

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
*République Algérienne Démocratique et Populaire*

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
*Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique*



المدرسة الوطنية العليا للفلاحة – الحراش – الجزائر  
*Nationale Supérieure Agronomique, El Harrach, Alger*

Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Magister en Sciences Agronomiques

Option  
Sciences et Techniques des Productions Végétales

Thème

*Analyse diallèle de quelques caractères agronomiques  $F_1$  et  $F_2$   
de blé dur (*Triticum durum* Desf.)*

Présenté par :

M<sup>me</sup> Maysoun BENCHEIKH LEHOCINE Epouse REDJIMI

Devant le jury :

M<sup>r</sup> ABDELGUERFI A. (Pr – ENSA)

M<sup>me</sup> MEKLIICHE L. (M.C – ENSA)

M<sup>me</sup> OUNANE G. (M.C – ENSA)

M<sup>r</sup> KHELIFI L. (Pr – ENSA)

: Président de Jury

: Directrice de Thèse

: Examinatrice

: Examineur

Année universitaire 2009-2010

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
*République Algérienne Démocratique et Populaire*

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
*Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique*



المدرسة الوطنية العليا للفلاحة – الحراش – الجزائر  
*École Nationale Supérieure Agronomique, El Harrach, Alger*

Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Magister en Sciences Agronomiques

Option  
Sciences et Techniques des Productions Végétales

Thème

*Analyse diallèle de quelques caractères agronomiques  $F_1$  et  $F_2$   
de blé dur (*Triticum durum* Desf.)*

Présenté par :

M<sup>me</sup> Maysoun BENCHEIKH LEHOCINE Epouse REDJIMI

Devant le jury :

M<sup>r</sup> ABDELGUERFI A. (Pr – ENSA)  
M<sup>me</sup> MEKLIICHE L. (M.C – ENSA)  
M<sup>me</sup> OUNANE G. (M.C – ENSA)  
M<sup>r</sup> KHELIFI L. (Pr – ENSA)

: Président de Jury  
: Directrice de Thèse  
: Examinatrice  
: Examineur

Année universitaire 2009-2010

## *Remerciements*

*Dans ces quelques lignes, je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.*

*Mes très vifs remerciements s'adressent à ma Directrice de thèse Madame Mekliche, Maître de conférences à l'ENSA, pour son encadrement, sa disponibilité, sa patience et ses précieux conseils.*

*Je remercie également Monsieur ABDELGUERFI, Professeur à l'ENSA, qui m'a fait l'honneur de présider le jury.*

*Mes remerciements s'adressent aussi à Madame OUNANE, Maître de conférence à l'ENSA, et Monsieur KHELIFI, Professeur à l'ENSA, d'avoir accepté d'examiner le document.*

*Je remercie très sincèrement Monsieur Benbelkacem, Chercheur au sein de l'INRAA, pour son aide et son accueil au niveau de la station de l'ITGC d'El-Khroub.*

*Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mes collègues du service Catalogue du Centre National de Contrôle et de Certification des semences et plants qui m'ont aidé durant les travaux d'expérimentation.*

*Enfin, je ne remercierai jamais assez tous ceux qui me sont si chers, mes parents, mon frère, mes sœurs, ma famille, ma belle famille, mon oncle Mossaâb et surtout Sid Ahmed.*

*Maysoun*

## Listes des tableaux et des figures

### Liste des Tableaux

	<b>Page</b>
Tableau 1 : Stratégies de sélection en fonction des variances d'aptitude à la combinaison.....	23
Tableau 2 : Description détaillée des variétés parentales utilisées.....	26
Tableau 3 : Données climatiques de la station I.T.G.C. El Khroub (campagne 2003/2004).....	28
Tableau 4 : Données climatiques de la station I.T.G.C. Oued Smar (campagne 2004/2005).....	30
Tableau 5 : Analyse de la variance (méthode 2 du model II).....	34
Tableau 6 : Valeurs de l'hétérosis global, moyen et économique et de l'hétérosis par rapport au meilleur parent des caractères phénologiques et morphologiques.....	40
Tableau 7 : Valeurs de l'hétérosis global, moyen et économique et de l'hétérosis par rapport au meilleur parent des caractères agronomiques.....	47
Tableau 8 : Valeurs de l'hétérosis global, moyen et économique et de l'hétérosis par rapport au meilleur parent des caractères physiques du grain.....	50
Tableau 9 : Valeurs de l'hétérosis global, moyen et économique et de l'hétérosis par rapport au meilleur parent des caractères technologiques.....	53
Tableau 10 : Valeurs de l'hétérosis global, moyen et économique et de l'hétérosis par rapport au meilleur parent des caractères phénologique et morphologique.....	57
Tableau 11 : Valeurs de l'hétérosis global, moyen et économique et de l'hétérosis par rapport au meilleur parent des caractères agronomiques.....	62
Tableau 12 : Valeurs de l'hétérosis global, moyen et économique et de l'hétérosis par rapport au meilleur parent des caractères physiques du grain.....	65
Tableau 13 : Valeurs de l'hétérosis global, moyen et économique et de l'hétérosis par rapport au meilleur parent des caractères technologiques.....	68
Tableau 14 : Analyse de la variance de l'AGC et de l'ASC des caractères étudiés.....	69
Tableau 15 : Valeurs des aptitudes générales à la combinaison des caractères étudiés.....	70
Tableau 16 : Valeurs des aptitudes spécifiques à la combinaison des caractères étudiés.....	71
Tableau 17 : Variances des aptitudes générales et spécifiques à la combinaison ainsi que le rapport AGC/ASC des caractères étudiés.....	72
Tableau 18 : L'héritabilité au sens large et au sens étroit des caractères étudiés.....	75
Tableau 19 : Meilleurs hétérosis économiques et hétérosis par rapport au meilleur parent des hybrides F1 et F2 : caractères phénologique et morphologique.....	77
Tableau 20 : Meilleurs hétérosis économiques et hétérosis par rapport au meilleur parent des hybrides F1 et F2 : caractères agronomiques.....	79
Tableau 21 : Meilleurs hétérosis économiques et hétérosis par rapport au meilleur parent des hybrides F1 et F2 : caractères physiques du grain.....	80
Tableau 22 : Meilleurs hétérosis économiques et hétérosis par rapport au meilleur parent des hybrides F1 et F2 : caractères technologiques.....	81
Tableau 23 : Synthèse des résultats de l'hétérosis des hybrides F1 par rapport au meilleur parent.....	81
Tableau 24 : Synthèse des résultats de l'hétérosis économique des hybrides F1.....	82
Tableau 25 : Synthèse des résultats de l'hétérosis des hybrides F2 par rapport au meilleur parent.....	82
Tableau 26 : Synthèse des résultats de l'hétérosis économique des hybrides F2.....	83

## Liste des Figures

	<b>Page</b>
Figure 1 : Présentation de la moucheture des grains.....	6
Figure 2 : Coupe transversale d'un grain de blé dur mitadiné par rapport à un grain vitreux.....	8
Figure 3 : Photos des épis des quatre variétés parentales et des hybrides issus de leurs croisements.....	25
Figure 4 : Courbe des températures et de la pluviométrie de la campagne 2003/2004 (site station expérimentale de l'I.T.G.C. El Khroub).....	28
Figure 5 : Courbe des températures et de la pluviométrie de la campagne 2004/2005 (site station expérimentale de l' I.T.G.C. Oued Smar).....	30
Figure 6 : Dispositif expérimental de l'essai des F <sub>2</sub> (station expérimentale de l'I.T.G.C. Oued Smar).....	31
Figure 7 : Classement des moyennes des hauteurs des plantes des génotypes étudiés en F <sub>1</sub> .....	39
Figure 8 : Classement des moyennes des nombres d'épis par plante des génotypes étudiés en F <sub>1</sub> .....	42
Figure 9 : Classement des moyennes des nombres de grains par épi des génotypes étudiés en F <sub>1</sub> .....	43
Figure 10 : Classement des moyennes des rendements en grain des génotypes étudiés en F <sub>1</sub> .....	46
Figure 11 : Classement des moyennes des teneurs en protéines des génotypes étudiés en F <sub>1</sub> .....	51
Figure 12 : Classement des dates moyennes d'épiaison des génotypes étudiés en F <sub>2</sub> .....	55
Figure 13 : Classement des moyennes des hauteurs des plantes des génotypes étudiés en F <sub>2</sub> .....	56
Figure 14 : Classement des moyennes des nombres d'épis par plante des génotypes étudiés en F <sub>2</sub> .....	58
Figure 15 : Classement des moyennes des nombres de grains par épi des génotypes étudiés en F <sub>2</sub> .....	59
Figure 16 : Classement des moyennes des poids de mille grains des génotypes étudiés en F <sub>2</sub> .....	60
Figure 17 : Classement des moyennes des rendements en grains des génotypes étudiés en F <sub>2</sub> .....	61
Figure 18 : Classement des moyennes des taux de vitrosité des génotypes étudiés en F <sub>2</sub> .....	63
Figure 19 : Classement des moyennes des taux de moucheture des génotypes étudiés en F <sub>2</sub> .....	64
Figure 20 : Classement des moyennes des teneurs en protéine des génotypes étudiés en F <sub>2</sub> .....	66
Figure 21 : Classement des moyennes des indices de brun et de jaune des génotypes étudiés en F <sub>2</sub> .....	67

## Liste des Tableaux des annexes

	<b>Page</b>
Tableau 1 : Evolution des superficies récoltées, des productions et des rendements réalisés du blé dur par rapport aux autres espèces céréalières (2000-2006).....	II
Tableau 2 : Evolution des importations du blé dur et du blé tendre (2000-2004).....	II
Tableau 3 : Composition chimique du blé dur par rapport au blé tendre (pour 100 g de grains entiers).....	III
Tableau 1 : Valeurs moyennes des génotypes et résultats de l'analyse de variance des caractères étudiés.....	V
Tableau 2 : Analyse de la variance des caractères étudiés en F <sub>1</sub> .....	V
Tableau 3 : Test de Newman et Keuls : valeurs des PPAS des caractères étudiés en F <sub>1</sub> (seuil $\alpha = 5\%$ ).....	VI
Tableau 4 : Matrice de corrélation des caractères étudiés en F <sub>1</sub> .....	VI
Tableau 5 : Valeurs moyennes des hybrides F <sub>2</sub> et des variétés parentales des caractères étudiés.....	VII
Tableau 6 : Analyse de la variance des caractères étudiés en F <sub>2</sub> .....	VII
Tableau 7 : Test de Newman et Keuls : valeurs des PPAS des caractères étudiés en F <sub>2</sub> (seuil $\alpha = 5\%$ ).....	VIII
Tableau 8 : Matrice de corrélation des caractères étudiés en F <sub>2</sub> .....	IX

## Liste des Figures des annexes

	<b>Page</b>
Figure 1 : Répartition des superficies récoltées et des productions du blé dur par rapport aux autres espèces céréalières (moyenne 2000-2006).....	III

## Liste des abréviations

**ADN** : Acide Désoxyribonucléique.

**AGC** : Aptitude Générale à la Combinaison.

**ASC** : Aptitude Spécifique à la Combinaison.

**B x M** : Bidi 17 x M 1084.

**B x W** : Bidi 17 x Waha.

**C x B** : Capeiti x Bidi 17.

**C x W** : Capeiti x Waha.

**CE** : Communauté Européenne.

**CIE** : Commission Internationale de l'Eclairage.

**CV** : Coefficient de variation.

**DE** : Date à l'Epiaison.

**DSASI** : Direction des Statistiques Agricoles et des Systèmes d'Information.

**ENSA** : Ecole Nationale Supérieure Agronomique.

**F<sub>1</sub>** : Première génération.

**F<sub>2</sub>** : Deuxième génération.

**FPM** : Faible Poids Moléculaire.

**H<sup>2</sup>** : Héritabilité au sens large.

**h<sup>2</sup>** : Héritabilité au sens étroit.

**HE** : Hétérosis Economique.

**HG** : Hétérosis Global.

**HM** : Hétérosis par rapport au parent Moyen.

**HPM** : Haut Poids Moléculaire.

**HS** : Hétérosis par rapport au meilleur parent.

**Ht** : Hauteur des Plantes.

**IB** : Indice de Brun.

**ICARDA** : International Center for Agricultural Research in the Dry Areas.

**IJ** : Indice de Jaune.

**INRAA** : Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie.

**ITGC** : Institut Technique des Grandes Cultures.

**J** : Jour.

**L** : Indice de Clarté.

**M x C** : M 1084 x Capeiti.

**M x W** M1084 x Waha.

**MADR** : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural.

**MS** : Matière Sèche.

**n** : nombre de variétés parentales.

**NE** : Nombre d'Epis par Plante.

**NG** : Nombre de Grains par Epi.

**ns** : Non significatif.

**PCR** : Polymerase Chain Reaction.

**PMG** : Poids de Mille Grains.

**PPAS** : Plus Petite Amplitude Significative.

**RAPD** : Random Amplification Polymorphic DNA.

**Rdt** : Rendement en Grain.

**RFLP** : Restriction Fragment Length Polymorphism,

**RU** : Réserve Utile.

**SSD** / Single Seed Descent.

**t** : Test « t » de student.

**TM** : Taux de Moucheture.

**TP** : Teneur en protéine.

**TV** : Taux de Vitrosité.

**UPOV** : Union internationale pour la Protection des Obtentions Végétales.

# Table des matières

## Remerciements

## Liste des tableaux et des figures

## Liste des abréviations

## Table des matières

## Introduction ..... 1

## Etude bibliographique

I. Evaluation de la qualité du blé dur .....	4
1.1. Valeur semoulière .....	4
1.1.1. Facteurs extrinsèques .....	5
1.1.1.1. Teneur en eau du grain .....	5
1.1.1.2. Taux des impuretés .....	5
1.1.2. Facteurs intrinsèques .....	7
1.1.2.1. Rapport amande/enveloppes .....	7
1.1.2.2. Friabilité de l'albumen .....	8
1.1.2.3. Adhérence entre l'albumen et les enveloppes .....	9
1.1.3. Facteurs règlementaires .....	10
1.2. Coloration de la semoule .....	10
1.2.1. L'indice de jaune .....	11
1.2.2. L'indice de brun .....	11
1.3. Teneur en protéines .....	12
II. Sélection pour l'amélioration de la qualité du blé dur .....	14
2.1. Critère de sélection .....	15
2.1.1. La coloration de la semoule .....	15
2.1.2. Teneur en protéines .....	15
2.2. Méthodes de sélection .....	16
2.2.1. Sélection généalogique classique .....	17
2.2.2. Sélection par la technique « Bulk » .....	17
2.2.3. La méthode unique : S.S.D. (Single Seed Descent methode) .....	18
2.2.3. La sélection divergente et récurrente .....	18

2.3. Utilisation des marqueurs protéiques.....	18
2.4. Utilisation des marqueurs moléculaires.....	19
III. Etudes des croisements diallèles.....	21
3.1. Méthode de Griffing (1956a).....	22
3.2. Méthode de Hayman (1954a).....	23

## **Matériels et Méthodes**

I. Matériel végétal.....	25
II. Conduite de l'expérimentation.....	27
2.1. Etude des hybrides de première génération (F <sub>1</sub> ).....	27
2.1.1. Description du site expérimental.....	27
2.1.2. Conditions climatiques.....	27
2.1.3. Dispositif expérimental.....	29
2.2. Etude des hybrides de deuxième génération (F <sub>2</sub> ).....	29
2.2.1. Description du site expérimental.....	29
2.2.2. Conditions climatiques.....	29
2.2.3. Dispositif expérimental.....	31
2.3. Notations et mesures effectuées.....	31
2.3.1. Caractères phénologiques, morphologique et agronomiques.....	32
2.3.2. Caractères physiques du grain.....	32
2.3.2.1. Taux de mitadinage.....	32
2.3.2.2. Taux de moucheture.....	32
2.3.3. Caractères technologiques.....	33
2.3.3.1. Teneur en eau.....	33
2.3.3.2. Teneur en protéines.....	33
2.3.3.3. Coloration de la semoule.....	33
2.4. Analyses statistiques.....	34
2.5. Analyses diallèles.....	34
2.5.1. Analyse diallèle de Griffing (1956a).....	34
2.5.2. Héritabilité.....	35
2.5.3. Hétérosis.....	35
2.5.4. Analyse diallèle de Hayman (1954a).....	36

## Résultats et Discussion

I. Etude des hybrides de première génération (F <sub>1</sub> )	37
1.1. Etude du comportement et analyse de l'hétérosis	37
1.1.1. Caractères phénologiques et morphologiques	38
1.1.1.1. Précocité à l'épiaison	38
1.1.1.2. Hauteur des plantes	39
1.1.2. Caractères agronomiques	41
1.1.2.1. Nombre d'épis par plante	41
1.1.2.2. Nombre de grains par épis	43
1.1.2.3. Poids de mille grains	44
1.1.2.4. Rendement en grain	46
1.1.3. Caractères physiques du grain	49
1.1.3.1. Taux de vitrosité	49
1.1.3.2. Taux de moucheture	50
1.1.4. Caractères technologiques	51
1.1.4.1. Teneur en protéine	51
1.1.4.2. Les indices de brun et de jaune	52
1.2. Etude des corrélations	53
II. Etude des hybrides de deuxième génération (F <sub>2</sub> )	54
2.1. Etude du comportement et analyse de l'hétérosis	54
2.1.1. Caractères phénologiques et morphologiques	55
2.1.1.1. Précocité à l'épiaison	55
2.1.1.2. Hauteur des plantes	56
2.1.2. Caractères agronomiques	58
2.1.2.1. Nombre d'épis par plante	58
2.1.2.2. Nombre de grains par épis	58
2.1.2.3. Poids de mille grains	59
2.1.2.4. Rendement en grain	61
2.1.3. Caractères physiques du grain	63
2.1.3.1. Taux de vitrosité	63
2.1.3.2. Taux de moucheture	64
2.1.4. Caractères technologiques	65
2.1.4.1. Teneur en protéine	65

2.1.4.2. Les indices de brun et de jaune.....	66
2.2. Analyse génétique des caractères étudiés.....	69
2.2.1. Héritéité des caractères selon l'analyse de Griffing (1956a).....	69
2.2.1.1. Aptitude générale à la combinaison.....	70
2.2.1.2. Aptitude spécifique à la combinaison.....	70
2.2.1.3. Etude du rapport AGC/ASC.....	71
2.2.2. Héritéité des caractères selon l'analyse de Hayman (1954a).....	73
2.2.3. L'héritabilité.....	74
2.3. Etude des corrélations.....	76
<b>III. Synthèse des résultats.....</b>	<b>76</b>
3.1. Etude du comportement et analyse des hétérosis.....	76
3.1.1. Caractères phénologiques et morphologiques.....	76
3.1.2. Caractères agronomiques.....	77
3.1.3. Caractères physiques du grain.....	79
3.1.4. Caractères technologiques.....	80
3.2. Analyse génétique des caractères étudiés à la F <sub>2</sub> .....	83
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>84</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>86</b>
<b>Annexes</b>	
- Annexe I : Données sur l'importance des blés durs en Algérie.....	I
- Annexe II : Résultats de l'analyse statistiques.....	IV

# *Introduction générale*

## Introduction générale

Les céréales sont la première denrée alimentaire échangée dans le monde. Le blé est à la base de l'alimentation d'une bonne partie de la planète. Mais l'accroissement de la population en fait un enjeu économique d'une importance croissante. De ce fait, les échanges de blé entre les pays sont devenus un enjeu politique majeur et sont l'occasion d'importants accords internationaux signés par les gouvernements.

En Algérie, la culture des céréales, et en particulier celle des blés, est soumise à différentes contraintes tant climatiques, techniques qu'économiques et sociales, ce qui fait que leur production ne satisfait guère les besoins de consommation de la population, imposant ainsi le recours aux marchés extérieurs pour des importations massives qui représentent pas moins de 70 % de la demande en produits céréaliers (Benbelkacem et Kellou, 2000).

La situation est encore plus délicate pour le blé dur dont l'Algérie achète près de 50% de l'offre mondiale. En effet, avec des besoins de l'ordre de 3 millions de tonnes par an, les plus élevés au Maghreb, et une production d'une moyenne, au mieux, d'un million de tonnes annuellement (Tableau 1 - Annexe I), l'Algérie représente un marché important pour les pays exportateurs de blé dur et cela représente une facture d'une moyenne de 600 millions de dollars annuellement (Tableau 2-Annexe I).

Cette problématique est devenue plus cruciale ces derniers temps avec l'emballement frénétique des prix des blés sur le marché mondial à cause notamment de la concurrence créée par leur utilisation comme matières premières pour la production de biocarburants. ([http://www.unep.fr/scp/rpanel/pdf/Assessing\\_Biofuels\\_Summary\\_French.pdf](http://www.unep.fr/scp/rpanel/pdf/Assessing_Biofuels_Summary_French.pdf)).

Par ailleurs, il est important de souligner que cette situation a tendance à s'inverser durant ces deux dernières années où une augmentation significative de la production des céréales a été observée.

Grâce à la valeur nutritionnelle élevée (Tableau 3-Annexe I) et aux qualités technologiques du grain (vitrosité de l'albumen, teneur élevée en protéines et pigments caroténoïdes, ténacité du gluten après cuisson), le grain de blé dur demeure la matière première de base pour la fabrication des semoules, pain (galette), couscous et surtout des pâtes alimentaires (Abdalla *et al.*, 1993 ; Elias, 1993 ; Abaye *et al.*, 1997 ; Josephides, 2000).

Toutes ces raisons confèrent aux blés durs une importance particulière en Algérie dénotée à la fois par leur place prépondérante (près de 50%) dans la céréaliculture nationale (superficie et production) (Figure 1-Annexe I) et par l'intérêt tout aussi particulier qui leur est accordé par les nombreux travaux de recherches qui leur sont consacrés, tant pour les aspects agronomiques que pour ceux relatifs aux qualités technologiques de leurs produits finis.

Le concept de qualité des blés durs est aussi vaste que complexe (Dexter et Marchylo, 2000). En effet, la qualité technologique des blés durs est fonction de l'utilisation que l'on en fait. Elle dépend de leur valeur semoulière (rendement en semoule et teneur en matière minérales) et de leur valeur pastière (piqûres, coloration, qualité culinaire des pâtes alimentaires) (Abecassis, 1991).

La qualité du produit fini (les pâtes ou la semoule) est donc très fortement dépendante de la qualité du produit d'origine, à savoir le blé dur. De nombreuses qualités technologiques sont ainsi exigées pour les semoules de blé dur et certaines sont très fortement liées au choix variétal (Soltner, 1990).

En outre, la qualité des blés durs est fortement influencée par l'environnement et l'interaction génotype x environnement, entravant ainsi l'évaluation du progrès génétique des cultivars du point de vue qualitatif (De Vita *et al.*, 2007).

L'objectif principal des programmes de sélection consiste donc en la sélection de variétés combinant une bonne valeur agronomique à une valeur d'utilisation satisfaisante. (Brites *et al.*, 1993). Le rendement à lui seul ne suffit plus à assurer le succès commercial d'une variété.

Le présent travail s'inscrit dans cette thématique et a pour objectif :

- ✚ d'évaluer la valeur agronomique et technologique de quatre variétés de blé dur et de six hybrides de première et de deuxième génération ( $F_1$  et  $F_2$ ) ;

- ✚ d'étudier le déterminisme génétique des caractères mesurés par le biais d'analyse diallèle selon deux méthodes : la méthode de Griffing (1956a) et celle de Hayman (1954a).

La détermination des caractères faciles à mesurer, héritable et corrélés avec le rendement en grain pourrait servir de critères de sélection pour l'amélioration de la qualité technologique des variétés de blé dur.

*Etude  
bibliographique*

## Etude bibliographique

Essentiellement destiné à l'alimentation humaine, le blé dur a pour principaux débouchés la fabrication de la semoule, des pâtes alimentaires et des grains précuits. Les critères qui définissent la qualité d'usage des blés durs sont nombreux et complexes.

