente de températures élevées a une incidence défavorable sur la croissance des tiges (Gate, 1995). Le blé dur est cultivé dans une large gamme d'environnements. Il a une adaptation la plus large (Briggle et Curtis, 1987). Cette adaptation est largement due, dans une large mesure, à la tolérance au froid, c'est-à-dire la capacité à supporter des

températures bien inférieures à 4°C, considérée comme la température minimale pour la croissance.

I.5. L'AMELIORATION GENETIQUE DU BLE DUR

I.5.1. OBJECTIFS ET CRITERES DE SELECTION

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. Le processus de sélection est différent, selon qu'on voudra chercher l'adaptation spécifique ou l'adaptation générale (Annichiarico *et al.*, 2006). En effet, 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.

Les sélectionneurs de blé dur mettent l'accent sur l'amélioration simultanée du comportement agronomique, de la résistance aux maladies et des caractères qualitatifs. Les caractères agronomiques sont représentés par le rendement et ses composantes, la hauteur de la plantes, la biomasse aérienne produite aux stades végétatifs épiaison et maturité. La résistance aux maladies porte sur les rouilles (*Puccinia tritici*), la septoriose (*septoria tritici*) et la tache bronzée. Les caractères qualitatifs concernent surtout le grain et englobent le poids spécifique, le pourcentage de grains durs vitreux, l'indice du jaune, le taux d'extraction et la teneur protéique (Anonyme, 2006).

Le processus de création d'une nouvelle variété commence par la production d'hybrides F1 par croisement de deux parents ou plus. Les sélectionneurs doivent veiller à ce que tous les parents servant au croisement possèdent collectivement la majorité des caractères recherchés pour la nouvelle variété. Dans le cas des populations autogames, la

génération F2 dérivée de l'autofécondation de sujets F1 affiche une grande variabilité génétique.

La sélection des plants possédant les caractères recherchés commence en F2. Elle se poursuit jusqu'en F7-F8, lorsque la descendance devient uniforme. Cette sélection précoce se fait sur la base des caractères dont l'expression dépendra peu des conditions du milieu, telles que la hauteur, la précocité, la sensibilité aux maladies. La sélection pour des caractères complexes, comme le rendement et la qualité du grain, s'effectue plus tardivement sur un matériel plus génétiquement homogène, en utilisant des dispositifs plus rigoureux pour maîtriser la variation environnementale (Anonyme, 2006).

I.5.1.1. LA SÉLECTION POUR LA PRODUCTIVITÉ

Le rendement grain est un caractère génétiquement complexe et son amélioration passe par la sélection conjointe de la productivité et des caractères adaptatifs aux milieux biotiques et abiotiques. L'amélioration génétique du rendement se fait de manière progressive et continue, suite à la modification des composantes (Doré Varoquaux, 2006). La connaissance des liaisons qui existent entre les composantes et le rendement permet d'identifier les composantes à utiliser comme critères de sélection. Ces informations permettent d'orienter le processus de sélection de manière à promouvoir les caractères capables d'engendrer une amélioration du rendement (Mekhlouf et Bouzerzour, 2000).

Le nombre de grains produit par unité de surface, résultante du produit du nombre des épis et du nombre de grains par épi, est le caractère le plus fortement lié au rendement. De ce fait, la sélection concomitante pour les épis et le nombre de grains par épi débouchent forcément à l'amélioration de la productivité. Bahlouli *et al.*, (2005) notent cependant un effet de compensation négatif entre ses deux composantes sous conditions semi-arides. L'amélioration de l'une de ces composantes, réduit l'autre, avec des effets incontrôlés sur le rendement grain. Cet effet de compensation est d'autant

plus important que ces deux composantes s'élaborent au cours de périodes différentes, subissant les stress à des intensités différentes. Le poids moyen du grain, exprimé sous forme de poids de 1000 grains ne semble pas influencer sur le rendement. Cette composante reste peu maîtrisée suite aux effets combinés de la compensation avec le nombre de grains par épi et ceux des stress de fins de cycle (Benbelkacem et Kellou, 2001).

Le rendement grain est la résultante de la matière sèche produite durant la pré- et la post- anthèse. L'indice de récolte représente la proportion de la biomasse aérienne produite à maturité qui est le grain. Il mesure la capacité de la répartition de la biomasse produite entre la partie économique, qui est le grain et le reste de la plante représenté par la paille. Selon Karrou (2000), pour améliorer l'indice de récolte, il faut chercher un compromis entre la source et le puits.

Berger et Planchon (1990) estiment que la sélection de l'indice de récolte se traduit par des changements de l'architecture de la plante qui rendent cette dernière très sensible à la variation environnementale en milieu erratique suite à la réduction de la hauteur de paille au profit du nombre de grains par m². (El-Mourid, 1988 ; Sharma, 1992) rapportent une relation positive et significative entre la biomasse aérienne accumulée au stade anthèse et le rendement. De ce fait la biomasse présente un intérêt majeur en sélection au même titre que le rendement vu qu'elle apparaît comme un facteur limitant du rendement (Mekhlouf et Bouzerzour, 2000).

De cette biomasse, le poids de l'épi au stade épiaison est un bon indicateur du rendement potentiel à espérer lorsque le remplissage du grain se fait dans des conditions de croissance, assez favorable. Selon Abbassene *et al.*, (1998) la cinétique d'accumulation de la matière sèche de l'épi, du grain et de la tige, après l'épiaison, chez des variétés conduites en conditions semi-aride, laisse apparaître que le génotype productif se caractérise par une vitesse de remplissage des épis/m² assez élevée alors que les variétés aux faibles rendements possèdent une vitesse de remplissage/grain assez forte.

L'idéotype mono épi, proposé par Donald (1968), a stimulé la recherche sur la capacité de tallage herbacé (Winward *et al.*, 1983). Duggan *et al.*, (2005) ont conclu que les cultivars mono talle se comportent mieux sous stress hydrique. Une capacité de tallage élevée est reconnue comme un bon critère dans les environnements semi-arides, où les géotypes à haut tallage produisent plus (Hadjichristodoulou, 1985). Une forte capacité de tallage herbacée peut être une source de surconsommation d'eau, laissant la phase de remplissage du grain se dérouler sous stress, ce qui réduit le rendement grain (Duggan *et al.*, 2000 ; Wang *et al.*, 2005). Une meilleure compréhension de la contribution du brin maître et des talles primaires au rendement grain peut aider dans le choix d'une architecture génotypique adaptée et productive (Elhani *et al.*, 2007).

La biomasse aérienne, les composantes du rendement et l'indice de récolte apparaissent comme des caractéristiques associées à la productivité et de ce fait ils peuvent être utilisés comme critères de sélection pour améliorer indirectement le rendement grain en zones semi- arides. Cependant de nombreux travaux aboutissent à la conclusion que la sélection pour le rendement ou ses composantes est peu efficace en conditions environnementales défavorables, vu que la variance génétique et l'héritabilité sont, sous ces conditions, peu élevées (Mansouri, 2002). L'inefficacité du rendement grainier comme critère de sélection sous conditions environnementales difficiles conduit à définir et à mettre en œuvre une véritable stratégie de sélection permettant l'identification, la description, et la validation des caractères de tolérance, leur étude génétique, et la recherche de marqueurs moléculaires qui leurs sont associés (Eagles *et al.* ; 2001 ; Hospital , 2001).

I.5.1.2. LA SELECTION POUR L'ADAPTABILITE

Pour le sélectionneur une bonne variété doit être stable dans le temps et adaptée dans l'espace. La stabilité dans le temps la rend attractive pour l'agriculteur dont l'objectif est de d'obtenir un haut rendement régulièrement. Par contre le semencier cherche une variété qui soit adaptée à une large zone de production pour intéresser le plus grand nombre d'agriculteurs (Witcombe *et al.*, 2004). Cependant adaptabilité, stabilité et haut

rendement grainier ne sont pas toujours positivement corrélées (Sinebo, 2005). Les variétés stables et adaptées sont les moins productives. Elles répondent moins à la fertilité du milieu (Menad, 2008). Dans ce contexte l'adaptabilité est liée à la tolérance des stress (Annichiarico *et al.*, 2002). De ce fait, la sélection pour l'adaptabilité reste basée sur les caractères indicateurs de la tolérance des stress.

L'adaptation variétale est liée à la phénologie et à une croissance hivernale permettant de valoriser les eaux de pluie. Une croissance active en début du cycle nécessite une moindre sensibilité aux basses températures (Canterro-Martinez *et al.*, 1995). Elle améliore l'utilisation de l'eau et permet une production de biomasse aérienne plus importante (Oosterom et Acevedo, 1992). Par ailleurs, une moindre sensibilité à la photopériode permet à la variété d'épier plus tôt, et donc d'être moins exposée aux stress abiotiques de fin de cycle (Ceccarelli *et al.*, 1998).

À l'opposé, les variétés ayant des besoins en vernalisation ou en longueur de jour élevés ont une croissance végétative importante qui ne s'exprime que tardivement lorsque leurs besoins en froid et photopériodique sont satisfaits (Oosterom *et al.*, 1993). Ces variétés sont, en général, assez tardives, ce qui leur permet d'esquiver les périodes de gel tardif ; en revanche, elles subissent les effets de la sécheresse et des hautes températures de fin de cycle (Mekhlouf *et al.*, 2006).

Parmi les alternatives permettant d'améliorer les rendements en grains, des régions arides et semi- arides où les ressources en eau sont rares, figurent le développement et la sélection de variétés plus économes en eau (Richards *et al.*, 2002; Tardieu, 2003 ; Passioura, 2004). Des augmentations significatives des rendements sont possibles, dans les milieux contraignants, si la sélection est faite pour l'adaptation spécifique, mettant ainsi en valeur les différents terroirs (Araus *et al.*, 1998; Annichiarico *et al.*, 2002).

La sélection pour la tolérance induit, certes, une baisse des rendements sous contrainte, mais cette baisse est cependant moins importante chez les génotypes tolérants comparativement à celle notée chez les génotypes sensibles (Fellah *et al.*, 2002 ; Bahlouli *et al.*, 2005). L'utilisation optimale de l'humidité du sol, par la culture, est liée à l'indice foliaire qui s'établit au cours du cycle et à sa modulation en fonction de l'intensité des stress prévalant (Simane *et al.*, 1993 ; Tardieu, 2003).

Pour un stock donné d'eau du sol, le cultivar adapté et économe en eau est celui qui ne fait pas de consommation de luxe au cours de la prè- anthèse (Siddique *et al.*, 1989 ; Passioura, 2004). Il module son indice foliaire pour réguler la transpiration en fonction du degré de son approvisionnement en eau (Simane *et al.*, 1993 ; Slafer *et al.*, 1999 ; Richards *et al.*, 2002). Chez les plantes économes en eau, l'évitement de la déshydratation est lié à la réduction des pertes d'eau par les voies cuticulaires et stomatiques. La recherche d'indicateurs de la capacité de la plante à faire une bonne utilisation de l'eau, sous stress hydrique, est un préalable à la réalisation de progrès en matière d'amélioration du rendement sous contrainte hydrique (Blum *et al.*, 1999 ; Araus *et al.*, 2002).

Les critères physiologiques restent très difficiles pour une utilisation sur un grand nombre de lignées comme il est de coutume en sélection. De ce fait les sélectionneurs restent très attachés aux caractères dont la mesure est facile et possible sur des centaines de sujets. Dans ce contexte, Finlay et Wilkinson (1963), Fisher and Maurer (1978), Roseille et Hamlin (1981) et Lin et Binns (1986) préconisent d'utiliser des indices mesurant la tolérance au stress de part la réponse du rendement grain. Ces indices sont l'indice b, l'indice S et l'indice P (Sinebo, 2005).

I.5.2. LA SELECTION ASSISTEE PAR LES MARQUEURS MOLECULAIRES

La sélection est faite sur la base de caractères identifiables (Figure I.3). Lorsqu'un gène mutant contrôlant un caractère d'intérêt est identifié, il est immédiatement localisé sur la

carte génétique, après une série de croisements qui permettent d'établir le taux de recombinaison du gène d'intérêt avec les gènes qui lui sont liés. Ce gène mutant devient à son tour un marqueur pour les gènes qui lui sont liés. L'utilisation des gènes marqueurs pour sélectionner des caractères d'intérêts désirables est dite sélection indirecte (Steele *et al.*, 2006).

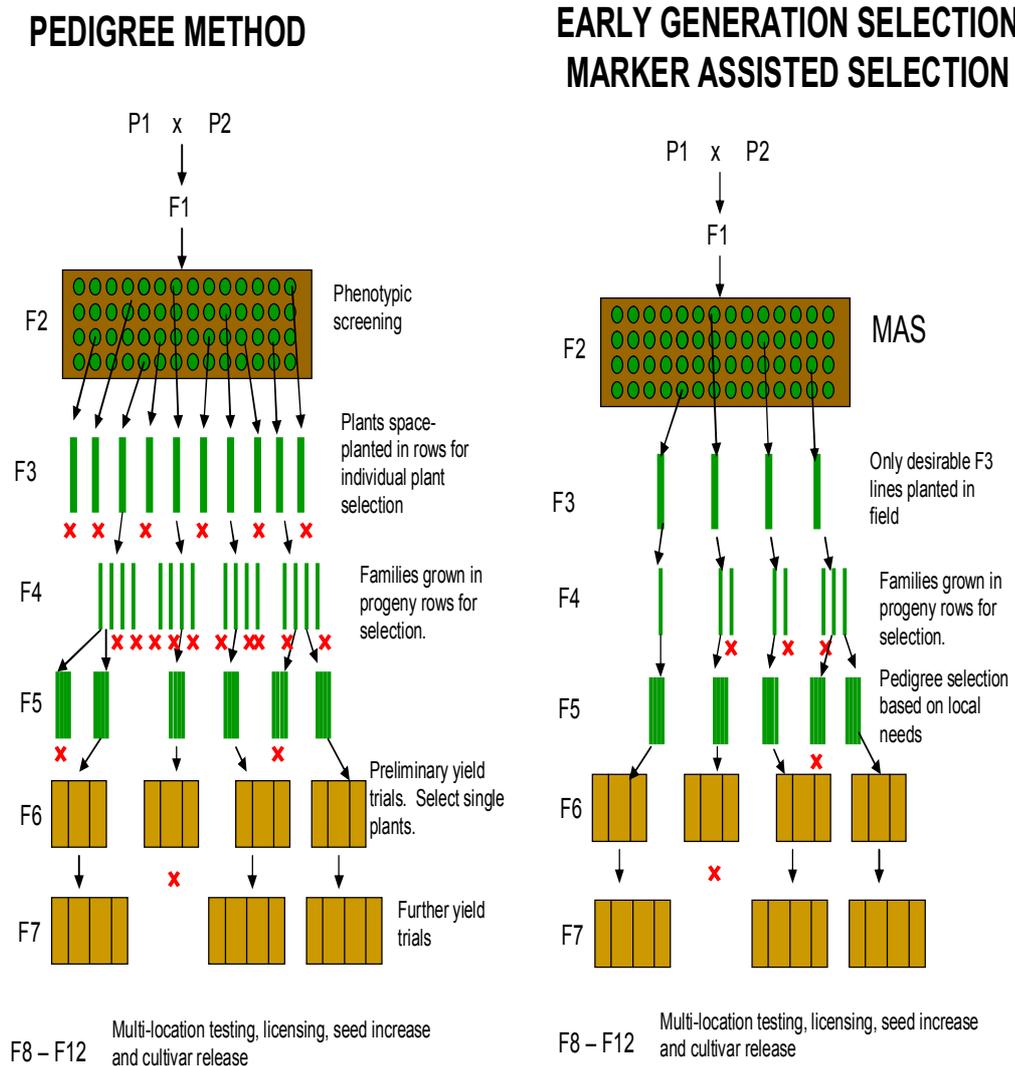


Figure I.3. Sélection précoce: comparaison de la sélection classique et la SAM

En sélection classique, chaque lignée est examinée à travers son aspect phénotypique qui est la résultante de l'expression des gènes dans un milieu donné. Il est important pour le sélectionneur de connaître l'aspect purement génétique du caractère étudié, indépendamment de son expression. Dans ce contexte de nombreux marqueurs biochimiques ou moléculaires ont été développés. La sélection assistée par les marqueurs (SAM) est encore à ses débuts chez les céréales, mais des recherches sont conduites pour la développer et l'adapter. Son application débute dans les programmes d'amélioration des plantes pour la détection de lignées résistantes aux maladies, pour 'pyramider' les gènes et pour l'identification des QTL d'intérêt à déterminisme génétique simple (Feuillet *et al.*, 2003).

I.5.2.1. LES DIFFERENTS TYPES DE MARQUEURS

I.5.2.1.1. LES MARQUEURS MORPHOLOGIQUES

Ils sont représentés par les caractères morphologiques habituellement utilisés par la sélection classique, comme la hauteur, la précocité, les composantes et le rendement entre autres. Ces marqueurs se caractérisent cependant par certains inconvénients dont leur sensibilité à l'effet du milieu, ce qui les rend peu efficient en sélection. En plus qu'ils sont couteux dans leur mise en œuvre et ils nécessitent des populations très larges, à conduire sur plusieurs années voire plusieurs environnements (Prioul *et al.*, 1997).

I.5.2.1.2. LES MARQUEURS BIOCHIMIQUES

Les isozymes sont utilisés comme des marqueurs biochimiques, en amélioration des plantes. Ce sont des enzymes généralement exprimés dans les cellules végétales. Ils sont extraits et visualisés sur gel électrophorétique pour déterminer le polymorphisme enzymatique. Ces marqueurs sont plus efficientes que les marqueurs morphologiques, cependant ils ne présentent pas un polymorphisme élevé, surtout chez les génotypes homozygotes (Zhu *et al.*, 1999).

I.5.2.1.3. LES MARQUEURS MOLECULAIRES

Ils sont basés sur le polymorphisme naturel qui a pour origine l'ADN lui-même et les mécanismes qui lui sont associés dont les phénomènes de délétions, substitutions, additions et patterns (Steele *et al.*, 2006). Ils existent plusieurs méthodes pour identifier et amplifier ce polymorphisme moléculaire de sorte qu'il puisse être utilisé en sélection. Leur avantage tient au fait qu'ils sont facilement identifiables, présentant un polymorphisme élevé et sont répartis à travers tout le génome. Ces marqueurs sont peu sensibles aux effets de l'environnement, et sont donc aisément reproductibles.

Ces marqueurs sont détectables sur tout organe de l'individu étudié (feuilles racines, tiges grains), et à tous les stades végétatifs, ce qui permet d'anticiper précocement les meilleures combinaisons géniques. Ils sont utiles pour la caractérisation du germoplasme, la sélection assistée par des marqueurs et pour les analyses génomiques et phylogénétiques (Steele *et al.*, 2006). Les marqueurs moléculaires sont utilisés pour élaborer des cartes génétiques où chaque chromosome est représenté sous forme d'un ensemble de marqueurs moléculaires dont l'ordre et l'espacement sont déterminés en comparant les individus de la descendance d'un croisement.

Les caractères mono-géniques sont transmis de façon simple à la descendance d'un croisement. Il suffit que le gène responsable soit transmis à une partie de la descendance pour que celle-ci ait le caractère désiré. Même si la séquence du gène responsable du phénotype intéressant n'est pas connue, ce gène peut être localisé sur une carte génétique et entouré de marqueurs moléculaires. A l'opposé, les caractères correspondent à la combinaison de l'action de plusieurs gènes sont dits «quantitatifs». Les régions chromosomiques impliquées dans l'expression de ces caractères quantitatifs (QTL: *Quantitative Trait Loci*) peuvent être localisées sur une carte génétique à l'aide de méthodes statistiques, et repérées par des marqueurs moléculaires.

Ce travail est réalisé en étudiant la correspondance dans la descendance d'un croisement entre les caractères phénotypiques observés et la présence des marqueurs moléculaires associés (Zhu *et al.*, 1999). Lorsque les QTL sont identifiés, le sélectionneur peut repérer les plantes intéressantes dans la descendance d'un croisement en se basant sur la présence des marqueurs moléculaires proches des gènes contrôlant les caractères recherchés. Grâce aux marqueurs génétiques, il devient possible d'une part d'établir l'empreinte génétique d'un individu, et de suivre les gènes impliqués dans l'expression de caractères d'intérêt agronomique ou technologique (Zhu *et al.*, 1999).

I.5.2.2. UTILISATION DE LA SELECTION ASSISTEE PAR LES MARQUEURS (SAM)

I.5.2.2.1. SELECTION POUR LA RESISTANCE AUX MALADIES CRYPTOGAMIQUES

La SAM se base sur la possibilité de détecter la présence d'un gène ou d'une caractéristique agronomique intéressante par la recherche du marqueur qui lui est étroitement lié. La SAM est non destructive, elle nécessite peu de tissu végétal et elle n'est pas influencée par les facteurs environnementaux. Ce type de sélection est particulièrement avantageux lorsque le caractère étudié est difficile, coûteux à évaluer ou influencé par les conditions climatiques (résistance aux stress biotiques et abiotiques). Lorsque le sélectionneur cherche à anticiper les problèmes, par exemple pour améliorer la résistance contre des maladies dans des régions où le pathogène n'existe pas encore, l'emploi de la SAM est incontournable (Feuillet *et al.*, 2003).

La SAM présente encore un grand intérêt dans les programmes d'introgession destinés à modifier de manière ciblée un matériel génétique existant, en remplaçant un segment chromosomique initial par un segment porteur de caractéristiques favorables provenant d'un autre matériel. Cette approche suppose de croiser deux lignées, l'une considérée comme le parent donneur, l'autre comme le parent receveur, puis d'éliminer

progressivement par rétro-croisements successifs (*back-cross*) le génome du parent donneur, tout en conservant de façon ciblée le segment d'intérêt (Figure I.4.).

La SAM peut également aider à accumuler dans une plante des gènes de résistance complémentaires pour une même maladie, de façon à obtenir une résistance multigénique qui sera potentiellement plus stable car plus difficile à contourner par le pathogène. Le phénotype seul ne permet pas de différencier les individus cumulant deux ou plusieurs gènes de résistance de ceux qui n'en possèdent qu'un, rendant le recours aux marqueurs indispensable.