L'appréciation et l'évaluation de la qualité du blé dur ainsi que les différents facteurs l'influençant et la sélection pour ce paramètre sont présentés dans la première partie de l'étude bibliographique. L'étude des croisements diallèles et les méthodes appliquées pour leurs interprétations sont développées dans la seconde partie.

### I. Evaluation de la qualité du blé dur

Le terme « qualité » ou « valeur technologique » regroupe l'ensemble des caractéristiques du blé dur dont dépendent :

- ✚ d'une part, la valeur semoulière : le rendement en semoules d'une pureté déterminée ou le poids de semoules fabriquées rapporté au poids de blé dur mis en œuvre ;
- ✚ d'autre part, la valeur pastière : C'est l'aptitude des semoules à être transformées en pâtes alimentaires dont l'aspect et la qualité culinaire répondent aux désirs des consommateurs (Abecassis, 1991 ; Porceddu, 1993 ; Abecassis *et al.*, 1996 ; Topal *et al.*, 2004).

Nous limiterons notre propos à l'étude de la valeur semoulière uniquement.

#### 1.1. Valeur semoulière

La valeur semoulière ou rendement en semoule est un critère de qualité très important (Josephides, 2000). Elle est définie comme étant l'aptitude d'un blé dur à donner dans des conditions industrielles, un rendement élevé en semoule de pureté déterminée. Il s'agit essentiellement d'une aptitude quantitative (obtenir un rendement élevé) limitée toutefois par une notion de pureté de façon à tenir compte du degré de contamination par les parties périphériques du grain.

Les facteurs qui influent sur la valeur semoulière peuvent être classés en trois groupes principaux :

- ✚ Les facteurs extrinsèques qui sont liés aux conditions de culture et de récolte ;
- ✚ Les facteurs intrinsèques qui eux dépendent des caractéristiques propres du blé dur et qui définissent ainsi sa qualité technologique ;
- ✚ Enfin le troisième groupe de facteurs est essentiellement réglementaire puisqu'ils sont rattachés à la teneur en matières minérales des blés ; nous pouvons alors parler de qualité réglementaire des blés (Abecassis., 1993 ; Porceddu, 1993).

### **1.1.1. Facteurs extrinsèques**

Ces facteurs sont indépendants de la variété et sont très liés aux conditions de culture et de récolte. Leur influence sur la valeur semoulière est évidente et il en est d'ailleurs régulièrement tenu compte dans les transactions commerciales (Abecassis., 1993 ; Porceddu, 1993). Entrant dans cette catégorie les caractères suivants :

#### **1.1.1.1. Teneur en eau du grain**

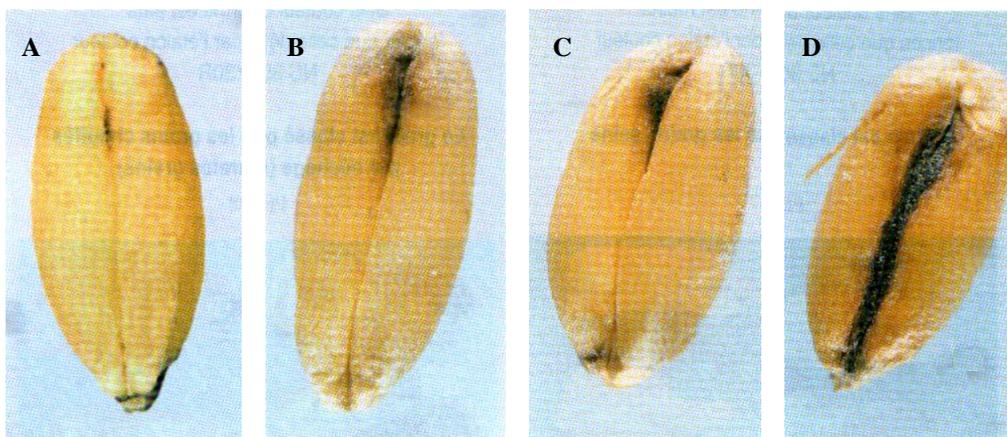
La connaissance de la teneur en eau d'un lot de blé dur est intéressante pour la détermination de la conduite des opérations de récolte, de séchage, de stockage ou de transformation industrielle et sa mesure figure dans les contrats commerciaux et les normes réglementaires (Mahaut, 1996). La teneur en eau maximale tolérée est de 14,5 % (Annexe 1 du Règlement CE N° 824/2000 du 19 avril 2000).

#### **1.1.1.2. Taux des impuretés**

L'analyse du taux des impuretés revêt un intérêt particulier dans le cas du blé dur. Le produit transformé étant relativement peu élaboré, la présence de certaines impuretés a une incidence directe sur la qualité de la semoule et des pâtes (Mahaut, 1996).

Les impuretés sont classés en cinq catégories : les grains cassés, les impuretés constituées par des grains d'autres espèces, les grains mouchetés, les grains germés et les impuretés inertes (Abecassis *et al.*, 1996). La plupart de ces impuretés diminuent le rendement semoulier et altèrent la qualité de la semoule (Mahaut, 1996).

La recherche des grains mouchetés est spécifique au blé dur. La moucheture se caractérise, sur les grains mûrs, par des plages de coloration brune ou noire en d'autres endroits que sur le germe : au niveau du sillon (Règlement CE N° 824/2000 du 19 avril 2000) (Figure 1).



**Figure 1** : Présentation de la moucheture des grains (Samson et Desclaux, 2006).

A : Grain sain ;  
B, C et D : Grains mouchetés.

La moucheture, en entraînant la présence de piqûres brunes dans les produits finis (semoule et pâtes), crée un préjudice commercial (Kaan *et al.*, 1993a ; Mahaut, 1996 ; Samson et Desclaux, 2006). En effet, la dépréciation de la valeur marchande des lots de blés durs peut être très importante avec des réfections de prix, voire des refus de lots présentant des taux de moucheture supérieurs à 5 % (Règlement CE N° 824/2000 du 19 avril 2000).

L'origine de ces tâches est encore à ce jour méconnue (Kaan *et al.*, 1993a ; Samson et Desclaux, 2006). Certains travaux avaient mis en évidence l'impact de certains champignons (*Fusarium*, *Alternaria*, ...) qui se développent surtout sur les épis versés ou attaqués par certains parasites (Thrips) (Soltner, 1990 ; Kaan *et al.*, 1993a).

Toutefois certains auteurs soulignent que cette caractéristique, est essentiellement variétale mais peut être favorisée par des conditions climatiques particulières au moment de la floraison (hygrométrie élevée notamment) (Simon *et al.*, 1989 ; Mahaut, 1996 ; Desclaux, 2000 ; Samson et Desclaux, 2006).

### **1.1.2. Facteurs intrinsèques**

Ce deuxième groupe de facteurs englobe plusieurs caractéristiques intrinsèques dépendant d'avantage de la nature du blé lui-même et qui sont toutes influencées par des propriétés variétales et agronomiques (Porceddu, 1993).

#### **1.1.2.1. Rapport amande/enveloppes**

Ce rapport pondéral entre l'amande et les enveloppes du grain est fonction de l'épaisseur des enveloppes et de la forme du grain.

Le rendement en semoule est fortement corrélé au poids du grain. En effet, la proportion d'enveloppe est d'autant plus grande que le poids du grain est petit.

Nous savons aujourd'hui que des variétés dont le poids de mille grains est inférieur à 30 grammes donnent des rendements en semoule significativement plus faibles que les autres. De même, un faible poids de mille grains consécutif à l'échaudage a toujours des conséquences désastreuses sur le rendement semoulier. Le degré d'échaudage est souvent apprécié par la mesure du poids à l'hectolitre (Abecassis *et al.*, 1996).

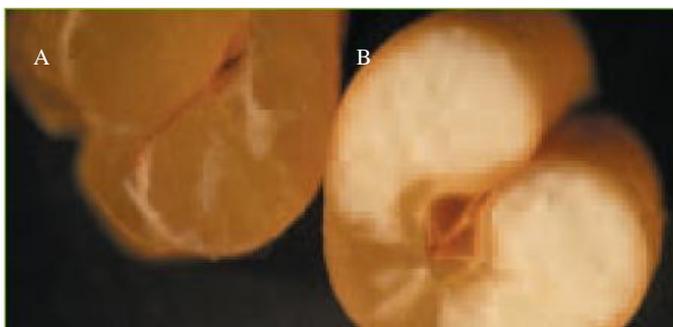
Le poids à l'hectolitre aussi appelé poids spécifique est donc un critère commercial rapide et facile à mettre en œuvre. Il est considéré comme étant un indicateur de la valeur semoulière en relation avec le rapport enveloppes sur amande. Plus le poids à l'hectolitre est élevé, plus le rapport enveloppes sur amande serait faible et le rendement semoulier important (Mahaut, 1996). Le poids spécifique peut être influencé par différents facteurs comme l'importance de l'espace inter-granulaire, le tassement des grains, la nature et la quantité des impuretés présentes dans le lot et la teneur en eau ([www.apropos-savoir.fr/B1%C3%A9](http://www.apropos-savoir.fr/B1%C3%A9))

La valeur minimale du poids spécifique pour la commercialisation du blé dur est de 78 kg/hl (Règlement CE N° 824/2000 du 19 avril 2000).

### 1.1.2.2. Friabilité de l'albumen

Une certaine estimation de la friabilité de l'amande peut être obtenue par la mesure du taux de mitadinage qui rend compte des proportions d'amande farineuse et vitreuse. Plus l'amande est vitreuse et dure, moins elle aura tendance à se réduire en farine, alors qu'un grain fortement mitadiné est très friable et aura tendance à se désagréger en produits très fins au détriment du rendement en semoules (Abecassis, 1993 ; Porceddu, 1993).

Selon le règlement communautaire de la CE n° 824/2000 du 19 avril 2000, un grain mitadiné est un "grain dont l'amande ne peut être considérée comme pleinement vitreuse". Le mitadinage est un accident physiologique fréquent qui se traduit par un changement de texture de l'albumen du grain. Les grains de blé mitadinés présentent des zones farineuses et opaques dans un ensemble vitreux alors que les grains de blé normaux apparaissent totalement vitreux et translucides (Samson *et al.*, 2005 ; Samson et Desclaux, 2006) (Figure 2).



**Figure 2** : Coupe transversale d'un grain de blé dur mitadiné par rapport à un grain vitreux (Samson et Desclaux, 2006).

A : Grain vitreux ;  
B : Grain mitadiné.

Ainsi le mitadinage diminue le rendement en semoule et provoque des points blanchâtres sur les pâtes alimentaires (Simon *et al.*, 1989 ; Soltner, 1990 ; Abdalla *et al.*, 1993 ; Porceddu, 1993 ; Abecassis *et al.*, 1996 ; Samson *et al.*, 2005). Il abaisse également leur qualité culinaire, du fait de la diminution de la teneur en protéines totales. En effet, la

teneur en protéines des grains vitreux de blé dur est plus élevée que celle des blés mitadinés (Dexter *et al.*, 1988).

Toutefois, son incidence réelle a eu tendance à s'estomper avec l'évolution de la semoulerie vers des produits de plus en plus fins (Porceddu, 1993 ; Abecassis *et al.*, 1996).

Un lot de blé dur doit présenter un taux de mitadinage inférieur à 20 % (Simon *et al.*, 1989 ; Samson et Desclaux, 2006).

Le mitadinage est dépendant à la fois de la qualité d'azote présent dans le grain et des conditions de récolte. En effet, plus la teneur en protéines d'un lot est élevée, moins le mitadinage est important. Par ailleurs des conditions climatiques humides à la récolte favorisent son apparition (Mahaut, 1996 ; Rharrabti *et al.*, 2003a).

Ainsi, un apport tardif d'engrais azotés à la floraison, permet d'améliorer la teneur en protéines et de diminuer de façon significative le mitadinage (Mahaut, 1996 ; Samson et Desclaux, 2006). De plus, un fractionnement en trois ou quatre apports est encore plus performant. Ce type de pratique culturale permet aussi une réduction des intrants (Samson et Desclaux, 2006).

### **1.1.2.3. Adhérence entre l'albumen et les enveloppes**

L'adhérence entre l'albumen et les enveloppes traduit la difficulté rencontrée par le semoulier à « épuisier » convenablement les sons. Une liaison trop forte entre l'albumen et les couches périphériques du grain a pour effet de diminuer le rendement semoulier, à qualité de semoule identique, ou d'augmenter la présence de piqûres dans les semoules à rendement semoulier égal (Porceddu, 1993 ; Abecassis *et al.*, 1996).

### **1.1.3. Facteurs règlementaires**

Le dernier facteur de la valeur semoulière est essentiellement réglementaire, il s'agit de la richesse en matières minérales (teneur en cendres). Ces matières minérales du blé sont principalement réparties dans les enveloppes et la couche à aleurone.

Leur estimation donne une indication sur le taux d'extraction en semoulerie. En effet, plus la teneur en cendre est élevée dans un lot de blé, moins de semoule sera extraite de ce lot (Porceddu, 1993).

La réglementation en vigueur associe la pureté des semoules (taux de contamination de l'albumen par des produits issus des enveloppes et de la couche à aleurone) à leur teneur en matières minérales (Abecassis *et al.*, 1996 ; Mahaut, 1996).

Mais la seule connaissance de la teneur en cendres ne permet pas de chiffrer avec précision le taux d'extraction de la semoule correspondante car tous les blés durs n'ont pas la même teneur en cendres, ni la même répartition des matières minérales à l'intérieur du grain.

Pour éviter de pénaliser injustement les blés durs davantage minéralisées que les autres, de nouveaux critères de pureté pourraient être adoptés en faisant notamment appel au dosage des constituants spécifiques des parois cellulaires (comme par exemple l'acide férulique) (Abecassis *et al.*, 1996).

## **1.2. Coloration de la semoule**

L'intérêt de mesurer la coloration de la semoule est surtout commercial. En effet, le consommateur recherche des pâtes claires de belle couleur jaune ambrée (Abecassis *et al.*, 1996 ; Berland et Roussel, 2005). Or la législation interdisant toute adjonction de colorant dans les pâtes et dans l'emballage, la couleur ne peut provenir que de la semoule et par conséquent du blé dur (Mahaut, 1996).

Ce caractère résulte d'une composante jaune (l'indice de jaune ou b), principalement variétale, qui doit être la plus élevée possible et d'une composante brune (l'indice de brun = 100 – l'indice de clarté ou de luminosité L), davantage liée aux conditions de culture, qui

doit être faible (Porceddu, 1993 ; Trentesaux, 1993 ; Abecassis *et al.*, 1996 ; Mahaut, 1996 ; Berland et Roussel, 2005).

Différentes méthodes permettent d'évaluer le potentiel couleur depuis le blé jusqu'aux pâtes.

### **1.2.1. L'indice de jaune**

L'indice de jaune est assez stable pour une variété donnée (Berland et Roussel, 2005). Il dépend de la quantité de pigments caroténoïdes présents dans les semoules (Abdalla *et al.*, 1993 ; Porceddu, 1993). Par ailleurs, le dosage de ces pigments est insuffisant pour préjuger de l'intensité du « jaune ». En effet, la lipoxygénase présente dans les semoules risque avec l'oxygène éventuellement disponible en cours de fabrication, de détruire les pigments au cours de la pastification (Porceddu, 1993).

Les conditions de pastification (empattage, pressage sous vide, conditions de séchage) peuvent donc ralentir ou accélérer ces réactions d'oxydation.

Il est possible de réduire les pertes de pigments en conduisant la mouture de manière à éviter une contamination des semoules par les germes du grain dont on connaît la teneur très élevée en lipoxygénase ainsi qu'en recherchant des conditions de fabrication qui évitent l'activité de cette enzyme (Abecassis *et al.*, 1996 ; Berland et Roussel, 2005).

### **1.2.2. L'indice de brun**

La composante brune est fonction de l'activité d'une autre catégorie d'enzymes (peroxydases). Toute action visant à diminuer l'activité de celles-ci, soit par la sélection de variétés qui n'en possèdent que de faibles quantités, soit par la mise en œuvre de technologies appropriées (bonne purification des semoules durant la mouture, application de températures élevées en début de séchage), a un effet bénéfique sur la coloration des produits finis (Porceddu, 1993 ; Abecassis *et al.*, 1996 ; Berland et Roussel, 2005).

Par ailleurs, pour une même variété, le brunissement est d'autant plus important que la teneur en protéines est élevée, un excès d'azote en culture peut donc être préjudiciable. De plus, la présence de l'albumine, protéine naturellement colorée apparaîtrait comme un facteur complémentaire (Berland et Roussel, 2005).

### **1.3. Teneur en protéines**

Le taux de protéines constitue un des premiers critères indicateurs de la qualité d'un blé dur (Autran *et al.*, 1993 ; Clarke *et al.*, 2000 ; Rharrabti *et al.*, 2003a ; De Vita *et al.*, 2007). En effet, la présence de certaines gliadines et gluténines, principales protéines de réserves du blé, a souvent été associée à la qualité technologique (D'ovidio *et al.*, 1993 ; Impiglia *et al.*, 1993 ; Shewry *et al.*, 1993 ; Raciti *et al.*, 2003 ; De Vita *et al.*, 2007).

C'est un caractère quantitatif très complexe, à déterminisme polygénique (Kaan *et al.*, 1993).

Les gluténines formés de sous-unités de Haut Poids Moléculaire (HPM pauvre en soufre) et de Faible Poids Moléculaire (FPM riche en soufre) sont susceptibles de se polymériser et de s'agréger pour participer à la formation du réseau viscoélastique du gluten lors du pétrissage de la pâte (Shewry *et al.*, 1993).

Une corrélation significative a été détectée entre des composants spécifiques de gliadine et des caractéristiques qualitatives du blé dur (propriétés viscoélastiques du gluten) (Autran *et al.*, 1993 ; Clarke *et al.*, 2000). En effet, la présence de la gliadine LMW2-  $\gamma$ -45 est souvent associée à une bonne résistance du gluten contrairement à la gliadine LMW1-  $\gamma$ -42 (D'ovidio *et al.*, 1993 ; Nachit *et al.*, 1993 ; Clarke *et al.*, 2000).

Ainsi, la teneur en protéines constitue un des éléments forts du cahier des charges de commercialisation des blés. Son incidence financière peut être importante si la teneur en protéines est trop basse. Ce critère influe fortement sur la qualité du blé dur compte tenu de ses relations étroites avec le taux de grains mitadinés et avec la qualité culinaire des pâtes alimentaires (Trentesaux, 1993).

En règle générale, plus la teneur en protéines est élevée meilleure est la qualité du blé dur. Un seuil de 14 % /MS est le plus souvent nécessaire à l'obtention d'un taux de vitrosité satisfaisant (Mahaut, 1996).

La teneur en protéine est susceptible de varier (8 à 20 % /MS) en fonction de la variété, des facteurs climatiques et agronomiques, des conditions physiologiques de développement de la plante et de la maturation du grain (Nachit *et al.*, 1993 ; Rharrabti *et al.*, 2003a ; Lerner *et al.*, 2006 ; De Vita *et al.*, 2007).

## II. Sélection pour l'amélioration de la qualité du blé dur

La sélection végétale est un atout majeur pour l'avenir de notre céréaliculture. Le niveau des rendements et leur régularité ainsi que la capacité des plantes à être autonomes restent certes des axes permanents de la recherche mais la qualité technologique des céréales est devenue aujourd'hui au cœur des programmes de sélection pour répondre aux différentes exigences des industriels (Gallais, 1990 ; Boggini et Di Fonzo, 1993 ; Baudoïn *et al.*, 2002 ; Rharrabti *et al.*, 2003).

Une grande évolution est apparue progressivement au cours des dernières années en raison de l'importance croissante des critères de qualité dans les programmes de sélection (Dexter et Marchylo, 1996). En effet, des variétés, excellentes sur le plan du rendement, sont abandonnées des programmes de sélection lorsqu'elles n'ont pas les qualités requises pour les industries de la transformation (Josephides, 2000).

Pour le blé dur, les sélectionneurs travaillent le plus souvent avec les industriels afin d'évaluer la qualité de leurs variétés. Mais ils se sont également dotés de nouveaux outils pour tester l'indice de jaune, la teneur en protéines, le taux de moucheture et d'autres indices qualitatifs. Ces tests sont toutefois coûteux et sont de ce fait mis en place essentiellement dans les étapes finales de la sélection. Le souhait des sélectionneurs est de pouvoir disposer de ces informations dès les premières années du processus de sélection afin d'optimiser l'efficacité de leurs programmes. Dans ce cadre, grâce à la spectroscopie en proche infra rouge, des tests rapides et peu coûteux permettront d'élaborer, dès les premières années du processus de sélection, des prédictions fiables pour les différentes caractéristiques impliquées dans les valeurs semoulières et pastières (<http://www.gnis-pedagogie.org/pages/paille/chap2/5.htm>).

La connaissance de l'héritabilité et la corrélation entre les différents caractères agronomiques et qualitatifs revêt un intérêt certain dans les programmes d'amélioration du blé dur afin de sélectionner des variétés qui répondent aux exigences des industriels sans cesse croissantes (Josephides, 2000 ; Rharrabti *et al.*, 2003a ; Elfadl *et al.*, 2006 ; Hanifi-Mekliche *et al.*, 2008).

## **2.1. Critères de sélection**

Les sélectionneurs de blé dur mettent l'accent sur l'amélioration simultanée du comportement agronomique, de la résistance aux maladies et des caractères qualitatifs du grain. Les caractères agronomiques comprennent le rendement en grain, la tolérance aux stress biotiques et abiotiques, la robustesse de la paille, la hauteur de la plante, etc. Quant aux caractères qualitatifs, ils englobent des caractères physiques, tels que le poids spécifique, la grosseur du grain et le pourcentage de grains durs vitreux. Ces caractères, requis à la transformation, comprennent aussi la teneur en protéines, la concentration en pigment jaune, la force du gluten, les propriétés meunières de la semoule, ainsi que la qualité culinaire et la couleur des pâtes alimentaires.

Nous développerons ici les critères de sélection visant à améliorer la qualité des blés durs.

### **2.1.1. La coloration de la semoule**

La coloration de la semoule a été et demeure un des critères de sélection les plus importants dans la plupart des programmes de sélection du blé dur. La coloration de la semoule est à déterminisme polygénique. Elle est fortement héritable du fait de l'importance des effets aditifs et est de ce fait, facile à cribler (Johnston *et al.*, 1983 ; Clarke *et al.*, 2000).

### **2.1.2. Teneur en protéines**

La teneur en protéines est corrélée négativement avec le rendement en grain (Clarke *et al.*, 2000). La sélection précoce (première génération) pour ce critère est coûteuse et difficile à réaliser du fait de la faible hérédité due à la grande influence de l'environnement sur ce caractère d'où l'intérêt de l'utilisation des marqueurs moléculaires (Nachit *et al.*, 1993 ; Clarke *et al.*, 2000).

## 2.2. Méthodes de sélection

Le sélectionneur est confronté à la difficulté de choisir la méthode de sélection la plus appropriée, car la supériorité d'une méthode de sélection ne réside pas seulement dans le gain qu'elle permet d'avoir pour un caractère donné, mais faut-il qu'elle soit rapide et peu exigeante en moyens.

Le choix d'une méthode de sélection dépend de la nature et de l'importance de l'action génique et son efficacité sera définie en termes de gain génétique par unité de temps ; or, pour un caractère donné, le gain génétique est fonction, entre autres, de la variance du caractère dans la population. De plus, le gain génétique pour un caractère peut être augmenté en utilisant l'information relative à d'autres caractères pour lesquels les corrélations génétiques avec le premier et les héritabilités sont élevées (Lefort-Buson et Dattée, 1985).

La majorité des variétés de blé dur cultivées sont des lignées pures obtenues, soit par des cycles répétés d'autofécondation, soit par haplodiploïdisation (Gallais et Bannerot 1992 ; Knox *et al.*, 2000). Le processus de création d'une nouvelle variété commence par la production d'hybrides  $F_1$  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 (Gallais, 1990).

Dans le cas des populations autogames, la génération  $F_2$  dérivée de l'autofécondation de sujets  $F_1$  affiche une grande variabilité génétique. La sélection des plantes possédant les caractères recherchés peut commencer à la  $F_2$  et se poursuivre jusqu'à ce que les plantes donnent une descendance génétiquement uniforme.