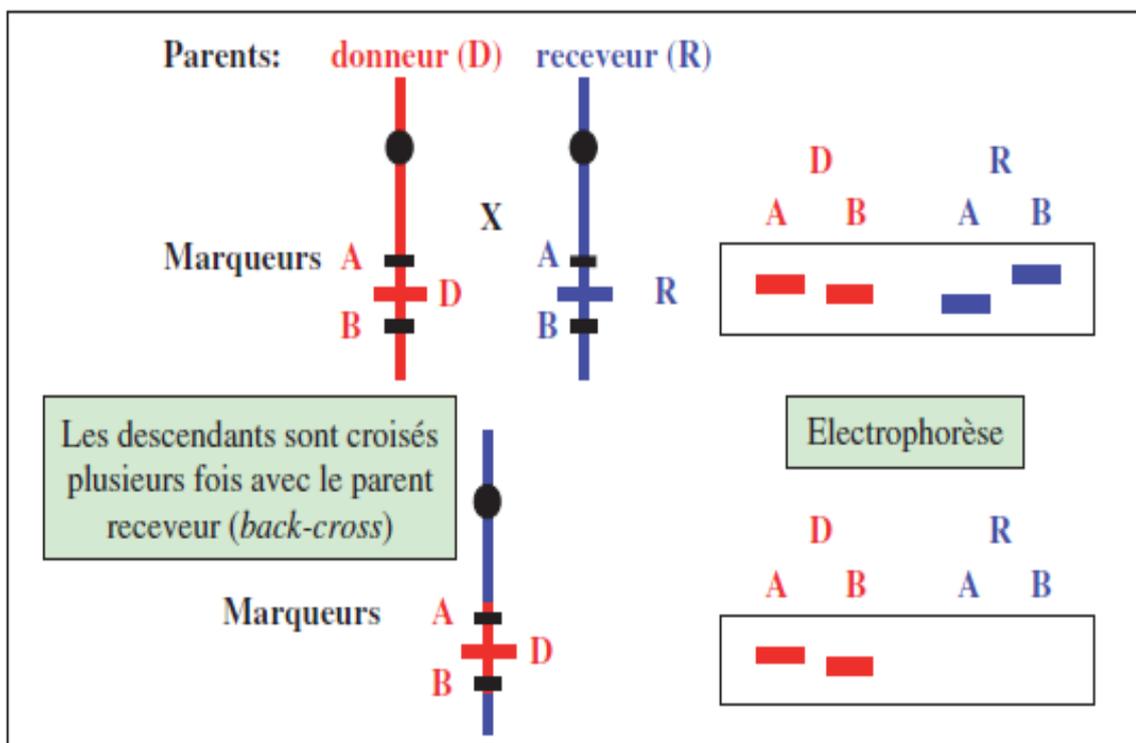


Fig. 2. Schéma d'introgession du gène D provenant du parent donneur dans le génome de la plante receveuse à l'aide des marqueurs A et B visualisés par électrophorèse.

Figure I.4. Méthode d'introgession des gènes à partir des apparentés, utilisation des marqueurs moléculaires (Feuillet *et al.*, 2003).

La SAM a cependant ses limites. Comparée aux méthodes de sélection traditionnelles, cette nouvelle technologie n'est pas compétitive en termes de coût et de temps lorsque le phénotype peut être déterminé facilement (hauteurs des plantes, précocité, résistance à certaines maladies...). Par ailleurs, pour la sélection de caractéristiques agronomiques à déterminisme génétique complexe, comme le rendement par exemple, gouvernées par un grand nombre de gènes ou de QTL qui interagissent et dont la plupart sont encore inconnus, la SAM est actuellement un outil inefficace (Thabuis *et al.*, 2004)

Schachermayer *et al.*, (1994) mentionnent que des gènes de résistance à la rouille brune ont été introgressés chez le blé à partir d'espèces sauvages apparentées, Lr9 provenant de *Aegilops umbellulata* et Lr24 d'*Agropyron elongatum*. Après plusieurs rétro croisements successifs, ces résistances ont ensuite été introduites chez une variété présentant un bon niveau qualitatif, comme variété receveuse (Figure 4). Afin d'accroître la durabilité de la résistance à la rouille brune, les lignées contenant Lr9 ont été croisées avec celles possédant Lr24. Plus de 400 familles F2 qui ne possédaient ni Lr9 ni Lr24 ont été éliminées grâce à leur phénotype (sensible à la rouille brune).

Le marquage moléculaire des 765 familles restantes, à l'aide de deux amorces spécifiques pour Lr₉ (Schachermayer *et al.*, 1994) et quatre autres pour Lr₂₄ (Schachermayer *et al.*, 1995), montre que 194 familles contiennent les deux gènes de résistance, quatre possèdent le gène Lr₉ et dix lignées portent le gène Lr₂₄. Le comportement de ces lignées sous infection naturelle de la rouille brune est indiquée par la figure 4 (Schachermayer *et al.*, 1995).

I.5.2.2.2. SELECTION POUR LA TOLERANCE AUX STRESS ABIOTIQUES

On cherche à localiser les zones du génome impliquées dans les variations des caractères quantitatifs d'intérêts (Lefort-Buson *et al.*, 1990). Les mesures du caractère

sont faites sur une descendance en ségrégation dont le polymorphisme moléculaire a été établi et cartographié. Puis, on suit la co-ségrégation des marqueurs et du caractère physiologique ou agronomique intéressant. S'il existe des QTL intervenant dans la tolérance à la sécheresse, chacun d'eux sera entouré de marqueurs qui l'identifient (Monneveux et Depigny, 1995).

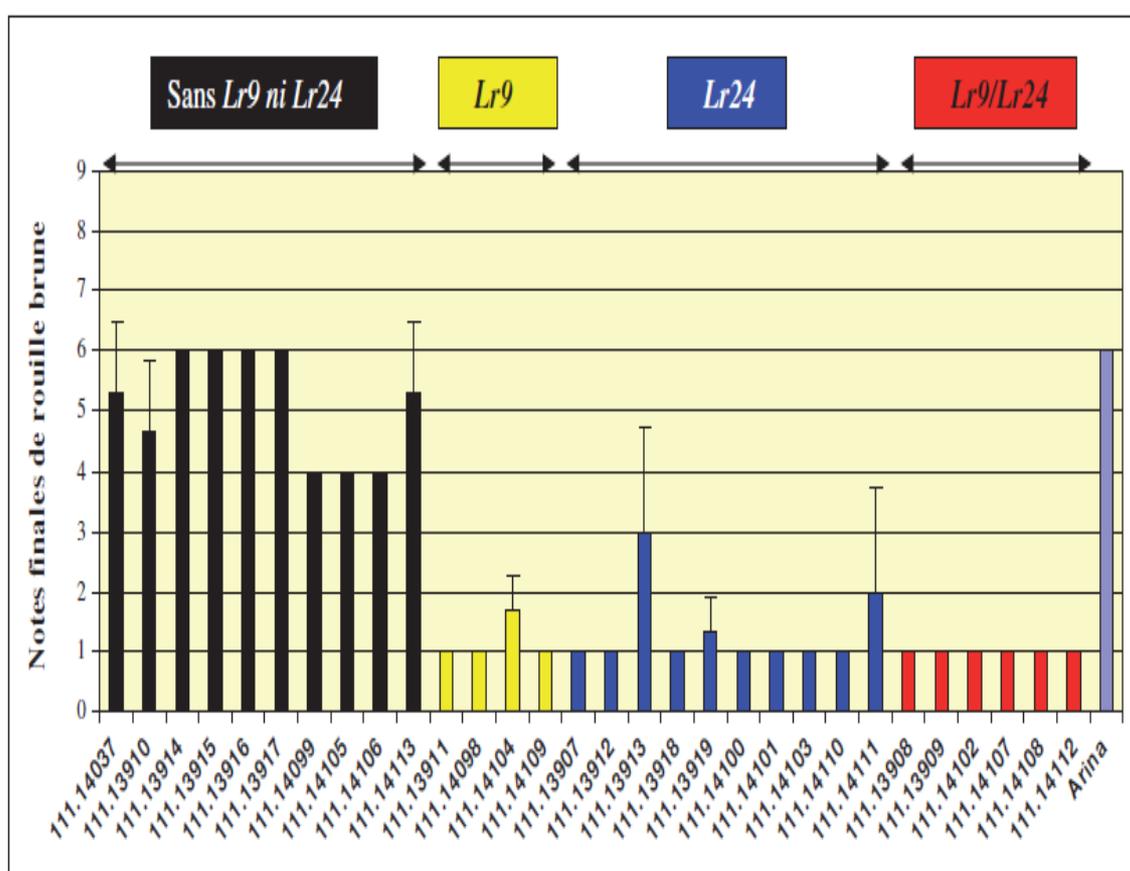


Fig. 8. Evaluation de la résistance à la rouille brune (notes de 1 à 9) de lignées de blé dérivées du projet de pyramidalisation des gènes de résistance Lr9 et Lr24 (note 1: aucun symptôme; note 9: feuilles couvertes de symptômes).

Figure I.5. Comportement des lignées de blé divergentes pour le nombre de gènes de résistance sous infection naturelle de la rouille brune (Schachermayer *et al.*, 1995).

L'autre alternative consiste à induire le stress sur la plante, puis de suivre les modifications induites par ce stress au niveau des protéines ou des ARN messagers. On

peut ensuite remonter aux gènes correspondants en utilisant les protéines ou les ARNm spécifiques du stress comme sonde. Des résultats intéressants ont été également obtenus par des suivis de l'expression génique au cours du développement, et en particulier, au cours de la phase de déshydratation du grain, qui représente une situation de stress hydrique naturelle. Un ensemble de gènes régulés au cours du stress hydrique ont ainsi pu être mis en évidence (Delseny *et al.*, 1993).

CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES

II.1. MISE EN PLACE DE L'EXPERIMENTATION

L'expérimentation a été conduite sur le site expérimental de la station agronomique de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) de Sétif. Elle porte sur le suivi de la génération F₃ de trois croisements réalisés entre les lignées parentales Ofanto et MBB, Ofanto et Waha et Ofanto et Mrb₅. Les lignées parentales représentent un matériel adapté à la région de Sétif. Ce matériel a été sélectionné sur ce même site expérimental. Mrb₅ est une lignée issue du croisement entre Jori_{C69} et Haurani (Jori_{C69}/Hau). Ofanto est une variété italienne provenant du croisement entre les variétés Appulo et Valnova (Devita *et al.*, 2007). Waha est une sélection de l'ITGC de Sétif, elle est issue du croisement entre Pelicano, Ruffino et Gaviota, (Plc/Ruff//Gta's'). Mohammed Ben Bachir est une sélection généalogique faite à l'intérieur d'une population locale de blé dur de la région de Ain Roua, du nord de Sétif (Laumont et Erroux, 1961).

La génération F₂ a été mise en place le 9 du mois de novembre 2007, semée sur des rangs de 5 m de long par 20 cm d'écartement entre rangs successifs. Dix rangs ont été semés par croisement, avec un espace entre graines (plantes) de 10 cm. Les lignées parentales Ofanto, Waha, Mrb₅ et Mohammed Ben Bachir ont été semées sur 6 rangs de mêmes dimensions au début et à la fin de chaque croisement et répétées trois fois (parcelle de 6 m²) à une densité de 250 graines/m². La génération F₃ a été mise en place le 18 du mois de novembre 2008, semée sur des rangs de 5 m de long par 20 cm d'écartement entre rangs successifs, à raison de 2 rangs par lignée. 120 lignées par croisement ont été mises en place. Les lignées parentales ont été semées sur des rangs de mêmes dimensions, et répétées tous les 40 numéros. La densité de semis adoptée était de 200 graines/ m².

Les techniques culturales adoptées sont celles préconisées par la station ITGC de Sétif et reportées par Chennafi *et al.*, (2006). Le précédent cultural est une légumineuse alimentaire (pois chiche) ; la parcelle en question est labourée au mois de septembre,

avec une charrue à soc réversible. Le labour profond est repris par deux fois avec un cover-crop de 8/16 disques, les deux passages sont espacés dans le temps. Au mois de novembre, l'engrais phosphaté (super 46%) est épandu à raison de 100 kg ha⁻¹. Cette opération est suivie par un cultivateur et une barre désherbeuse pour niveler le sol. Le semis est réalisé après traçage manuel des différents blocks de l'essai. Au stade tallage (mois de mars), l'engrais azoté est apporté à raison de 100 kg ha⁻¹ de produit commercial sous la forme d'urée à 35%. Le désherbage chimique est effectué, juste après l'apport de l'engrais azoté, avec le GrandStar [*Methyl triberunon*] à raison de 12 g ha⁻¹.



Figure II.1. Vue du dispositif expérimental de l'essai mise en place sur le site de recherche de la station de L'ITGC de Sétif au cours de la campagne 2008/2009.

II.2. VARIABLES MESUREES

Au stade maturité de la génération F₂, des bottillons de végétation sont récoltés sur un rang de 1 m de long par parcelle élémentaire du dispositif des lignées parentales pour estimer les variables liées au rendement. Le poids de la matière sèche totale, le nombre et le poids des épis, la hauteur des plantes et le rendement. Le rendement grain est estimé sur la base de la récolte des 4 rangs du milieu des parcelles élémentaires. Des

plantes des lignées parentales et de la génération F₂ ont été récoltées et sur lesquelles des mesures ont été faites pour déterminer la biomasse aérienne produite, le nombre d'épis, le poids des épis, la hauteur de la plante et le rendement par plante.

Sur les lignées de la génération F₃ et les lignées parentales, la durée de la phase végétative est comptée en jours calendaires, du 1^{ier} janvier à la date de réalisation de l'épiaison. La hauteur du chaume, en cm, est prise à maturité, du niveau du sol au sommet de la strate moyenne des épis, barbes non incluses. La biomasse aérienne du bottillon de végétation récolté sur un rang de 1 m de long est mesurée, à maturité, sans passage à l'étuve. Du même bottillon, le nombre et le poids des épis sont déterminés.

Les épis comptés sont passés à la batteuse à gerbe pour obtenir le grain qui est utilisé pour la détermination du rendement. Le poids de 1000 est déterminé par comptage et pesage de 200 graines par lignée. Les nombres de grains par épi et par unité de surface semée sont déterminés par calcul :

$$\text{NGM}^2 = 1000\text{RDT}/\text{PMG}$$

et

$$\text{NGE} = \text{NGM}^2/\text{NE}$$

avec

RDT = rendement en g m²,

PMG = poids de 1000 grains en g

NE = nombre d'épis m²,

NGE = nombre de grains par épi.

II.3. Analyse des données

Pour les F₃, les variables mesurées sont traitées par l'analyse de la variance, l'analyse de la régression, les corrélations et par l'analyse des statistiques descriptives : moyennes, valeurs minimale, maximale, amplitude et variance. Les relations entre variables mesurées sont aussi traitées par l'analyse en chemin. Dans l'analyse en chemin, deux modèles sont considérés. Dans le premier modèle le rendement est considéré comme étant la résultante des variables suivantes : DPV, NE, PMG, NGE et NGM². Dans le second modèle le rendement est pris comme variable dépendante, la hauteur du

chaume, la biomasse aérienne, le poids des épis par plante et la durée de la phase végétative sont prises comme variables causales (Figure II.1). L'analyse en chemin est faite pour estimer les effets directs et indirects des variables influentes sur le poids des épis selon la méthode rapportée par Garcia Del Moral *et al.*, (2005). 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 (Figure II.1).

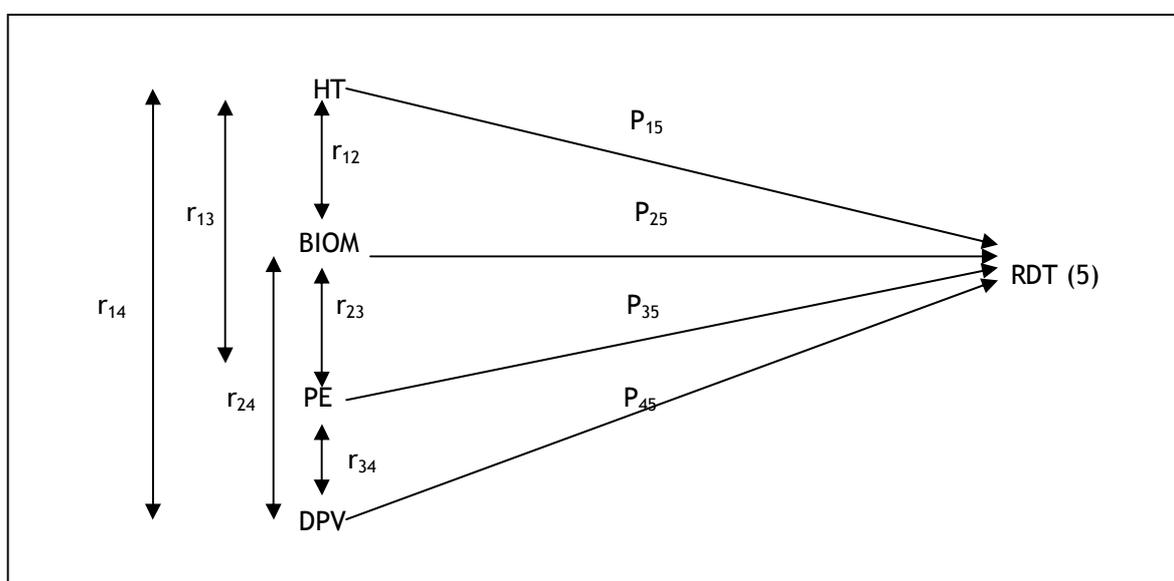


Figure II.2. Modèle de l'analyse en chemin appliqué au poids des épis de la génération F₂

$$r_{15} = P_{15} + r_{12}P_{25} + r_{13}P_{35}; \quad r_{25} = P_{25} + r_{12}P_{15} + r_{23}P_{35}; \quad r_{35} = P_{35} + r_{13}P_{15} + r_{23}P_{25}$$

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

$$CV_p (\%) = 100 \sigma^2_p / \text{moyenne}$$

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

où σ^2_p et σ^2_G sont la variance phénotypique totale et sa composante génétique, déduite de l'analyse de la variance en égalant les espérances moyennes aux carrés moyens des écarts (Tableau II.1 ; Steel et Torrie, 1982) : $\sigma^2_G = (M_1 - M_2)/r$ et $\sigma^2_p = \sigma^2_G + \sigma^2_e$.

Les mêmes composantes sont estimées, pour les variables mesurées par plante, sur la base du calcul des variances de la F₃, prise comme étant égale à la variance phénotypique totale (σ^2_p), la variance des parents est prise comme étant égale à la variance résiduelle (σ^2_e), et la composante génétique est déduite par différence (Falconer et McKay, 1998):

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

Tableau II. 1. Squelette de la table de l'analyse de la variance montrant les composantes de la variation (Steel et Torrie, 1982).

Source de variation	ddl	Carrés moyens des écarts	Espérances moyennes
Génotype	G-1	M1	$\sigma^2_e + r\sigma^2_G$
Erreur	(G-1)(r-1)	M2	σ^2_e

Le degré d'héritabilité au sens large (h^2_{BS}) est estimé par le rapport de la variance génétique sur la variance phénotype totale :

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

La réponse à la sélection (RS) directe, appliquée à la F₂, sur la base du caractère d'intérêt et attendue en F₃, est estimée par :

$$RS = ih^2 \sqrt{\sigma^2_p}$$

où i est la différentielle de la sélection standardisée en unité d'écart type, au seuil de 10% ($i = 1.76$), σ^2_p est la variance phénotypique de la population F₂ concernée (Allard, 1964 ; Falconer, 1982). Cette sélection peut être envisagée sur la base des caractères liés qui sont la biomasse aérienne, le poids des épis, le nombre d'épis et éventuellement sur la base de la hauteur des plantes. La réponse est déduite uniquement pour de la biomasse

et le poids des épis. La réponse observée ou réalisée en F₃, (R_{obs}) de la fraction sélectionnée est déduite par :

$$R_{obs} = \mu' - \mu_{F_3}$$

ou μ' = moyenne observée en F₃ de la fraction sélectionnée en F₂, μ_{F_3} = moyenne de la population F₃, (Allard, 1964 ; Falconer, 1982). L'effet de la sélection directe sur les caractères non concernés par la sélection, dite sélection corrélative, est discuté.

La sélection multi caractères est prise en compte sur la base de l'utilisation d'un indice de sélections, l'indice de Wehner (1982), Simple Weighted Index (SWI), qui est déduit comme suit :

$$SWI = \sum a_i X_i,$$

où a_i = fraction de 1 indiquant l'importance du caractère i dans l'équation de l'index et X_i = la moyenne standardisée du caractère i.

La différentielle de la sélection de l'indice a été calculée par la différence entre la moyenne des 10% des individus supérieurs moins la moyenne de la population pour le caractère considéré. Cette valeur est ensuite convertie en % de la moyenne de la population pour les caractères entrant l'indice. Les analyses statistiques ont été faites avec les logiciels CropStat 7.2.3 (2009), Openstat (2009) et Excel (2003).

CHAPITRE III - RESULTATS ET DISCUSSION

III.1. CONDITION CLIMATIQUES POUR L'ANNEE D'EXPERIMENTATION (2008-2009)

Les cumuls des précipitations enregistrées entre les mois de septembre 2008 à juin 2009, étaient de 377.3mm (Figure III.1). La répartition pluviométrique au cours de cette campagne présente une grande variabilité mensuelle. On remarque que la période la plus pluvieuse s'étale à partir du mois de Janvier jusqu'à le mois d'avril (284.9mm). Les pluies atteignent leur maximum pendant le mois d'avril avec 77.50 mm et leur minimum au cours du mois de mai avec 3.40 mm.

L'évolution de la température moyenne mensuelle, très basse en hiver pour devenir moyennement élevée en été. Durant La campagne 2008-2009, on observe une diminution des températures minimales pour les mois de décembre à février de 1.98 et 1.11 °C respectivement. Suivi d'une élévation des températures maximales de 8.82 et 9.39 °C.

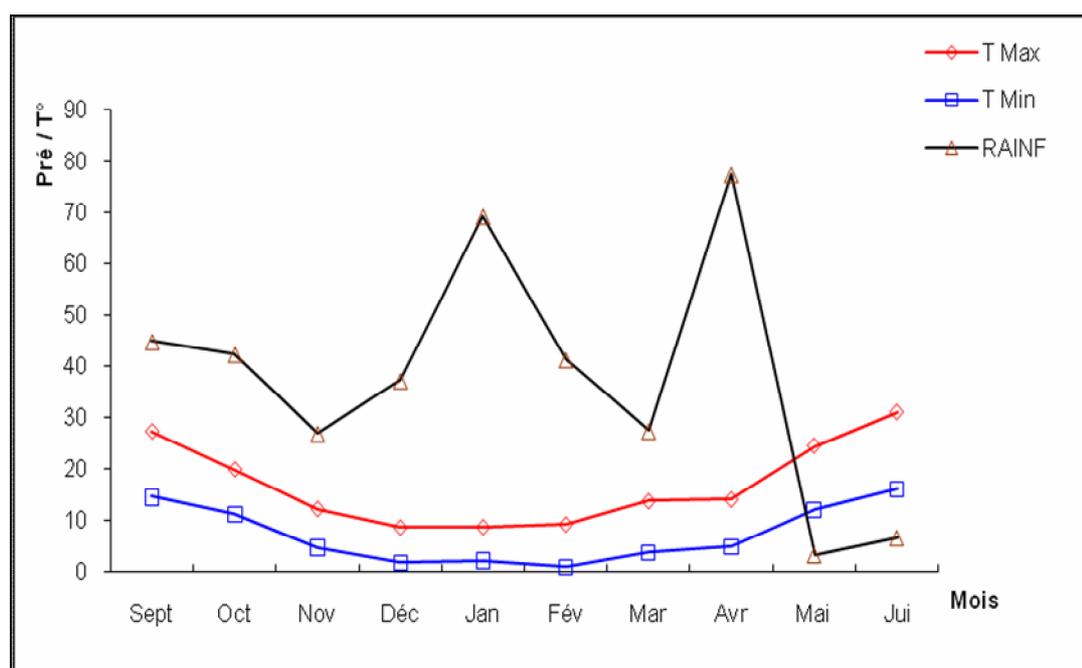


Figure III. 1. Températures et précipitations mensuelles des périodes 2008/2009

III.2. ETUDE DES POPULATIONS F3

III.2.1. VARIABILITES DES CARACTERES MESURES

III.2.1.1. LA DUREE DE LA PHASE VEGETATIVE (DVP)

La moyenne de la durée de la phase végétative, comptée en jours calendaires du 1^{ier} janvier jusqu'à la date de réalisation de l'épiaison, prend les valeurs de 130.9, 130.4 et 129.5 jours respectivement pour Ofanto/MBB, Ofanto/Waha et Ofanto/Mrb₅ (Tableau III.1). L'amplitude entre les valeurs extrêmes mesurées par population est plus importante chez Ofanto/MBB et moindre chez Ofanto/Waha, prenant des valeurs de 7 et 4.9 jours. Le degré de précocité est similaire chez les trois croisements vu que la valeur moyenne minimale est de 128 jours, par contre les individus, les plus tardifs, sont présents dans la population Ofanto/MBB, avec des valeurs de 135 jours (Tableau III.1, Figure III.2).

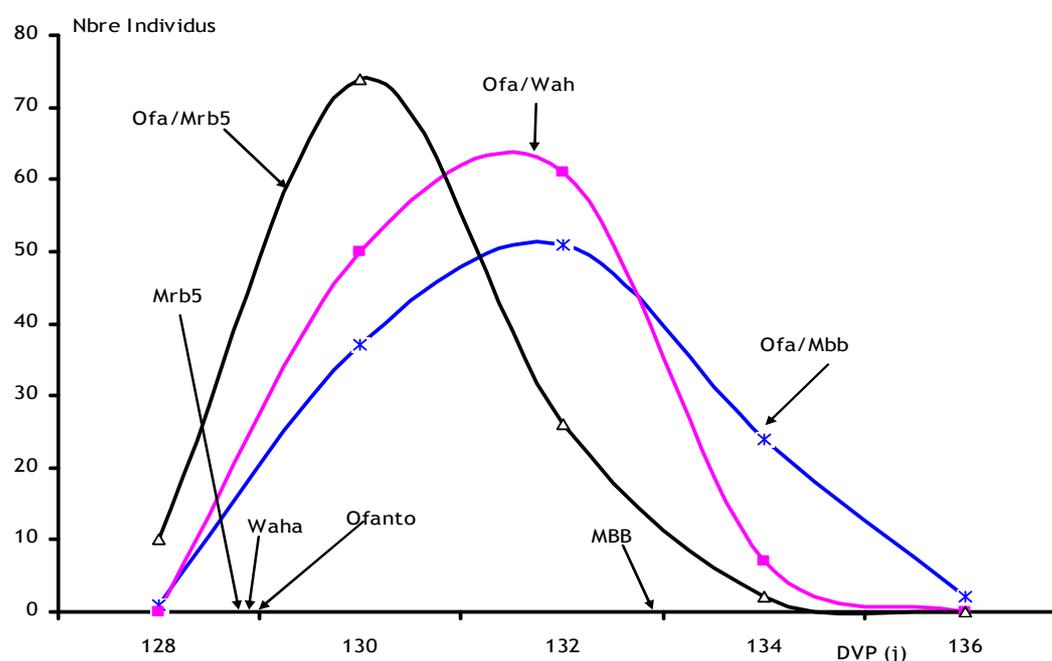


Figure III.2. Distribution fréquentielle de la durée de la phase végétative des trois populations F₃ et valeurs moyennes des lignées parentales.

Tableau III.1. Valeurs moyennes de la durée de la phase végétative et de la hauteur du chaume des populations F3, des lignées parentales, amplitude, variances et degré d'héritabilité.

	Ofa/MBB		Ofa/Waha		Ofa/Mrb ₅	
	DPV(j)	HT(cm)	DPV(j)	HT(cm)	DPV(j)	HT(cm)
Max	135	129	133	97	133	133
Min	128	58.5	128.1	56	128	59
Amplitude	7	70.5	4.9	41	5	74
μ	130.9	99.3	130.4	78	129.5	93.3
X_{OFanto}	129	76.8	129	76.8	129	76.8
X_{P2}	132.8	118	128.9	80.6	128.1	95.9
$D=_{OFA-P2}$	-3.8	-41.2	0.1	-3.8	0.9	-19.1
$Ppds_{5\%}$	0.4	2.6	0.4	2.6	0.4	2.6
σ^2_p	2.6	340.6	1.2	57.3	1.1	304.3
ET_p	1.6	18.5	1.1	7.6	1.1	17.4
σ^2_{Ofanto}	0.1	19.5	0.1	19.5	0.1	19.5
σ^2_{P2}	0.2	4.1	0.1	18.9	0.7	4.1
σ^2_e	0.2	11.8	0.1	19.2	0.4	11.8
σ^2_G	2.5	328.8	1.1	38.1	0.7	292.5
ET_G	1.6	18.1	1.1	6.2	0.8	17.1
CV_p	1.2	18.6	0.9	9.7	0.8	18.7
CV_G	1.2	18.3	0.8	7.9	0.7	18.3
h^2_{bs}	93.7	96.5	89.9	66.5	64.7	96.1

Ces résultats indiquent l'effet de la tardiveté de la variété MBB. En effet les lignées parentales utilisées présentent des durées de la phase végétative de 129 jours pour Ofanto, 132.8 jours pour MBB, 128.9 jours pour Waha et 128.1 jours pour Mrb₅ (Tableau III.1). L'héritabilité de la durée de la phase végétative est élevée chez Ofanto/MBB et Ofanto/Waha, et faible chez Ofanto/Mrb₅, prenant des valeurs de 93.7%, 89.9% et 64.7% chez les trois populations citées dans l'ordre ci-dessus. Ces résultats corroborent ceux De Mekhlouf et *al.*, (2007) qui mentionnent que Le cultivar MBB est plus contraint par ses besoins en vernalisation et/ou photopériodiques, ce qui lui confère une épiaison plus tardive que Waha. La précocité à l'épiaison permet à une variété d'accomplir son cycle de développement plus ou moins rapidement (Simon et *al.*, 1989). Par ailleurs, une moindre

sensibilité à la photopériode permet à la variété d'épier plus tôt, et donc d'être moins exposée aux stress abiotiques de fin de cycle (Ceccarelli et al, 1992). À l'opposé, les variétés ayant des besoins en vernalisation ou en longueur de jour élevés ont une croissance végétative importante qui ne s'exprime totalement que plus tardivement lorsque leurs besoins en froid et photopériodique sont satisfaits (Oosterom et al, 1993). Ces variétés sont, en général, assez tardives, ce qui leur permet d'esquiver les périodes de gel tardif ; en revanche, elles subissent les effets de la sécheresse et des hautes températures de fin de cycle (Oosterom et al, 1993). Ceccarelli (1987) note que les variétés les plus adaptées sont celles qui arrivent à maturité après une courte durée de remplissage du grain. Donc le choix du cycle de végétation est donc très important pour que la plante puisse faire une bonne utilisation des disponibilités du milieu tout en s'harmonisant aux conditions climatiques de l'environnement de production. (Bouzerzour et al, 2002b). Suite à la variabilité climatique du milieu ciblé, la sélection pour une plus grande précocité à l'épiaison est désirable, cependant les trois populations offrent peu de différence de ce point de vue, vu que les valeurs minimales de la durée la phase végétative sont équivalentes (Tableau III.1). D'autres caractères liés à la durée de la phase végétative doivent être prises en compte dans le processus de sélection pour pouvoir privilégier une population par rapport à l'autre.

III.2.1.2. LA HAUTEUR DU CHAUME (HT)

La moyenne de la hauteur du chaume est de 78.0 cm chez Ofanto/Waha, 93.3 cm chez Ofanto/Mrb5 et 99.3 cm chez Ofanto/MBB. L'amplitude est assez importante au regard la plus petite différence significative. Elle varie de 41 à 74 cm et la différence entre les parents croisés (D) varie, quant à elle, de 3.8 à 41.2 cm. D est plus importante entre Ofanto et MBB (Tableau III.1). Les moyennes des parents sont de 76.8 cm pour Ofanto, la variété la plus courte, 80.6 cm pour Waha, 95.9 cm pour Mrb₅ et 118cm pour MBB, le génotype le plus haut de chaume. Les valeurs des coefficients de variation phénotypique

et génotypique indiquent que les croisements Ofanto/MBB et Ofanto/Mrb₅ sont les plus variables comparativement à Ofanto/Waha (Tableau III.1, Figure III.3).

Pour une hauteur potentielle désirable dans les limites des 100 cm, la population la plus intéressante est le croisement Ofanto/Waha. Pour des hauteurs plus importantes la sélection à l'intérieur des deux autres croisements est préférable, d'autant plus que le coefficient de détermination génétique au sens large de ces deux croisements est très élevé, prenant des valeurs de 96.1% (Tableau III.1).

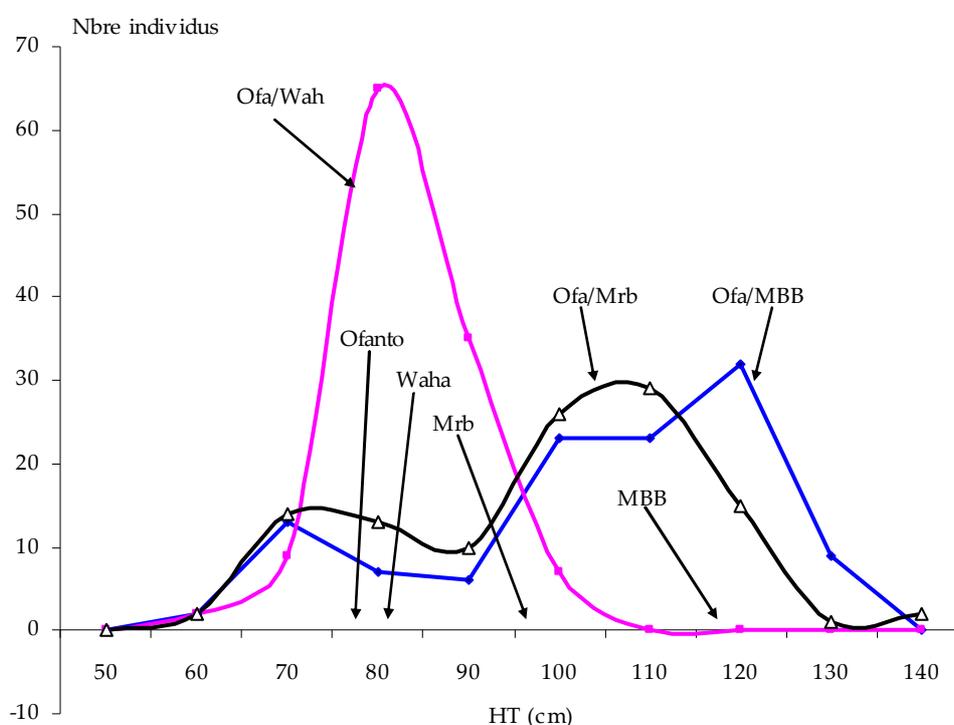


Figure III.3. Distribution fréquentielle de la hauteur du chaume des populations F₃ et valeurs moyennes des parents

Une hauteur de paille importante est une caractéristique désirable en zone semi-aride, suite à ses effets bénéfiques lors des années sèches (Bahlouli et *al.*, 2005, Annichiarico et *al.*, 2005). Il reste cependant vrai que la sélection sur la hauteur doit être appréciée en fonction de ce qu'elle apporte en matière de tolérance aux stress hydrique et thermique et en terme de rendement économique et grain.

III.2.1.3. LA BIOMASSE AERIENNE ET LE POIDS DES EPIS m²

III.2.1.3.1. LA BIOMASSE AERIENNE

dans les environnements plus sec la capacité génotypique de développer une biomasse suffisante en début de cycle ou l'eau est disponible, est une caractéristique désirable pour augmenté le rendement (Ceccarelli et *al.*, 1992).

La sélection de la biomasse amène un gain appréciable dans le rendement. La matière sèche des lignées parentales accumulée, varie de 1941.1 g/m² pour Mrb₅ à 2637.5 g/m² pour MBB, les valeurs moyennes observées varient de 1966.1 chez Ofanto/MBB, 1894.3 chez Ofanto/Waha et 2122.3 enregistrée par le croisement Ofanto/Mrb₅ qui ressort comme le croisement accumulant le plus de biomasse aérienne (Tableau III.2).

Tableau III.2. Valeurs moyennes de la biomasse aérienne et du poids des épis m² des populations F₃, des lignées parentales, amplitude, variances et degré d'héritabilité.

Xment	Ofa/MBB		Ofa/Waha		Ofa/Mrb ₅	
	BIO	PE	BIO	PE	BIO	PE
Max	3890	2060	3780	2130	4300	1910
Min	1020	510	1015	520	1010	510
Amplitude	2870	1550	2765	1610	3290	1400
μ	1966.1	949.7	1894.3	1079.5	2122.3	1110.9
X _{OFAnto}	1759.1	986.3	1759.1	986.3	1759.1	986.3
X _{P2}	2637.5	840.9	2222	913.8	1941.1	846
D= _{OFA-P2}	-878.4	145.4	-462.9	72.5	-182	140.3
Ppds _{5%}	116.7	51.4	116.7	51.4	116.7	51.4
σ ² _p	296x10 ³	67 x10 ³	400 x10 ³	114 x10 ³	397 x10 ³	96 x10 ³
ET _p	544.8	260.1	633	338	630.6	310.6
σ ² _{Ofanto}	16872	5984	16872	5984	16872	5984
σ ² _{P2}	7220	2879	24132	2171.7	19600	2326
σ ² _e	12046	4431.5	20502	4077.8	18236	4155
σ ² _G	284 x10 ³	63 x10 ³	380 x10 ³	110 x10 ³	379 x10 ³	92 x10 ³
ET _G	533.6	251.5	616.6	332	616	303.9
CV _p	27.7	27.4	33.4	31.3	29.7	28
CV _G	27.1	26.5	32.6	30.8	29	27.4
h ² _{bs}	95.9	93.5	94.9	96.4	95.4	95.7

L'amplitude est plus importante chez Ofanto/Mrb₅ et moindre chez Ofanto/Waha. Prenant des valeurs de 3290 et 2765 g m² respectivement. Les valeurs des coefficients de variation phénotypique et génotypique indiquent que les croisements Ofanto/Waha et Ofanto/Mrb₅ sont les plus variables. L'héritabilité est importante chez les trois croisements, prenant des valeurs supérieures à 95% (Tableau III.2).

III.2.1.3.2. LE POIDS DES EPIS/m²

La moyenne du poids des épis m² varie entre 949.7 et 1110.9 g. Le croisement Ofanto/ Mrb₅ enregistre le poids le plus élevé, et le plus faible poids des épis est observé chez le croisement Ofanto/MBB. Waha exprime le poids des épis le plus important avec une valeur moyenne de 913.8 g. Il y a peu de différences entre les autres lignées parentales dont le poids varie de 840.9 pour MBB à 846.0 g pour Mrb₅. Les coefficients de variation génotypique et phénotypique sont plus élevés chez Ofanto/Waha, mais le degré de l'héritabilité est élevé pour les trois croisements, prenant des valeurs au dessus de 90% (Tableau III.2).

III.2.1.4. LES COMPOSANTES DU RENDEMENT: NE, NGE, NGM², PMG

III.2.4.1.1. LE NOMBRE D'EPIS m²

En zone semi-aride, le nombre d'épis/m² constitue la principale composante du rendement en grains chez le blé (Bouchoutrouch, 1986 ; El Hafid, 1996). Les nombres d'épis et de grains par épi contribuent conjointement pour donner le nombre de grains m². La réalisation par un génotype donné d'un nombre élevé d'épis concomitant un nombre élevé de grains/épi abouti à un nombre de grains par m² élevé. Les valeurs moyennes du nombre d'épis m² obtenues oscillent entre un minimum de 462.4 épis/ m² mesuré chez Ofanto/MBB et un maximum de 540 épis/m² réalisé par le croisement Ofanto/Mrb₅. Cette différence est significative vu que la valeur de la plus petite différence significative (Ppds) est de 32.0 épis/m². En ce qui concerne les lignées parentales, la plus forte valeur est enregistrée par la variété Mrb₅ avec 724.1 épis m², alors que MBB présente la plus faible valeur de 587.1 épis m² (Tableau III.3). Les coefficients de variation

phénotypique et génotypique indiquent que le croisement Ofanto/Waha est le plus variable comparativement aux deux autres croisements. Moragues *et al.*, (2006) notent que les génotypes évoluant dans les régions froides et humides produisent plus de talles par rapport aux génotypes des régions plus sèches. Seules les talles qui passent du stade végétatif au stade de reproduction donnent des épis. Leur nombre est dépendant des conditions de nutrition, notamment azotée, au cours de la période de montaison. Les travaux sur le tallage épi et sa contribution à l'élaboration du rendement grain chez les génotypes de blé dur en conditions méditerranéennes ne sont pas nombreux. La compréhension de cette contribution peut aider à la sélection des génotypes adaptés et hautement productifs (Elhani et al., 2007).

Tableau III.3. Valeurs moyennes du nombre d'épis m², du nombre de grains par épi, du nombre de grains m² et du poids de 1000 grains des populations F₃, des lignées parentales, amplitude, variances et degré d'héritabilité.

Xment	Ofa/MBB				Ofa/Waha				Ofa/Mrb5			
	NE	NGE	NGM ²	PMG	NE	NGE	NGM ²	PMG	NE	NGE	NGM ²	PMG
Max	1050	71.8	41.9	61.4	1095	81.6	38.6	45.9	940	61	30.5	55.6
Min	266	21.5	7.0	22.3	245	18.9	9.4	26.7	255	19.2	10.7	28
Amplitude	784	50.3	34.9	39.1	850	62.7	29.2	19.2	685	41.7	19.8	27.6
μ	462.4	33	15.1	40.6	507.6	38.1	18.8	36.2	540	35.2	18.5	39.2
X _{OFAnto}	469.8	37	17.3	37.9	469.8	37	17.3	37.9	469.8	37	17.3	37.9
X _{P2}	587.1	26.7	15.7	39.2	710.1	30.6	21.6	31.6	724.1	22.7	16.4	36.5
D= _{OFA- P2}	-117.4	10.3	1.6	-1.3	-240.3	6.5	-4.3	6.3	-254.4	14.3	0.9	1.3
Ppds _{5%}	32.8	2.3	1.1	0.9	32.8	2.3	1.1	0.9	32.8	2.3	1.1	0.9
σ ² _p	17x10 ³	38.3	24.2	27.3	30x10 ³	58.6	36.9	14.3	22x10 ³	47.1	23.9	21.4
ET _p	133.8	6.2	4.9	5.2	173.7	7.7	6.1	3.8	151.6	6.9	4.9	4.6
σ ² _{Ofanto}	1544	10.7	2.9	0.9	1544	10.7	2.9	0.9	1544	10.7	2.9	0.9
σ ² _{P2}	1949	5.0	2.6	3.4	1907.3	11.4	3.4	2.3	1636.4	3.7	1.9	1.1
σ ² _e	1746.5	7.9	2.8	2.1	1725.6	11.1	3.2	1.6	1590.2	7.2	2.4	1
σ ² _G	16x10 ³	30.5	21.5	25.2	28x10 ³	47.5	33.7	12.7	21x10 ³	39.8	21.5	20.4
ET _G	127.1	5.5	4.6	5	168.7	6.9	5.8	3.6	146.3	6.3	4.6	4.5
CV _p	28.9	18.8	32.5	12.9	34.2	20.1	32.3	10.4	28.1	19.5	26.3	11.8
CV _G	27.5	16.7	30.6	12.4	33.2	18.1	30.9	9.8	27.1	17.9	25	11.5
h ² _{bs}	90.2	79.5	88.6	92.2	94.3	81.1	91.5	88.8	93.1	84.7	89.9	95.4

III.2.1.4.2. LE NOMBRE DE GRAINS PAR EPI

Ledent (1978) note que la fertilité est la composante du rendement la plus importante. Grignac (1973) a trouvé qu'elle est la composante la plus étroitement liée au rendement. Le croisement Ofanto/Waha a enregistré le nombre de grains par épi le plus élevé (38.1), et le plus petit nombre a été réalisé par Ofanto/MBB avec une moyenne de 33 grains par épi. La différence des grains par épi est significative vu que la $P_{pds_{5\%}}$ prend la valeur de 2.3 grains par épi (Tableau III.3). Waha présente la fertilité la plus élevée avec une valeur moyenne de 30.6 grains par épi, alors que la variété Mrb₅, avec une moyenne de 22.7 grains par épi, est la moins fertile (Tableau III.3). Les coefficients de variation phénotypiques et génotypiques indiquent une variabilité moyenne pour cette variable, ce qui conduit à une héritabilité au sens large au dessus de 80% (Tableau III.3).

III.2.1.4.3. LE NOMBRE DE GRAINS/ m²

Le rendement grain résulte du produit de deux composantes majeures : le nombre de grains/m² et le poids moyen du grain. Le nombre de grains/m² est un caractère étroitement lié au rendement grain, sous différents lieux et pour différents génotypes (Bahlouli *et al.*, 2005). Les valeurs maximales du nombre de grain m² sont notées chez Ofanto/Waha et Ofanto/Mrb₅ avec respectivement 18800 et 18500 grains/m². La plus faible moyenne est notée chez le croisement Ofanto/MBB avec une valeur de 15100 grains m². Waha arrive à produire le nombre de grains le plus élevé avec une moyenne de 21600, alors qu'il n'y a pas de différence entre MBB et Mrb₅ dont les valeurs moyennes sont de 15700 et 16400 grains m² (Tableau III.3).

III.2.1.4.4. LE POIDS DE 1000 GRAINS

L'importance de ce paramètre sur le rendement de la culture, fait qu'il est utilisé directement dans l'estimation du rendement (Harrad, 2005). Selon Benbelkacem et Kellou (2001), le poids de mille grains est élevé chez les populations locales de blé dur par rapport à celui des génotypes introduits. Cette composante du rendement influe peu sur le rendement grains suite à l'effet de compensation avec le nombre de grain/m²

(Bahlouli *et al.*, 2005 ; Haddad, 2009). De plus sous les conditions de production des hautes plaines de l'est, cette composante subit le plus souvent l'effet du stress de fin de cycle, et de ce fait elle atteint rarement le potentiel génétique (Haddad, 2009).

Dans le cadre de la présente étude, le poids de mille grains varie de 36.2 g, valeur observée chez le croisement Ofanto/Waha à 40.6 g valeur moyenne mesurée chez Ofanto/MBB. La variété population locale, MBB, représente la moyenne du poids de 1000 grains la plus élevée, d'une valeur de 39.2 g, alors que le génotype Waha présente une valeur moyenne de 31.6 g pour 1000 grains (Tableau III.3).