Certains sélectionneurs choisiront de ne pas sélectionner en  $F_2$ , mais plutôt en  $F_3$  ou en  $F_4$ . Habituellement, on procède à la sélection à ces stades précoces pour les caractères dont l'expression dépendra peu des conditions du milieu. La sélection pour des caractères complexes, comme le rendement grainier et la qualité du grain, commence habituellement en  $F_6$ , quand une lignée généalogique est suffisamment uniforme.

(<http://www.inspection.gc.ca/francais/plaveg/bio/dir/dir0607f.shtml>).

Mais peu importe la méthode de sélection choisie, les données sur le rendement et les caractères qualitatifs recueillies sur de petites parcelles servent à sélectionner les lignées qui seront avancées. Pour plus d'efficacité, les sélectionneurs de blé dur ont de plus en plus recours à la sélection à l'aide de marqueurs moléculaires pour les caractères " difficiles à mesurer ". (<http://www.inspection.gc.ca/francais/plaveg/bio/dir/dir0607f.shtml>).

### **2.2.1. Sélection généalogique classique**

La sélection généalogique consiste à choisir les individus d'après les caractéristiques de leur descendance. Partant d'un croisement de deux lignées il s'agit en fait, d'obtenir par autofécondation des transgressions favorables, c'est-à-dire des lignées meilleures que le meilleur parent, ou réunissant des avantages des deux parents (Gallais, 1990).

Même si la sélection généalogique assure de bons résultats pour les caractères dont l'héritabilité additive est élevée, elle reste quant même assez longue (Baudoin *et al.*, 2002). Aussi, le sélectionneur est tenté de pratiquer une sélection très rigoureuse dès le départ, même s'il perd une grande partie de la variabilité génétique. D'autre part, dans la descendance, nous ne trouvons pas toujours les plantes qui réunissent les caractères intéressant des deux lignées de départ. Dans la pratique, un grand nombre d'hybridation n'aboutiront pas (Simon *et al.*, 1989).

### **2.2.2. Sélection par la technique « Bulk »**

Après une hybridation ou une série d'hybridations, les plantes sont cultivées en mélange. A la récolte, on prélève un échantillon pour reconstituer la génération suivante. La méthode « Bulk » est également appelée sélection généalogique différée. Elle permet de conserver une grande variabilité tout en augmentant le taux d'homozygotie. Au bout de trois à quatre générations, les plantes sont soumises à une sélection généalogique (Simon *et al.*, 1989).

### **2.2.3. La méthode de filiation unipare ou S.S.D. (Single Seed Descent methode)**

Cette méthode consiste à séparer la phase d'évolution vers la consanguinité de la phase de sélection.

Toutes les plantes sont ainsi cultivées en mélange sans subir aucune pression de sélection. En pratique, l'effectif de la génération suivante est limité en ne prélevant qu'une à deux graines par plante. Une succession de générations constituée d'un nombre de plantes à peu près identiques est ainsi obtenue (Simon *et al.*, 1989).

### **2.2.4. La sélection divergente et récurrente**

C'est une méthode qui permet le mieux de sélectionner des caractères polygéniques à hérédité complexe ou de réaliser une sélection multicritère. Elle consiste à réaliser, après chaque cycle de sélection, un brassage de recombinaison génétique afin de reconstituer la variabilité génétique de départ. Le brassage est effectué grâce à une série d'intercroisements entre les lignées en disjonction sélectionnées (Boggini et Di Fonzo, 1993 ; Baudoin *et al.*, 2002 ).

## **2.3. Utilisation des marqueurs protéiques**

Les différences variétales en termes de qualité sont essentiellement dues au gluten et à ses nombreuses protéines constitutives. Les chercheurs ont pu montrer les relations entre la présence (ou l'absence) d'une protéine de réserve de l'albumen et de nombreuses caractéristiques technologiques. Les protéines de l'albumen se composent notamment des deux grandes familles à savoir les gliadines et les gluténines. Les différentes formes alléliques de ces protéines sont observables et donnent de précieuses indications sur la qualité.

Les marqueurs protéiques sont observés suite à une électrophorèse des protéines. Cette méthode vise à séparer les protéines les unes des autres en les faisant migrer sur un support neutre dans un champ électrique. L'analyse peut être réalisée à partir d'un seul grain.

Pour le blé dur, il existe un exemple de marqueurs de qualité technologique. Il s'agit de la présence du marqueur LMW2 ou LMW1, identifié au moyen d'une électrophorèse des protéines. La présence du marqueur LMW2-  $\gamma$ -45 est un gage de qualité pour l'industrie des pâtes. La présence du marqueur LMW1-  $\gamma$ -42 au contraire indique un risque ; la variété porteuse de ce marqueur risque de ne pas être adaptée au procédé de fabrication des pâtes. Un test réel, visant à fabriquer des pâtes est alors indispensable pour lever le doute (<http://www.gnis-pedagogie.org/pages/paille/chap2/5.htm>).

L'analyse des marqueurs protéiques est utilisée pour choisir les parents de croisements : il s'agit d'augmenter la probabilité de combiner dans une descendance un maximum de marqueurs de qualité. Cette même analyse permet ensuite d'observer la descendance et de détecter les génotypes les plus prometteurs (<http://www.gnis-pedagogie.org/pages/paille/chap2/5.htm>).

## 2.4. Utilisation des marqueurs moléculaires

La recherche de marqueurs moléculaires aide le sélectionneur à mieux connaître la génétique des caractères importants afin d'optimiser l'efficacité des programmes de sélection. Ces marqueurs sont en effet très précieux car ils permettent de tester rapidement les variétés et de retenir celles qui possèdent les caractéristiques recherchées.

Le marquage moléculaire est un ensemble de techniques qui permettent d'identifier des gènes en les associant au comportement particulier de certains segments d'ADN, observé lors de la manipulation directe du matériel génétique au moyen d'outils de la biologie moléculaire (Baudoin *et al.*, 2002).

Ce sont essentiellement les marqueurs RFLP (*Restriction Fragment Length Polymorphism*), RAPD (*Random Amplification Polymorphic DNA*) et les ADN microsatellites (répétition de courtes séquences d'ADN mises en évidence par PCR), qui sont les plus couramment employés. L'application de ces techniques permet d'associer aux gènes des ensembles polymorphes de bandes d'ADN issues de la migration différentielle de matériel génétique dans des champs électriques (Baudoin *et al.*, 2002).

Les entreprises de sélection développent leurs cartes de marqueurs et les utilisent dans divers programmes concernant l'amélioration du rendement ou de la résistance aux maladies. Les marqueurs moléculaires ne sont pas encore utilisés pour les critères qualitatifs. Mais les recherches en cours tentent de détecter les gènes à l'origine de variations quantitatives des protéines (Clarke *et al.*, 2000) ou encore à l'origine de fonctions enzymatiques clés comme la synthèse de l'amidon.

### III. Etude des croisements diallèles

L'étude de l'héritabilité des caractères quantitatifs chez les céréales autogames présentent des difficultés certaines. En effet, ces caractères sont à déterminisme polygénique possédant ainsi une hérédité complexe le plus souvent difficile à préciser. De plus, leur expression est souvent influencée par l'environnement.

L'analyse des croisements diallèles est un outil important permettant l'étude de l'hérédité des caractères quantitatifs. Elle est largement utilisée dans les programmes d'amélioration des plantes (Le Gouis *et al.*, 2002 ; Topal *et al.*, 2004 ; Zhanga *et al.*, 2005 ; Sharief *et al.*, 2006 ; Dagustu, 2008). En outre, l'étude des croisements diallèles fournit des informations précoces sur le comportement génétique de la descendance des premières générations (F<sub>1</sub>) (Topal *et al.*, 2004).

Plusieurs informations sont fournies par cette analyse tels que la connaissance de la structure génétique des parents et l'évaluation de leur valeur en croisement, l'identification des meilleures combinaisons hybrides (Dewey et Lu, 1959 ; Hill *et al.*, 1998 ; Budak, 2001 ; Le Gouis *et al.*, 2002 ; Li *et al.*, 2006 ; Dagustu, 2008) et l'étude de l'effet hétérosis (Budak, 2001 ; Soriano Viana et De Pina Matta, 2003 ; Sharief *et al.*, 2006).

Le croisement diallèle est défini comme étant l'ensemble des combinaisons possibles obtenues après croisement entre plusieurs génotypes (Hayman, 1954b). Il peut être complet quand il regroupe les  $n^2$  combinaisons ( $n$  étant le nombre de variétés parentales) ou incomplet. Dans ce cas, plusieurs figures peuvent être envisagées :

- ✚ Un diallèle sans les autofécondations : seules les  $n(n-1)$  combinaisons sont prises en considération ;
- ✚ Un diallèle sans les croisements réciproques : seules les  $n(n+1)/2$  combinaisons sont considérées ;
- ✚ Un diallèle sans les autofécondations et sans les croisements réciproques : seules les  $n(n-1)/2$  combinaisons sont considérées (Griffing, 1956b).

L'analyse diallèle ne se limite pas uniquement à l'étude de la première génération  $F_1$  et des parents mais peut être étendue aux générations suivantes ( $F_2$ ,  $F_3$ , ... etc.) (Hayman, 1954b). Elle s'applique à la fois aux espèces autogames et aux espèces allogames.

Christie et Shattuck (1992) ont conclu que les informations obtenues par une analyse diallèle ne peuvent être fournies par aucune autre analyse.

Il existe plusieurs méthodes d'analyse diallèle mais les méthodes de base ont été décrites par Hayman (1954a) et Griffing (1956b). Chaque analyse exige certaines conditions qui peuvent limiter son utilisation ou les interprétations de ses résultats. Néanmoins, ces deux méthodes sont les plus utilisées par les sélectionneurs et les généticiens afin d'étudier les propriétés génétiques des cultivars et des populations (Nzaramba, 2004).

### **3.1. Méthode de Griffing (1956a)**

La méthode décrite par Griffing (1956b) permet de mesurer les aptitudes générales et spécifiques à la combinaison (AGC et ASC). Elle est probablement la méthode la plus répandue grâce à son utilisation chez les différentes espèces autogames et allogames, la facilité de l'analyse et de l'interprétation et la disponibilité des programmes permettant l'utilisation des formules appropriées (Soriano Viana, 2000a).

L'AGC est la mesure de la valeur du gamète moyen d'un parent ou la moyenne des effets gamétiques d'un individu (Demarly, 1977). Elle varie en fonction de l'action additive des gènes et se transmet donc d'une génération à l'autre. L'ASC quant à elle, mesure la déviation de la performance de la  $F_1$  par rapport à la moyenne des parents.

Ces données seront très utiles au sélectionneur pour lui permettre d'établir ses plans de croisements et de choisir la méthode de sélection la mieux adaptée à son programme de sélection (Tableau 1).

Tableau 1 : Stratégies de sélection en fonction des variances d'aptitude à la combinaison  
(Demarly, 1977)

<b>Variance AGC</b>	<b>Stratégie</b>	<b>Variance ASC</b>	<b>Stratégie</b>
Faible	Peu de choix dans les formules parentales	Faible	Faire de nombreux croisements et choisir ensuite
Forte	Choix efficace dans les formules parentales	Forte	Le choix des parents avant hybridation reste prioritaire

Selon Griffing (1956a), si le rapport AGC/ASC est élevé cela signifie que les effets dus à l'additivité sont élevés, si au contraire le rapport est faible, ce sont les effets dus à la dominance et/ou à l'épistasie qui sont importants.

La nature de la population étudiée affecte considérablement l'analyse diallèle et son interprétation. En effet, selon Griffing (1956a), deux modèles d'analyse peuvent être considérés : le modèle fixe et le modèle aléatoire. Le choix entre ces deux modèles dépend de l'effectif de la population étudiée et de la représentativité des variétés utilisées dans les croisements.

Le modèle fixe est utilisé, si les variétés parentales ont été choisies avant de réaliser le croisement diallèles et si l'effectif de la population étudiée est faible (moins de dix variétés parentales). Dans le cas contraire, c'est le modèle aléatoire qui sera utilisé (effectif de la population supérieur à dix et les variétés parentales ont été prises au hasard) (Ragsdale, 2003).

### **3.2. Méthode de Hayman (1954a)**

Les méthodes d'analyse diallèles proposées par Hayman (1954b) utilisent des paramètres statistiques de premier degré (moyenne) pour estimer les variances et les covariances elles même employées pour évaluer l'additivité et la dominance des caractères étudiés et bien d'autres paramètres génétiques (Soriano Viana *et al.*, 2000).

Contrairement à la méthode décrite précédemment, la méthode de Hayman (1954a) est plus complexe à comprendre et à interpréter. Son utilisation se limite aux populations homozygotes uniquement (Soriano Viana, 2000b).

L'interprétation génétique des données des expériences d'un essai diallèle n'est validée que si certaines conditions sont vérifiées :

- ✚ Les parents doivent être homozygotes et doivent avoir des ségrégations de diploïde ;
- ✚ L'action des gènes en cause doit être indépendante (pas d'épistasie) ;
- ✚ Les gènes en cause sont distribués indépendamment chez les parents ;
- ✚ Absence de multiallélisme ;
- ✚ Les croisements réciproques doivent être identiques (Hayman, 1954b ; Sokol et Baker, 1977).

# *Matériels et Méthodes*

## Matériels et méthodes

### I. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est constitué de quatre variétés de blé dur (*Triticum durum*, Desf) et de six hybrides issus du croisement demi diallèle de ces variétés. Les hybrides de première et de deuxième générations ( $F_1$ ) et ( $F_2$ ), sont testés afin d'apprécier leurs valeurs agronomique et technologique par rapport aux variétés parentales. Les croisements ont été réalisés durant la campagne 2002/2003 par Mr Benbelkacem Kadour (I.N.R.A.A.), au niveau de la station expérimentale de l'ITGC d'El-Khroub dans le cadre d'une étude sur le comportement du blé dur à l'égard de maladies phytopathogènes

Nous présentons en figure 3, à titre indicatif, les photos des épis des quatre variétés parentales ainsi que les hybrides issus de leurs croisements demi diallèle.



**Figure 3** : Photos des épis des quatre variétés parentales et des hybrides issus de leurs croisements  
Parents : **A** : Bidi 17; **B** : Capeiti ; **C** : Waha ; **D** : M1084.  
Hybrides : **E** : Bidi 17 x M1084 ; **F** : Bidi 17 x Waha ; **G** : Capeiti x Bidi 17 ;  
**H** : Capeiti x Waha ; **I** : M1084 x Capeiti ; **J** : M1084 x Waha.

La description détaillée ainsi que les principales caractéristiques technologiques des variétés parentales est présentée dans le tableau 2 ci-après.

**Tableau 2 :** Description détaillée des variétés parentales utilisées (Boufenar-Zaghouane et Zaghouane, 2006).

Désignation du caractère	Waha	Bidi 17	Capeiti	M1084*
<b>Origine</b>	I.C.A.R.D.A. (Syrie)	Locale	Italie, sélection ITGC	Maroc
<b>Pedigree</b>	Waha'SPLC 'S/Ruff/Gta "S"/ 3/RoletteCM1 7904-3M-IY-IM-OY'	Sélection dans la population locale	Sélection dans la population Bidi 17 x Eiti	-
<b>Caractéristique qualitative</b>	PMG : Moyen Qualité semoulière : assez bonne Mitadinage : résistante Moucheture : résistante	PMG : élevé Qualité semoulière : bonne Mitadinage : assez sensible Moucheture : assez sensible	-	-
<b>Caractères phénologique et morphologique :</b>				
- Epoque d'épiaison (1 <sup>er</sup> épillet visible sur 50% des plants) ;	Précoce	Tardive	Précoce	Tardive
- Plante : hauteur (tige, épi et barbes).	Courte	Longue	Longue	Courte

\* : S'agissant d'une variété non inscrite sur la liste provisoire des espèces et variétés autorisées à la production et à la commercialisation. Une tentative de description a été réalisée selon les normes universellement admises (UPOV).

## II. Conduite de l'expérimentation

L'expérimentation est conduite en deux étapes :

- ✚ L'étude des hybrides  $F_1$  : Elle a été réalisée durant la campagne 2003/2004 au niveau de la station expérimentale d'El Khroub (Constantine) de l'Institut Technique des Grandes Cultures (I.T.G.C.) d'Algérie ;
- ✚ L'étude des hybrides  $F_2$  : Elle a été réalisée durant la campagne 2004/2005 au niveau de la station expérimentale de Oued Smar (Alger) de l'I.T.G.C.

### 2.1. Etude des hybrides de première génération ( $F_1$ )

#### 2.1.1. Description du site expérimental

L'étude a été menée au niveau de la station expérimentale d'El Khroub qui est l'une des plus importantes stations de recherche dépendant de l'Institut Technique des Grandes Cultures d'Algérie. Elle est située à 14 km au Sud-Est de Constantine à une altitude de 640 m, une latitude de 6,67 Est et à une longitude de 36,67 Nord. Les sols sont des vertisols de texture argilo-limoneuse.

La pluviométrie moyenne est de 450 mm par an. Le climat est méditerranéen, caractérisé par des grandes amplitudes thermiques. En effet, les températures varient de 5°C en moyenne en hiver à 35 °C en été.

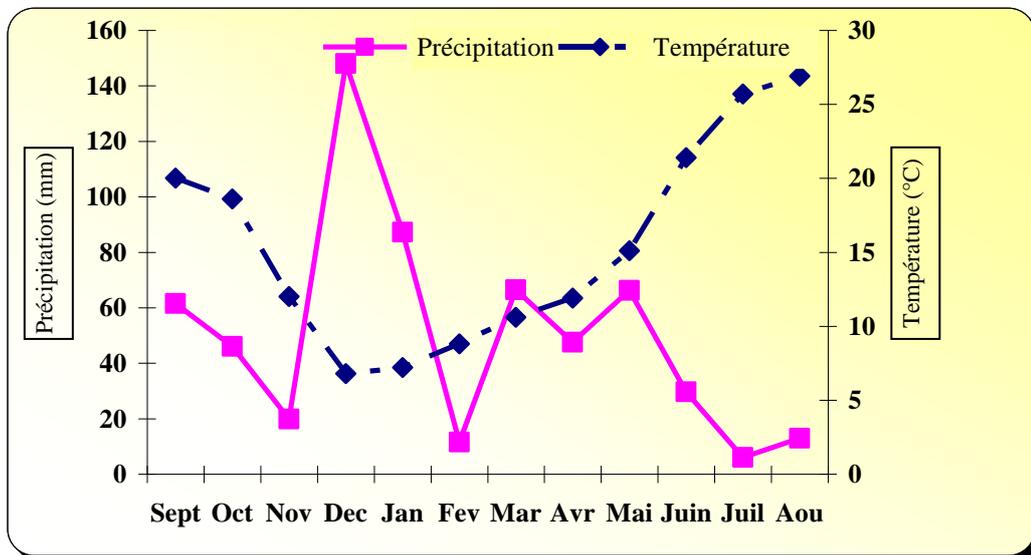
#### 2.1.2. Conditions climatiques

Les conditions climatiques qui ont prévalu lors de la campagne 2003/2004 ont été favorables. Nous constatons, en effet, que la pluviométrie cumulée de Septembre à Août a été de 602,7 mm (Tableau 3).

**Tableau 3 :** Données climatiques de la station I.T.G.C. El Khroub (campagne 2003/2004)  
(Station météorologique de l'I.T.G.C. El Khroub)

Mois	Précipitation (mm)	Température (°C)
Septembre	61,5	20
Octobre	46	18,6
Novembre	19,8	12
Décembre	148	6,8
Janvier	87,2	7,2
Février	11,5	8,8
Mars	66,4	10,6
Avril	47,5	11,9
Mai	66,2	15,1
Juin	29,7	21,4
Juillet	6	25,7
Août	12,9	26,9
<b>Total</b>	<b>602,7</b>	-

En plus des variations pluviométriques importantes, des fluctuations thermiques ont été enregistrées durant cette campagne (Figure 4).



**Figure 4 :** Courbe des températures et de la pluviométrie de la campagne 2003/2004 (site station expérimentale de l'I.T.G.C. El Khroub).

### **2.1.3. Dispositif expérimental**

L'essai a été mis en place suivant le dispositif en bloc aléatoire complet avec plusieurs répétitions. Chaque bloc comprend l'ensemble des géotypes qui étaient formée d'une ligne d'un mètre de long. Seule une répétition a pu être récoltée et de ce fait analysée.

## **2.2. Etude des hybrides de deuxième génération (F<sub>2</sub>)**

### **2.2.1. Description du site expérimental**

L'expérimentation a été menée au niveau de la station expérimentale de l'I.T.G.C. de Oued Smar. Cette station est située au niveau de la zone littorale à l'Est d'Alger au lieu dit Beaulieu. Les coordonnées géographiques de la station sont : l'altitude est de 24 m, une latitude de 36,43 Nord et une longitude de 30,84 Est.

Les sols de la station sont de type vertique à texture argilo-limoneuse (35 à 40 % d'argiles) avec une porosité qui varie entre 45 et 50 %. Le pH de ces sols varie de 6,5 à 7,2 avec une Réserve Utile (R.U.) de 40 à 100 mm selon leur profondeur.

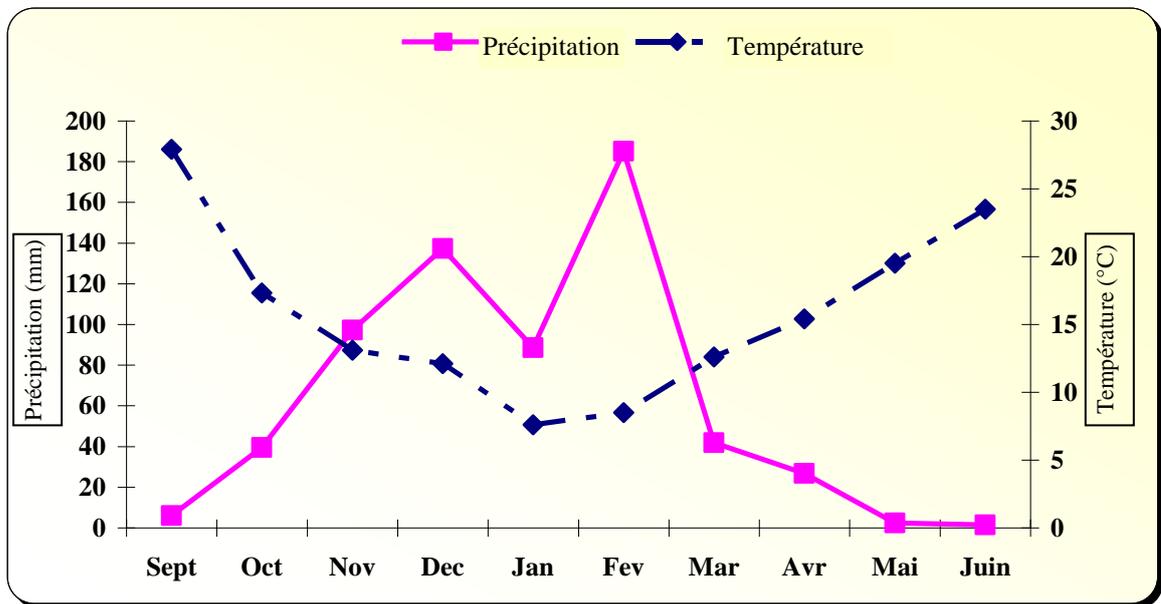
### **2.2.2. Conditions climatiques**

Les conditions climatiques qui ont prévalu lors de la campagne 2004/2005 ont été favorables pour la culture des céréales. En effet, la pluviométrie cumulée de Septembre à Juin s'élève à 625,6 mm (Tableau 4).

**Tableau 4 :** Données climatiques de la station I.T.G.C. Oued Smar (campagne 2004/2005)  
(Station météorologique de l'I.T.G.C. Oued Smar)

Mois	Précipitation (mm)	Température (°C)
Septembre	6	27,9
Octobre	39,4	17,3
Novembre	97,1	13,1
Décembre	137,3	12,1
Janvier	88,5	7,6
Février	185	8,5
Mars	41,9	12,6
Avril	26,7	15,4
Mai	2,3	19,5
Juin	1,4	23,5
<b>Total</b>	<b>625,6</b>	-

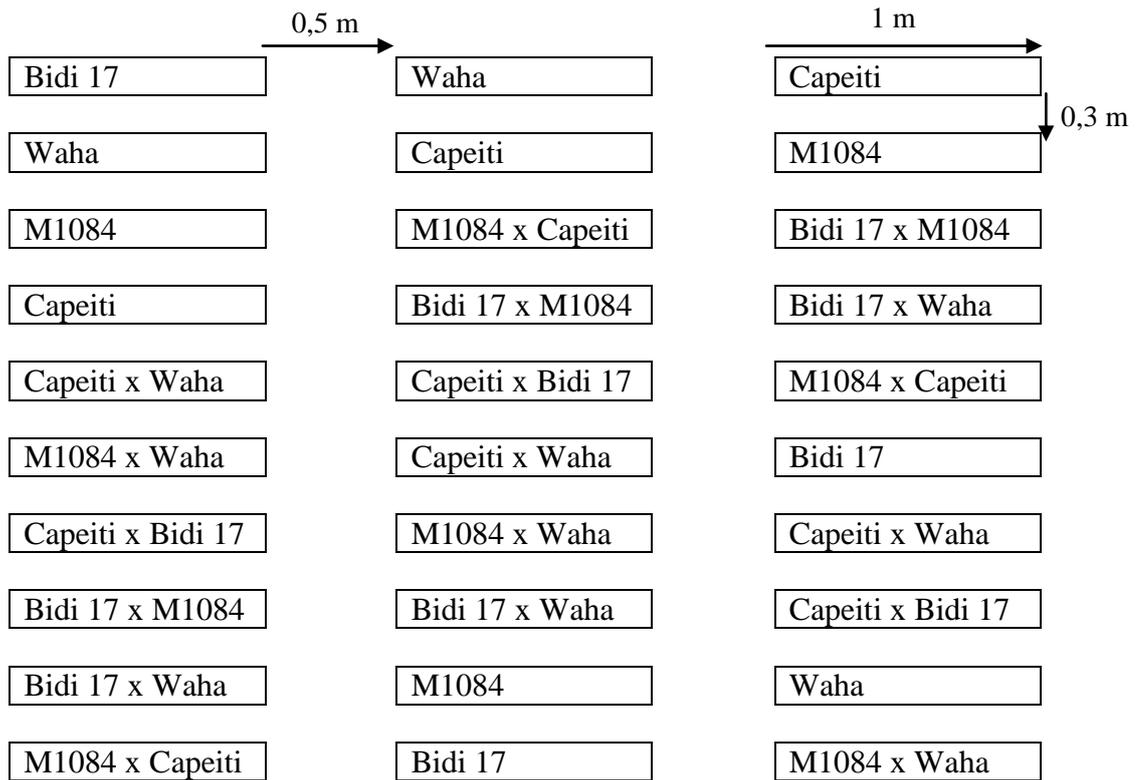
Des variations pluviométriques et thermiques ont été enregistrées durant cette campagne (Figure 5).



**Figure 5 :** Courbe des températures et de la pluviométrie de la campagne 2004/2005 (site station expérimentale de l' I.T.G.C. Oued Smar).

### 2.2.3. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental utilisé est un dispositif en bloc aléatoire complet avec trois répétitions, donc trois blocs séparés de 0,5 m. Chaque bloc comprend l'ensemble des parcelles élémentaires, chacune d'elles est formée de deux lignes d'un mètre de long espacées entre elles de 0,2 m. La distance entre les parcelles est de 0,3 m (Figure 6).



**Figure 6** : Dispositif expérimental de l'essai de la  $F_2$  (station expérimentale de l'I.T.G.C. Oued Smar).

### 2.3. Notations et mesures effectuées

Les notations effectuées durant les deux années d'étude ont porté sur les caractères phénologiques et agronomiques ainsi que les caractères physiques du grain et les caractères technologiques.

### **2.3.1. Caractères phénologiques, morphologique et agronomiques**

Les caractères mesurés sont :

- ✚ La date de réalisation du stade épiaison : qui correspond au nombre de jours du semis jusqu'à la date d'épiaison de 50 % de plantes ;
- ✚ La hauteur des plantes en cm prise du sol jusqu'à l'extrémité des barbes ;
- ✚ Le nombre d'épis par plante ;
- ✚ Le nombre de grains par épis ;
- ✚ Le poids de mille grains (norme AFNOR NF V03-702) : C'est la détermination en grammes de la masse de 1000 grains entiers. Le comptage est effectué à l'aide d'un compteur automatique (Numigral) ;
- ✚ Le rendement en grammes par plante.

### **2.3.2. Caractères physiques du grain**

Les analyses physiques ont été réalisées au laboratoire de technologie des céréales de l'I.T.G.C. siège. Ces analyses ont permis la détermination de ce qui suit :

#### **2.3.2.1. Taux de mitadinage (ISO-5532 : 1987)**

La détermination de ce taux est réalisée sur un échantillon de 300 grains, en comptant les grains mitadinés après les avoir coupés transversalement à l'aide d'un Farinotome de POHL.

#### **2.3.2.2. Taux de moucheture (Méthode BIPEA)**

Le taux de moucheture est déterminé sur un échantillon de 20 grammes de grains par appréciation visuelle d'une coloration brune – noirâtre à d'autres endroits que le germe. Les résultats sont exprimés en grammes de grains mouchetés pour cent grammes de grains normaux.

### **2.3.3. Caractères technologiques**

Les analyses technologiques visent à déterminer la teneur en eau et la teneur en protéines des graines ainsi que la coloration de la semoule.

#### **2.3.3.1. Teneur en eau (méthode appliquée aux céréales et produits céréaliers : norme AFNOR NF V03-707) :**

La teneur en eau est déterminée par séchage pendant deux heures de 5 grammes de broyat dans une étuve Chopin réglée à une température de 130 °C.

#### **2.3.3.2. Teneur en protéines (méthode appliquée aux céréales et dérivés : méthode de KJELDAHL : norme AFNOR NF V04-407)**

La teneur en protéines est déterminée selon la méthode de KJELDAHL : après minéralisation de l'échantillon (1 g) par l'acide sulfurique en présence de catalyseur, alcalinisation des produits de réaction en ajoutant la soude et distillation, l'ammoniac ainsi libéré est dosé par titrage. Le coefficient de conversion de l'azote en protéine est de 5,7.

#### **2.3.3.3. Coloration de la semoule (CIE)**

Les indices de brun et de jaune sont déterminés à l'aide d'un spectrophotomètre HUNTERLAB (géométrie 0/45, illuminant D65, angle d'observation 10°). Ces conditions sont celles retenues par la Commission Internationale de l'Eclairage (C.I.E.).

La détermination de la coloration de la semoule est effectuée sur un échantillon de 50 g de semoule, obtenue grâce à un moulin expérimental avec un taux d'extraction allant de 50 à 55 %. L'échantillon est placé dans une boîte de pétrie (épaisseur : 2,5 mm) sous la source lumineuse, dix mesures successives sont effectuées sur toute la surface de l'échantillon de manière à éviter les hétérogénéités.

## 2.4. Analyses statistiques

Le traitement statistique des données est réalisé à l'aide du logiciel STATITCF et STATISTICA 6.

## 2.5. Analyses diallèles

### 2.5.1. Analyse diallèle de Griffing (1956a)

Le model II où les variétés et les blocs sont considérés comme des variables aléatoires a été utilisé. Le diallèle a été réalisé en utilisant quatre variétés parentales ainsi que leurs descendances sans les réciproques. Cette étude correspondant à la méthode 2 de l'analyse de Griffing (parents et une série de F<sub>1</sub> sont inclus mais pas les réciproques) (Tableau 5).

**Tableau 5 :** Analyse de la variance (méthode 2 du model II).

Sources de variation	ddl	SCE	CM	Espérance des carrés moyens
AGC	p-1	Sg	Mg	$\sigma^2 + \sigma_s^2 + (p+2) \sigma_g^2$
ASC	p(p-1)/2	Ss	Ms	$\sigma^2 + \sigma_s^2$
Erreur	m	Se	M'e	$\sigma^2$

Avec : p : nombre de parents ;

$$Sg = (1/p+2) [(\sum (Xi + xii)^2 - (4/p)(X..^2)]$$

$$Ss = \sum \sum xij^2 - (1/p+2) (\sum (Xi + xii)^2 + (2/((p+1)(p+2)) (X..^2))$$

M'e = Se/m où Se : est l'erreur ou l'interaction génotype x bloc calculée lors de l'analyse de la variance du caractère étudié.

b : nombre de blocs dans l'essai.

c : nombre d'observation par micro parcelles.

$$AGC = gi = (1/p+2)(Xi+xii - (2/p)X..)$$

$$ASC = Sij = xij - (1/p+2)(Xi + xij + Xj + xjj) + (2/((p+1)(p+2))X..$$

### 2.5.2. Héritabilité

L'héritabilité au sens large ou  $H^2$  est déterminée comme suit :

$$H^2 = \sigma^2_G / \sigma^2_P = (2 \sigma^2_g + \sigma^2_s) / \sigma^2_P$$

Avec :  $\sigma^2_G$  : variance génotypique

$\sigma^2_P$  : variance phénotypique

$$\sigma^2_g = (Mg - Ms)/(p+2)$$

$$\sigma^2_s = Ms - M'e$$

$$\sigma^2_P = 2\sigma^2_g + M'e$$

Quant à l'héritabilité au sens étroit ou  $h^2$ , elle est calculée ainsi :

$$h^2 = \sigma^2_a / \sigma^2_P = 2\sigma^2_g / \sigma^2_P$$

Où :  $\sigma^2_a$  est la variance additive.

### 2.5.3. Hétérosis

Les écarts entre les hybrides  $F_1$  et  $F_2$  par rapport aux variétés parentales ont été calculés pour l'ensemble des caractères étudiés et ce, afin de déceler un éventuel effet hétérotique. Ces écarts sont estimés en utilisant les formules de Fonseca et Patterson (1968) comme décrit ci-dessous. De plus, le test « t » de Student a été utilisé afin de déterminer si ces différences sont statistiquement significatives.

C'est ainsi que l'hétérosis par rapport au parent moyen (HM) a été calculé comme suit :

$$HM = ((\overline{F_1} - \overline{P}) / \overline{P}) 100$$

Avec :  $\overline{F_1}$  : valeur de l'hybride

$\overline{P}$  : moyenne des deux parents.

Quant à l'hétérosis par rapport au meilleur parent (HS), il est calculé ainsi :

$$HS = ((\bar{F}_1 - P_s)/P_s)100$$

Avec :  $P_s$  étant le meilleur parent.

L'hétérosis par rapport à la meilleure variété ou hétérosis économique ou standard (HE) est estimé ainsi :

$$HE = ((\bar{F}_1 - P_e)/P_e)100$$

Avec :  $P_e$  étant la meilleure variété

Enfin, l'hétérosis global ou HG est déterminé comme suit :

$$HG = ((m \bar{F}_1 - \bar{P}_g)/\bar{P}_g)100$$

Avec :  $\bar{P}_g$  : moyenne de toute les variétés

$m\bar{F}_1$  : moyenne de tous les hybrides

#### **2.5.4. Analyse diallèle de Hayman (1954a)**

Le calcul des variances et des covariances permet de tracer des graphiques (des paraboles et des droites de régression) à partir desquels des interprétations génétiques (dominance, additivité, ...etc.) sont réalisés.

# *Résultats et Discussion*

## **Résultats et discussion**

L'essentiel des résultats obtenus ainsi que leur discussion contextuelle sont présentés dans cette partie.

### **I. Etude des hybrides de première génération (F<sub>1</sub>)**

#### **1.1. Etude du comportement et analyse de l'hétérosis**

L'analyse de la variance a été réalisée pour l'ensemble des génotypes et pour les caractères présentant plusieurs mesures ou répétitions à savoir la hauteur des plantes, le nombre d'épis par plante, le nombre de grains par épi, le rendement en grain et la teneur en protéine. Les résultats de cette analyse révèlent des différences très hautement significatives pour l'ensemble des caractères étudiés (Tableau 2 – Annexe II).

En ce qui concerne les coefficients de variation, leur valeur est comprise entre 3 et 6 % pour la majorité des caractères étudiés. Seul le rendement en grain et le nombre d'épis par plante présentent des valeurs supérieures à 10 % (Tableau 2 – Annexe II).

Le classement des génotypes a été réalisé en utilisant le test de Newman et Keuls, les valeurs de la PPAS sont données dans le tableau 3 de l'annexe II.

Les valeurs moyennes des variétés parentales et les hybrides F<sub>1</sub> pour l'ensemble des caractères étudiés sont présentées au niveau du tableau 1 de l'annexe II.

### 1.1.1. Caractères phénologiques et morphologiques

#### 1.1.1.1. Précocité à l'épiaison

Le génotype le plus précoce est la variété Capeiti avec 97 jours contrairement à la variété Bidi 17 qui enregistre 119 jours pour la réalisation du stade épiaison (Tableau 1 – Annexe II).

L'hétérosis moyen pour ce caractère passe de -7,83 % (Bidi 17 x Waha) à 8,54 % (M1084 x Capeiti). En effet, seuls les croisements Bidi 17 x Waha et Capeiti x Waha paraissent plus précoces que leurs parents moyens respectifs. (Tableau 6 page 40).

Quant à l'hétérosis économique et l'hétérosis par rapport au meilleur parent, ils ont été calculés en utilisant la variété la plus précoce. C'est ainsi que tous les hybrides paraissent plus tardifs que leurs meilleurs parents et la meilleure variété (toutes les valeurs sont positives) à l'exception du croisement Bidi 17 x Waha. Il est en effet le seul génotype à être plus précoce que son meilleur parent avec un écart de - 4,5 % (Tableau 6 page 40).

Presque tous les trente quatre hybrides  $F_1$  de blé tendre étudiés par Oury *et al.*, (1990) sont plus précoces que leurs parents moyens contrairement à Hassan et Saad (1996) qui enregistrent un effet hétérotique positif par rapport au parent moyen et au meilleur parent.

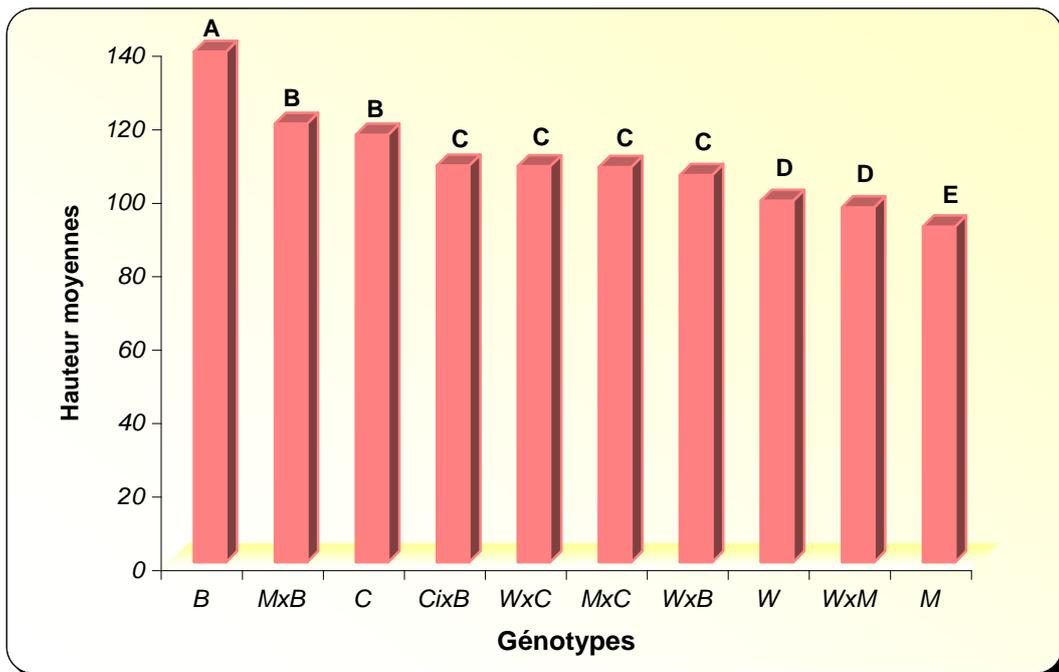
De même, Boukecha (2001) trouve une moyenne des hybrides  $F_1$  inférieure à celle des variétés parentales de blé dur avec un écart de -3 % en condition d'irrigation normale et de -4 % en condition de stress hydrique appliqué au stade épiaison.

L'hétérosis moyen des quinze hybrides  $F_1$  de blé tendre testés par Sharief *et al.*, (2006) varie de -2,36 à 0,79 % en condition d'irrigation normale et de -2,63 à 2,23 % en condition de stress hydrique. Quant à l'hétérosis par rapport au meilleur parent, il varie de 0,9 à 6,6 % en condition normale et de -1,9 à 5,7 % en condition de stress hydrique.

Quant aux auteurs Inamullah *et al.*, (2006), ils indiquent que sur les vingt huit croisements de blé tendre étudiés vingt trois présentent des hétérosis moyens négatifs dont onze significatifs. Les valeurs de cet hétérosis varient de -5,35 à 1,07 %. De plus, seulement onze hybrides sont plus précoces que leurs meilleurs parents respectifs dont quatre d'une manière significative et les écarts varient de -4,98 à 4,21 %.

### 1.1.1.2. Hauteur des plantes

La valeur la plus élevée a été enregistrée par la variété Bidi 17 (139 cm) par contre, la variété M1084 présente la plus faible hauteur avec 91,4 cm (Tableau 1 – Annexe II). De plus, le test de Newman et Keuls réalisé sur l'ensemble des génotypes permet de déceler l'existence de cinq groupes distincts (Figure 7).



**Figure 7** : Classement des moyennes des hauteurs des plantes des génotypes étudiés en F<sub>1</sub>.

En moyenne, la hauteur des parents reste légèrement plus élevée que celle de la F<sub>1</sub> (-3,44 %).

Quant à l'hétérosis moyen, il varie de -15,43 % (Capeiti x Bidi 17) à 3,65 % (Bidi 17 x M1084). De plus, les croisements Capeiti x Bidi 17 et Bidi 17 x Waha réalisent les meilleures performances en présentant des écarts négatifs par rapport à leurs parents moyens respectifs.

Concernant les hétérosis économique et par rapport au meilleur parent, ils ont été calculés par rapport à la variété présentant la plus faible hauteur. C'est ainsi que l'hybride Capeiti x Bidi 17 est le seul à être plus performant que son meilleur parent (Tableau 6).

**Tableau 6 :** Valeurs de l'hétérosis global, moyen et économique et de l'hétérosis par rapport au meilleur parent des caractères phénologiques et morphologiques.

U = %

Caractères	Type d'hétérosis	Hybrides					
		B x M	M x W	C x B	M x C	B x W	C x W
	Global	0,70					
Date à l'épiaison	Moyen	4,98	4,23	-4,63	8,54	-7,83	0
	par rapport au meilleur parent	13,73	8,82	6,19	11,34	-4,50	7,22
	Economique	19,59	14,43	6,19	11,34	9,28	7,22
	Global	-3,44					
Hauteur des plantes	Moyen	3,65	1,79	-15,43	3,56	-11,20	0,37
	par rapport au meilleur parent	32,61	9,78	-2,46	23,91	12,24	15,31
	Economique	32,61	9,78	29,35	23,91	19,57	22,83

Dans leur étude sur le blé dur, Gautam et Jain (1985) indiquent que la valeur de l'hétérosis global des vingt et un hybrides F<sub>1</sub> s'élève à 9 % pour la hauteur des plantes.

Concernant Sharief *et al.*, (2006), ils affirment que l'hétérosis moyen des quinze hybrides F<sub>1</sub> de blé tendre étudiés varie de 0,44 à 8,47 % en condition pluviale et de -2,68 à 7,39 % en condition de stress hydrique. Quant à l'hétérosis par rapport au meilleur parent, il varie de -9,2 à 8,1 % en condition pluviale et de -13,2 à 6,1 % en condition de stress hydrique.

Dans l'étude menée par Khan et Khan (1996) sur le blé tendre, les hybrides F<sub>1</sub> dépassent leurs parents moyens de plus de 5 % pour la hauteur des plantes. Pour cette même espèce, l'hétérosis moyen des croisements F<sub>1</sub> testés par Khan et Sher (1999) varie de 0,13 à 13,4 %.

Les auteurs Chowdhry *et al.*, (2005) indiquent que seize croisements de blé tendre sur les vingt étudiés ont manifesté des hétérosis moyens positifs et significatifs (de 0,11 à 9,82 %). Concernant l'écart par rapport au meilleur parent, seulement sept croisements ont présenté des hétérosis positifs et significatifs (de -7,39 à 9,73 %).

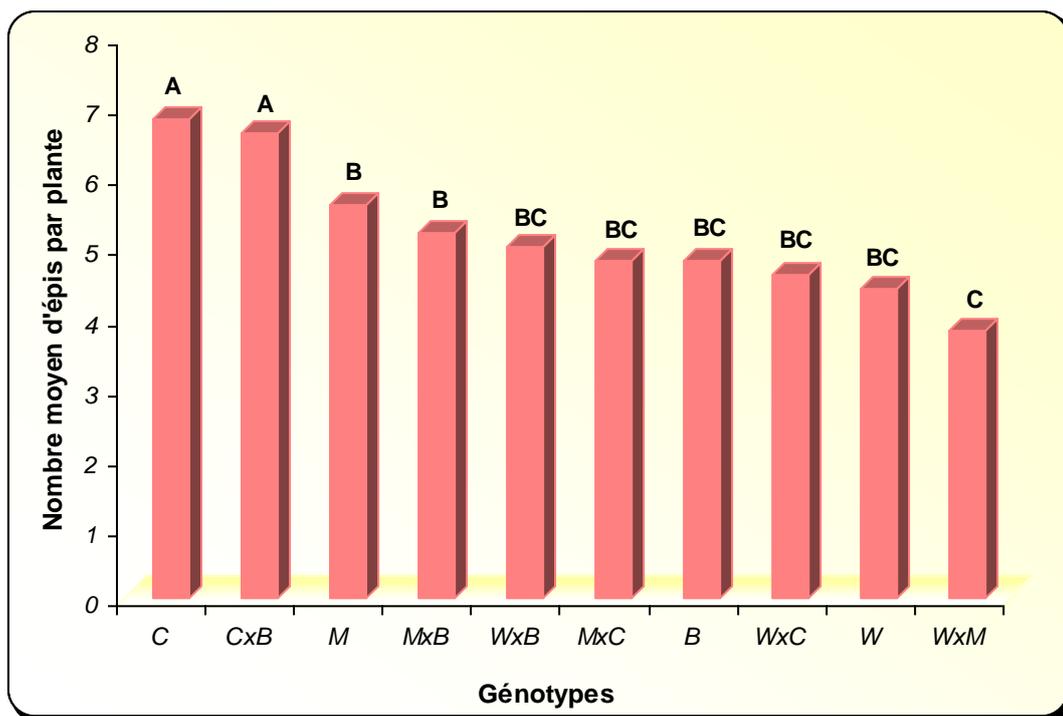
Inamullah *et al.*, (2006) dans leur étude sur l'évaluation des effets hétérotiques des hybrides F<sub>1</sub> de blé tendre, indiquent que les écarts de ces hybrides par rapport à leurs parents moyens varient de -3,29 à 11,31 %. Concernant les hétérosis par rapport aux meilleurs parents, ils passent de -2,89 à 15,14 %.

Pour les auteurs Budak et Yildirim (1996), les croisements de blé tendre présentant des hétérosis moyen et par rapport au meilleur parent négatifs sont très recherchés dans les programmes de sélection de cette espèce. De plus, Inamullah *et al.*, (2006) rapportent que les variétés assez hautes présentent le plus souvent un faible poids de mille grains.