III.2.1.5. LES RENDEMENTS GRAIN, ECONOMIQUE ET L'INDICE DE RECOLTE

III.2.1.5.1. LE RENDEMENT GRAIN

Ce caractère est un indicateur de la productivité propre à chaque variété, il est l'objectif final du processus de sélection. C'est un caractère complexe sous contrôle polygénique (McNeil *et al.*, 1978). Il est fortement variable sous l'influence des facteurs du milieu, d'où son inefficacité comme critère de sélection (Moragues *et al.*, 2006 ; Belhacene *et al.*, 2006). Il est déterminé directement par le produit du nombre de grains/m² et le poids de 1000 grains (Chennafi *et al.*, 2006). Mekhlouf et Bouzerzour (2000) indiquent qu'il est la résultante des caractères impliqués directement et indirectement dans sa formation, tels que le poids du grain, le nombre d'épis par unité de surface et la biomasse. Acevedo et Ceccarelli (1978) décrivent les difficultés rencontrées par le sélectionneur pour identifier et caractériser le génotype à travers le phénotype. Cependant, plusieurs études ont montré que l'amélioration d'un caractère complexe, tel que le rendement grain, qui est peu héritable, peut être approchée indirectement par l'intermédiaire des caractères qui lui sont fortement liés et moins influencés par l'environnement (Sharma et Smith, 1986 ; Monneveux, 1991 ; Ceccarelli *et al.*, 1992).

La moyenne des rendements des lignées évaluées dans le cadre de la présente étude varie de 602.8 g, valeur mesurée chez le croisement Ofanto/MBB à 723.4 g, valeur notée chez Ofanto/Mrb₅ (Tableau III.4). Avec 681.5g de la variété Waha qui présente le rendement le plus élevé. Mrb₅ enregistre le rendement grain le plus faible parmi les

lignées parentales utilisées en croisement (Tableau III.4). L'amplitude est assez importante chez les trois croisements, représentant 25 fois la Ppds_{5%}, conduisant à des coefficients de variation phénotypiques et génotypiques et à un degré d'héritabilité assez élevés (Tableau III.4, Figure III. 4).

Tableau III.4. Valeurs moyennes du rendement grain, de l'indice de récolte et du rendement économique des populations F₃, des lignées parentales, amplitude, variances et degré d'héritabilité.

Xment	Ofa/MBB			Ofa/Waha			Ofa/Mrb ₅		
	RDT	HI	RDT _{ec}	RDT	HI	RDT _{ec}	RDT	HI	RDT _{ec}
Max	1300.9	44.5	2077.6	1256.9	67.6	1924.1	1255.7	47.9	2169
Min	304.9	19	557.8	359.8	18	572.3	406	21.1	623.5
Amplitude	996	25.5	1519.8	897.1	49.6	1351.9	849.7	26.8	1545.5
μ	602.8	31.2	1011.8	672.2	36.6	1038.9	723.4	34.9	1143.1
X _{OFAnto}	652.3	37.2	984.4	652.3	37.2	984.4	652.3	37.2	984.4
X _{P2}	611.6	23.2	1219.4	681.5	30.8	1143.6	598	31	1000.9
D= _{OFA-P2}	40.7	13.9	-235	-29.1	6.4	-159.3	54.3	6.1	-16.6
Ppds _{5%}	35.5	2.2	45.1	35.5	2.2	45.1	35.5	2.2	45.1
σ ² _p	27x10 ³	23.1	72 x10 ³	39 x10 ³	50.7	97 x10 ³	37 x10 ³	30.7	97 x10 ³
ET _p	164.8	4.8	268.9	199.6	7.1	312.7	194.1	5.5	312.4
σ ² _{Ofanto}	3 x10 ³	11	4 x10 ³	3 x10 ³	11	4 x10 ³	3 x10 ³	11	4 x10 ³
σ ² _{P2}	2 x10 ³	5.2	2 x10 ³	4 x10 ³	12.8	5 x10 ³	2 x10 ³	10.1	2 x10 ³
σ ² _e	2 x10 ³	8.1	3 x10 ³	3 x10 ³	11.9	5 x10 ³	3 x10 ³	10.6	3 x10 ³
σ ² _G	24 x10 ³	15.1	68 x10 ³	36 x10 ³	38.8	92 x10 ³	34 x10 ³	20.1	93 x10 ³
ET _G	155.5	3.9	262.6	190.1	6.2	304.3	185.7	4.5	306.4
CV _p	27.3	15.4	26.6	29.7	19.4	30.1	26.8	15.9	27.3
CV _G	25.8	12.5	26	28.3	17	29.3	25.7	12.9	26.8
h ² _{bs}	89.1	65.1	95.4	90.7	76.6	94.7	91.6	65.6	96.2

III.2.1.5.2. L'INDICE DE RECOLTE

L'indice de récolte mesure l'efficacité de reconversion de la matière sèche totale produit sous forme de grain, qui est la partie économique ciblée en sélection. Il donne une idée sur la capacité de la plante à orienter ses assimilés vers la production du grain (Evans et Fischer, 1999). Berger et Planchon (1990) estiment que la sélection de l'indice de récolte se traduit par de changements de l'architecture de la plante qui rendent cette

dernière très sensible à la variation environnementale en milieu erratique suite à la réduction de la hauteur de paille au profit du nombre de grains par m². Siddique et al (1989) montrent que l'indice de récolte est un bon indicateur de la tolérance à la sécheresse et aux hautes températures de fin de cycle. Le meilleur indice de récolte enregistré dans notre étude est celui du croisement Ofanto/Waha, il prend une valeur moyenne de 36.6%. Les valeurs notées pour les deux autres croisements sont de 34.9% pour Ofanto/Mrb₅ et 31.2% chez Ofanto/MBB (Tableau III.4). Parmi les lignées parentales, Mrb₅ enregistre l'indice de récolte le plus élevé avec une valeur moyenne de 31.0%, alors que le cultivar MBB se distingue par l'indice de récolte le plus faible d'une valeur de 23.2%. Bouzerzour (1998) mentionne, que dans les milieux variables, il faut assurer une production de biomasse aérienne suffisante pour garantir un rendement acceptable, suite à un indice de récolte élevé. La variabilité de ce caractère est moyenne à faible, conduisant à un degré de l'héritabilité juste moyen, approchant la valeur de 70% (Tableau III.4).

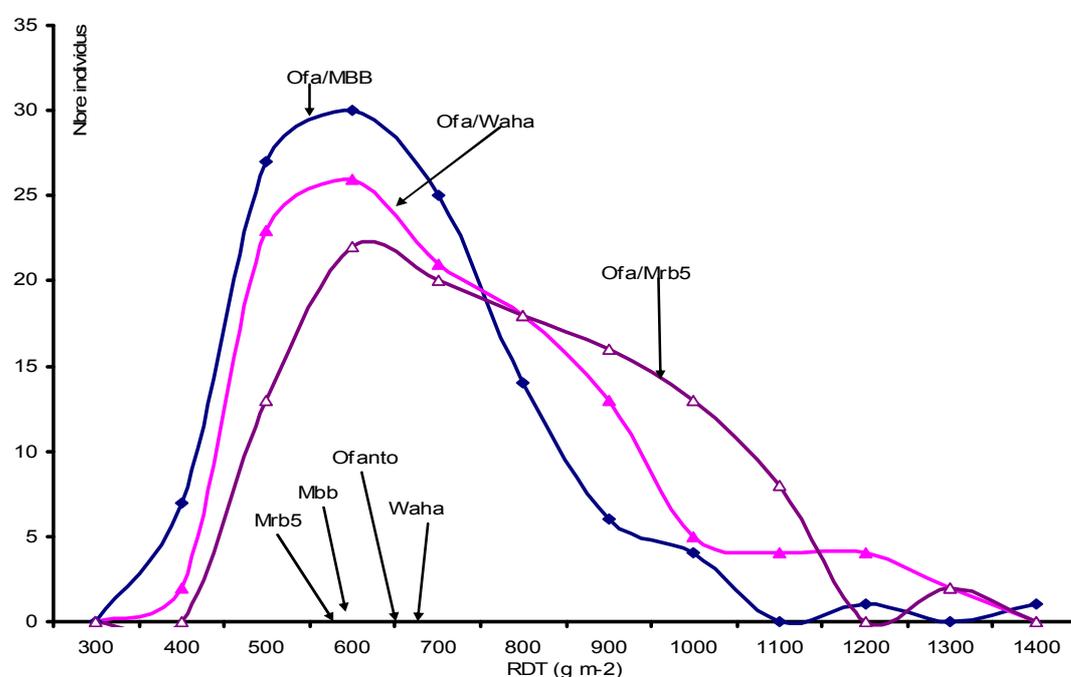


Figure III.4. Distribution fréquentielle du rendement des populations F₃ et valeurs moyennes des parents

III.2.1.5.3. LE RENDEMENT ECONOMIQUE

Les résultats des trois croisements montrent que le rendement économique est élevé chez les trois croisements, variant de 500 à plus de 2000 g/m². Le cultivar MBB présente le rendement économique le plus élevé avec une moyenne de 1219.4 g/m². Mrb5 enregistre le rendement économique le plus faible avec une moyenne 1000.9 g/m². Cette variabilité très élevée conduit à un degré d'héritabilité élevée dépassant la valeur de 95% (Tableau III.4).

Selon Annichiarico *et al.*, (2006), le rendement économique est un critère de sélection important dans les zones semi-arides où la paille joue un rôle important dans l'alimentation des élevages. En effet dans ces zones, la céréaliculture est intimement liée à la production animale et notamment l'élevage ovin qui est nourri à base de résidus et de paille des céréales. De plus, il a été constaté que la conduite classique de la céréaliculture, dans le système jachère – blé, détruit progressivement la fertilité des sols qui deviennent plus sensibles à l'érosion éolienne et hydrique. De ce fait, un changement est entrain de prendre forme avec le semis direct de la céréale suivie d'une jachère chimique couverte des résidus de paille (Wilhelm *et al.*, 1989 ; Ryan *et al.*, 2008). Cette tendance si elle devient économiquement viable, sur les hautes plaines orientales, la demande en paille sera plus importante, d'où la sélection de variété à paille relativement haute (Donaldson *et al.*, 2001).

III.2.2. ETUDE DES LIAISONS INTER CARACTERES

III.2.2.1. LIAISONS INTRA CROISEMENT

Malgré des valeurs d'amplitudes variant entre 4.9 et 7 jours (Tableau III.1), la durée de la phase végétative (DPV) ne présente pas de liaisons significatives avec les autres variables mesurées chez les trois populations F3 (Tableau III.5). Ceci indique l'indépendance génétique de cette variable relativement aux autres caractères mesurés. La biomasse aérienne, par contre, montre des liaisons élevées avec le nombre d'épis, le

poids des épis, le rendement grain, le nombre de grains/m², l'indice de récolte et le rendement économique, chez les trois croisements (Tableau III.5, Figure III. 5).

Tableau III.5. Matrice des corrélations phénotypiques entre les caractères mesurés par croisement.

	DPV	BIO	NE	WNE	RDT	HT	PMG	NGE	NGM ²	HI	RDT _{ec}
DPV	L1	-0.019	-0.057	-0.033	-0.106	-0.016	-0.143	0.017	-0.057	-0.143	-0.059
	L2	0.152	0.134	0.088	0.063	0.103	0.009	-0.155	0.057	-0.176	0.120
BIO	L1	0.873	0.927	0.795	0.502	-0.254	-0.156	0.829	-0.484	0.963	
	L2	0.784	0.887	0.843	0.550	0.287	-0.158	0.741	-0.474	0.972	
NE	L1	0.840	0.701	0.433	-0.394	-0.389	0.801	-0.403	0.843		
	L2	0.770	0.687	0.220	-0.080	-0.436	0.742	-0.329	0.773		
WNE	L1	0.867	0.438	-0.202	-0.049	0.868	-0.266	0.950			
	L2	0.908	0.329	0.187	0.006	0.847	-0.177	0.932			
RDT	L1	0.415	-0.029	0.281	0.926	0.115	0.930				
	L2	0.399	0.246	0.198	0.910	0.050	0.945				
HT	L1	-0.042	-0.101	0.387	-0.224	0.490					
	L2	0.546	-0.105	0.168	-0.394	0.507					
PMG	L1	0.129	-0.383	0.398	-0.167						
	L2	-0.110	-0.167	-0.158	0.281						
NGE	L1	0.201	0.648	0.031							
	L2	0.236	0.622	-0.009							
NGM ²	L1	-0.043	0.917								
	L2	0.101	0.844								
HI	L1	-0.243									
	L2	-0.266									
RDT _{ec}	-0.095	0.975	0.823	0.936	0.950	0.088	0.002	0.075	0.816	-0.173	

Au dessus de la diagonale L1 = Ofanto/MBB, L2 = Ofanto/Waha et au dessous de la diagonale Ofanto/Mrb₃; r=0.195 à 5% et 0.254 à 1%, n-2 = 100)

Ces résultats suggèrent que chez les trois croisements une biomasse aérienne élevée à maturité est indicatrice de valeurs élevées pour le nombre d'épis, le nombre de grains/m², le poids des épis, les rendements grain et économique et un faible indice de récolte. Du point de vu sélection, le choix des individus sur la base de la biomasse est similaire aux choix faits sur la base des caractères liés à la biomasse aérienne.

Des divergences apparaissent, cependant, entre croisements, en ce qui concerne les liaisons de la biomasse avec la hauteur et le poids de 1000 grains. En effet on note l'absence de liaisons entre la biomasse et le poids de 1000 grains et entre la biomasse et

la hauteur du chaume chez Ofanto/Mrb₅. Par contre les populations Ofanto/MBB et Ofanto/Waha présentent des liaisons significatives entre la biomasse et la hauteur du chaume et entre la biomasse et le poids de 1000 grains, avec cependant des divergences de signe : de signe négatif chez Ofanto/MBB, et de signe positif chez Ofanto/Waha (Tableau III.5).

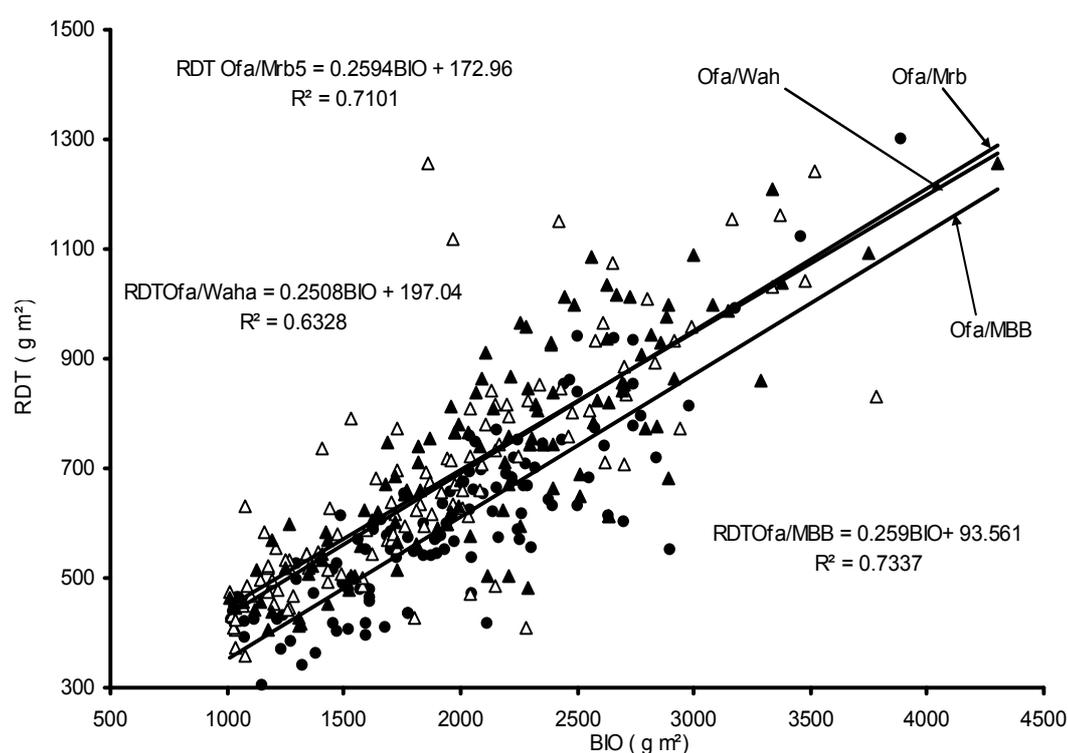


Figure III.5. Relation entre le rendement grain et la biomasse aérienne des trois croisements

Ces résultats suggèrent que chez ces deux populations, la hauteur du chaume conditionne l'expression de la biomasse. Les lignées, hautes de chaume, produisent plus de biomasse aérienne. Par contre les lignées ayant un poids de 1000 grains élevé, présentent une biomasse élevée chez Ofanto/Waha et au contraire une faible biomasse chez Ofanto/MBB. L'effet du poids de 1000 grains sur la biomasse est, donc, variable selon le croisement. Il est absent chez Ofanto/Mrb₅, positif chez Ofanto/Waha et négatif chez Ofanto/MBB. L'utilisation du poids de 1000 grains comme critère de sélection est dans ce cas dépendante du type de croisement.

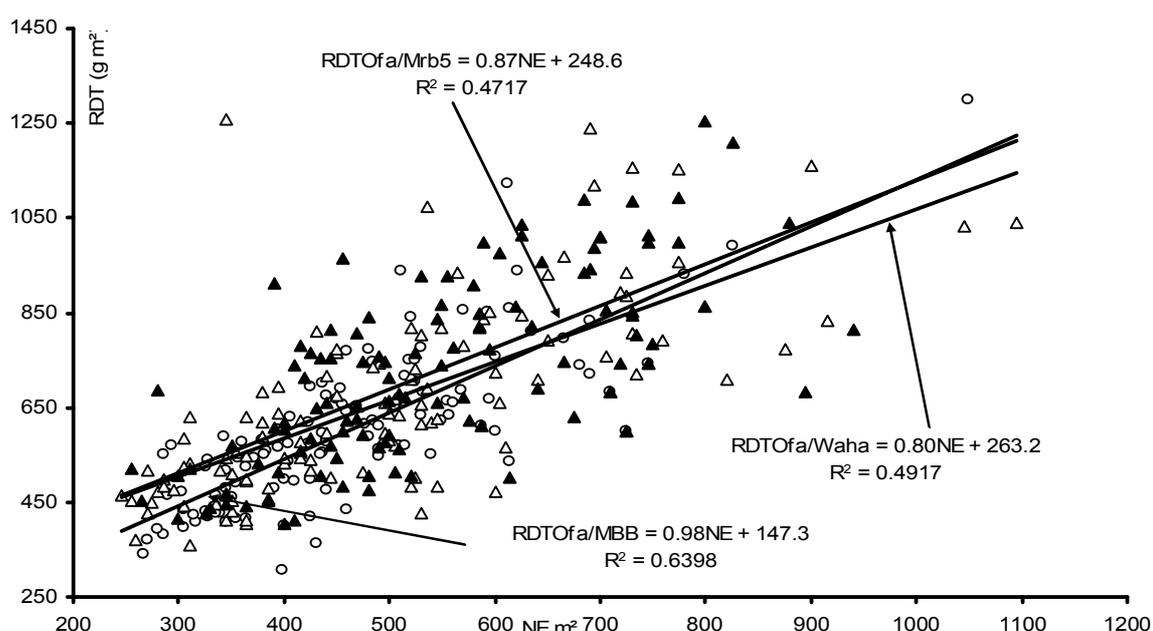
Il est important de noter que le nombre de grains par épi ne présente aucune relation significative avec la biomasse aérienne, ce qui suggère que les lignées ayant un nombre de grains par épi élevé peuvent avoir une biomasse élevée ou faible. L'analyse de ces corrélations indique que la biomasse aérienne est un caractère qui informe sur d'autres caractères importants dans la réalisation du rendement grain, dont entre autre le nombre et le poids des épis et le nombre de grains/m².

Comment utiliser l'information apportée par la liaison de la biomasse avec les variables d'intérêts ? Le sélectionneur est à la recherche de caractères qui s'expriment tôt au cours du cycle de développement de la plante et dans la liaison avec les variables d'intérêt est stable, et notamment la liaison avec le rendement grain. Ceci parce que la sélection sur la base du rendement grain s'est montrée le plus souvent inefficace (Moragues *et al.*, 2006).

Parmi les caractères qui montrent une liaison avec la biomasse, le nombre d'épis apparaît comme le plus aisément identifiable relativement tôt dans le cycle, ce qui permet de faire un criblage précoce, dès l'épiaison. En plus le nombre d'épis présente des liaisons positives avec le rendement grain (Tableau III.5, Figure III.6), avec le poids des épis, avec le rendement économique et avec le nombre de grains m², chez les trois populations. La liaison avec le nombre de grains par épi, le poids de 1000 grains et l'indice de récolte est dépendante du type de croisement (Tableau III.5).

En effet chez les croisements Ofanto/MBB et Ofanto/Waha, le nombre d'épis m² est lié positivement avec la hauteur et négativement avec le nombre de grains par épi et avec l'indice de récolte. On note l'absence de liaisons du nombre d'épis avec le nombre de grains par épi, avec la hauteur du chaume et avec l'indice de récolte chez Ofanto/Mrb₅. Le nombre d'épis présente une liaison négative avec le poids de 1000 grains des croisements Ofanto/MBB et Ofanto/Mrb₅ (Tableau III.5). Ces résultats suggèrent que la sélection des épis induit une amélioration des rendements grain et économique et du nombre de grains m² chez les trois populations avec des effets variables sur la hauteur du

chaume, l'indice de récolte et la fertilité de l'épi et le poids de 1000 grains. (Karrou et al ; 2001; Ouhajou, 1991) indiquent que La relation entre le nombre d'épis par m² et le rendement en grains varie en fonction des espèces et des variétés. (Reynolds et al., 1999; Sedgley, 1991; Wang et al., 2002) trouvent une corrélation positive entre ces deux variables. Le rendement grain présente des liaisons, en plus de celles avec la biomasse, avec le nombre et le poids des épis, avec la hauteur du chaume, le nombre de grains par épi, le nombre de grains m² et avec le rendement économique ce résultat corrobore celui de Makhoulf (1997) qu'en zone semi-aride d'altitude, le rendement en grain est fortement corrélé avec la biomasse aérienne, avec le nombre d'épis et le nombre de grains par épi. Il reste indépendant de l'indice de récolte. L'indice de récolte présente des liaisons négatives avec la biomasse aérienne, la hauteur du chaume et le rendement économique des trois croisements. Il est positivement lié avec le nombre de grains par épi des trois croisements mais sa liaison avec le poids de 1000 grains est variable selon le type de croisement (Tableau III. 5). Ces résultats suggèrent que le rendement grain est largement déterminé par le nombre de grains m², par contre le nombre de grains par épi contribue à l'augmentation de l'indice de récolte.



III.2.2.2. DETERMINANTS DU RENDEMENT GRAIN EN F3 : ANALYSE EN CHEMIN

III.2.2.2.1. MODELE DES COMPOSANTES DU RENDEMENT

Quelque soit le croisement les effets, aussi bien directs qu'indirects, de la durée de la phase végétative ne sont pas significatifs, ce qui confirme le peu de liaisons de cette variable avec le rendement grain des trois croisements (Tableaux III. 5 et III. 6). Le poids de 1000 grains montre un effet direct significatif, positif, chez les trois croisements. Cet effet direct est associé à un effet indirect significatif et négatif via le nombre de grains m² chez Ofanto/MBB et Ofanto/Mrb5. Ceci résulte en un coefficient de corrélation non significatif entre le rendement et le PMG chez ces deux croisements. L'effet indirect via le NGM² est non significatif chez Ofanto/Waha. Ce résultat suggère qu'il n'y pas d'effet de compensation entre ces deux variables, chez ce croisement. Ceci indique que ces deux variables augmentent simultanément chez Ofanto/Waha, alors que l'augmentation de l'un induit une réduction chez l'autre chez les deux autres croisements, réduisant la corrélation entre le PMG et le rendement grain.