## **1.1.2. Caractères agronomiques**

### **1.1.2.1. Nombre d'épis par plante**

Les génotypes Capeiti et Capeiti x Bidi 17 enregistrent les nombre les plus élevés d'épis par plante soit respectivement 6,8 et 6,6. Par ailleurs, le croisement Waha x M1084 réalise la plus petite valeur avec 3,8 épis par plante (Tableau 1 – Annexe II). Le classement des moyennes du nombre d'épis par plante est présenté dans la figure 8 ci-après.



**Figure 8** : Classement des moyennes des nombres d'épis par plante des génotypes étudiés en F<sub>1</sub>.

Une absence de supériorité de la F<sub>1</sub> par rapport aux variétés parentales, au meilleur parent et à la meilleure variété est observée. Toutefois, il est important de souligner que le génotype Bidi 17 x Waha semble être plus performant que son meilleur parent avec un écart de plus de 4 %.

L'hétérosis moyen pour ce caractère varie de -24 % pour le croisement M1084 x Waha à 13,79 % pour l'hybride Capeiti x Bidi 17 (Tableau 7 page 47).

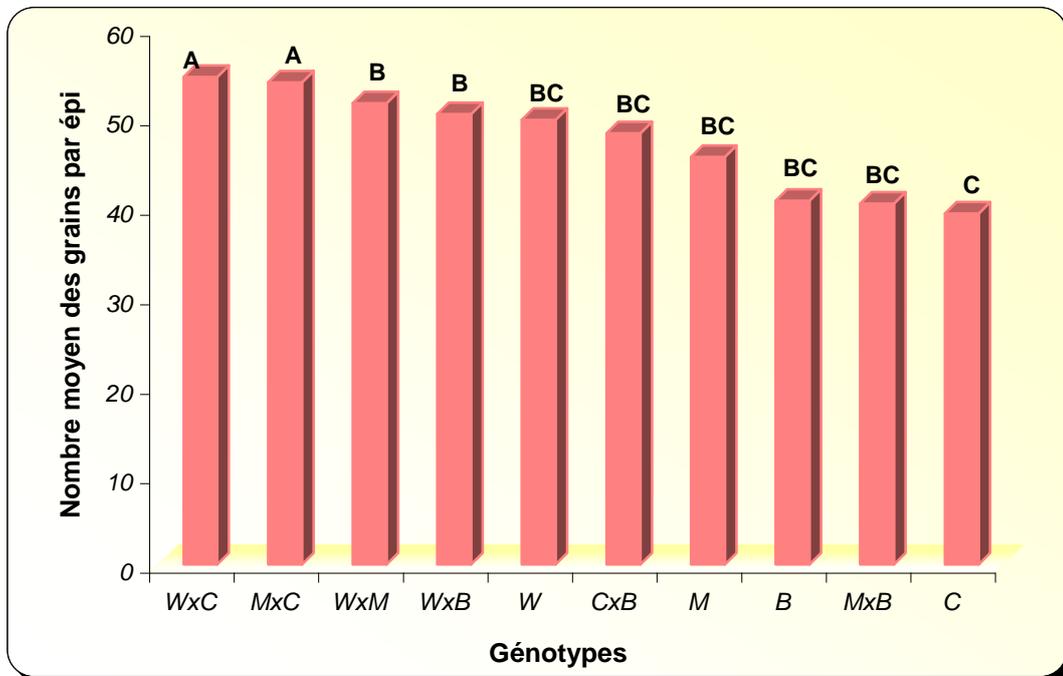
Dans l'étude menée par Boukecha (2001), la moyenne du nombre d'épis par plante des hybrides F<sub>1</sub> de blé dur était supérieure à celle des parents. L'hétérosis moyen varie de -14,9 à 16,5 % en condition hydrique normale et de -12,7 à 13 % en condition de stress hydrique appliqué au stade montaison et de -5,8 à 23 % en condition de stress hydrique à l'épiaison.

Concernant l'hétérosis économique, les valeurs les plus élevées sont : 16,4 % pour l'essai irrigué, 13 % pour l'essai stressé à la montaison et 23 % pour l'essai stressé à l'épiaison.

Pour Sharief *et al.*, (2006), L'hétérosis moyen des quinze hybrides F<sub>1</sub> de blé tendre varie de -15,2 à 7 % en condition d'irrigation normale et de -10,7 à 12,82 % en condition de stress hydrique. Quant à l'hétérosis par rapport au meilleur parent, il varie de -27,4 à -0,4 % dans l'essai irrigué et de -20,7 à 8,2 % en condition de stress hydrique.

### 1.1.2.2. Nombre de grains par épis

Pour ce caractère, les croisements Waha x Capeiti et M 1084 x Capeiti réalisent les nombres de grains par épi les plus élevés avec 54,5 et 53, 88 respectivement, contrairement à la variété Capeiti qui se classe en dernier avec une valeur de 39,22 grains par épi (Tableau 1 – Annexe II, Figure 9).



**Figure 9** : Classement des moyennes des nombres de grains par épi des génotypes étudiés en F<sub>1</sub>.

La moyenne de la F<sub>1</sub> est supérieure à celle des parents. En effet, l'hétérosis global enregistré pour ce caractère s'élève à 13,75 %. Les croisements M1084 x Capeiti, Capeiti x Waha et Capeiti x Bidi 17 dépassent leurs parents moyens respectifs de plus de 20 %.

Les valeurs de l'hétérosis par rapport au meilleur parent varient de -11,46 % pour l'hybride Bidi 17 x M1084 à 18,57 % pour le croisement Capeiti x Bidi 17. Par ailleurs, le croisement Capeiti x Waha présente le meilleur hétérosis économique avec 9,66 % (Tableau 7 page 47).

L'hétérosis global des hybrides F<sub>1</sub> de blé dur étudiés par Boukecha (2001) est positif pour les essais irrigué et stressé à la montaison (15,66 % et 0,7 % respectivement) et négatif (-28,7 %) pour l'essai stressé à l'épiaison. Pour l'hétérosis par rapport au meilleur parent, il varie de -45,23 à 56,6 % pour l'essai irrigué, de -30,34 à 16,6 % pour l'essai stressé à la montaison et de -61,5 à 9,48 % pour l'essai stressé à l'épiaison. Quant à Oury *et al.*, (1990) dans leur étude sur le blé tendre, ils trouvent un hétérosis par rapport au meilleur parent allant de 18,9 à 25,6 %.

Les valeurs des hétérosis moyen et par rapport au meilleur parent du nombre de grains par épi de l'espèce blé tendre, rapportées par Khan et Khan (1996) sont respectivement de 11,37 et 10,27 %.

L'hétérosis moyen des quinze hybrides F<sub>1</sub> de blé tendre testés par Sharief *et al.*, (2006) varie de -7,68 à 9,1 % en condition pluviale et de -10,9 à 14,25 % en condition de stress hydrique. Quant à l'hétérosis par rapport au meilleur parent, il passe de -11,8 à 4,2 % en condition pluviale et de -12,5 à 13,5 % en condition de stress hydrique.

La majorité des hybrides F<sub>1</sub> de blé tendre étudiés par Chowdhry *et al.*, (2005) ont présenté un hétérosis positif allant de -3,83 à 12,61 %. Quant à l'hétérosis par rapport au meilleur parent, seul neuf croisements ont enregistré des valeurs positives et significatives et les écarts variaient de -8,52 à 12,13 %.

Pour Inamullah *et al.*, (2006), dix sept croisements de blé tendre sur les vingt huit étudiés ont montré des effets hétérotiques positifs par rapport au parent moyen et seulement huit hybrides dépassent leurs meilleurs parents respectifs.

### 1.1.2.3. Poids de mille grains

Le poids de mille grains le plus élevé a été observé chez le croisement Waha x M1084 avec 65 g contrairement au croisement Waha x Bidi 17 qui présente le plus faible poids de mille grains avec 41 g (Tableau 1 – Annexe II).

L'hétérosis global enregistré pour ce caractère s'élève à 8,16 %. Les meilleurs hétérosis par rapport au meilleur parent ont été observés chez les croisements M1084 x Capeiti et Bidi 17 x M1084 avec plus de 18 %. Ce dernier génotype présente également le meilleur hétérosis économique avec une valeur de 18,18 % (Tableau 7 page 47).

Les hétérosis moyens passent de -19,61 % pour le croisement Capeiti x Bidi 17 à 25 % pour Bidi 17 x M1084 (Tableau 7 page 47).

L'hétérosis moyen du poids de mille grains des hybrides  $F_1$  de blé dur étudiés par Le Gouis *et al.*, (2002) est positif et significatif. Concernant Gautam et Jain (1985), l'écart enregistré entre les hybrides  $F_1$  de blé dur et leurs variétés parentales s'élève à plus de 10 %.

De même Boukecha (2001) trouve un hétérosis global positif qui est de l'ordre de 16 % pour les essais irrigué et stressé à l'épiaison et de 21 % pour l'essai stressé à la montaison. Quant à l'hétérosis moyen, il varie de -18,8 à 76,7 % pour le premier essai, de -22,5 à 111,9 % pour le second et de -34 à 67,8 % pour le troisième essai.

L'hétérosis moyen des quinze hybrides  $F_1$  de blé tendre testés par Sharief *et al.*, (2006) passe de 2 à 16,4 % en condition pluviale et de 5,3 à 15,7 % en condition de stress hydrique. Quant à l'hétérosis par rapport au meilleur parent, il varie de -5,7 à 12,7 % en condition pluviale et de 0 à 13,6 % en condition de stress hydrique.

L'hétérosis global des croisements  $F_1$  de blé tendre étudiés par Khan et Khan (1996) est de l'ordre de 17,32 %. Quant aux auteurs Khan et Sher (1999), ils indiquent que l'hétérosis moyen varie de 5,44 à 28,65 %.

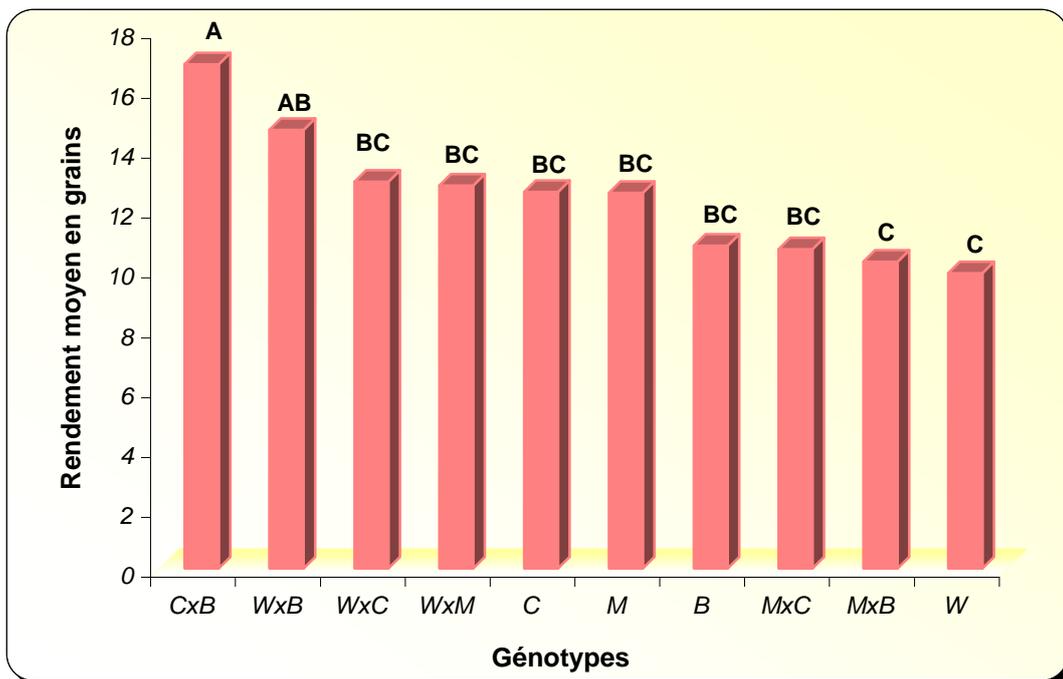
Dans l'étude menée par Chowdhry *et al.*, (2005), quinze des vingt croisements de blé tendre ont dépassé leurs parents moyens respectifs d'une manière significative pour la plupart d'entre eux. Les écarts variaient de -1,85 à 12,1 %. De plus, l'évaluation de l'hétérosis par rapport au meilleur parent a montré que douze hybrides ont enregistré des écarts positifs allant de -10,6 à 9,6 %.

Quant aux auteurs Inamullah *et al.*, (2006), ils affirment que vingt sept hybrides de blé tendre sur les vingt huit étudiés dépassent leurs parents moyens respectifs avec des écarts passant de -1,16 à 28,42 %. L'hétérosis par rapport au meilleur parent variait de -12,08 à 28 %.

#### 1.1.2.4. Rendement en grain

Concernant le rendement en grain, la valeur moyenne de l'ensemble des génotypes s'élève à 12,39 g/plante (Tableau 1 – Annexe II) mais il est à noter que la moyenne des F<sub>1</sub> (13,71 g/plante) reste supérieure à celle des parents (11,45 g/plante) avec un écart de 13,76 % (Tableau 7 page 47).

Le meilleur rendement en grain a été enregistré par le croisement Capeiti x Bidi 17 avec 16,85 g/plante contrairement à la variété Waha qui présente le plus faible rendement à savoir 9,87 g/plante (Tableau 1 – Annexe II, Figure 10).



**Figure 10** : Classement des moyennes des rendements en grain des génotypes étudiés en F<sub>1</sub>.

L'hétérosis moyen varie de -15,13 % (M1084 x Capeiti) à 44,31 % (Capeiti x Bidi 17). Quant aux hétérosis économique et par rapport au meilleur parent, les génotypes Bidi 17 x Waha et Capeiti x Bidi 17 enregistrent les valeurs les plus élevées (Tableau 7).

**Tableau 7 :** Valeurs de l'hétérosis global, moyen et économique et de l'hétérosis par rapport au meilleur parent des caractères agronomiques

U = %

Caractères	Type d'hétérosis	Hybrides					
		B x M	M x W	C x B	M x C	B x W	C x W
	Global						
	Moyen	0	-24	13,79	-22,58	8,7	-17,66
Nombre d'épis par plante	par rapport au meilleur parent	-7,14	-32,14	-2,94	-29,41	4,17	-32,35
	Economique	-23,53	-44,12	-2,94	-29,41	-26,47	-32,45
	Global						13,75
	Moyen	-6,43	8,24	20,7	27,12	11,41	22,58
Nombre de grains par épi	par rapport au meilleur parent	-11,46	3,72	18,57	18,29	1,27	9,66
	Economique	-18,85	3,72	-3,02	8,41	1,27	9,66
	Global						8,16
	Moyen	25	12,77	-19,61	20,83	4	6,52
Poids de mille grains	par rapport au meilleur parent	18,18	8,16	-25,45	18,37	-5,45	4,26
	Economique	18,18	-3,64	-25,45	5,45	-5,45	-10,91
	Global						13,76
	Moyen	-12,12	14,1	44,31	-15,13	41,82	15,06
Rendement en grain	par rapport au meilleur parent	-18,31	1,94	33,97	-15,22	35,85	2,68
	Economique	-18,51	1,70	33,97	-15,22	16,41	2,68

Pour le rendement en grain, Amaya *et al.*, (1972) affirment que les hybrides de blé dur dépassent leur meilleur parent de près de 25 % et que l'hétérosis moyen varie de 12 à 60 %. Quant à l'hétérosis par rapport au meilleur parent chez les quarante cinq hybrides F<sub>1</sub> de blé dur étudiés par Widner et Lebsack (1973), il passe de -19 à 84 %.

Pour Boukecha (2001), l'hétérosis global du rendement en grain s'élève à 8,25 % pour l'essai irrigué, 10,3 % pour l'essai stressé à l'épiaison et 37,69 % pour l'essai stressé à la montaison. Quant au meilleur hybride, il dépasse son meilleur parent de 120,75 % dans le premier essai, de 22,96 % dans le second et de 49,44 % dans le troisième essai.

L'hétérosis moyen enregistré chez les quarante cinq hybrides F<sub>1</sub> de blé dur étudiés par Elfadl *et al.*, (2006) varie de 0,1 à 84,2 %. Quant à l'hétérosis par rapport au meilleur parent, il passe de -21,1 à 75,4 %. Le Gouis *et al.*, (2002) trouvent un hétérosis moyen positif et significatif chez les vingt et un hybrides de première génération de blé dur. De même un hétérosis significatif du rendement en grain par plante a été rapporté par Patwary *et al.*, (1988). Ces valeurs variaient de 77,15 à 160,43 %.

Par ailleurs, Hanifi-Mekliche et Gallais (1999) indiquent que chez l'orge l'hybride le plus performant ne dépasse la meilleure variété incluse dans l'essai que de 3,2 %.

Chez le blé tendre, Barbosa-Neto *et al.*, (1996) enregistre des valeurs allant de -20 à 57 % pour l'hétérosis moyen et de -22 à 47 % pour l'hétérosis par rapport au parent supérieur. Chez cette même espèce, les travaux menés par Khan et Sher (1999) ont permis de déceler un hétérosis positif qui passe de 7,36 à 44,3 % chez les hybrides de première génération.

Concernant, l'hétérosis moyen des quinze hybrides F<sub>1</sub> testés par Sharief *et al.*, (2006), il varie de -13 à 31,2 % en condition pluviale et de -7,1 à 29,8 % en condition de stress hydrique. Quant à l'hétérosis par rapport au meilleur parent, il passe de -26,6 à 25,2 % dans le premier essai et de -16,6 à 23,6 % dans le second. Khan et Khan (1996) dans leur étude sur l'analyse de l'effet hétérotique du rendement en grain chez dix croisements de première génération de blé tendre, ont indiqué que les valeurs de l'hétérosis moyen et par rapport au meilleur parent les plus élevées s'élèvent à plus de 19 %.

Perenzin *et al.*, (1992) enregistrent un hétérosis par rapport au parent supérieur allant de 5 % à 10 % chez les quarante cinq hybrides  $F_1$  de blé tendre. Chez cette même espèce, l'évaluation de l'effet hétérotique réalisée par Chowdhry *et al.*, (2005) a montré que dix sept hybrides sur les vingt étudiés ont révélé des effets positifs par rapport à leurs parents moyens respectifs dont douze étaient significatifs. Les écarts enregistrés variaient de -11,93 à 44,19 %. Quant à l'écart par rapport au meilleur parent, douze hybrides ont révélé des valeurs positives dont neuf sont significatives. Ces écarts varient de -14,23 à 33,45 %.

Rasul *et al.*, (2002) dans leur étude sur l'évaluation des effets hétérotiques chez des croisements de blé tendre, ont rapporté que les valeurs de l'hétérosis moyen varient de -22,22 à 31,61 % et celles de l'hétérosis par rapport au meilleur parent, elles passent de -28,4 à 27,11 %. De plus, sur les dix hybrides étudiés, cinq présentent des écarts significatifs par rapport à leurs parents moyens et meilleurs parents respectifs.

Les auteurs Inamullah *et al.*, (2006) ont obtenu un hétérosis moyen pour le rendement en grain allant de -30,93 à 56,25 % et sur les vingt huit hybrides étudiés, dix huit ont dépassé la valeur mi-parentale.

### **1.1.3. Caractères physiques du grain**

#### **1.1.3.1. Taux de vitrosité**

Les deux variétés Waha et M1084 présentent les taux de vitrosité les plus élevés à savoir 100 % de grains vitreux. Par ailleurs, avec 10 % de grains vitreux, la variété Capeiti est classée en dernière position (Tableau 1 – Annexe II).

En moyenne, les génotypes parentaux sont légèrement supérieurs aux hybrides  $F_1$  avec un écart de 0,26 %. L'hétérosis moyen varie de -6,6 % pour le croisement Bidi 17 x M1084 à 4,21 % pour l'hybride Capeiti x Waha. En outre, aucune supériorité de la  $F_1$  par rapport au parent supérieur et à la meilleure variété n'a été observée pour ce caractère (Tableau 8 page 50).

### 1.1.3.2. Taux de moucheture

Les meilleurs taux de moucheture (0 %) ont été obtenus par les génotypes Waha, M1084, Waha x Capeiti, M1084 x Bidi 17 et Capeiti x Bidi 17. La variété Capeiti enregistre le taux de moucheture le plus élevé (13,02 %) et se classe ainsi à la dernière place (Tableau 1 – Annexe II).

Les hybrides F<sub>1</sub> présentent des taux de moucheture inférieurs à ceux des variétés parentales avec un écart de 49,39 %. Le calcul de l'hétérosis économique et de l'hétérosis par rapport au meilleur parent n'a pu être effectué du fait de la présence de valeurs nulles. (Tableau 8).

**Tableau 8 :** Valeurs de l'hétérosis global, moyen et économique et de l'hétérosis par rapport au meilleur parent des caractères physiques du grain

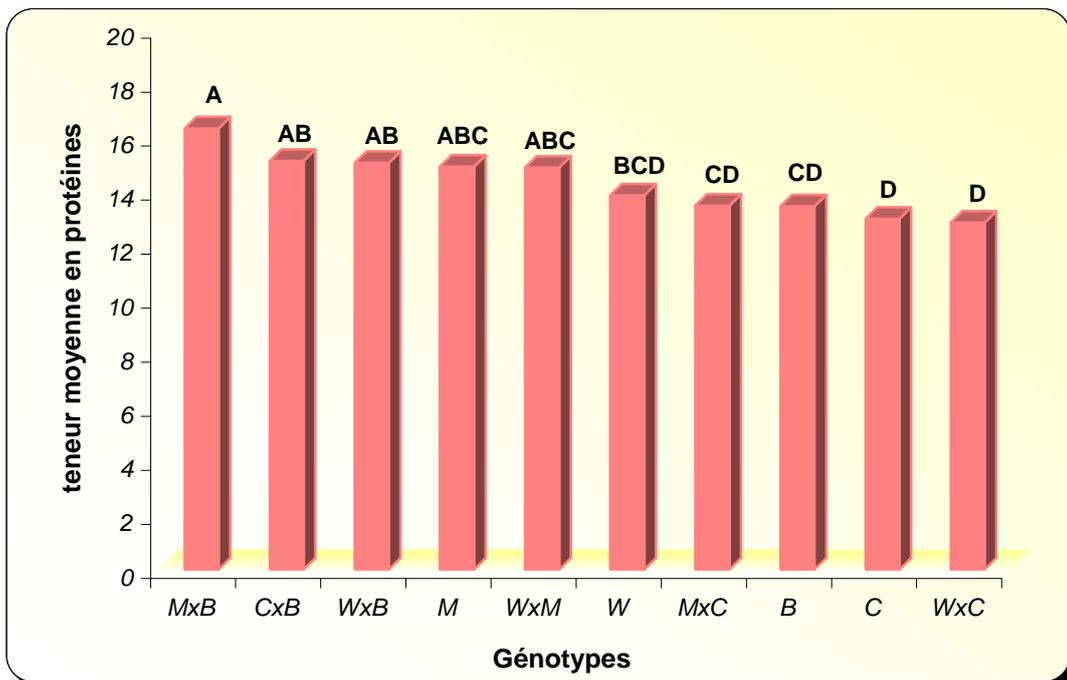
U = %

Caractères	Type d'hétérosis	Hybrides					
		B x M	M x W	C x B	M x C	B x W	C x W
Taux de vitrosité	Global	-0,26					
	Moyen	-6,60	-1	1,60	1,05	-0,51	4,21
	par rapport au meilleur parent	-8	-1	-2,06	-4	-2	-1
	Economique	-8	-1	-5	-4	-2	-1
Taux de moucheture	Global	-49,39					
	Moyen	26,41	-	-53,55	-7,53	-100	-100
	par rapport au meilleur parent	-	-	-38,92	-	-	-
	Economique	-	-	-	-	-	-

### 1.1.4. Caractères technologiques

#### 1.1.4.1. Teneur en protéine

Avec une teneur en protéines de 16,33 %, le croisement M1084 x Bidi 17 enregistre le meilleur taux. Par contre, le croisement Waha x Capeiti enregistre la plus faible teneur en protéine avec 12,84 % (Tableau 1 – Annexe II, Figure 11).



**Figure 11** : Classement des moyennes des teneurs en protéines des génotypes étudiés en F<sub>1</sub>.

Les hybrides F<sub>1</sub> ont réalisé un meilleur taux de protéine par rapport aux variétés parentales, l'hétérosis global observé pour ce caractère s'élève à 5,95 %.

L'hétérosis moyen varie de -4,29 % pour le croisement Capeiti x Waha à 15,16 % pour l'hybride Bidi 17 x M1084. Le croisement Capeiti x Bidi 17 réalise le meilleur hétérosis par rapport au meilleur parent avec une valeur de 12,49 % et avec une valeur de 9,52 %, le génotype Bidi 17 x M1084 réalise le meilleur hétérosis économique (Tableau 9 page 53).

Aucun hétérosis par rapport au parent supérieur n'a été mis en évidence chez les trente trois hybrides de blé tendre étudiés par Oury *et al.*, (1994), la valeur de la teneur en protéine des croisements F<sub>1</sub> se rapproche généralement de la valeur mi-parentale.

#### **1.1.4.2. Les indices de brun et de jaune**

La variété M1084 présente les meilleures caractéristiques relatives à la coloration de la semoule à savoir un faible indice de brun (8,74) et un taux élevé en pigments jaune (23,42). La variété Bidi 17, quant à elle, enregistre un indice de brun assez élevé (10,37) et un faible indice de jaune (19,91) et se classe de ce fait en dernière position (Tableau 1 – Annexe II).

Pour ces deux caractéristiques, les hybrides F<sub>1</sub> ont réalisé des valeurs inférieures par rapport aux variétés parentales avec des écarts de 0,73 % et de 0,83 % pour les indices de brun et de jaune respectivement.

En ce qui concerne l'hétérosis moyen, il varie de -4,94 % (Bidi 17 x Waha) à 1,24 % (Capeiti x Bidi 17) pour l'indice de brun et de -4,73 % (Bidi 17 x M1084) à 9,90 % (Capeiti x Bidi 17) pour l'indice de jaune.

Pour le caractère indice de brun, le croisement Bidi 17 x Waha réalise les meilleurs hétérosis par rapport au meilleur parent et économique avec une valeur de -2,53 %. Concernant l'indice de jaune, les meilleures performances pour ces deux types d'hétérosis ont été observées chez l'hybride Capeiti x Bidi 17 (Tableau 9).

**Tableau 9 :** Valeurs de l'hétérosis global, moyen et économique et de l'hétérosis par rapport au meilleur parent des caractères technologiques

U = %

Caractères	Type d'hétérosis	Hybrides					
		B x M	M x W	C x B	M x C	B x W	C x W
Teneur en protéines	Global	5,95					
	Moyen	15,16	3,48	14,49	-3,41	10,33	-4,29
	par rapport au meilleur parent	9,52	-0,20	12,49	-9,66	8,74	-7,29
	Economique	9,52	-0,20	1,48	-9,66	1,01	-13,88
Indice de brun	Global	-0,73					
	Moyen	-0,89	0,05	1,24	0,39	-4,94	0,11
	par rapport au meilleur parent	8,35	6,52	8,62	2,17	-2,53	4,64
	Economique	8,35	6,52	8,62	2,17	-2,53	4,64
Indice de jaune	Global	-0,83					
	Moyen	-4,73	-3,82	9,90	-1,54	0,16	-4,42
	par rapport au meilleur parent	-11,87	-4,31	1,62	-1,58	-6,90	-4,95
	Economique	-11,95	-4,39	1,62	-1,58	-7,94	-4,95

## 1.2. Etude des corrélations

La matrice de corrélation des caractères étudiés en F<sub>1</sub> est présentée dans le tableau 4 de l'annexe II, cependant aucune corrélation significative n'a été observée.

## **II. Etude des hybrides de deuxième génération (F<sub>2</sub>)**

### **2.1. Etude du comportement et analyse de l'hétérosis**

L'analyse de la variance a été réalisée pour l'ensemble des génotypes (hybrides F<sub>2</sub> et parents) et pour l'ensemble des caractères étudiés (Tableau 6-Annexe II).

Les résultats de cette analyse révèlent des différences hautement à très hautement significatives ( $P \leq 0,01$  à  $P \leq 0,001$ ) pour l'ensemble des caractères étudiés à l'exception du nombre d'épis par plante et de la teneur en protéine où la différence est significative ( $P \leq 0,05$ ).

En ce qui concerne les coefficients de variation, leur valeur est comprise entre 1 et 16 % pour la majorité des caractères. Seul le taux de moucheture présente un coefficient de variation qui s'élève à 120,4 % (Tableau 6-Annexe II).

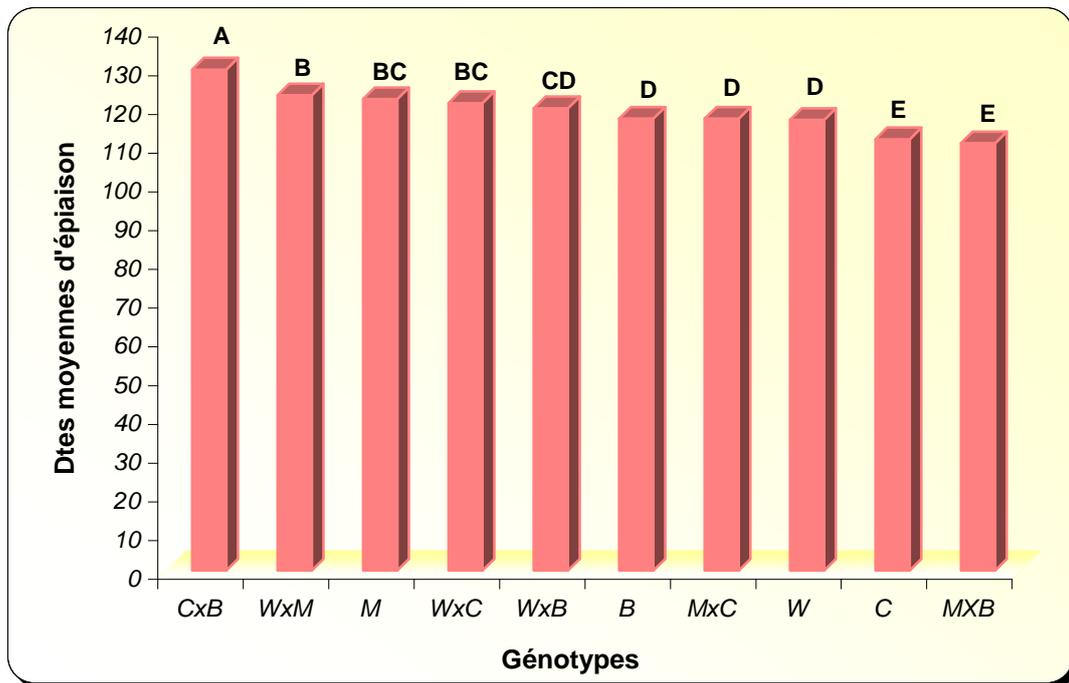
Le test de Newman et Keuls a été réalisé pour l'ensemble des caractères étudiés et les valeurs de la PPAS sont données au niveau du tableau 7 de l'annexe II.

Les valeurs moyennes des hybrides F<sub>2</sub> et des variétés parentales sont présentées au niveau du tableau 5 de l'annexe II.

## 2.1.1. Caractères phénologiques et morphologiques

### 2.1.1.1. Précocité à l'épiaison

Avec des valeurs moyennes de 110,33 et 111,33 j enregistrées durant la campagne 2004-2005, M 1084 x Bidi 17 et Capeiti s'avère être les géotypes les plus précoces. Par ailleurs, le croisement Capeiti x Bidi 17 présente le nombre de jours le plus élevé nécessaire pour la réalisation du stade épiaison (129,33 j) (Tableau 5-Annexe II, Figure 12).



**Figure 12** : Classement des dates moyennes d'épiaison des géotypes étudiés en F<sub>2</sub>.

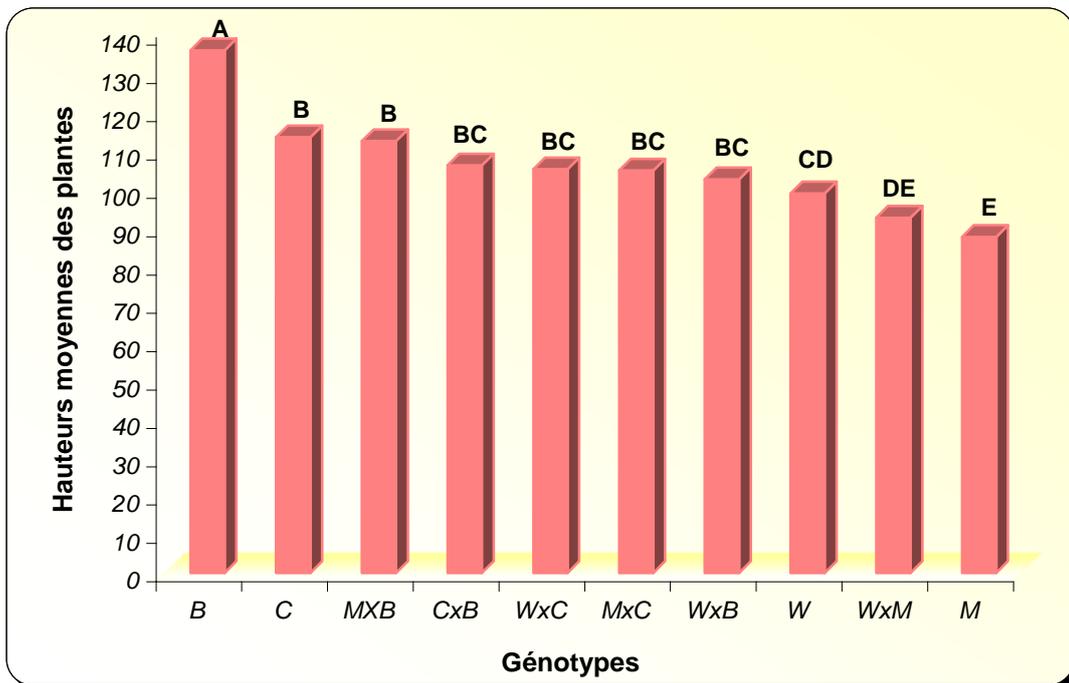
En moyenne, les hybrides F<sub>2</sub> paraissent plus tardifs que les variétés parentales. En effet, l'écart enregistré s'élève à 2,86 % (Tableau 10 page 57).

Le calcul des hétérosis moyen, économique et l'hétérosis par rapport au meilleur parent révèle encore une fois l'absence de supériorité des hybrides F<sub>2</sub> par rapport aux parents excepté le croisement Bidi 17 x M 1084. En effet, ses hétérosis moyen et par rapport au meilleur parent sont négatifs et significatifs. Ils s'élèvent respectivement à -7,41 et -5,43 % (Tableau 10 page 57).

La valeur de l'hétérosis moyen des vingt huit croisements de blé dur de deuxième génération testés par Budak (2001) varie de 4,9 à -11,8 %.

### 2.1.1.2. Hauteur des plantes

La hauteur des plantes la plus élevée a été réalisée par la variété Bidi 17 avec une valeur moyenne de 136,33 cm contrairement à la variété M 1084 qui présente la plus petite hauteur à savoir 87,67 cm (Tableau 5-Annexe II, Figure 13).



**Figure 13** : Classement des moyennes des hauteurs des plantes des génotypes étudiés en F<sub>2</sub>.

L'hétérosis global enregistré pour ce caractère est de l'ordre de -4,63 %. Quant à l'hétérosis moyen, il varie de -14,93 % pour le croisement Capeiti x Bidi 17 à 4,3 % pour le croisement M 1084 x Capeiti (Tableau 10 page 57).

Il est important de souligner que les croisements Capeiti x Bidi 17 et Bidi 17 x Waha présentent encore une fois des écarts négatifs et hautement significatifs par rapport à leurs parents moyens respectifs.

Concernant les hauteurs des hybrides M 1084 x Waha, Bidi 17 x Waha et Capeiti x Waha, elles sont certes inférieures à celles de leurs parents moyens respectifs mais d'une manière non significative.

Capeiti x Bidi 17 est le seul génotype à être encore une fois plus performant que son meilleur parent avec un écart de 6,45 %. Cette différence reste tout de même non significative. En outre, il est à noter l'absence de supériorité des hybrides F<sub>2</sub> par rapport à la meilleure variété (Tableau 10).

Budak (2001) trouve des valeurs de l'hétérosis moyen des hybrides F<sub>2</sub> allant de -7,9 % à 44 % car les variétés parentales utilisées dans son étude sont connues pour leurs hauteurs élevées (une moyenne de 122 cm). Ce caractère n'a aucune corrélation significative avec le rendement en grain (Budak 1999).

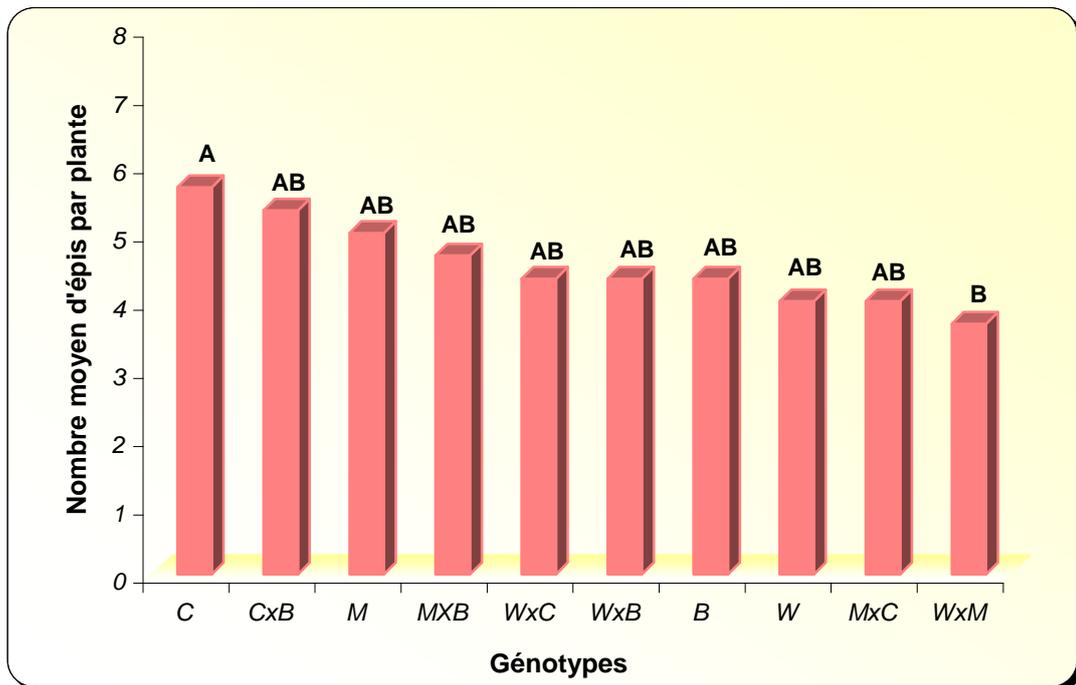
**Tableau 10 :** Valeurs de l'hétérosis global, moyen et économique et de l'hétérosis par rapport au meilleur parent des caractères phénologique et morphologique

Caractères	Type d'hétérosis	Hybrides					
		B x M	M x W	C x B	M x C	B x W	C x W
Date à l'épiaison	Global	2,86					
	Moyen	-7,41 <sup>***</sup>	3,08 <sup>***</sup>	13,45 <sup>***</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	2,43 <sup>**</sup>	6 <sup>***</sup>
	par rapport au meilleur parent	-5,43 <sup>***</sup>	5,45 <sup>***</sup>	16,17 <sup>***</sup>	4,79 <sup>***</sup>	2,58 <sup>**</sup>	8,39 <sup>***</sup>
	Economique	-0,9 <sup>ns</sup>	10,18 <sup>***</sup>	16,17 <sup>***</sup>	4,79 <sup>***</sup>	7,19 <sup>***</sup>	8,39 <sup>***</sup>
Hauteur des plantes	Global	-4,63					
	Moyen	0,6 <sup>ns</sup>	-0,71 <sup>ns</sup>	-14,93 <sup>**</sup>	4,3 <sup>ns</sup>	-12,75 <sup>**</sup>	-0,94 <sup>ns</sup>
	par rapport au meilleur parent	28,51 <sup>***</sup>	5,7 <sup>ns</sup>	-6,45 <sup>ns</sup>	19,77 <sup>***</sup>	3,7 <sup>ns</sup>	6,4 <sup>ns</sup>
	Economique	28,51 <sup>***</sup>	5,7 <sup>ns</sup>	21,29 <sup>**</sup>	19,77 <sup>***</sup>	17,11 <sup>***</sup>	20,15 <sup>**</sup>

## 2.1.2. Caractères agronomiques

### 2.1.2.1. Nombre d'épis par plante

Avec des valeurs moyennes de 5,67 et 5,33 les géotypes Capeiti et Capeiti x Bidi 17 enregistrent les nombres d'épis par plante les plus élevés et se classent de ce fait en première position. Par ailleurs, le plus faible nombre d'épis par plante a été réalisé par le croisement Waha x M 1084 (3,67 épis) (Tableau 5-Annexe II, Figure 14).

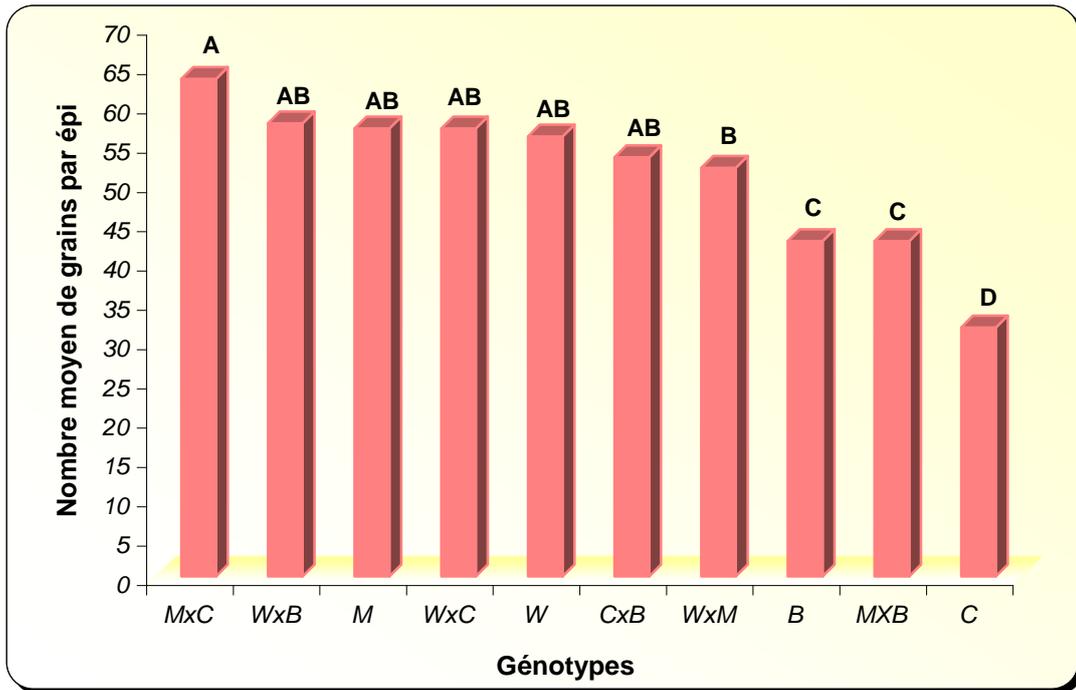


**Figure 14** : Classement des moyennes des nombres d'épis par plante des géotypes étudiés en F<sub>2</sub>.

Les valeurs moyennes de la F<sub>2</sub> sont inférieures à celles des variétés parentales avec un écart de -7,6 %. Seuls les croisements Bidi 17 x Waha et Capeiti x Bidi 17 présentent des valeurs supérieures à leurs parents moyens respectifs (4 % et 6,67 % respectivement). Ces hétérosis restent toutefois non significatifs (Tableau 11 page 62).

### 2.1.2.2. Nombre de grains par épis

Les valeurs moyennes du nombre de grains par épis varient de 31,67 pour la variété Capeiti à 63,33 pour le croisement M1084 x Capeiti (Tableau 5-Annexe II, Figure 15).



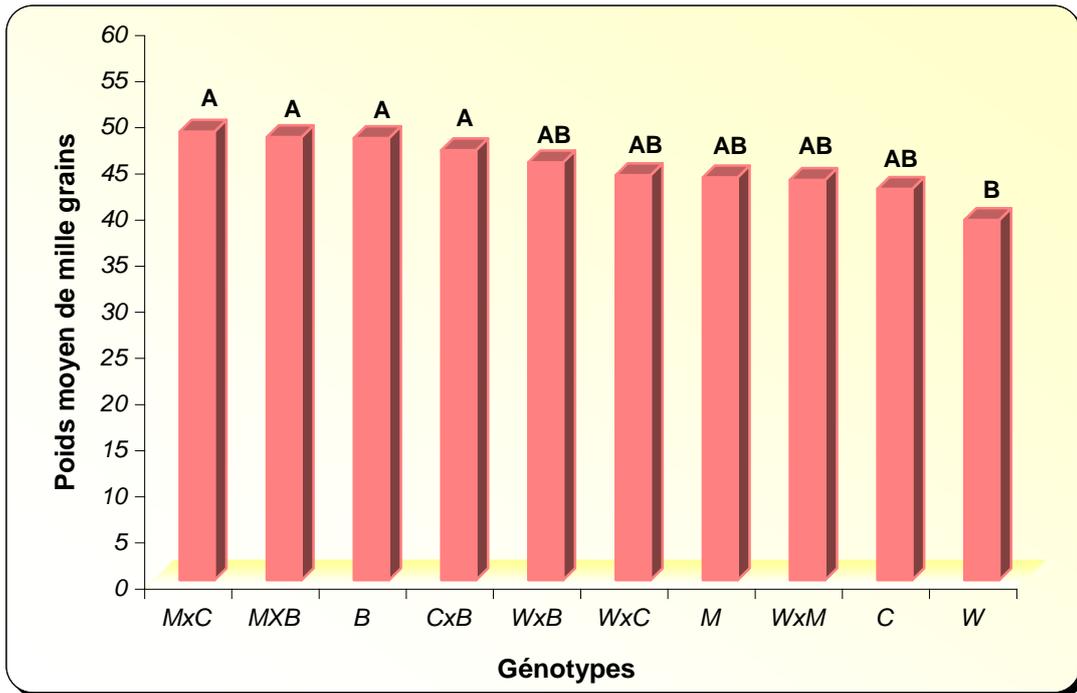
**Figure 15** : Classement des moyennes des nombres de grains par épi des génotypes étudiés en F<sub>2</sub>.

En moyenne, une importante augmentation du nombre de grains par épis a été observée chez les hybrides F<sub>2</sub> par rapport aux variétés parentales avec un écart de 16,01 % (Tableau 11 page 62).

Le calcul des différents types d'hétérosis permet de confirmer la supériorité de la F<sub>2</sub> par rapport aux variétés parentales et ce, pour l'ensemble des génotypes à l'exception des croisements Bidi 17 x M 1084 et M 1084 x Waha. Toutefois, il est important de souligner que cette différence est non significative (Tableau 11 page 62).

### 2.1.2.3. Poids de mille grains

Le meilleur poids de mille grains a été enregistré par les génotypes M 1084 x Capeiti, M 1084 x Bidi 17, Bidi 17 et Capeiti x Bidi 17 avec des valeurs respectives de 48,6, 48, 47,9 et 46,58 g. Par contre, la variété Waha réalise le plus faible poids de mille grains à savoir 39,03 g (Tableau 5-Annexe II, Figure 16).



**Figure 16** : Classement des moyennes des poids de mille grains des génotypes étudiés en F<sub>2</sub>.

Pour ce caractère, un écart de 6,26 % a été observé entre les hybrides F<sub>2</sub> et les variétés parentales (Tableau 11 page 62).