Tableau III.6. Effets directs (soulignés) et indirects des composantes sur l'expression du rendement grain

	DVP	NE	PMG	NGE	NGM ²	r _{RDT}
Ofanto/MBB (n=115)						
DPV	<u>-0.012^{ns}</u>	-0.026	-0.065	0.006	-0.041	-0.137 ^{ns}
NE	0.001	<u>0.263^{**}</u>	-0.152	-0.018	0.706 ^{**}	0.800 ^{**}
PMG	0.002	-0.085	<u>0.472^{**}</u>	-0.052	-0.400 ^{**}	-0.063 ^{ns}
NGE	-0.001	-0.037	-0.185	<u>0.132[*]</u>	-0.331 ^{**}	0.241 ^{**}
NGM ²	0.001	0.221 [*]	-0.224 [*]	0.052	<u>0.841^{**}</u>	0.891 ^{**}
Ofanto/Waha (n=118)						
DPV	<u>0.009^{ns}</u>	0.008	0.004	-0.008	0.057	0.070 ^{ns}
NE	0.001	<u>0.060^{ns}</u>	-0.030	-0.023	0.751	0.760 ^{**}
PMG	0.000	0.017	<u>0.376^{**}</u>	-0.006	-0.169	0.219 [*]
NGE	-0.001	-0.026	-0.041	<u>0.052^{ns}</u>	0.239 [*]	0.222 [*]
NGM ²	0.001	0.045	-0.073	0.012	<u>1.012^{**}</u>	0.979 ^{**}
Ofanto/Mrb ₅ (n=112)						
DPV	<u>-0.006^{ns}</u>	-0.003	-0.056	0.002	-0.047	-0.111 ^{ns}
NE	0.001	<u>0.032^{ns}</u>	-0.132	-0.002	0.793 ^{**}	0.692 ^{**}
PMG	0.001	-0.010	<u>0.411^{**}</u>	-0.014	-0.449 ^{**}	-0.062
NGE	0.000	-0.004	-0.161	<u>0.036^{ns}</u>	0.372 ^{**}	0.242 ^{**}
NGM ²	0.000	0.027	-0.195 [*]	0.014	<u>0.946^{**}</u>	0.792 ^{**}

DPV= durée de la phase végétative, NE = nombre d'épis m², PMG = poids de 1000 grains, NGE = nombre de grains par épi, NGM²= nombre de grains m² ; r = coefficient de corrélation entre les variables et le rendement ; ns,*, ** = corrélation non significative et significative au seuil de 5 et 1% , respectivement ; ns, *, ** = effet direct non significatif et significatif au seuil de 5 et 1%.

Le nombre d'épis/m² montre un effet direct significatif seulement chez Ofanto/MBB. L'effet direct de cette variable chez les deux autres croisements n'est pas significatif. La corrélation significative entre cette variable et le rendement grain est faite surtout d'un effet indirect significatif, positif et élevé via le nombre de grains m², et ceci chez les trois croisements. Ce résultat suggère que l'effet le plus important des épis m² se fait indirectement via le nombre de grains m². L'augmentation du nombre d'épis qui n'est pas compensée par une réduction de la fertilité, induit donc une augmentation du nombre de grains m² qui explique la liaison entre le nombre d'épis et le rendement.

Le nombre de grains par épi, qui montre une corrélation positive et significative avec le rendement grain, chez les trois croisements, présente un effet direct positif et significatif uniquement chez Ofanto/MBB (Tableau III.6). Chez ce croisement l'augmentation du nombre de grains par épi affecte positivement le rendement. L'augmentation de cette même variable chez les autres croisements n'affecte pas le rendement, suite à la corrélation négative entre le nombre de grains par épi et le nombre d'épis m² (Tableau III.5). Cependant l'effet direct positif du nombre de grains par épi observé chez Ofanto/MBB est associé avec un effet indirect significatif et négatif, suggérant l'effet de compensation entre composantes. Cet effet indirect est positif et significatif chez les deux autres croisements (Tableau III.6), indiquant que la corrélation entre le rendement et le nombre de grains par épi est faite surtout d'un effet indirect via le nombre de grains m², chez ces deux croisements (Tableau III.6).

La forte corrélation entre le nombre de grains/m² et le rendement grain est faite surtout d'un effet direct hautement significatif et positif chez les trois croisements. Cet effet direct est associé à un effet indirect significatif et négatif via le poids de 1000 grains, suggérant l'effet de compensation chez Ofanto/MBB et Ofanto/Mrb5. Chez Ofanto/MBB, on note aussi un effet indirect significatif et positif via le nombre d'épis m² (Tableau III.6). Les résultats de ce modèle mettent en relief l'important effet du nombre de grains m² dans la détermination du rendement grain. Le nombre de grains m² est issu de la contribution, positive et négative, du nombre d'épis, du nombre de grains par épi et du

poids de 1000 grains. Du point de vue sélection, il s'avère difficile de décider sur quel caractère il faut mettre l'accent, suite aux effets de compensation négatifs entre ces variables. Ce qui est sûr c'est que la sélection sur la base d'un seul caractère à peu de chance d'assurer une augmentation du rendement grain, issue de l'augmentation de toutes les composantes. La sélection sur indice, intégrant ces composantes semble plus prometteuse.

III.2.2.2.2. MODELE DE LA BIOMASSE AERIENNE

Comme pour le modèle précédent, la durée de la phase végétative ne montre pas d'effets directs ni indirects significatifs sur l'élaboration du rendement grain des trois croisements. La corrélation, non significative, entre cette variable et le rendement grain, est faite d'effets directs et indirects non significatifs (Tableau III.7). La corrélation hautement significative existante entre le rendement et la biomasse aérienne, est faite d'un effet direct significatif associé à un effet indirect appréciable via le poids des épis m^2 , chez Ofanto /MBB.

Cette corrélation elle est due surtout à un effet indirect significatif et positif via le poids des épis m^2 , chez Ofanto/Waha et Ofanto/Mrb5 deux autres croisements (Tableau III.7). Ces résultats indiquent que l'effet de la biomasse en elle-même est moindre comparativement à la fraction de cette biomasse qui constitue le poids des épis. En d'autres termes, une biomasse élevée affecte plus le rendement si une grande part de cette biomasse est constituée d'un poids d'épis élevé.

A l'inverse de la corrélation qui lie la biomasse et le rendement grain, celle qui lie le poids des épis et le rendement, est faite surtout d'effet direct du poids des épis m^2 sur le rendement grain, chez les trois croisements. Cet effet direct est associé à un effet indirect positif de la biomasse aérienne chez Ofanto/MBB (Tableau III.7). La sélection sur la base du poids des épis m^2 aura un effet positif sur le rendement grain. La hauteur du chaume ne présente pas d'effet direct significatif sur le rendement.

Tableau III.7. Effets directs (souligné) et indirects des variables influant sur le rendement grain

	DPV	BIO	WNE	HT	r _{RDT}
		Ofanto/MBB (n =115)			
DPV	<u>-0.049^{ns}</u>	-0.014	-0.079	0.006	-0.137 ^{ns}
BIO	0.003	<u>0.245^{**}</u>	<u>0.612^{**}</u>	-0.003	<u>0.897^{**}</u>
WNE	0.006	0.221*	<u>0.679^{**}</u>	0.000	<u>0.895^{**}</u>
HT	0.001	0.123	<u>0.297[*]</u>	<u>-0.0064^{ns}</u>	<u>0.415^{**}</u>
		Ofanto/Waha (n= 118)			
DPV	<u>-0.075^{ns}</u>	-0.010	0.080	0.004	0.063 ^{ns}
BIO	-0.011	<u>-0.067^{ns}</u>	<u>0.803^{**}</u>	0.023	<u>0.843^{**}</u>
WNE	-0.007	-0.059	<u>0.905^{**}</u>	0.014	<u>0.908^{**}</u>
HT	-0.008	-0.037	<u>0.298^{**}</u>	<u>0.042^{ns}</u>	<u>0.329^{**}</u>
		Ofanto/Mrb ₅ (n= 112)			
DPV	<u>-0.029^{ns}</u>	-0.004	-0.096	-0.024	0.137 ^{ns}
BIO	<u>0.002</u>	<u>0.070^{ns}</u>	<u>0.737^{**}</u>	0.012	<u>0.857^{**}</u>
WNE	0.003	0.063	<u>0.818^{**}</u>	0.001	<u>0.901^{**}</u>
HT	0.007	0.009	0.009	<u>0.095^{ns}</u>	<u>0.0.26^{ns}</u>

DPV= durée de la phase végétative, BIO = biomasse aérienne, HT = hauteur de la plante, r = coefficient de corrélation entre les variables et le rendement ; ns,*, ** = corrélation non significative et significative au seuil de 5 et 1% , respectivement ; *, ** = effet direct significatif au seuil de 5 et 1%.

On note cependant un effet indirect positif et significatif via le poids des épis chez Ofanto/MBB et Ofanto/Waha (Tableau III.7). Cet effet indirect suggère que la hauteur affecte le rendement via une augmentation du poids des épis. Les variétés hautes ont tendance à avoir des épis plus lourds. Selon Nouar *et al.*, (2009), les variétés courtes produisent un nombre d'épis m² plus important. Pour une même hauteur de chaume (qu'il faut fixer pour une valeur compatible avec le milieu ciblé), il faut donc sélectionner les génotypes qui portent les épis les plus lourds, pour espérer avoir un effet positif sur le rendement grain.

Les résultats de ce modèle indiquent donc que la biomasse aérienne est un important caractère jouant un rôle déterminant dans la réalisation du rendement grain. De cette biomasse aérienne, c'est surtout le poids des épis m² qui joue le rôle essentiel. La hauteur du chaume semble affecte le poids des épis, ce qui nécessite de fixer ce caractère chez le matériel sous sélection, avant de procéder au criblage sur la base de la biomasse aérienne et du poids des épis.

III.2.3. SELECTION DIRECTE ET INDIRECTE

La sélection a été faite sur la base des variables mesurées sur les plantes F2 pour observer la réponse à la sélection sur la génération F3. Les variables mesurées en F2 sont la biomasse aérienne, le nombre d'épis, le poids des épis et le rendement grain par plant. Les corrélations phénotypiques entre ces variables mesurées en F2 et en F3, indique peu de ressemblance entre générations. En effet les coefficients de corrélations prennent les valeurs 0.328**, 0.330** et 0.389** pour la biomasse ; 0.341**, 0.286** et 0.153^{ns} pour le nombre d'épis ; 0.369**, 0.205* et 0.292** pour le poids des épis et 0.438**, 0.141^{ns} et 0.343** pour le rendement grain des trois populations : Ofanto/MBB, Ofanto/Waha et Ofanto/Mrb₅. Le r seuil est de 0.195 pour n-2 =100 individus. Ce peu de ressemblance suggère que la sélection indirecte sur la base des variables liées au rendement serait aussi moins efficace que la sélection sur la base du rendement lui-même. Ce peu de ressemblance entre variables mesurées sur deux générations consécutives est indicateur de la présence de l'interaction génotype x année.

III.2.3.1. SELECTION DIRECTE SUR LA BASE DU RENDEMENT GRAIN

L'utilisation du rendement grain comme critère de sélection ou sélection directe engendre une différentielle de sélection significative chez les trois croisements : Ofanto/MBB, Ofanto/Waha et Ofanto/Mrb₅. Cette différentielle de sélection représente 82.9, 124.4 et 183.1% de la moyenne de la génération F2 des trois croisements (Tableau III.8). Elle est accompagnée par des augmentations positives et significatives pour la biomasse aérienne, la hauteur du chaume et le poids des épis des trois croisements, ainsi que le nombre d'épis du croisement Ofanto/Mrb₅.

La hauteur du chaume augmente de 5.6 à 15.2 cm selon le croisement, ce qui représente 8.2 à 23.0% de la moyenne de la population. Le poids des épis augmente de 8.6 à 17.1g plante⁻¹, ce qui représente 82.9 à 183.1% de la moyenne de la génération F2 de chaque croisement. La biomasse aérienne de 16.2 à 32.1 g plante⁻¹ soit une augmentation relative de 74.8 à 163.2% de la moyenne de la génération.

Tableau III.8. Différentielle de sélection sur la base du rendement et des caractères liés en F2

population	Critère	Moyennes	Bio	HT	NE	WNE	RDT	
Ofanto/MBB	RDT	μs	37.8	86.1	5.4	19.1	11.1	
		μF2	21.6	79.6	3.5	10.4	6.1	
		S	16.2	6.5	2.0	8.6	5.0	
		S (%μF2)	74.8	8.2	57.0	82.9	82.9	
		Ppds5%	9.5	4.7	2.3	3.5	2.5	
	BIO	μs	40.0	90.6	5.5	17.9	10.4	
		S	18.4	11.0	2.1	7.4	4.3	
		S (%μF2)	84.9	13.9	59.4	71.2	71.2	
	NE	μs	51.2	44.6	6.1	22.0	27.4	
		S	17.0	5.9	2.6	7.2	4.2	
		S (%μF2)	78.7	7.4	73.9	68.8	68.8	
	PE	μs	37.8	86.1	5.4	19.1	11.1	
		S	16.2	6.5	2.0	8.6	5.0	
		S (%μF2)	74.8	8.2	57.0	82.9	82.9	
	Ofanto/Waha	RDT	μs	34.5	66.0	5.3	20.7	10.3
μF2			16.7	60.4	3.0	9.2	4.6	
S			17.8	5.6	2.3	11.5	5.7	
S(%μF2)			106.9	9.3	76.8	124.4	124.4	
BIO		μs	35.2	65.1	5.6	20.7	10.3	
		S	18.5	4.7	2.6	11.4	5.7	
		S (%μF2)	110.7	7.8	85.1	124.0	124.0	
NE		μs	33.0	64.1	5.8	19.6	9.8	
		S	16.3	3.7	2.8	10.4	5.2	
		S (%μF2)	97.6	6.1	93.4	112.9	112.9	
PE		μs	34.5	66.0	5.3	20.7	10.3	
		S	17.8	5.6	2.3	11.5	5.7	
		S (%μF2)	106.9	9.3	76.8	124.4	124.4	
Ofanto/Mrb5		RDT	μs	51.7	81.0	7.3	26.4	15.1
			μF2	19.7	65.8	3.3	9.3	5.3
	S		32.1	15.2	4.0	17.1	9.7	
	S (%μF2)		163.2	23.0	122.5	183.1	183.1	
	BIO	μs	52.1	82.1	7.3	26.1	14.9	
		S	32.4	16.3	4.0	16.8	9.6	
		S (%μF2)	164.9	24.7	122.5	179.9	179.9	
	NE	μs	50.2	81.7	7.7	25.8	14.7	
		S	30.5	15.9	4.5	16.4	9.4	
		S (%μF2)	155.4	24.1	137.2	175.8	175.8	
	PE	μs	51.7	81.0	7.3	26.4	15.1	
		S	32.1	15.2	4.0	17.1	9.7	
		S (%μF2)	163.2	23.0	122.5	183.1	183.1	

Les meilleures augmentations en valeurs relatives sont notées chez le croisement Ofanto/Mrb₅ (Tableau III.8). La réponse à la sélection directe sur la base du rendement grain est positive et significative chez les trois croisements : Ofanto/MBB, Ofanto/Waha et Ofanto/Mrb₅ (Tableau III.9). L'augmentation du rendement grain est de 153.5 g m² chez Ofanto/MBB, de 65.5 g m² chez Ofanto/Waha et de 108.6 g m², chez Ofanto/Mrb₅, ce qui représente une augmentation relative de 25.5, 9.7 et 15.0% de la moyenne de la génération F3 (Tableau III.9). La réponse positive du rendement grain à la sélection directe est accompagnée par une amélioration significative de la biomasse aérienne, du nombre d'épis m², du poids des épis, de la hauteur du chaume, du nombre de grains m² et du rendement économique chez le croisement Ofanto/MBB. Ainsi la hauteur du chaume augmente chez la fraction sélectionnée sur la base du rendement de 9.7 cm, le nombre de grains m² de 3300 grains, la biomasse 395.3 g m², le rendement économique de 226.0 g m², le poids des épis de 187.2 g m² et le nombre d'épis de 81.7 épis m². Ceci représente des augmentations relatives variant de 9.8% pour la hauteur du chaume à 22.2 % pour le rendement économique.

Chez le croisement Ofanto/MBB, la sélection sur la base du rendement grain en F2 n'affecte pas la durée de la phase végétative, le poids de 1000 grains, le nombre de grains par épi et l'indice de récolte qui ne changent pas significativement en F3 (Tableau III.9). Ces résultats indiquent que pour ce croisement, ces caractères ne sont pas fortement liés au potentiel de rendement grain. De ce fait ils varient peu lorsque le rendement grain change, à l'inverse des caractères liés au rendement tels que la hauteur, la biomasse et le nombre de grains produit par m².

Chez le croisement Ofanto/Waha, la réponse à la sélection directe enregistre des réponses corrélatives pour la biomasse aérienne qui augmente de 267.5 g m², du poids des épis qui gagne 83.3 g m², de la hauteur du chaume qui augmente de 2.6 cm, du poids de 1000 grains qui gagne 1.2 g pour 1000 grains, et du rendement économique qui augmente de 126.1g m². En valeur relative, ces augmentations varient de 3.2 à 14.1% de la moyenne de la génération F3 de ce croisement (Tableau III.9).

Tableau III.9. Réponse en F3 à la sélection sur la base du rendement et des caractères liés en F2.

Critère	moyenne	DHE	BIO	NE	WNE	RDT	HT	PMG	NGE	NGM ²	HI	RDTec
Ofa/MBB	μ'	130.4	2361.3	544.1	1136.9	756.4	108.9	41.3	34.1	18.4	31.9	1237.8
RDT	$\mu F3$	130.9	1966.1	462.4	949.7	602.8	99.3	40.6	33.0	15.1	31.2	1011.8
	R	-0.5	395.3	81.7	187.2	153.5	9.7	0.7	1.1	3.3	0.8	226.0
	R(% $\mu F3$)	-0.4	20.1	17.7	19.7	25.5	9.8	1.8	3.4	21.5	2.5	22.3
	Ppds5%	0.4	116.7	32.8	51.4	35.5	2.6	0.9	2.3	1.1	2.2	45.1
BIO	μ'	131.2	2298.0	526.3	1060.0	696.4	108.5	40.9	32.6	17.1	30.1	1176.9
	R	0.3	331.9	63.9	110.3	93.5	9.2	0.3	-0.5	1.9	-1.0	165.1
	R(% $\mu F3$)	0.2	16.9	13.8	11.6	15.5	9.3	0.8	-1.4	12.7	-3.3	16.3
NE	μ'	130.7	2113.6	495.6	1003.6	660.8	104.6	41.1	32.4	16.1	30.9	1096.6
	R	-0.2	147.5	33.2	53.9	58.0	5.3	0.5	-0.6	0.9	-0.2	84.8
	R(% $\mu F3$)	-0.2	7.5	7.2	5.7	9.6	5.3	1.2	-2.0	6.1	-0.7	8.4
PE	μ'	130.4	2361.3	544.1	1136.9	756.4	108.9	41.3	34.1	18.4	31.9	1237.8
	R	-0.5	395.3	81.7	187.2	153.5	9.7	0.7	1.1	3.3	0.8	226.0
	R(% $\mu F3$)	-0.4	20.1	17.7	19.7	25.5	9.8	1.8	3.4	21.5	2.5	22.3
Ofa/Waha	μ'	130.5	2161.8	517.7	1162.7	737.7	80.6	37.3	38.5	19.8	34.5	1164.9
RDT	$\mu F3$	130.4	1894.3	507.6	1079.5	672.2	78.0	36.2	38.1	18.8	36.6	1038.9
	R	0.1	267.5	10.2	83.3	65.5	2.6	1.2	0.4	1.0	-2.1	126.1
	R(% $\mu F3$)	0.1	14.1	2.0	7.7	9.7	3.4	3.2	1.1	5.2	-5.8	12.1
	Ppds5%	0.4	116.7	32.8	51.4	35.5	2.6	0.9	2.3	1.1	2.2	45.1
BIO	μ'	130.5	2150.0	520.0	1160.0	730.3	80.5	37.5	37.8	19.5	34.3	1156.2
	R	0.1	255.7	12.4	80.5	58.1	2.5	1.3	-0.3	0.7	-2.3	117.4
	R(% $\mu F3$)	0.1	13.5	2.5	7.5	8.6	3.2	3.7	-0.8	3.6	-6.4	11.3
NE	μ'	130.4	2170.0	530.0	1176.0	739.8	81.5	37.8	37.5	19.6	34.4	1168.9
	R	0.0	275.7	22.4	96.5	67.6	3.5	1.6	-0.6	0.8	-2.2	130.0
	R(% $\mu F3$)	0.0	14.6	4.4	8.9	10.1	4.5	4.4	-1.7	4.3	-6.0	12.5
PE	μ'	130.5	2161.8	517.7	1162.7	737.7	80.6	37.3	38.5	19.8	34.5	1164.9
	R	0.1	267.5	10.2	83.3	65.5	2.6	1.2	0.4	1.0	-2.1	126.1
	R(% $\mu F3$)	0.1	14.1	2.0	7.7	9.7	3.4	3.2	1.1	5.2	-5.8	12.1
Ofa/Mrb5	μ'	129.4	2539.1	550.5	1261.8	832.0	106.7	44.5	35.4	18.8	33.2	1344.1
RDT	$\mu F3$	129.5	2122.3	540.0	1110.9	723.4	93.3	39.2	35.2	18.5	34.9	1143.1
	R	-0.1	416.8	10.4	150.9	108.6	13.4	5.3	0.3	0.3	-1.6	201.0
	R(% $\mu F3$)	-0.1	19.6	1.9	13.6	15.0	14.4	13.6	0.7	1.4	-4.7	17.6
	Ppds5%	0.4	116.7	32.8	51.4	35.5	2.6	0.9	2.3	1.1	2.2	45.1
BIO	μ'	129.4	2635.5	577.7	1289.1	852.0	111.0	44.8	33.2	19.2	32.6	1387.0
	R	-0.1	513.1	37.7	178.1	128.6	17.8	5.6	-2.0	0.6	-2.3	243.9
	R(% $\mu F3$)	-0.1	24.2	7.0	16.0	17.8	19.1	14.2	-5.6	3.4	-6.6	21.3
NE	μ'	129.1	2382.0	578.5	1201.0	788.0	106.1	43.3	32.4	18.4	33.3	1266.2
	R	-0.4	259.7	38.5	90.1	64.6	12.8	4.1	-2.8	-0.1	-1.6	123.1
	R(% $\mu F3$)	-0.3	12.2	7.1	8.1	8.9	13.8	10.4	-7.9	-0.6	-4.5	10.8
PE	μ'	129.4	2539.1	550.5	1261.8	832.0	106.7	44.5	35.4	18.8	33.2	1344.1
	R	-0.1	416.8	10.4	150.9	108.6	13.4	5.3	0.3	0.3	-1.6	201.0
	R(% $\mu F3$)	-0.1	19.6	1.9	13.6	15.0	14.4	13.6	0.7	1.4	-4.7	17.6

Chez le croisement Ofanto/Mrb5, la réponse positive du rendement grain à la sélection directe est accompagnée par des réponses corrélatives positives et significatives de la biomasse aérienne qui augmente de 416.8 g m², du poids des épis qui s'améliore de 150.9 g m², de la hauteur du chaume qui gagne 13.4 cm, du poids de 1000 grains qui augmente de 5.3 g pour 1000 grains et du rendement économique qui augmente de 201.0 g m². Ces augmentations varient de 13.6 à 19.6% de la moyenne de la génération F3 de ce croisement (Tableau III.9).

On note que l'augmentation du rendement grain chez les lignées sélectionnées des croisements Ofanto/Waha et Ofanto/Mrb₅ vient essentiellement de gain obtenu sur le poids de 1000 grains, avec peu de variation pour les autres composantes du rendement. La durée de la phase végétative et l'indice de récolte ne changent pas chez la fraction sélectionnée en réponse à la sélection directe chez ces deux croisements. Les moyennes de rendement grain de la fraction sélectionnée sont 756.4, 737.7 et 832.0 gm², respectivement pour Ofanto/MBB, Ofanto/Waha et Ofanto/Mrb₅. Ces résultats indiquent que le meilleur gain génétique vient des sélections du croisement Ofanto/Mrb₅.

En tenant compte des réponses corrélatives, sous sélection directe, on note que les meilleures augmentations sont obtenues en sélectionnant à l'intérieur du croisement Ofanto/Mrb₅. Ceci est vrai notamment pour la biomasse aérienne, le rendement grain, le rendement économique et la hauteur du chaume. La sélection à l'intérieur du croisement Ofanto/MBB améliore nettement mieux la hauteur du chaume et le poids de 1000 grains, alors que le croisement Ofanto/Waha est celui qui produit le gain génétique le plus faible pour tous les caractères mesurés (Figure III.7).

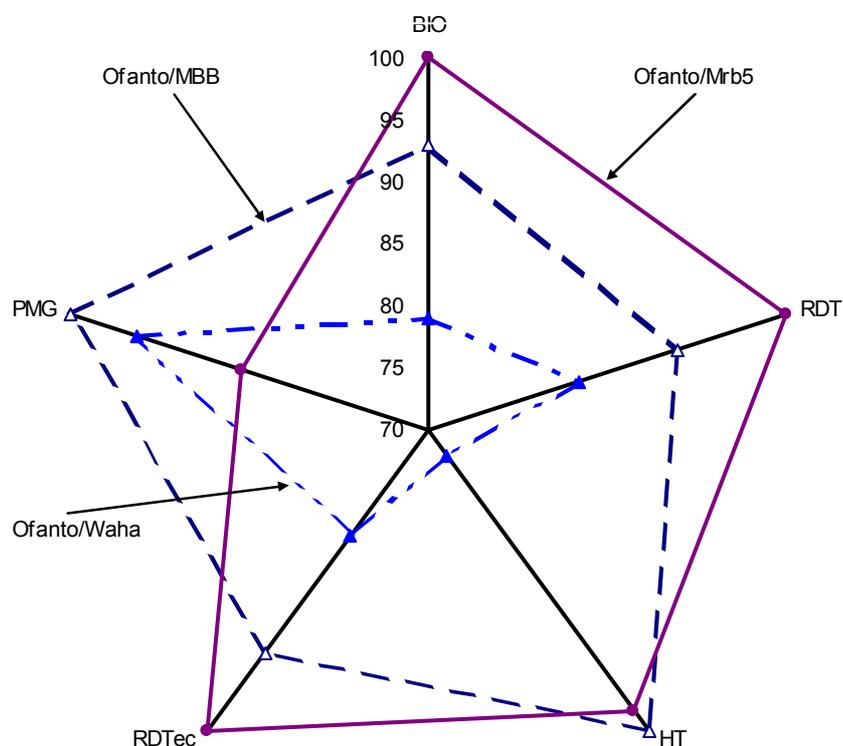


Figure III. 7. Moyennes (en % de la valeur maximale) des réponses directes et corrélatives de la sélection sur la base du rendement chez les trois croisements.

III.2.3.2. SÉLECTION INDIRECTE SUR LA BASE DE LA BIOMASSE AÉRIENNE

La sélection sur la base de la biomasse aérienne induit une différentielle de sélection positive et significative chez les trois populations. La différentielle prend les valeurs 18.4, 18.5 et 32.4 g plant⁻¹, respectivement chez Ofanto/MBB, Ofanto/Waha et Ofanto/Mrb₅ (Tableau III.8). Cette différentielle est accompagnée d'une augmentation de la hauteur du chaume de 11.0, 4.7 et 16.3 cm ; de 7.4, 11.4 et 16.8 g plant⁻¹, pour le poids des épis et de 4.3, 5.7 et 9.6 g plant⁻¹ de rendement grain, respectivement chez les trois croisements cités dans l'ordre ci dessus. Le nombre n'augmente que chez les croisements Ofanto/Waha et Ofanto/Mrb₅ et d'une valeur de 2.6 et 4.0 épis par plant, l'augmentation étant non significative chez Ofanto/MBB (Tableau III.8).

En valeur relative, la différentielle de sélection de la biomasse aérienne représente 84.9 à 164.9% de la moyenne de la population, selon le croisement. Les augmentations de la hauteur du chaume qui accompagnent la différentielle de sélection de la biomasse représentent 13.9, 7.8 et 24.7 % et ceux du rendement grain 71.2, 124.0 et 179.9% (Tableau III.8). Le croisement Ofanto/Mrb₅ est celui qui montre la meilleure différentielle de sélection de la biomasse. Il présente aussi les meilleures augmentations des caractères liées.

La réponse à la sélection sur la base de la biomasse est positive est significative pour les trois croisements. En effet la fraction sélectionnée présente une augmentation de la biomasse aérienne de 331.9, 255.7 et 513.1 g m², respectivement chez les trois populations Ofanto/MBB, Ofanto/Waha et Ofanto/Mrb₅ (Tableau III.9). Ces augmentations de biomasse sont équivalentes à 16.9, 13.5 et 24.2 % de la moyenne de la génération F3. La réponse directe est accompagnée de réponses corrélatives positives et significatives pour le poids des épis, le rendement grain et le rendement économique chez les trois croisements. Les valeurs moyennes de ces variables augmentent, chez la fraction des lignées sélectionnées sur la base de la biomasse aérienne, de 110.3, 80.5 et 178.1 g m² pour le poids des épis, de 93.5, 58.1 et 128.6 g m² pour le rendement grain, de 165.1, 117.4 et 243.9 g m² pour le rendement économique, respectivement chez Ofanto/MBB, Ofanto/Waha et Ofanto Mrb₅ (Tableau III.9).

La hauteur du chaume augmente de 9.2 et 17.8 cm, en moyenne, chez la fraction des lignées sélectionnées chez Ofanto/MBB et Ofanto/Mrb₅. Le poids de 1000 grains change positivement et significativement, suite à la sélection sur la base de la biomasse aérienne, chez Ofanto/Waha et Ofanto/Mrb₅. Il augmente de 1.3 et 5.6 g pour 1000 grains. Chez Ofanto/MBB, le nombre d'épis et le nombre de grains m² augmentent, respectivement de 63.9 épis m² et 19000 grains m²; alors que le poids de 1000 grains ne change pas significativement. Le nombre de grains par épi ne change pas significativement, suite à la sélection de la biomasse aérienne chez les trois croisements,

alors que l'indice de récolte est réduit de 2.3% chez Ofanto/Waha et Ofanto/Mrb₅ (Tableau III.9). Les réponses directes et corrélatives présentent de meilleures valeurs moyennes sous sélection à l'intérieur du croisement Ofanto/Mrb₅. Ceci est vrai notamment pour la biomasse aérienne, le rendement grain, le rendement économique, la hauteur du chaume et le poids de 1000 grains (Figure III.8). Les réponses chez les deux autres croisements sont nettement plus réduites en valeur, ce qui suggère dans le cas de limitation des moyens de concentrer les efforts de sélection sur le croisement Ofanto/Mrb₅. Le croisement Ofanto/MBB apparaît, tout de même, comme une source importante de variabilité pour améliorer la hauteur du chaume, même si la sélection est faite sur la base de la biomasse aérienne.

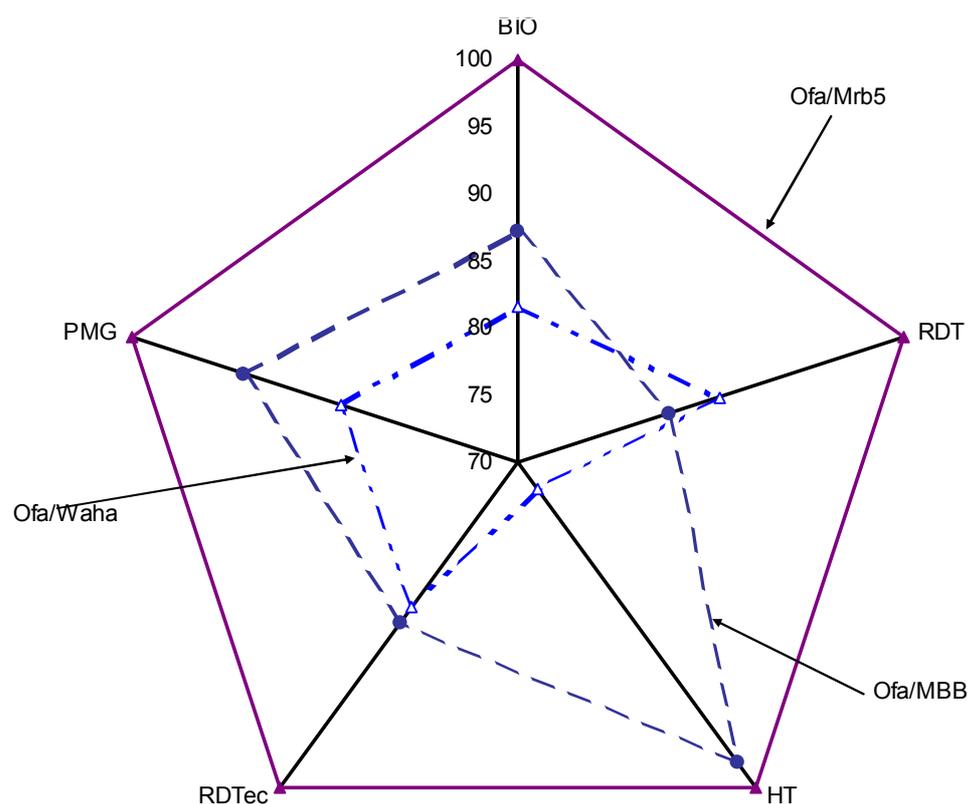


Figure III. 8. Moyennes (en % de la valeur maximale) des réponses directes et corrélatives de la sélection sur la base de la biomasse aérienne chez les trois croisements.

III.2.3.3. SÉLECTION INDIRECTE SUR LA BASE DU NOMBRE D'ÉPIS

La différentielle de sélection observée suite à la sélection sur la base des épis est positive et significative pour les trois croisements (Tableau III.8). Le nombre d'épis de la fraction sélectionnée augmente de 2.6, 2.8 et 4.5 épis par plante chez les croisements Ofanto/MBB, Ofanto/Waha et Ofanto/Mrb₅. Cette différentielle est accompagnée d'augmentation des valeurs moyennes de la biomasse aérienne, de la hauteur du chaume, du poids des épis et du rendement grain pour les trois croisements étudiés. Comme pour les autres critères de sélection, la sélection sur la base des épis produit les meilleurs effets chez le croisement Ofanto/Mrb₅ qui enregistre les meilleures augmentations chez la fraction sélectionnée comparativement à la moyenne de la population F₂ et pour les différents caractères mesurés (Tableau III.8).

La sélection sur la base du nombre d'épis effectuée sur les plantes F₂, présente des réponses positives et significatives pour le nombre d'épis qui augmente de 33.2, 22.4 et 38.5 épis m², respectivement chez Ofanto/MBB, Ofanto/Waha et Ofanto/Mrb₅ (Tableau III.9). La réponse directe est accompagnée de réponses corrélatives pour la biomasse qui augmente de 147.5 à 275.7 g m², du poids des épis qui change de 53.9 à 96.5 g m², et de la hauteur du chaume qui gagne 3.5 à 12.5 cm, selon le croisement. Les rendements grain et économique augmentent de 58.0 à 67.6 et de 84.8 à 130.8 g m², respectivement (Tableau III.9). Le poids de 1000 grains augmente significativement chez Ofanto/Waha et Ofanto/Mrb₅ de 1.6 et 4.1 g pour 1000 grains ; alors que le nombre de grains par épi perd 2.8 grains par épi chez Ofanto/Mrb₅. L'indice de récolte et la durée de la phase végétative ne montrent pas de changement suite à la sélection sur la base des épis (Tableau III.9). Ofanto/Mrb₅ se présente comme le croisement le plus intéressant pour améliorer simultanément tous les caractères mesurés, suite à la sélection sur la base du nombre d'épis (Figure III.9) .

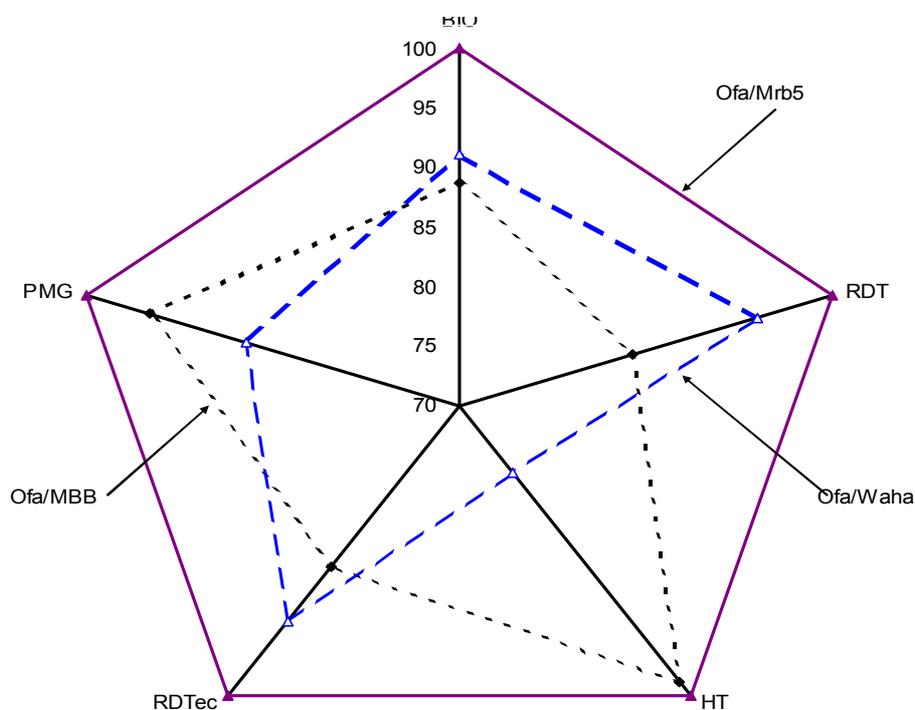


Figure III. 9. Moyennes (en % de la valeur maximale) des réponses directes et corrélatives de la sélection sur la base du nombre d'épis par plant chez les trois croisements.

III.2.3.4. SÉLECTION INDIRECTE SUR LA BASE DU POIDS DES EPIS

La sélection sur la base du poids des épis donne les mêmes différentielles de sélection et réponse directe et corrélative que la sélection effectuée sur la base du rendement (Tableaux III. 8 et 9). Ceci s'explique par le fait que le rendement des plantes F2 a été obtenu, par régression, à partir du poids des épis.

La comparaison des gains de rendement obtenus suite la sélection directe sur la base du rendement grain et la sélection indirecte sur la base de la biomasse et du nombre d'épis par plante, montre que le meilleur gain est obtenu chez le croisement Ofanto/MBB, suite à la sélection sur la base du rendement grain (Figure III.10).

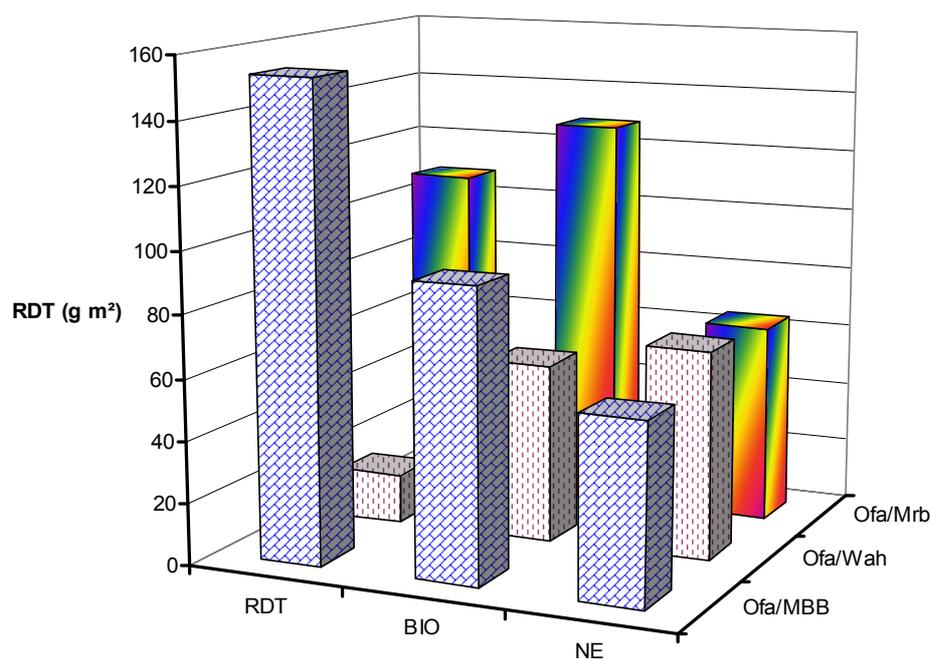


Figure III. 10. Gain de rendement grain obtenu en F3 en réponse à la sélection directe sur la base du rendement et indirecte sur la base de la biomasse et du nombre d'épis par plant en F2 chez les trois croisements.

Chez Ofanto/Mrb₅, c'est la sélection sur la base de la biomasse et du rendement qui donne le meilleur gain alors que chez Ofanto/Waha, c'est la sélection sur la base du nombre d'épis et de la biomasse aérienne qui présente le meilleur gain. En tenant compte du potentiel de rendement du croisement, les meilleures moyennes de rendement présentées par la fraction sélectionnée sont observées chez le croisement Ofanto/Mrb₅ (Figure III.11).

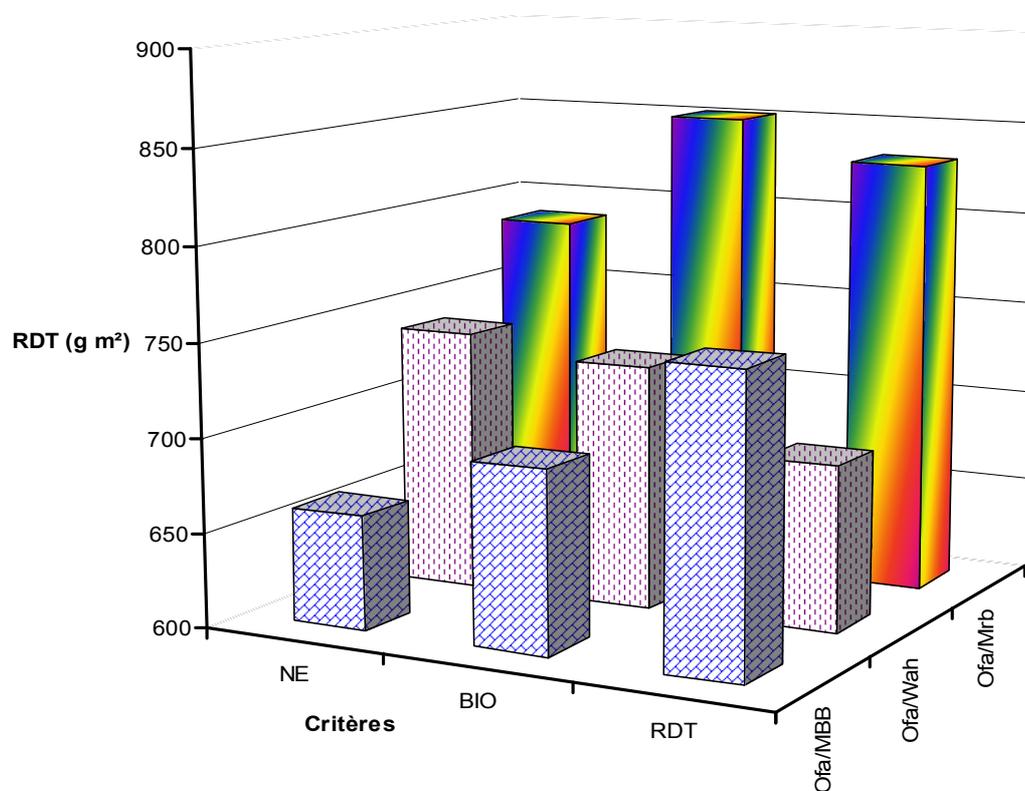


Figure III. 11. Moyenne de rendement grain obtenu en F3 en réponse à la sélection directe sur la base du rendement et indirecte sur la base de la biomasse et du nombre d'épis par plant en F2 chez les trois croisements.

III.2.3.5. SELECTION INDIRECTE SUR LA BASE D'INDICE

L'efficacité d'un programme de sélection dépend de la capacité du sélectionneur à isoler les individus ou familles d'individus supérieurs pour plusieurs caractéristiques. Parmi les méthodes de détermination des individus supérieurs figure la sélection sur indice. L'indice de sélection est une fonction qui intègre plusieurs caractéristiques d'intérêt en sélection. Il existe des variantes d'utilisation simple, ne nécessitant pas le calcul des poids économiques (Sharma et Duveiller, 2003). Ainsi Wehner (1973) développe un indice dans lequel chaque caractère est corrigé de sorte que sa valeur augmente à mesure que le caractère s'améliore. Les valeurs des caractères sont transformées pour qu'ils soient exprimés dans une même échelle (réduction). Ensuite la

valeur de chaque caractère est multipliée par une fraction de l'unité, indiquant son importance dans le processus de sélection envisagé. La somme des valeurs résultantes est utilisée pour calculer le mérite (genetic worth) de chaque lignée soumise à la sélection. L'emploi de cet indice est discuté ci-dessous. L'indice SWI est utilisé en intégrant quatre caractères la biomasse aérienne, la hauteur du chaume, le nombre et le poids des épis.

L'application de la sélection sur indice chez les trois croisements induit une différentielle de sélection positive et significative pour la biomasse aérienne, la hauteur du chaume, le poids des épis et le rendement grain. Le nombre d'épis ne répond pas significativement chez Ofanto/MBB (Tableau III.10). En valeur relative, la différentielle de sélection varie de 82.9 à 162.3% pour la biomasse, de 7.8 à 24.9 % pour la hauteur du chaume, de 80.8 à 182.9% pour le poids des épis et le rendement grain, la moyenne de la population étant prise comme indice 100%. Les épis changent de 64.3 à 125.1 % selon le croisement (Tableau III.10). Les meilleures valeurs relatives sont notées chez Ofanto/Mrb₅.