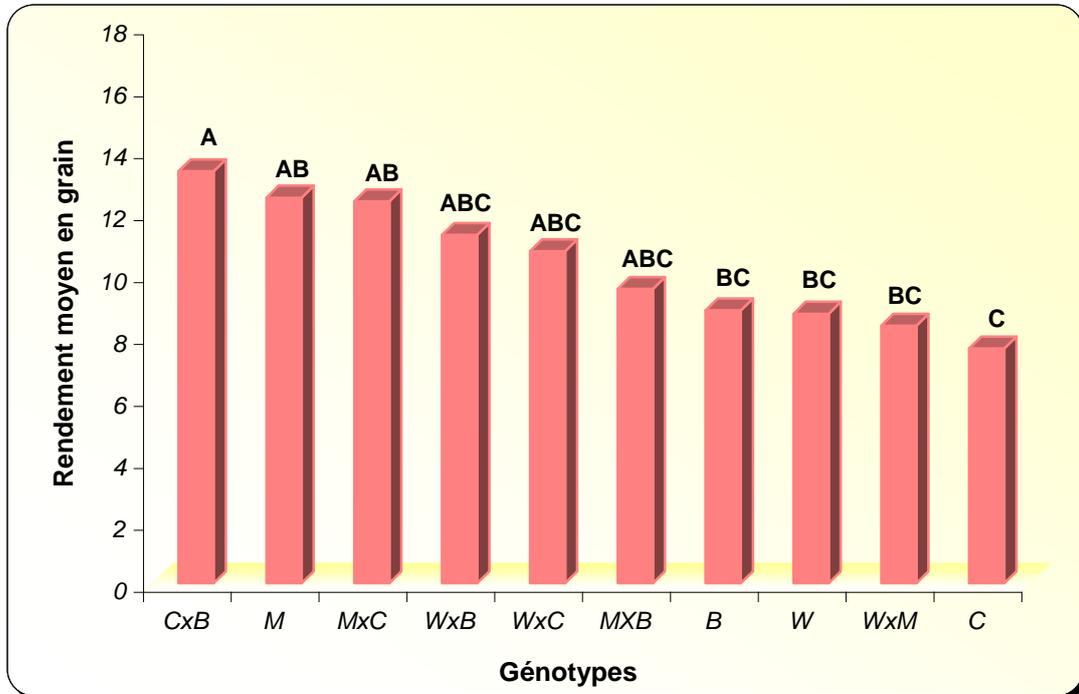
Tous les hybrides de deuxième génération dépassent leurs parents moyens respectifs. En effet, l'hétérosis moyen varie de 3,16 % pour le croisement Capeiti x Bidi 17 à 12,98 % pour le croisement M 1084 x Capeiti. De plus, seuls les hybrides M 1084 x Capeiti et Capeiti x Waha présentent des écarts significatifs. Dans l'étude menée par Budak (2001), l'hétérosis moyen des hybrides F<sub>2</sub> variait de -17,4 à 33,3 %.

En outre, seuls les croisements Capeiti x Waha, M 1084 x Capeiti et Bidi 17 x M 1084 dépassent leurs meilleurs parents respectifs avec des écarts non significatifs excepté pour le croisement M 1084 x Capeiti.

Quant à l'hétérosis économique, des écarts positifs mais non significatifs ont été enregistrés chez les hybrides M 1084 x Capeiti et Bidi 17 x M 1084 (Tableau 11 page 62).

#### 2.1.2.4. Rendement en grain

Le rendement moyen en grain varie de 7,58 g/plante pour la variété Capeiti à 13,3 g/plante pour l'hybride Capeiti x Bidi 17 (Tableau 5-Annexe II, Figure 17).



**Figure 17** : Classement des moyennes des rendements en grains des génotypes étudiés en F<sub>2</sub>.

L'écart entre les hybrides F<sub>2</sub> et les variétés parentales s'élève à 16,18 %. Quant à l'hétérosis moyen, il varie de -21,41 % pour l'hybride M 1084 x Waha à 62,33 % pour le croisement Capeiti x Bidi 17. Ce dernier présente les valeurs de l'hétérosis économique et de l'hétérosis par rapport au meilleur parent les plus élevées avec respectivement 6,84 % et 50,98 %.(Tableau 11 page 62).

Des différences significatives ont été enregistrées chez les croisements Capeiti x Bidi 17, Bidi 17 x Waha et Capeiti x Waha par rapport à leurs parents moyens et meilleurs parents.

L'hétérosis par rapport au meilleur parent du rendement en grain des quarante cinq hybrides F<sub>2</sub> de blé dur étudiés par Widner et Lebsack (1973) variait de -23 à 26 %. Quant à Budak (2001), il enregistre des valeurs de l'hétérosis moyen assez élevées, elles passaient de -32,8 à 86,9 %. De

plus, Budak (1999) indique l'existence d'une corrélation significative entre le rendement en grain et le poids de mille grains.

**Tableau 11** : Valeurs de l'hétérosis global, moyen et économique et de l'hétérosis par rapport au meilleur parent des caractères agronomiques

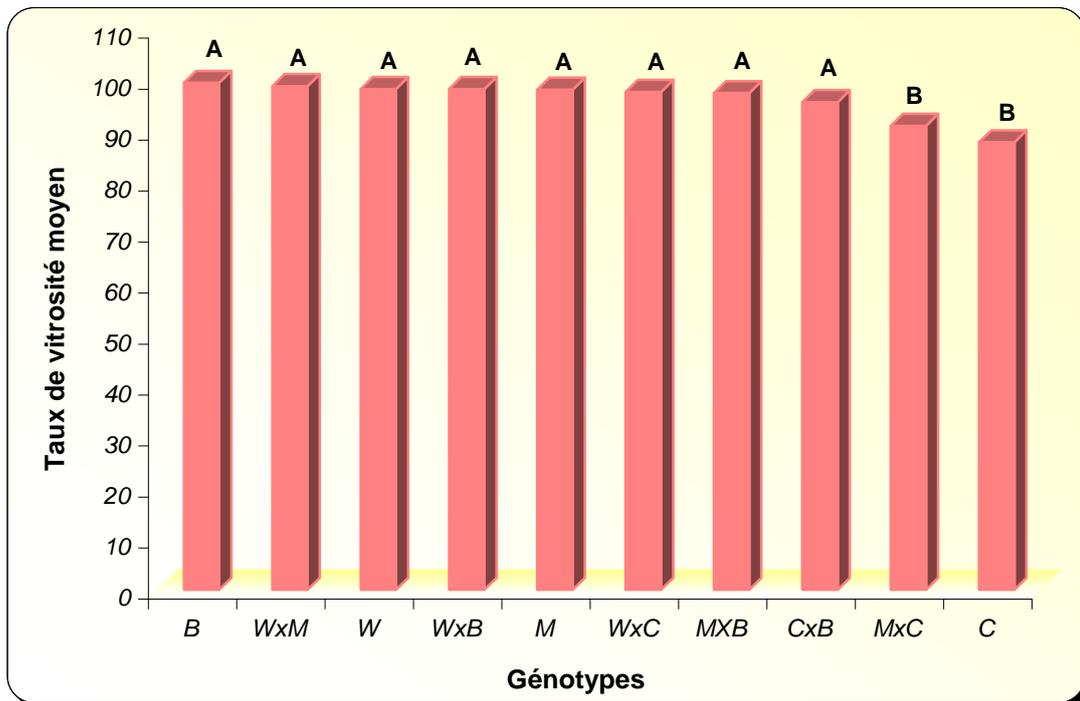
U = %

Caractères	Type d'hétérosis	Hybrides					
		B x M	M x W	C x B	M x C	B x W	C x W
Nombre d'épis par plante	Global	-7,6					
	Moyen	0 <sup>ns</sup>	-18,52 <sup>ns</sup>	6,67 <sup>ns</sup>	-25 <sup>**</sup>	4 <sup>ns</sup>	-10,34 <sup>ns</sup>
	par rapport au meilleur parent	-6,67 <sup>ns</sup>	-26,67 <sup>ns</sup>	-5,94 <sup>ns</sup>	-29,45 <sup>***</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	-23,57 <sup>**</sup>
	Economique	-17,7 <sup>ns</sup>	-35,33 <sup>***</sup>	-5,94 <sup>ns</sup>	-29,45 <sup>***</sup>	-23,57 <sup>**</sup>	-23,57 <sup>**</sup>
Nombre de grains par épi	Global	16,01					
	Moyen	-14,38 <sup>**</sup>	-7,96 <sup>ns</sup>	43,5 <sup>***</sup>	42,86 <sup>***</sup>	16,89 <sup>*</sup>	30,04 <sup>**</sup>
	par rapport au meilleur parent	-25,15 <sup>***</sup>	-8,77 <sup>ns</sup>	24,99 <sup>**</sup>	11,11 <sup>ns</sup>	2,98 <sup>ns</sup>	1,79 <sup>ns</sup>
	Economique	-25,15 <sup>***</sup>	-8,77 <sup>ns</sup>	-6,43 <sup>ns</sup>	11,11 <sup>ns</sup>	1,17 <sup>ns</sup>	0 <sup>ns</sup>
Poids de mille grains	Global	6,26					
	Moyen	4,89 <sup>ns</sup>	4,92 <sup>ns</sup>	3,16 <sup>ns</sup>	12,98 <sup>**</sup>	4,16 <sup>ns</sup>	7,76 <sup>*</sup>
	par rapport au meilleur parent	0,22 <sup>ns</sup>	-0,6 <sup>ns</sup>	-2,76 <sup>ns</sup>	11,39 <sup>**</sup>	-5,48 <sup>ns</sup>	3,48 <sup>ns</sup>
	Economique	0,22 <sup>ns</sup>	-9,46 <sup>**</sup>	-2,76 <sup>ns</sup>	1,46 <sup>ns</sup>	-5,48 <sup>ns</sup>	-8,4 <sup>*</sup>
Rendement en grain	Global	16,18					
	Moyen	-10,64 <sup>ns</sup>	-21,41 <sup>ns</sup>	62,33 <sup>**</sup>	23,13 <sup>ns</sup>	28,56 <sup>**</sup>	31,7 <sup>***</sup>
	par rapport au meilleur parent	-23,69 <sup>ns</sup>	-33,25 <sup>*</sup>	50,98 <sup>**</sup>	-0,94 <sup>ns</sup>	27,72 <sup>**</sup>	23,17 <sup>**</sup>
	Economique	-23,69 <sup>ns</sup>	-33,25 <sup>*</sup>	6,84 <sup>ns</sup>	-0,94 <sup>ns</sup>	-9,62 <sup>ns</sup>	-13,93 <sup>ns</sup>

### 2.1.3. Caractères physiques du grain

#### 2.1.3.1. Taux de vitrosité

Le taux de vitrosité le plus élevé a été enregistré par la variété Bidi 17 avec plus de 99 % de grains vitreux contrairement à la variété Capéiti qui se classe en dernier avec un taux de 87,78 % de grains vitreux (Tableau 5-Annexe II). Nous distinguons, en effet, l'existence de deux groupes homogènes comme l'indique la figure 18 ci-après.



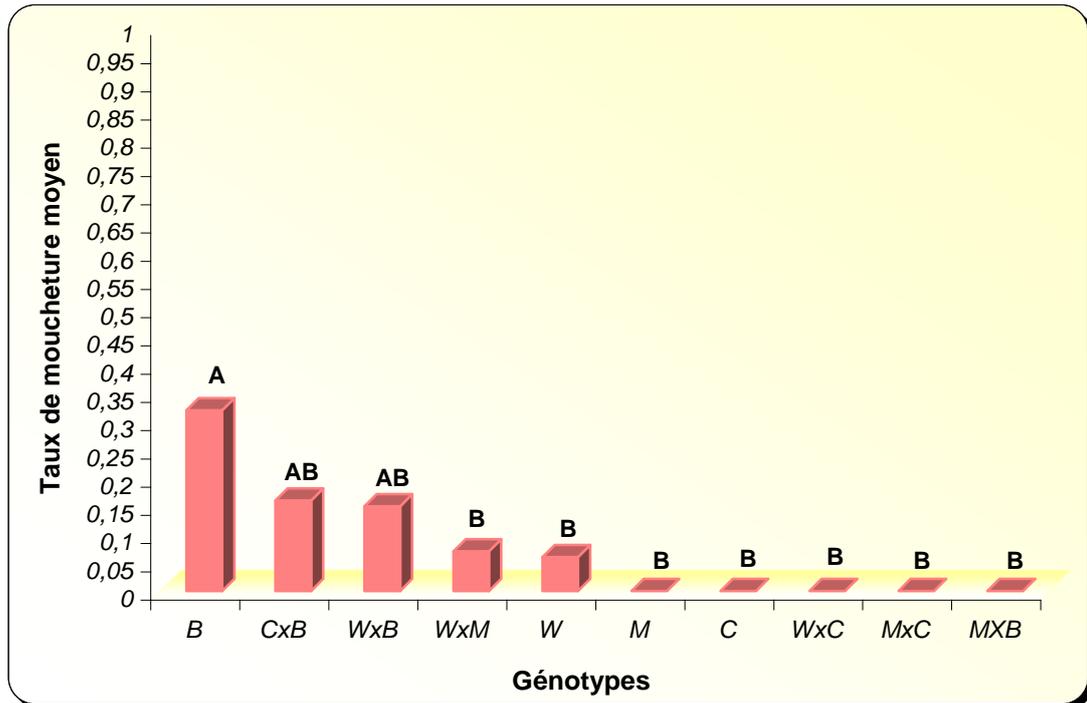
**Figure 18** : Classement des moyennes des taux de vitrosité des génotypes étudiés en F<sub>2</sub>.

La comparaison du taux de vitrosité global des variétés parentales et des hybrides de deuxième génération révèle l'absence de différence significative entre ces génotypes. L'hétérosis moyen des hybrides varie de -2,09 % pour le génotype M 1084 x Capeiti à 5,02 % pour l'hybride Capeiti x Waha. Ce dernier croisement est le seul à présenter un hétérosis positif et significatif par rapport à son parent moyen.

En outre, seul le croisement M 1084 x Waha présente un taux de vitrosité équivalent au taux de son meilleur parent et de la meilleure variété (Tableau 12 page 65).

### 2.1.3.2. Taux de moucheture

En moyenne, le taux de moucheture des hybrides F<sub>2</sub> reste équivalant au taux des variétés parentales (Tableau 20 page 68). En effet, il varie de 0 % pour les génotypes M 1084, Capeiti, Waha x Capeiti, M 1084 x Capeiti et M 1084 x Bidi 17 à 0,32 % pour la variété Bidi 17 (Tableau 5-Annexe II, Figure 19).



**Figure 19** : Classement des moyennes des taux de moucheture des génotypes étudiés en F<sub>2</sub>.

De plus, l'analyse des hétéroses révèle la supériorité du croisement M 1084 x Waha par rapport à son parent moyen (Tableau 12 page 65).

Le calcul de l'hétérosis économique et de l'hétérosis par rapport au meilleur parent n'a pu être effectué du fait de la présence de valeurs nulles.

**Tableau 12 :** Valeurs de l'hétérosis global, moyen et économique et de l'hétérosis par rapport au meilleur parent des caractères physiques du grain

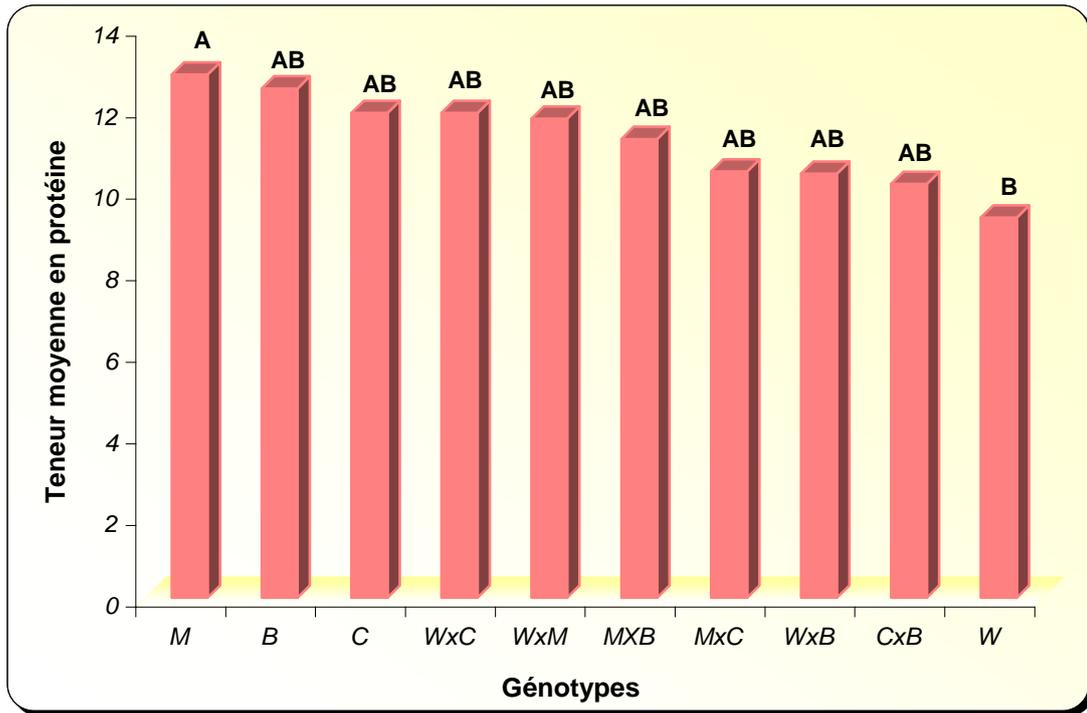
U = %

Caractères	Type d'hétérosis	Hybrides					
		B x M	M x W	C x B	M x C	B x W	C x W
Taux de vitrosité	Global	0,6					
	Moyen	-1,35 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>ns</sup>	2,2 <sup>ns</sup>	-2,09 <sup>ns</sup>	-0,62 <sup>ns</sup>	5,02 <sup>**</sup>
	par rapport au meilleur parent	-2 <sup>ns</sup>	0,57 <sup>ns</sup>	-3,79 <sup>***</sup>	-7,25 <sup>*</sup>	-1,22 <sup>**</sup>	-0,56 <sup>ns</sup>
	Economique	-2 <sup>ns</sup>	0,67 <sup>ns</sup>	-3,79 <sup>***</sup>	-8,49 <sup>**</sup>	-1,22 <sup>**</sup>	-1,78 <sup>**</sup>
Taux de moucheture	Global	-33,86					
	Moyen	-100 <sup>**</sup>	148,52 <sup>ns</sup>	-3,09 <sup>ns</sup>	-	-20,98 <sup>ns</sup>	-100 <sup>ns</sup>
	par rapport au meilleur parent	-	-	-	-	-	-
	Economique	-	-	-	-	-	-

## 2.1.4. Caractères technologiques

### 2.1.4.1. Teneur en protéines

Les variétés M 1084 et Bidi 17 enregistrent les meilleures teneurs en protéines avec des valeurs respectives de 12,83 % et 12,49 % contrairement à la variété Waha qui se classe en dernière position avec un taux de 9,32 % (Tableau 5-Annexe II, Figure 20).



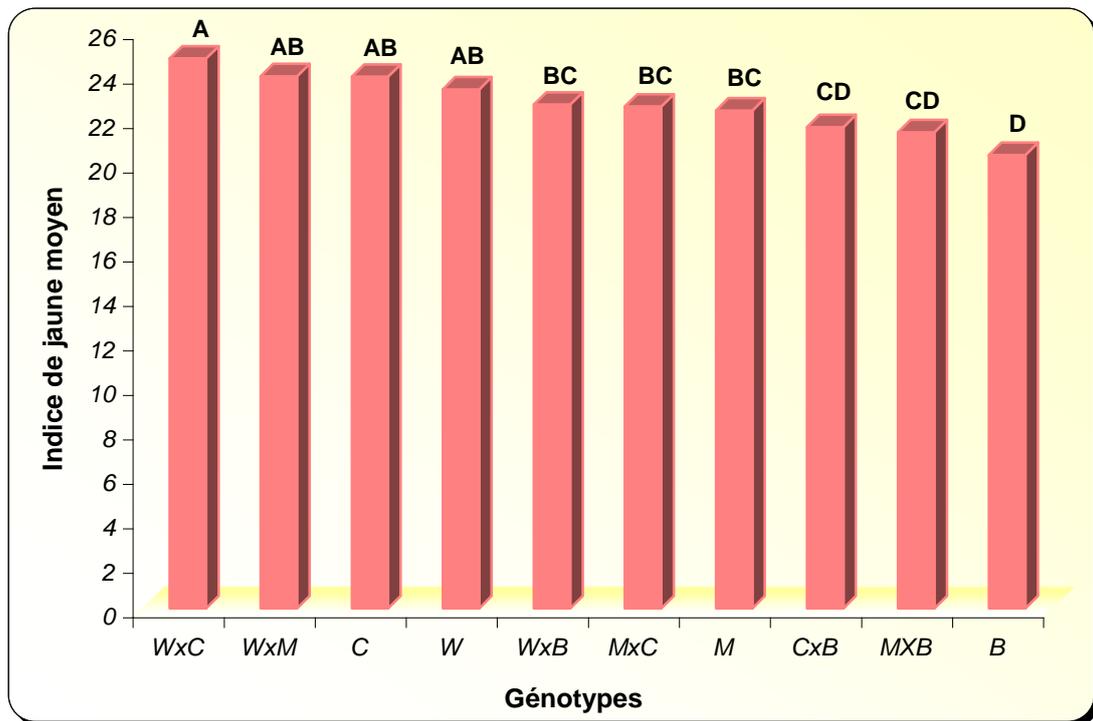
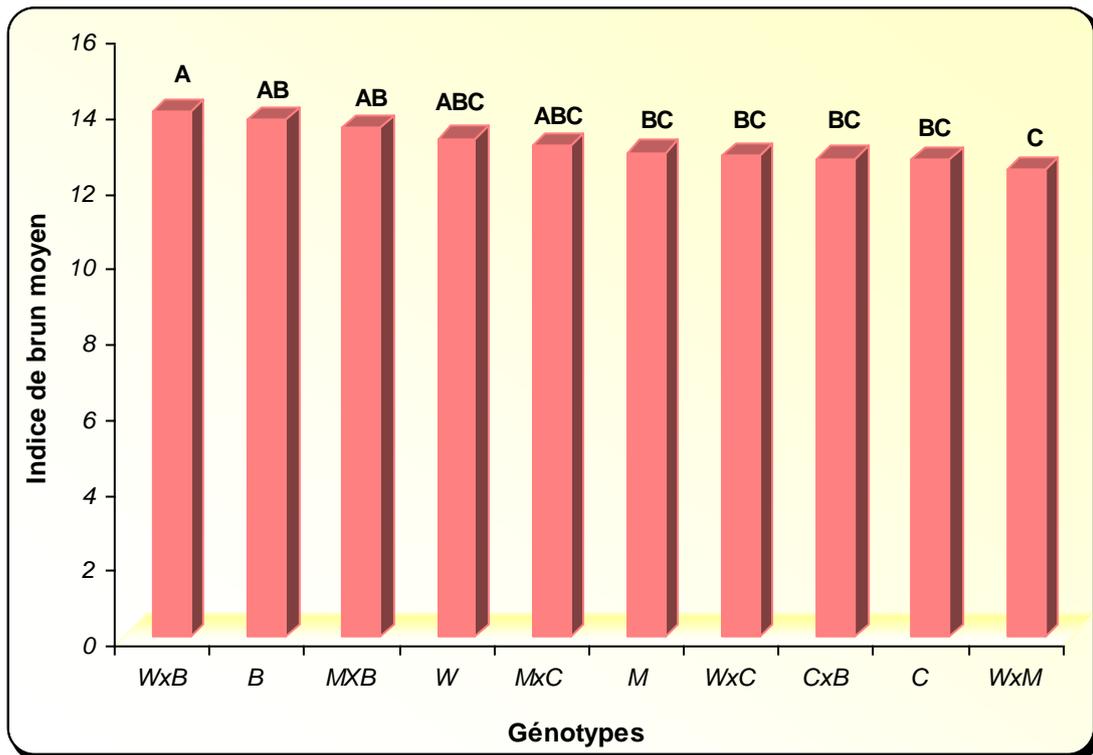
**Figure 20** : Classement des moyennes des teneurs en protéine des génotypes étudiés en F<sub>2</sub>.