Tableau III.10. Différentielle de la sélection en F2 à la sélection sur la base de l'indice.

Croisement	Moyenne	Bio/Plante	HT	NE	WNE	RDT
Ofa/MBB	μs	39.5	91.3	5.7	18.9	10.9
	μF2	21.6	79.6	3.5	10.4	6.1
	S	17.9	11.8	2.2	8.4	4.9
	S(%μF2)	82.9	14.8	64.3	80.8	80.8
	Ppds5%	9.5	4.7	2.3	3.5	2.5
Ofa/Waha	μs	35.2	65.1	5.6	20.7	10.3
	μF2	16.7	60.4	3.0	9.2	4.6
	S	18.5	4.7	2.6	11.4	5.7
	S(%μF2)	110.7	7.8	85.1	124.0	124.0
Ofa/Mrb ₅	μs	51.6	82.3	7.3	26.4	15.1
	μF2	19.7	65.8	3.3	9.3	5.3
	S	31.9	16.4	4.1	17.1	9.7
	S(%μF2)	162.3	24.9	125.1	182.9	182.9

La réponse, mesurée en F3, à la sélection pratiquée en F2, sur indice, est positive et significative pour la biomasse aérienne, le poids des épis, le rendement grain, le poids de 1000 grains et le rendement économique chez les trois croisements (Tableau III.11). La

hauteur et le nombre d'épis m² changent positivement chez Ofanto/MBB et Ofanto/Mrb5, l'indice de récolte chez Ofanto/Waha et Ofanto/Mrb₅ par contre le nombre de grains m², change positivement chez Ofanto/MBB. La durée de la phase végétative ne change pas significativement chez les trois populations (Tableau III.11). En valeur relative, la réponse à la sélection sur indice est plus faible comparativement aux valeurs prises par la différentielle de sélection. Elle varie de 3.4 à 14.4% chez Ofanto/MBB, de 3.7 à 13.5% chez Ofanto/Waha et de 7.0 à 25.8% chez Ofanto/Mrb5 (Tableau III.11). La sélection à l'intérieur du croisement Ofanto/Mrb5 produit les meilleurs résultats, du point de vue moyennes des variables mesurées (Figure III.12). Le croisement Ofanto/Waha est celui qui produit les plus faibles réponses directes et corrélatives. Comparativement à la sélection directe sur la base du rendement grain, la sélection sur indice se montre plus efficace chez les croisements Ofanto/Waha et Ofanto/Mrb₅, par contre elle est moins efficace chez Ofanto/MBB (Figure III.13).

Tableau III.11. Réponses en F3 à la sélection en F2 sur la base de l'indice

	moyenne	DPV	BIO	NE	PE	RDT	HT	PMG	NGE	NGM ²	HI	RDTec
Ofa/MBB	μ'	130.6	2200.8	505.0	1029.6	686.1	113.6	42.0	32.5	16.5	31.0	1140.5
	μF3	130.9	1966.1	462.4	949.7	602.8	99.3	40.6	33.0	15.1	31.2	1011.8
	R	-0.3	234.7	42.6	79.9	83.3	14.3	1.4	-0.5	1.3	-0.2	128.7
	R(%μF3)	-0.3	11.9	9.2	8.4	13.8	14.4	3.4	-1.7	8.7	-0.6	12.7
	Ppds5%	0.4	116.7	32.8	51.4	35.5	2.6	0.9	2.3	1.1	2.2	45.1
Ofa/Wah	μ'	130.5	2150.0	520.0	1160.0	730.3	80.5	37.5	37.8	19.5	34.3	1156.2
	μF3	130.4	1894.3	507.6	1079.5	672.2	78.0	36.2	38.1	18.8	36.6	1038.9
	R	0.1	255.7	12.4	80.5	58.1	2.5	1.3	-0.3	0.7	-2.3	117.4
	R(%μF3)	0.10	13.50	2.45	7.46	8.64	3.23	3.70	-0.77	3.59	-6.36	11.30
Ofa/Mrb5	μ'	129.4	2669.1	588.2	1304.5	859.3	110.0	44.4	33.2	19.6	32.4	1402.2
	μF3	129.5	2122.3	540.0	1110.9	723.4	93.3	39.2	35.2	18.5	34.9	1143.1
	R	-0.1	546.8	48.2	193.6	135.8	16.7	5.2	-1.9	1.0	-2.4	259.1
	R(%μF3)	-0.1	25.8	8.9	17.4	18.8	17.9	13.2	-5.5	5.6	-7.0	22.7

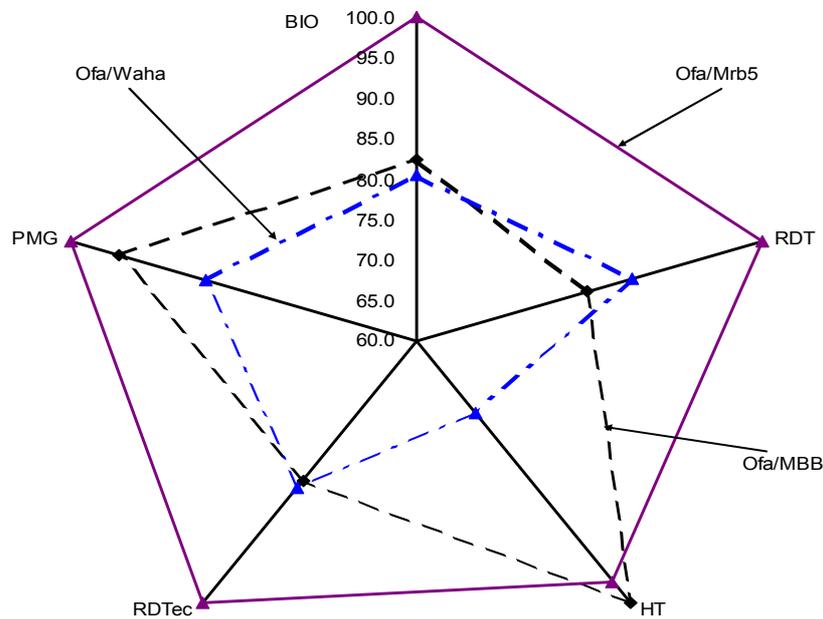


Figure III.12. Moyennes (en % de la valeur maximale) des réponses directes et corrélatives de la sélection sur la base de l'indice chez les trois croisements

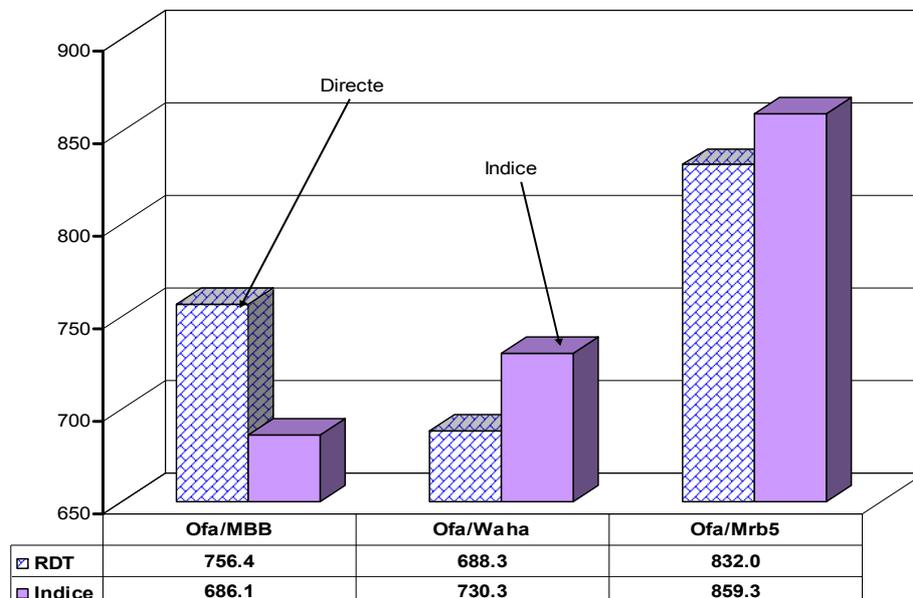


Figure III.13. Moyennes de rendement grain suite à la sélection direct sur la base du rendement et celle sur indice SWI intégrant la biomasse, la hauteur du chaume, le nombre et le poids des épis

DISCUSSION

Les résultats de la présente étude indiquent une très grande variabilité pour les principales variables mesurées, et ceci chez les trois populations. Cette variabilité est aussi bien d'ordre génétique qu'environnementale, ce qui engendre des coefficients de détermination génétiques moyens à élevés. Ces valeurs de l'héritabilité au sens large suggèrent que la sélection sur la base de ces variables a des chances d'être efficace en cas d'absence de l'interaction génotype x environnement. Les populations divergent pour l'ensemble des variables mesurées, sauf pour la durée de la phase végétative dont les moyennes diffèrent peu entre populations, et ceci malgré la tardiveté connue du cultivar MBB. Les moyennes les plus élevées pour la hauteur sont présentes dans la population Ofanto/MBB, par contre celles de la biomasse aérienne, le poids des épis, le nombre d'épis m², le nombre de grains par m² ainsi que les rendements grain et économiques sont enregistrées chez Ofanto/Mrb₅.

L'étude des liaisons montre que quelque soit le croisement, la durée de la phase végétative reste indépendante des autres variables mesurées. Par contre la biomasse présente des liaisons significatives et élevées avec le nombre d'épis, le poids des épis, le rendement grain, le nombre de grains m², l'indice de récolte et le rendement économique ; ce qui suggère cette variable comme critère de sélection pour améliorer toute une série de caractères formant l'architecture de la plante. Le nombre d'épis présente aussi des liaisons positives avec le rendement grain, avec le poids des épis, avec le rendement économique et avec le nombre de grains m², chez les trois populations. Ces résultats suggèrent que la sélection des épis induit une amélioration des rendements grain et économique et du nombre de grains m² chez les trois populations avec des effets variables sur la hauteur du chaume, l'indice de récolte et la fertilité de l'épi et le poids de 1000 grains. (Abbassene et al., 1997 ; Masoni et al., 2007) trouvent que les meilleurs rendements sont le résultat des capacités génétiques à produire plus d'épis par unité de surface associés à une bonne fertilité de l'épi. Makhoulf et Bouzarzour (2000) mentionnent que la biomasse aérienne agit doublement sur le rendement, de manière

directe et indirecte via le nombre d'épi. Ceci met en relief le rôle joué par ce caractère dans la formation du rendement du blé dur en zone semi-aride.

La réponse à la sélection pratiquée en F2 sur la base du rendement grain est positive et significative chez les trois croisements, avec de meilleures augmentations relatives chez Ofanto/MBB et chez Ofanto/Mrb₅. Cette réponse est accompagnée par une amélioration significative de la biomasse aérienne, du nombre d'épis m², du poids des épis, de la hauteur du chaume, du nombre de grains m² et du rendement économique chez les trois populations. Les meilleures augmentations sont obtenues en sélectionnant à l'intérieur de la population Ofanto/Mrb₅, quelque soit le caractère (rendement, biomasse, nombre d'épis ou poids des épis) utilisé comme critère de sélection. La comparaison des gains de rendement obtenus suite la sélection sur la base de ces différents caractères montre que le meilleur gain est obtenu chez le croisement Ofanto/MBB, suite à la sélection sur la base du rendement, suivi de la sélection de la biomasse et du rendement chez Ofanto/Mrb₅. En tenant compte du potentiel de rendement du croisement, les meilleurs niveaux de rendement sont obtenus suite à la sélection à l'intérieur du croisement Ofanto/Mrb₅, et sur la base des caractères biomasse, nombre d'épi ou rendement aussi bien que sur indice.

La sélection variétale doit privilégier l'obtention de variétés dont la date de précocité d'épiaison, peu variable d'une année à l'autre, devra coïncider avec la période optimale d'épiaison. L'obtention d'une productivité optimale et stable passe par l'obtention de ce type de variété. Pour y parvenir, cette sélection devrait porter à la fois sur les exigences thermo périodique et photo périodique de la plante (Mekhlouf et *al.*, 2007). Dans le cas de la présente étude les trois populations offrent peu de différence vue l'indépendance de la phase végétative des autres caractères mesurés.

Les résultats de cette étude corroborent cependant ceux de nombreux travaux qui ont montré, dans diverses conditions, que la biomasse aérienne joue un rôle déterminant dans l'élaboration du rendement grain (Ouelache, 1992 ; Meynard *et al.*, 1988 ;

Mansouri, 2002 ; Zerari,1992). Donmez *et al.*, (2001) trouvent que le nombre de grains/m² est corrélé positivement avec l'augmentation de la biomasse et le rendement. (Waddington *et al.*, 1987; Turner et Nicolas, 1987 ; Mekhlouf et Bouerzour, 2000) mentionnent que l'amélioration du rendement des cultivars récents est associée à l'amélioration de la biomasse. Selon Bahlouli *et al.*, (2008) L'expression d'un rendement élevé est associée positivement, aux nombres de grains m², à un nombre d'épis m², et à la fertilité des épis. Simane *et al.*, (1993) remarquent que le nombre de grains par épi contribue plus directement au rendement en grain chez le blé conduit en conditions semi-arides. La forte corrélation, trouvée dans la présente étude, entre le nombre de grains/m² et le rendement grain est faite surtout d'un effet direct hautement significatif et positif chez les trois croisements. Cette observation confirme les résultats de Fossati (1997) selon lesquels il faut augmenter le nombre de grains m², pour accroître le rendement. (Feil, 1992 ; Slafer *et al.*, 1993 ; Reynolds *et al.*, 1994 ; Calderini *et al.*, 1995; Wang *et al.*, 2002 ; Adjabi *et al.*, 2007 ; Pasquale *et al.*, 2007) indiquent que L'augmentation du rendement grain associé a une augmentation linéaire avec le nombre grains/m². Bouerzour et Oudina (1989) ont observé que le nombre de grains par épi et le nombre de grains par m² sont positivement corrélés au rendement ceci est confirmé par les travaux plus récents de Bouerzour et Benmahammed (1995).

CONCLUSION GENERALE

La régularité du rendement est une caractéristique liée à la capacité d'adaptation d'un cultivar aux variations climatiques. Les agriculteurs adoptent, cependant, les nouvelles variétés sur la base de leur capacité de rendement grain et de la régularité spatio-temporelle de leur production. L'amélioration simultanée du rendement et de sa régularité nécessite que le germoplasme de base soit adapté, et que la sélection soit faite sur la base de caractères liés à ces deux paramètres. Les résultats de la présente étude montrent que la sélection sur la base de la biomasse, du nombre des épis, du rendement grain et sur indice améliore le rendement chez les trois populations étudiées. Les meilleurs niveaux de rendement sont obtenus sous sélection à l'intérieur de la population Ofanto/Mrb₅, et ceci quelque soit le critère de sélection utilisé. Cependant vu la variabilité climatique de la région ciblée, il est conseillé de pratiquer la sélection sur indice à l'intérieur du Ofanto/Mrb₅.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abessenne, F.(1998). Etude génétique de la durée des phases de développement et leur influence sur le rendement et ses composantes chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Thèse magister, INA, Alger, 81 p.

Abbassene, F., Bouzerzour, H., Hachemi, L., (1997). Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride. Annales Agronomique Institut National Agronomiques, El Harrach, 18 :24-36.

Acevedo, E. (1989). Improvement of winter wheat crops in Mediterranean environments Use of yield, morphological traits. Dans : Physiology Breeding of Winter Cereals for Stressed Mediterranean Environments. *Les Colloques de l'INRA*, 55 : 273-305.

Acedevo, E., Ceccarelli, S., (1978). Role of physiologist-dreeder in a breeding program for drought resistance conditions. In Baker F.W.G. (ed.) drought resistance in cereals, Wallingford, U.K., 117-139.

ADE, (2000). Le marché mondial du blé dur et la place de l'Union Européenne. Rapport D'évaluation de la politique Communautaire du blé dur, 30.p.

Adjabi, A., Bouzerzou, H., Lelarge, C., Benmahammed, A., Mekhlouf, A., Hanachi, A., (2007). Relationships between grain yield performance, Temporal Stability and Carbon Isotope discrimination in Durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under Mediterranean conditions, *Journal of Agronomy*, 6(2) : 294-301.

Akkaya, A., Dokuyucu, T., Kara, R., Akcura, M.,(2006). Harmonization ratio of post- to pre-anthesis durations by thermal times for durum wheat cultivars in a Mediterranean environment, pp 404–408.

Allard, R.W. and Bradshaw, A.D., (1964). Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. *Crop Sci*, 4 : 503-508.

Ali Dib, T., (1992). Contribution à l'étude de la tolérance à la sécheresse de blé dur. Etude de la diversité de caractères physiologiques d'adaptation. Thèse de doctorat ; Montpellier, 196.p.

Al Khatib, K., and Paulsen G.M., (1984). Mode of high temperature injury to wheat during grain development. *Plant Physiol.* 61: 363-368.

Ammar, K., Lage, J., Villegas, D., Crossa, J., Hernandez, E., Alvarado, G., (2006). Association among durum wheat international testing sites and trends in yield progress over the last twenty two years. *International symposium on wheat yield potential. Cd. Obregón, Sonora, Mexico, March 20-24th*, pp: 19-20 .

Annicchiarico, P., Chiari, T., Bazzani, F., Bellah, F., Doucene, S., Yallaoui-Yaïci, N., Abdellaoui, Z., Belloula, B., Bouazza, L., Bouremel, L., Hamou, M., Hazmoune, T., Kelkouli, M., Ould-Said, H., Zerargui, H., (2002). Response of durum wheat cultivars to Algerian environments. *I.Yield. J. Agric. Environ. Int. Dev.* 96 : 157–187.

Annicchiarico, P., Bellah, F., Ghiari, T., (2005). Defining sub regions estimating benefits for a specific adaptation strategy by breeding programs: a cas study. *Crop science*, 45: 1741-1749.

Annicchiarico P., Abdellaoui, Z., Kelkouli, M., Zerargui H., (2005). Grain yield, straw yield and economic value of tall and semi dwarf durum wheat cultivars in Algeria. *Journal of Agricultural Science*, 143: 57-67.

Annicchiarico, P., Bellah, F., Chiari, T., (2006). Repeatable genotype×location interaction and its exploitation by conventional and GIS-based cultivar recommendation for durum wheat in Algeria. *Eur. J. Agro.*, 24: 70–81.

Annicchiarico, P., and Iannucci, A., (2008). Adaptation strategy ,germplasm type and adaptive traits for field pea improvement in Italy based on variety responses across climatically contrasting environments. *Field Crops Res.* 108: 133-142.

Anonyme, (2006). La biologie de *Triticum turgidum* ssp. *Durum* (Blé dur).

Araus, J.L., Amaro, T., Voltas, J., Nakhoul, H., Nachit, M.M., (1998). Chlorophyll florescence as a selection criteria for grain yield in durum wheat under Mediterranean conditions. *Field Crop Research*, 55: 209-223.

Araus, J.L., Slafer, G.A., Reynolds, M.P., Royo, M.A.J., (2002). Plant breeding and water relatiols in C3 cereals: what should we breed for? *A. Botany*, 89: 925–940.

Arumuganathan, E., and Earle, E.D., (1991). Nuclear DNA content of some important plant species. *Plant molecular biology reporter* 9: 208-218.

Baldy, C., (1974). Contributions à l'étude fréquentielle des conditions climatiques. Leurs influences sur la production des principales zones céréalières d'Algérie. Doc. Projet Céréale. 152 p.

Bahlouli, F., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., and Hassous, K.L. (2005). Selection of high yielding of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under semi arid conditions. *Journal of Agronomy* 4 (4): 360-365.

Bahlouli, F., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., (2008). Effets de la vitesse et de la durée du remplissage du grain ainsi que de l'accumulation des assimilats de la tige dans l'élaboration du rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans les conditions de culture des hautes plaines orientales d'Algérie. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 12 (1): 31-39.

Bajji, M., (1999). Étude des mécanismes de résistance au stress hydrique chez le blé dur : caractérisation de cultivars différant par leurs niveaux de résistance à la sécheresse et de variants somaclonaux sélectionnés in vitro. Thèse de doctorat, faculté des sciences, université catholique de Louvain.

Belahcene, N., Bensid, A., Benbelkacem, H., Bouzerzour, H., (2006). Contribution des nouvelles obtentions de blé tender (*Triticum aestivum* L.) à l'amélioration du rendement dans le Constantinois. *Céréaliculture*. 50 : 13-19.

Benbelkacem, A., Kellou, K., (2001). Évaluation du progrès génétique chez quelques variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) cultivées en Algérie. *Options méditerranéennes*. 6: 105-10.

Benmahammed, A., Kermiche, A., Djekoun, A., Bouzerzour, H. (2003). Sélection multi-caractères pour améliorer le niveau de stabilité du rendement de l'orge (*Hordeum vulgare* -L.) en zone semi-aride, *revue sciences et technologies*, 19: 98-103.

Bensalem, M., (1993). Etude comparative de l'adaptation à la sécheresse du blé dur et du triticale. In : Tolérance à la sécheresse des céréales en zones méditerranéenne. Diversité génétique et amélioration variétale. Ed. *INRA. Paris*. Les colloques 64 : 299-309.

Ben Salem, M., Boussen, H., Slama, A., (1997). Évaluation de la résistance à la contrainte hydrique et calorique d'une collection de blé dur : recherche de paramètres précoces de sélection. Sixièmes Journées scientifiques du réseau Biotech.-Génie Génétique des plantes, Agence francophone pour l'enseignement supérieur et la recherche (AUPELF/UREF), Orsay.

Bergareche, C., Liusia, J., Febrero, A., Bort, J., Araus, J.L., (1993). Effect of water stress on proline and nitrate content of barley relationships with osmotic potential, carbon isotope ratio and grain yield. Colloque Diversité génétique et amélioration variétale, Montpellier (France), Les colloques, n°64. Paris : Inra éditions.

Berger, M., and Planchon, C., (1990). Physiological factors determining yield in bread wheat, effects of dwarfing genes. *Euphytica* 51: 33-39.

Blum, A., Zhang, J., Nguyen, H.T., (1999). Consistent differences among wheat cultivars in osmotic adjustment and their relationship to plant production. *Field Crop Research* 64: 287-291.

Bouchoutrouch, M., (1986). Yield response of three durum wheat varieties in a semi- arid environment. M.S. Thesis, University of Nebraska, Lincoln.

Bouzerzour H., and Oudina M.,(1989). Variabilité du rendement de l'orge sous l'influence du climat des hauts plateaux. In séminaire W.O.M.Eds. ICARDA.110-119.

Bouzerzour, H., and Benmahammed, A., (1995). Analyse graphique d'un croisement diallèle en orge. *Céréaliculture*, 28: 9-12.

Bouzerzour, H.,(1998). Sélection pour le rendement, la précocité au stade épiaison, la biomasse aérienne et l'indice de récolte chez l'orge (h. vulgare L) en zone semi aride. Thèse doctoral d'état, Univ. De Constantine, 170. p.

Bouzerzour, H., and Djekoune, A., (1996). Etude de l'interaction genotype × lieu du rendement de l'orge zone semi-aride. *Rev. Sci. et Tech. Uni. Constantine*. 7: 11-14.

Bouzerzour, H., Benmahamed, A., Makhlof, A., Harzallah, D., (1998). Evaluation de quelques techniques de sélection pour la tolérance au stress chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi –aride d'altitude. *Céréaliculture* 33 : 27-33.

Bouzerzour, H., Adjabi, A., Benmahammed, A., Hadj Sahraoui, A., Harkati, N., (2002a). Productivité et adaptation des variétés de céréales en zone semi aride d'altitude Céréaliculture 37 : 4-12.

Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Benkharbache., N., Hassous, K.L., (2002b). Contribution des nouvelles obtentions à l'amélioration et la stabilité du rendement de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zone semi-aride d'altitude Revue Recherche Agronomique de l'INRA 10 ; 45-58.

Bouziane, A., (2001). Influence de trois itinéraires techniques sur le rendement d'un blé dur (var. Mexicali) dans le sud de kanchela (roudjel). Thèse Ing, pp 11-16-17.

Bozzini, A., (1988). Origin, distribution, and production of durum wheat in the world. In: Fabriani, G., & Lintas, C. (eds.). *Durum - Chemistry and technology*. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, USA, pp. 1-16.

Briggle, L.W., and B.C. Curtis. (1987). Wheat worldwide. In *Wheat and Wheat Improvement*. E.G. Heyne (ed.). 2nd edition, ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI, USA. Pp : 1-32.

Brisson, N., Delecoller, R., (1992). Développement et modèles de simulation des cultures. *Agronomie*, 12(3): 253-263.

Calderini, D.F. Dreccer, Slofer, G.A., (1995). Genetic improvement in wheat yield and associated traits. A reexamination of previous results and the latest trends. *Plant Breed.* 114:108-112.

Calderini, D.F., Reynolds, M.P., Slafer, G.A., (1999). Genetic gains in wheat yield and associated physiological changes during the twentieth century. In: *Satorre, E.H., Slafer, G.A. (Eds.), Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination. The Haworth Press Inc., New York, pp: 351–377.*

Canterro-Martinez C, Villar JM, Romagosa I, Fereres E., (1995). Growth and yield responses of two contrasting barley cultivars in a Mediterranean environment. *Eur J Agron*, 4 : 317-26.

Chenafi, H., Aidaoui, A., Bouzerzour, H., Saci. A., (2006). Yield response of durum wheat (*Triticum Durum* Desf.) cultivar Waha to deficit irrigation under semi arid growth conditions. *Asian Journal of Plant Sciences* 5: 854-860.

Ceccarelli S., (1987). Yield potential and drought tolerance of segregating populations of Barley in contrasting environments. *Euphytica*, 36 (1): 265-273.

Ceccarelli, S., Grando, S., Hamblin, J., (1992). Relationships between barley grain yield measured in low and high yielding environments. *Euphytica*, 64: 49-58.

Ceccarelli S., Grando S., Impiglia A., (1998). Choice of selection strategy in breeding barley for stress environments. *Euphytica*, 103:307-318.

Debaeke, P., Purch, J., Casal, M.L., (1996). Elaboration du rendement de blé d'hiver en condition de deficit hydrique; I ; Etude en lysimètre ; agronomie 16: 3-23.

Dekhili, M., Guechi, A., Aggoun, A., (2000). discrimination des bles durs algeriens (*Triticum Durum* Desf.) dans la region de setif. *INRA*. 7, 25-36.

Delseny, M., Caubier, P., Hull, G., Saez-Vasquez, J., Gallois, P., Raynal, M., Cooke, R., Grellet, F., (1993). Nuclear genes expressed during seed desiccation : relationship with response to stress. In : *Stress induced gene expression*, Harwood Academic Reading (UK).

Donald, C.M., (1968). The breeding of crop ideotypes. *Euphytica* 17: 385–403.

Donaldson, E., Schillinger, W.F., Dofing S.M., (2001). Straw production and grain yield relationships in winter. *Crop Sci.* 41 :100-106.

Donmez , E., Sears, RG., Shroyer, JP., Paulsen, GM., (2001). Genetic grain in yield attributes of winter wheat in the great plains. *Crop Science.* 41: 1412-1419.

Doré, C., Varoquaux, F., (2006). Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées, p145.

Duggan, B.L., Domitruk, D.R., Fowler, D.B., (2000). Yield component variation in winter wheat grown under drought stress. *Can. J. Plant Sci.* 80: 739–745.

Duggan, B.L., Richards, R.A., van Herwaarden, A.F., Fettell, N.A., (2005). Agronomic evaluation of a tiller inhibition gene (*tin*) in wheat. I. Effect on yield, yield components, and grain protein. *Aust. J. Agric. Res.* 56: 169–178.

Eagles, H.A., Bariana, H.S., Ogbonnaya, F.C., Rebetzke, G.J., Hollamby G.J., Henry, R.J., Henschke, P.H., Carter, M., (2001). Implementation of markers in Australian wheat breeding. *Aust. J. Agric. Res.* 52 (11-12): 1349-1356.

El Hafid, R., (1996). Morphological and physiological traits associated with early- season drought resistance in durum wheat. Ph.D. dissertation, Colorado State University, USA.

Elhani, S., Martos, V., Rharrabti, Y., Royo, C., Garcia del Moral, L.F., (2007). Contribution of main stem and tillers to durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) grain yield and its components grown in Mediterranean environments , *Field Crops Research* 103: 25–35.

El Mourid, M., (1988). Performance of wheat and barley cultivars under different soil moisture regimes in a semi-arid region. PhD dissertation, Iowa State University.

Falconer, D.S., (1982). Introduction in quantitative genetics. Eds. Longman group. NY. 340 p.

Falconer F.S., McKay, M.R., (1998). Introduction to Quantitative Genetics. Sixth edition. Longman, Harlow, UK.

Feil, B., (1992). Breeding progress in small grain cereals- a comparaisn of old and modern cultivars plant Breed. 108: 1-11.

Fellah, A., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Djekoun, A., (2002). Sélection pour améliorer la tolérance aux stress abiotiques chez le blé dur (*Triticum turgidum* L. var. durum). Actes de l'IAV, Hassan II (Maroc) 22: 161-170.

Feldman, M., (2001). Origin of cultivate wheat. In: Bonjean, A.P., Angus, W.J. (eds.). *The world wheat book-A history of wheat breeding*. Lavoisier Publishing; Paris; France. Pp.3-55.

Feuillet, C., Travella, S., Stein. N., (2003). Map-based isolation of the leaf rust disease resistance gene Lr10 from the hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.) genome. *Proc Natl Acad Sci. USA*, 100: 15253– 15258.

Finlay, K.W., Wilkinson, G.N., (1963). The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Aust. J. Agric.* 14: 242-254.

Fisher, R.A., Maurer, R., (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Aust. J. Agric. Res.* 29: 697-912.

Fossati, D., (1997). Définition d'idéotypes pour le triticale. *Revue suisse Agric.* pp, 291-296.

Gaillais, A., (1990). Théorie de la sélection en amélioration des plantes. Masson, Paris, 588p.

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

Gonzalez, A., Martin, I., Ayerbe, L., (1999). Barley yield in water stress conditions. The influence of precocity, osmotic adjustment and stomatal conductance. *Field Crop Res*; 62: 23-34.

Grignac, P., (1973). Relation between yield, yield components and some morphological characters. *Genetics and breeding of durum wheat symp.* Bari, 275-284.

Haddad, L., (2009). Contribution à l'étude de la stabilité des rendements du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous climat méditerranéen. *Mémoire de Magister*, Département Agronomie, Faculté des Sciences, UFAS, 70.pp.

Hadjichristodoulou, A., (1985). Stability performance of cereals in low rainfall areas as related to adaptative traits. In: *Drought tolerance in winter cereals.* Srivastava, JP., Porceddu, E., Acevedo, E., Varma, S. ed ; John Wiley and sons, U.K, pp: 191-200.

Hadjichristodoulou, A., (1987). The effects of optimum heading date and its stability on yield and consistency of performance barley and durum wheat in dry areas. *J. Agri. Sci. (Camb)*. 108: 599-608.

Harrad, F., (2005). Contribution à l'établissement d'un itinéraire technique pour la mise en place du blé dans les zones sahariennes (ADRAR) en irrigué effet de la succession des outils aratoires sur le développement de la plante. Harrad ITGC, Siège.

Henchi, B., (1987). Effets des contraintes hydriques sur l'écologie et l'écophysologie de *Plantago albicans*. L. Thèse de doctorat d'État, univ Tunis.

Hospital, F., (2001). Size of donor chromosome segments around introgressed loci and reduction of linkage drag in marker-assisted backcross programs. *Genetics* 158(3),1363-1379.

Huang, S., Sirikhachornkit, A., Su, X., Faris, J., Gill, B., Haselkorn, R., Gornicki, P., (2002). Genes encoding plastid acetyl-CoA carboxylase and 3-phosphoglycerate kinase of the *Triticum/Aegilops* complex and the evolutionary history of polyploidy wheat. *Proceedings of the national academy of science of the USA* 99: 8133-8138.

Kantety, R.V., Diab, A., Sorrells, M.E., (2005). Contribution à la mise en place d'une approche intégrée de lutte contre la sécheresse chez le blé dur au Maroc In: Conxita,

Karrou, M., (2000). Contribution à la mise en place d'une approche intégrée de lutte contre la sécheresse chez le blé dur au Maroc Département d'Agronomie, CRRRA-INRA, B.P. 589, Settat, Maroc, pp : 559-567.

Karrou, M., El Mourid, M., Boulal, H., Boutfirass, M., El Gharous, M., (2001). Ecophysologie des céréales en zones semi-arides. Rabat : Institut national de la recherche agronomique du Maroc.

Keller, B., Feuillet, C., Yahiaoui, N., (2005). Map-based isolation of disease resistance gene from bread wheat: cloning in a supersize genome. *Genetical research (Camb)* 85: 93-100.

Kemeli, A., and Losel, D.M., (1996). Growth and sugar accumulation in durum wheat under water stress. *New phytol.* 132: 57-62.

Kimber, G., and Sears, E.R., (1987). Section 5A: Evolution in the genus *Triticum* and the origin of cultivated wheat. In: Heyne (ed.). *Wheat and wheat improvement*. American Society of Agronomy, Inc. USA. pp. 154-164.

Laumont , P., Erroux, J., (1961). Inventaire des blés durs rencontrés en Algérie. Mem. De la soc. D'histoire naturelle de l'Afrique du Nord, 5 : 96 p.

Larbi, A., Mekliche, A., Abed, R., Badis, M., (1998). Effet du déficit hydrique sur la production de deux variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) en région semi-aride. (INSID).

Ledent, J.F., (1978). Vernalisation and anthesis in a collection of wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) a quantitative study in controlled environments Bull. Sec. Roy. Bot. Belg. 112, 186-192.

Lefort-Buson, M., Rodolphe, F., Charcosset, A., (1990). De nouvelles perspectives pour l'analyse génétique des caractères quantitatifs. A la recherche des locus importants. Biofutur: 30-37.

Levy, A.A., and Feldman, M., (2002). The impact of polyploidy on grass genome evolution. Plant physiology 130: 1587-1593.

Lin, C.S., Binns, M.R., Lefkovitch, L.P., (1986). Stability analysis: where do we stand? Crop Sci, 894-900.

Mac Key, J., (2005). Wheat: Its concept, evolution, and taxonomy. In: Conxita.

Mansouri, A., (2002). Analyse du rendement et ses composantes chez quelques hybrides F2 et leur parents blés durs (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride. Mem. Ing. Inst. Agron. Batna. 55.p.

Masle, Meynard, J., (1981) . Relation entre croisement et développement pendant la montaison d'un peuplement de blé d'hiver, influence des conditions de nutrition. Agronomie.1 : 365-374.

Masle Meynard J., (1982). mise en évidence d'un stade critique par la montée d'une talle. Agronomie,1: 623-632.

Masoni, A., Ercoli, L., Mariotti, M., Arduini, I., (2007). Post-anthesis accumulation and remobilization of dry matter, nitrogen and phosphorus in durum wheat as affected by soil type Dipartimento di Agronomia e Gestione dell'Agroecosistema, via S. Michele degli Scalzi 2, 56125 Pisa, Italy. Europ. J. Agronomy 26(2007) 179-186

McNeal, F.H., Qualset, C.O., Baldrige, D.E., Stewart, V.R., (1978). Selection for yield and yield components in wheat. *Crop Sci*, 18 :795–799.

Mekhlouf, A., Bouzerzour H., (2000). Déterminisme génétique et associations entre le rendement et quelques caractères à variation continue chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Recherche Agronomique (INRAA)*, 7 : 37-49.

Mekhlouf, A., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Hadj Sahraoui, A., Harkati, N., (2006). Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. *Sécheresse*. Vol 17, (4): 507-513.

Mekhlouf, A., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Hadj Sahraoui, A., Harkati, N., (2007). Climatic variation and behaviour of typical genotypes of durum wheat (*Triticum durum* Desf.). INRAA.

Menad, A., (2008). Rythme de développement, utilisation de l'eau et rendement de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) sous climat de type Méditerranéen. Mémoire magister, INA, EL Harrach, 105 pages.

Meynard, J.M., Ribeyre, C., Bourdon, O., Laurent E., (1988). Pour mieux connaître les variétés de blé ; analyser l'élaboration de leur rendement. *Perp.Agric*, pp : 17-24.

Monneveux, P., (1991). Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hiver ? In : Chalbi, Demarly Y, eds. *L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides*. Tunis : AUPELF-UREF, John Libbey Eurotext, Paris, pp 165-186.

Monneveux, D., and Depigny-THIS,. (1995). *Génétique et Amélioration des Plantes*, ENSA-INRA, Montpellier, France. *Quel avenir pour l'amélioration des plantes*. Ed. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris. pp: 149-163.

Morgan, J.M., (1984). Osmoregulation and water stress in higher plants. *Plant Physiol.*; 35,299-319.

Moragues, M., García del Moral, L.F., Moralejo, M., Royo, C., (2006), Yield formation strategies of durum wheat landraces with distinct pattern of dispersal within the Mediterranean basin: II. Biomass production and allocation. *Field Crop. Res*, 95: 194–205.

Nachit, R., di Fonzo, M., Karrou N.M.,(2001). Département d'Agronomie, CRRRA-INRA, B.P. 589, Settat, Maroc 559-567

Nouar, H., Haddad, L., Laala, Z., Oulmi, A., Zerargui, H., Benmahammed, A., Bouzerzour, H., (2009). Performances comparées des variétés de blé dur : Mohammed Ben Bachir, Waha et Boussalam dans la wilaya de Sétif. Soumis à la revue Céréaliculture.

Oosterom, E.J., Acevedo, E.,(1992). Adaptation of barley (*Hordeum vulgare* L.) to harsh Mediterranean environments. III. Plant ideotype and grain yield. *Euphytica*, 62 : 29-38.

Oosterom, E.J., Ceccarelli, V.S., Peacock, J.M., (1993). Yield response of barley to rainfall and temperature in Mediterranean environments. *J. Agric. Sci.*, 121 :307-313.

Ouhajou, L., (1991). Efficience d'utilisation de l'eau et stabilité des rendements des céréales. Mémoire de troisième cycle, Option Agronomie, IAV Hassan II, Rabat.

Pasquale, De Vita., Orazio, N., Franca, N., Cristiano ,P.,Carmen ,R., Natale, F., Luigi, C., (2007). Breeding progress in morpho-physiological, agronomical and qualitative traits of durum wheat cultivars released in Italy during the 20th century. *Europ. J. Agronomy*, pp : 39–53.

Passioura, J., (2004). Increasing crop productivity when water is scarce : From breeding to field management In : Proceedings of the 4th International Crop Science Congress "New directions for a diverse planet" Brisbane, Australia.12pages. www.regional.org-au/au/cs

Prioul, J.L., Quarrie, S., Causse, M. de Vienne. D.,(1997). Dissecting complex physiological functions through the use of molecular quantitative genetics. *J. Ex. Bot.* 48 :1151–1163.

Queltache, S., (1992). Contribution à l'étude du rythme de développement et de l'élaboration de rendement chez trois céréales de blé dur (*Triticum Durum* Desf.) dans les hauts plateaux sétifiens. *Mém.Ing.Inst.Agron.Batna*.60.p.

Vavilov, N.I., (1951). The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants. *Chronica Botanica*, pp:1-351 (translated from Russian by Chester K.S.).

Waddington ,SR., Osmanzai, M., Yoshida, M., Ransom, JK., (1987). The yield of durum wheats released in Mexico between 1960 and 1984. *Journal of Agricultural Science*, pp: 469–477.

Wang, H., McCaig, T.N., Delauw, R.M., Clarke, F.R., Clarke, J.M., (2002). Physiological characteristics of recent Canad westened spring wheat cultivars: yield components and dry matter production. *Can. J. Plant Sci.* 82:299-306.

Wang, Z., Li, S., Vera, C.L., Malhi, S.S., (2005). Effects of water deficit and supplemental irrigation on winter wheat growth, grain yield and quality, nutrient uptake, and residual mineral nitrogen in soil. *Commun. Soil Sci.Plant Anal.* 36, 1405–1419.

Wardlaw, I.F., Dawson, I.A., Munibi, P., Fewster, R., (1989). The tolerance of wheat to high temperatures during reproductive growth. ISurvey procedures and general response patterns. *Aust. J. Agric. Res.* 40: 1-13.

Wehner, T.C., (1982). Weighted selection indices for trials and segregating populations. *Cucurbit Genet. Coop. Rpt.* 5:18-20.

Wilhelm, W.W., Bouzerzour, H., Power. J.F., (1989). Soil Disturbance-Residue Management Effect on Winter Wheat Growth and Yield. *Agron J.* 81:581-588.

Winward, D., Hanks, R.J., Dewey, W.G., Albrechtsen, R.S., (1983). Influence of detillering and irrigation on wheat and barley yields. *Utah Agricultural Experiment Station Research Report*, pp. 1–27.

Reynolds, M.P., Balota, M., Delgado, M.I.B., Amani, I., Fisher, R.A., (1994). Physiological and morphological traits associated with spring wheat yield under hot, irrigated conditions. *Aust.J. Plant physiol.*21:717-730.

Reynolds, M.P., Rajaram, S., Sayre, K.D., (1999). Physiological and genetic changes of irrigated wheat in the post- green revolution period and approaches for meeting projected global demand. *Crop Sci.* 39:1611.1621.

Reynolds, M.P., Pellgrinesch, A., Skovmand, B., (2005). Sink-limitation to yield and biomass : a summary of some investigations in spring wheat. *Ann.Appl.Biol.* 146: 39-49.

Richards, R.A., Rebetzke, G.J., Condon, A.G., Van Herwaarden A.F., (2002). Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. *Crop Sci.* 42: 111-21.

Roseille, A.A., and Hamblin, J., (1981). Theoretical aspect of selection for yield in stress and non stress environments. *Crop Sc.*, 21: 923-932.

Ryan, J., Pala, M., Masri, S., Singh, M., Harris, H., (2008). Rainfed wheat-based rotations under Mediterranean conditions: Crop sequences, nitrogen fertilization, and stubble grazing in relation to grain and straw quality *Europ. J. Agronomy* 28 (2008) 112–118 , Syria.

Schachermayr, G.M., Siedler, H., Gale, M.D., Winzeler, H., Winzeler, M., Keller B., (1994). Identification and localization of molecular markers linked to the Lr 9 rust gene in Wheat. *Theor. Appl. Genet.* 88, p. 110-115.

Schachermayr G.M., Messmer M.M., Feuillet C., Winzeler H., Winzeler M., Keller B., (1995). Identification of molecular markers linked to *Agropyron elongatum*-derived leaf rust resistance gene Lr 24 in Wheat. *Theor. Appl. Genet.* 90, pp. 982-990.

Sedgley, R.H., (1991). An appraisal of the Donald ideotype after 21 year. *Field crops Res.* 26: 93-112.

Sharma, R.C., Smith, E.L., (1986). Selection for high and low harvest index in three winter populations. *Crop Science.* 26: 1147-1150.

Sharma, R. C., (1992). Selection for biomass yield in wheat *Euphytica* 70:35-42.

Siddique, K. H. M., Belford R. K., Perry M. W., Tennant D., (1991). Growth development and light interception of old and modern wheat varieties in mediteranean environment. *Aust. J. Agr. Res.* 40: 473-487.

Simane, B., Peacock, J.M., Struik, P.C., (1993). Differences in developmental plasticity and growth rate among drought resistant and susceptible cultivars of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var durum). *Plant soil* 157, 155–166.

Simon, H., Codaccioni, P., Lecoœur, X., (1989). Produire les céréales à paille. *Agriculture d'aujourd'hui, science, techniques, applications* Ed. J.B. Baillière, 333 p.

Slafer, G.A., Andrade, F.H., Satorre, E.H., (1993). Increases in grain yield in bread wheat from breeding and associated physiological changes. In : Slafer, G.A. (Ed.), Increase in grain yield in bread wheat from breeding and associated physiological changes. Genetic improvement of field crop. Marcel Dekker. Inc., New York, USA, pp. 1-68.

Slafer, G.A., Araus, J.L., Richards, R.A., (1999). Physiological traits to increase the yield potential of wheat. In: Storre. E.H., Slafer, G.A (Eds), Wheat product press, New York. Food products press, pp. 379-415.

Slafer, G.A., Araus, J.L. Royo C., Del Moral, L.F.G., (2005). Promising eco-physiological traits for genetic improvement of cereal yields in Mediterranean environments. An. Appl. Biol. 146: 61–70.

Slama, A., Ben Salem, M., Ben Naceur, M., Zid, E., (2005). Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance (Inrat). 16(3) : 225-229

Sorrells, M.E., Diab, A., Nachit, M., (2000). Comparative genetics of drought tolerance. *Options méditerranéennes série A (Séminaires méditerranéens)* ;40: 191-201.

Steel, R.G.D., and Torrie J.H., (1982). Principles and procedures of statistics, a biometrical approach. New York, 663 pages.

Steele, K.A., A. H. Price, H.E. Shashidhar, J.R.. Witcombe., (2006). Marker assisted selection to introgress rice QTLs controlling root traits into an Indian upland rice variety. *Theor. Appl. Genet.* 109: 1247–1260.

Sinebo, W., (2005). Trade off between yield increase and yield stability in three decades of barley breeding in a tropical highland environment. *Field Crops Res.*, 92: 35–52.

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

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

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

Turner, N.C., (1986). Adaptation to water deficit/ a changing perspective. *Aust. J plant physiol.* 13: 175-180.

Turner, N.C., Nicolas, M.E., (1987). Drought resistance of wheat for light textured soils in Mediterranean climate. In: *Drought tolerance in winter cereals.* Srivastava, J.P., Porceddu, E., Acedevo, E., Verma, 203-216.

Zerari, A., (1992). Evaluation de la biomasse-plante et du poids de 1000 grains comme critères de sélection pour améliorer le rendement en F4 dans trois croisements sétifiens. *Mem.Ing., Inst. Agron.Batna.* 55 p.

Zhang, J., Nguyen, HT., Blum, A., (1999). Genetic analysis of osmotic adjustment in crops plants. *J Exp Bot;*50: 291-302.

Zhu, H., Briceno, G., Dovel, R., Hayes, P. M., Liu. B. H., (1999). Molecular breeding for grain yield in Barley: an evaluation of QTL effects in a spring barley cross. *Theor. Appl. Genet.*98 : 772-779.