En moyenne, les hybrides de deuxième génération présentent des teneurs en protéines inférieures à celles des variétés parentales avec un écart de -5,64 % et le calcul des différents types d'hétérosis permet de confirmer ces résultats. De plus, seuls les croisements Capeiti x Waha et M 1084 x Waha dépassent leurs parents moyens respectifs de 12,05 % et 6,03 %. Mais ces écarts restent quant même non significatifs (Tableau 13 page 68).

Budak (2001) trouve un hétérosis moyen de la teneur en protéine allant de -13,3 à 37,9 % chez les vingt huit croisements de deuxième génération de blé dur. De plus, Buddak (1999) affirme qu'aucune corrélation significative n'a pu être décelée entre la teneur en protéines et le rendement en grain et ses composantes.

#### 2.1.4.2. Indice de brun et de jaune

Les croisements Waha x M 1084 et Waha x Capeiti présentent les meilleures caractéristiques de la coloration de la semoule à savoir un faible indice de brun (12,40 et 12,76 respectivement) et un indice de jaune assez élevé (23,93 et 24,73 respectivement). Par contre, la variété Bidi 17 se classe, encore une fois, en dernière position (Tableau 5-Annexe II, Figure 21).



**Figure 21** : Classement des moyennes des indices de brun et de jaune des génotypes étudiés en F<sub>2</sub>.

L'indice de brun des hybrides F<sub>2</sub> reste supérieur à celui des variétés parentales contrairement à l'indice de jaune qui reste sensiblement le même.

Concernant l'hétérosis moyen de l'indice de brun, il varie de -4,91 % pour l'hybride M 1084 x Waha à 3,4 % pour le croisement Bidi 17 x Waha. Quant à l'hétérosis moyen de l'indice de jaune, il passe de -2,48 % (M 1084 x Capeiti) à 4,67 % (Capeiti x Waha et M 1084 x Waha) (Tableau 13).

**Tableau 13** : Valeurs de l'hétérosis global, moyen et économique et de l'hétérosis par rapport au meilleur parent des caractères technologiques

U = %

Caractères	Type d'hétérosis	Hybrides					
		B x M	M x W	C x B	M x C	B x W	C x W
Teneur en protéines	Global	-5,64					
	Moyen	-11,19 <sup>ns</sup>	6,03 <sup>ns</sup>	-16,73 <sup>*</sup>	-15,5 <sup>ns</sup>	-4,69 <sup>ns</sup>	12,05 <sup>ns</sup>
	par rapport au meilleur parent	-12,34 <sup>ns</sup>	-8,44 <sup>ns</sup>	-18,71 <sup>***</sup>	-18,58 <sup>***</sup>	-16,76 <sup>***</sup>	-0,03 <sup>ns</sup>
	Economique	-12,34 <sup>ns</sup>	-8,44 <sup>ns</sup>	-20,86 <sup>***</sup>	-18,58 <sup>***</sup>	-18,97 <sup>***</sup>	-7,35 <sup>ns</sup>
	Global	-0,48					
Indice de brun	Moyen	1,77 <sup>*</sup>	-4,91 <sup>ns</sup>	-3,85 <sup>**</sup>	2,14 <sup>ns</sup>	3,4 <sup>ns</sup>	-1,49 <sup>ns</sup>
	par rapport au meilleur parent	5,21 <sup>***</sup>	-3,48 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	2,87 <sup>ns</sup>	5,32 <sup>ns</sup>	0,68 <sup>ns</sup>
	Economique	6,71 <sup>*</sup>	-2,1 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	2,87 <sup>ns</sup>	9,97 <sup>*</sup>	0,68 <sup>ns</sup>
	Global	1,41					
	Moyen	0,09 <sup>ns</sup>	4,67 <sup>ns</sup>	-2,31 <sup>**</sup>	-2,48 <sup>ns</sup>	3,67 <sup>ns</sup>	4,67 <sup>*</sup>
Indice de jaune	par rapport au meilleur parent	-4,39 <sup>**</sup>	2,53 <sup>ns</sup>	-9,51 <sup>***</sup>	-5,59 <sup>ns</sup>	-2,9 <sup>ns</sup>	3,42 <sup>ns</sup>
	Economique	-10,47 <sup>***</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	-9,51 <sup>***</sup>	-5,59 <sup>ns</sup>	-5,21 <sup>**</sup>	3,42 <sup>**</sup>

## 2.2. Analyse génétique des caractères étudiés

### 2.2.1. Hérité des caractères selon l'analyse de Griffing (1956a)

L'analyse de la variance des aptitudes générales à la combinaison (AGC) révèle des différences significatives pour l'ensemble des caractères excepté la date à l'épiaison, le rendement en grain et la teneur en protéine où l'effet de l'AGC est non significatif (Tableau 14).

Concernant l'aptitude spécifique à la combinaison (ASC), des différences non significatives ont été observées au niveau des caractères nombre d'épis par plante, poids de mille grains et les taux de vitrosité et de moucheture (Tableau 14).

**Tableau 14 :** Analyse de la variance de l'AGC et de l'ASC des caractères étudiés en F<sub>2</sub>.

Caractères	Carré moyen		
	AGC (ddl = 3)	ASC (ddl = 6)	Interaction (ddl = 54)
Date à l'épiaison	1,02 <sup>ns</sup>	46,10 <sup>***</sup>	0,60
Hauteur des plantes	404,35 <sup>***</sup>	64,22 <sup>***</sup>	6,16
Nombre d'épis par plante	0,62 <sup>**</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	0,14
Nombre de grains par épi	78,76 <sup>***</sup>	95,82 <sup>***</sup>	5,61
Poids de mille grains	18,10 <sup>***</sup>	4,44 <sup>ns</sup>	2,24
Rendement en grain	1,51 <sup>ns</sup>	5,18 <sup>***</sup>	0,87
Taux de vitrosité	35,46 <sup>***</sup>	4,08 <sup>ns</sup>	2,11
Taux de moucheture	0,03 <sup>***</sup>	0,004 <sup>ns</sup>	0,003
Teneur en protéines	1,18 <sup>ns</sup>	1,31 <sup>*</sup>	0,44
Indice de brun	0,43 <sup>***</sup>	0,16 <sup>**</sup>	0,05
Indice de jaune	4,48 <sup>***</sup>	0,38 <sup>*</sup>	0,15

Les auteurs Joshi *et al.*, (2004) trouvent des effets significatifs des aptitudes générales et spécifiques à la combinaison chez les parents et les hybrides de première et de deuxième génération de blé tendre obtenus par le biais d'un croisement diallèle.

### 2.2.1.1. Aptitude générale à la combinaison

Les aptitudes générales à la combinaison des variétés parentales sont présentées dans le tableau 15 ci-après.

**Tableau 15 :** Valeurs des aptitudes générales à la combinaison des caractères étudiés

Caractère	Ht	NE	NG	PMG	TV	TM	IB	IJ
<b>Génotype</b>								
Waha	-5,33	-0,39	3,67	-2,29	1,66	-0,01	0,03	0,75
M1084	-7,50	-0,05	2,56	0,48	0,38	-0,05	-0,12	-0,13
Capeiti	2,22	0,39	-3,28	-0,08	-3,55	-0,04	-0,26	0,55
Bidi 17	10,61	0,05	-2,94	1,89	1,51	0,10	0,36	-1,17

La variété Waha réalise les meilleures AGC pour le nombre de grains par épi, le taux de vitrosité et l'indice de jaune.

Quant au nombre d'épis par plante, l'AGC la plus élevée a été observée chez la variété Capeiti.

Pour les caractères hauteur des plantes, poids de mille grains, taux de moucheture et l'indice de brun c'est la variété Bidi 17 qui enregistre les valeurs d'AGC les plus élevées. De plus, des valeurs positives de l'aptitude générale à la combinaison ont été observées chez cette variété et ce pour le plus grands nombre de caractères. Par conséquent elle s'avère être particulièrement prometteuse pour les futurs programmes d'amélioration du blé dur.

### 2.2.1.2. Aptitude spécifique à la combinaison

Les meilleures ASC pour les caractères teneur en protéine et indice de jaune ont été observées chez le croisement Waha x Capeiti. En ce qui concerne la hauteur des plantes et le nombre de grains par épi, les ASC les plus élevées ont été enregistrées par l'hybride M 1084 x Capeiti.

Le croisement Capeiti x Bidi 17 réalise les meilleures ASC et ce pour la date à l'épiaison et le rendement en grain. Enfin l'hybride Waha x Bidi 17 enregistre la valeur d'aptitude spécifique à la combinaison la plus élevée pour l'indice de brun (Tableau 16).

Il est à noter que pour le caractère précocité à l'épiaison, la valeur de l'aptitude spécifique à la combinaison du croisement Capeiti x Bidi17 est assez élevée (11,39). Et de ce fait, il est considéré comme étant le génotype le plus tardif car 129 jours sont nécessaires pour la réalisation du stade épiaison. De plus, elle a eu lieu 19 jours plus tard que le génotype le plus précoce à savoir M1084 x Bidi 17 (Tableau 16).

**Tableau 16 :** Valeurs des aptitudes spécifiques à la combinaison des caractères étudiés

<b>Caractère</b>	<b>DE</b>	<b>Ht</b>	<b>NG</b>	<b>Rdt</b>	<b>TP</b>	<b>IB</b>	<b>IJ</b>
<b>Génotype</b>							
WahaxM1084	3,61	-0,63	-5,56	-1,95	0,61	-0,58	0,61
Wahax Capeiti	2,23	2,31	5,28	1,05	1,23	-0,08	0,73
Wahax Bidi 17	0,39	-8,74	5,61	1,56	-0,35	0,46	0,38
M1084x Capeiti	-1,39	4,14	12,72	1,44	-1,29	0,34	-0,54
M1084xBidi17	-8,23	3,42	-8,28	-1,42	-0,57	0,20	0,01
CapeitixBidi17	11,39	-12,64	8,22	2,97	-1,20	-0,50	-0,44

### 2.2.1.3. Etude du rapport AGC/ASC

La variance due à l'AGC comporte les variances additive et de l'épistasie « cis » alors que celle de l'ASC, elle inclue la variance de dominance et de l'épistasie « trans ». De ce fait, le rapport AGC/ASC devient une estimation des effets additifs par rapport à ceux de la dominance.

Le rapport AGC/ASC est supérieur à 1 pour les caractères : hauteur des plantes, nombre d'épis par plante, poids de mille grains, taux de vitrosité, taux de moucheture et indice de jaune indiquant ainsi la prédominance des effets additifs.

Par ailleurs, il est important de souligner l'existence d'une grande variabilité génétique pour la hauteur des plantes. En effet, les valeurs varient de 99 à 136 cm. Cette variabilité est due aux effets additifs et non-additifs (de dominance et d'épistasie) avec une prédominance des premiers.

Concernant le taux de vitrosité, les effets dus à l'additivité sont prédominants par rapport aux autres. Pour ce qui est des autres caractères étudiés à savoir : la date à l'épiaison, le nombre de grains par épi, le rendement en grain, la teneur en protéine et l'indice de brun, les effets non additifs prédominent (le rapport AGC/ASC est inférieur à 1) (Tableau 17).

**Tableau 17** : Variances des aptitudes générales et spécifiques à la combinaison ainsi que le rapport AGC/ASC des caractères étudiés

Caractère	$\sigma_g^2$	$\sigma_s^2$	$2\sigma_g^2 / \sigma_s^2$
Date à l'épiaison	-7,51	36,06	-0,42
Hauteur des plantes	56,69	58,05	1,95
Nombre d'épis par plante	0,05	0,08	1,25
Nombre de grains par épi	-2,84	75,28	-0,08
Poids de mille grains	2,28	2,2	2,07
Rendement en grain	-0,61	4,31	-0,28
Taux de vitrosité	5,23	1,97	5,31
Taux de moucheture	0,0037	0,0010	7,4
Teneur en protéines	-0,02	0,87	-0,05
Indice de brun	0,04	0,12	0,66
Indice de jaune	0,68	0,23	5,91

Les études menées sur le rendement en grain du blé indiquent que les effets d'AGC sont largement supérieurs à ceux de l'ASC (Borghini *et al.*, 1989 ; Morgan *et al.*, 1989 ; Perenzin *et al.*, 1992 ; Borghini et Perenzin, 1994 ; Ltifi et Daaloul 1994 ; Hassan et Saad, 1996 ; Perenzin *et al.*, 1998 ; Oury *et al.*, 2000 ; Le Gouis *et al.*, 2002 ; Joshi *et al.*, 2004 ; Dagustu, 2008). Par contre, pour les auteurs Amaya *et al.*, (1972), Singh et Nanda (1989), Vitkare et Atale (1991), Boukecha (2001) et Elmogtaba-Elfadl (2002), le contrôle génétique du rendement en grain est de type dominant. Ce qui concorde avec nos résultats.

Amaya *et al.*, (1972) et Nanda *et al.*, (1981) dans leurs études respectives sur les hybrides de première, de deuxième et de troisième génération de blé dur indiquent que les effets génétiques additifs prédominaient pour l'expression des caractères hauteur des plantes et précocité à l'épiaison. De plus, cet auteur affirme que les rendements en grain des populations F<sub>3</sub> sont proches de ceux de la F<sub>1</sub> mais ils étaient plus précoces et plus courts.

Les auteurs Ltifi et Daaloul (1994) indiquent également que l'hérédité des caractères rendement par plante, le nombre d'épis et le poids de mille grains est largement contrôlée par des effets additifs car le rapport du carré moyen de l'AGC et de l'ASC dépasse largement l'unité (1).

Dans l'étude menée par Dagustu (2008) sur les hybrides F<sub>1</sub> de blé tendre, le rapport AGC/ASC est supérieur à 1 pour les caractères hauteur des plantes, longueur des épis, nombre d'épillets par épis, nombre de grains par épis et poids de mille grains. Ce qui permettrait d'affirmer l'importance des effets additifs par rapport aux effets non-additifs. Ces résultats ont été également obtenus par Barnard *et al.*, (2002) et Joshi *et al.*, (2004).

Dans sa thèse de Master, Elmogtaba-Elfadl (2002) indique que l'action des gènes additifs et non additifs a joué un rôle important dans l'héritabilité des caractères étudiés (précocité à l'épiaison, le rendement en grain et ses composantes) avec une prédominance des effets additifs.

Et enfin les auteurs Joshi *et al.*, (2004) affirment que l'utilisation des hybrides F<sub>1</sub> et F<sub>2</sub> présentant les valeurs d'ASC les plus élevées et dont les variétés parentales possèdent les meilleures valeurs d'AGC revêt un intérêt certain pour l'amélioration du rendement et de la qualité du blé.

### **2.2.2. Hérité des caractères selon l'analyse de Hayman (1954a)**

Les conditions de réalisation de l'analyse de variance des tables diallèles selon Hayman (1954a), comme décrites précédemment au niveau de la partie bibliographique, doivent être vérifiées avant d'interpréter génétiquement les résultats.

La condition qui stipule que « le coefficient de régression de la droite  $W_r(V_r)$  doit être significativement différent de zéro » s'avère être non remplie et ce, pour l'ensemble des caractères étudiés. De ce fait l'interprétation génétique des résultats selon le modèle Hayman (1954a) n'a pu être réalisée.

### 2.2.3. L'héritabilité

L'héritabilité permet de déterminer la réponse à la sélection d'un caractère donné. Allard (1999) donne des indications pour classer l'héritabilité au sens large ( $H^2$ ). En effet, si les valeurs de  $H^2$  sont supérieures à 70 %, elle est considérée comme étant élevée. Si au contraire, les valeurs sont inférieures à 50 %, elle est dite faible. L' $H^2$  est moyenne quant ses valeurs sont comprises entre 50 et 70 %.

L'héritabilité au sens large est calculée en prenant en considération les variances d'additivité, de dominance et d'épistasie. Ces deux dernières ne sont pas fixes, elles diminuent au cours des générations d'autofécondation. C'est ainsi qu'en  $F_2$  l'héritabilité au sens large sera surestimée si les effets de dominance sont importants Allard (1999).

En outre et sachant que l'héritabilité au sens étroit n'est calculée qu'en utilisant la variance additive, elle est donc plus indicative pour l'estimation des réponses à la sélection (Mahmood et Chowdhry, 1999).

L'héritabilité au sens large de l'ensemble des caractères étudiés en  $F_2$  est supérieure à 70 % et est considérée de ce fait élevée à l'exception des caractères teneur en protéine et la précocité à l'épiaison où elle est moyenne. Seul le caractère nombre d'épis par plante présente une héritabilité au sens large faible avec 47 %.

Concernant l'héritabilité au sens étroit, elle est élevée pour les caractères indice de jaune (78 %), taux de vitrosité (72 %), taux de moucheture (66 %), la hauteur des plantes (64 %) et le poids de mille grains (Tableau 18). Ceci démontre la prédominance des effets additifs sur ces caractères.

**Tableau 18** : L'héritabilité au sens large et au sens étroit des caractères étudiés

Caractère	H <sup>2</sup>	h <sup>2</sup>
Date à l'épiaison	0,68	-0,48
Hauteur des plantes	0,97	0,64
Nombre d'épis par plante	0,47	0,27
Nombre de grains par épi	0,77	-0,06
Poids de mille grains	0,75	0,51
Rendement en grain	0,78	-0,31
Taux de vitrosité	0,85	0,72
Taux de moucheture	0,75	0,66
Teneur en protéines	0,65	-0,04
Indice de brun	0,80	0,35
Indice de jaune	0,91	0,78

Nanda *et al.*, (1981) dans leur étude sur le blé dur affirment que l'héritabilité est assez élevée pour la précocité à l'épiaison (71 % pour l'héritabilité au sens étroit et 80 % pour l'héritabilité au sens large) et la hauteur des plantes (62 et 93 % pour les héritabilités au sens étroit et large respectivement).

De même, les auteurs Ltifi et Daaloul (1994) indiquent que 39 % à 54 % de la variation totale du rendement en grain du blé dur et ses composantes peuvent être expliqués par des effets additifs. En effet, les valeurs des héritabilités au sens large et strict sont respectivement de 80 et 54 % pour le rendement, 78 et 39 % pour le nombre d'épis et 96 et 50 % pour le poids de mille grains.

Les auteurs Mahmood et Chowdhry (1999) dans leur étude sur l'hérédité de certains caractères chez le blé tendre, trouvent que les héritabilités au sens large et étroit de la précocité à l'épiaison et du rendement en grain sont assez élevées. Elles sont respectivement de 81 et 97 % pour la précocité et de 72 et 76 % pour le rendement en grain ce qui permet d'affirmer que l'hérédité de ces deux caractères est de type additif.

### **2.3. Etude des corrélations**

La matrice de corrélation des caractères étudiés est présentée dans le tableau 8 de l'annexe II, cependant aucune corrélation significative n'a été observée.

## **III. Synthèse des résultats**

Avant d'entamer la synthèse des résultats obtenus, il est important de souligner qu'aucun choix n'a été opéré au niveau des variétés parentales car les croisements de première génération ont été obtenus par Monsieur BENBELKACEM dans le cadre d'une étude sur le comportement du blé dur vis-à-vis des maladies, comme il a été cité précédemment dans la partie matériels et méthodes.

Donc sachant que l'expérimentation a été réalisée sur deux cycles végétatifs successifs et dans deux zones où les conditions édapho-climatiques sont différentes à savoir les hautes plaines céréalières (site d'El Khroub) pour la  $F_1$  et le littoral (site de Oued Smar) pour la  $F_2$ , la synthèse des résultats de ces deux générations de cultures a été effectuée en se basant sur l'analyse des hétérosis. Quant à l'analyse génétique des caractères, elle a été réalisée pour les hybrides de deuxième génération uniquement.

### **3.1. Etude du comportement et analyse des hétérosis**

#### **3.1.1. Caractères phénologiques et morphologiques**

Le génotype le plus précoce durant les campagnes 2003-2004 et 2004-2005 s'avère être Capeiti. Mais d'une manière générale, le nombre de jours nécessaire pour la réalisation du stade épiaison est plus élevé chez les hybrides  $F_1$  et  $F_2$  par rapport aux variétés parentales à l'exception du croisement Bidi 17 x Waha de première génération et Bidi 17 x M1084 de deuxième génération. En effet, ils sont les seuls hybrides à être plus précoces que leurs meilleurs parents respectifs (Tableau 19 page 77).

De plus, il est à noter que le génotype Bidi 17 x M1084 de la  $F_2$  réalise les meilleures performances par rapport à la meilleure variété en l'occurrence Capeiti (Tableau 19 page 77).

Par ailleurs, il est important de souligner qu'une légère augmentation de l'hétérosis global a été observée chez les hybrides de deuxième génération. Il passe de 0,7 % en F<sub>1</sub> à 2,6 % en F<sub>2</sub>.

Concernant la hauteur des plantes, la variété M1084 présente les plus faibles hauteurs en F<sub>1</sub> et en F<sub>2</sub> avec des valeurs inférieures à 91 cm et les valeurs moyennes des hybrides de première et de deuxième génération sont inférieures à celles des variétés parentales.

De plus, une légère diminution de l'hétérosis global a été enregistrée pour ces deux générations, il varie, en effet, de -3,44 % pour la F<sub>1</sub> à -4,63 % pour la F<sub>2</sub>.

Le génotype Capeiti x Bidi17 est le seul à être plus performant que son parent supérieur et ce, durant les deux générations de cultures (Tableau 19).

**Tableau 19** : Meilleurs hétérosis économiques et hétérosis par rapport au meilleur parent des hybrides F<sub>1</sub> et F<sub>2</sub> : caractères phénologique et morphologique

Caractère	U = %			
	Hétérosis par rapport au meilleur parent		Hétérosis économique	
	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>
Date à l'épiaison	Bidi17xWaha: -4,5	Bidi17xM1084:-5,43 <sup>***</sup>	Aucun	Bidi17xM1084:-0,9 <sup>ns</sup>
Hauteur des plantes	CapeitixBidi17:-2,46	CapeitixBidi17:-6,45 <sup>ns</sup>	Aucun	Aucun

### 3.1.2. Caractères agronomiques

Le plus grand nombre d'épis par plante a été enregistré par la variété Capeiti pour les deux générations étudiées et le croisement Capeiti x Bidi 17 pour la F<sub>2</sub>.

Pour ce caractère, la valeur des variétés parentales reste supérieure à celle des hybrides F<sub>1</sub> et F<sub>2</sub> avec un écart de -7 % pour les deux générations. Toutefois, l'hybride Bidi 17 x Waha arrive à dépasser son parent supérieur en F<sub>1</sub> avec un écart de 4,17 % (Tableau 20 page 79).

L'hétérosis global du nombre de grains par épi augmente au fil des générations, il passe de 13,75 % en F<sub>1</sub> à 16 % en F<sub>2</sub>. Capeiti x Bidi 17 de première génération semble être le génotype le

plus performant avec près de 55 grains par épi. Ce nombre augmente en F<sub>2</sub> pour atteindre la valeur de 63,33 pour le croisement M1084 x Capeiti.

Plusieurs hybrides de première et de deuxième génération dépassent leurs meilleurs parents respectifs mais le croisement Capeiti x Bidi 17 enregistre un écart significatif de l'ordre de 18,57 % en F<sub>1</sub> et de 24,99 % en F<sub>2</sub>.

Par rapport à la meilleure variété, le génotype M1084 x Capeiti réalise les meilleurs valeurs de l'hétérosis économique et ce durant les deux campagnes 2003-2004 et 2004-2005 (Tableau 20 page 79).

Quant au poids de mille grains, il diminue au cours des générations. L'hétérosis global passe de 8,16 % en F<sub>1</sub> à 6,26 % en F<sub>2</sub>. Mais malgré cette légère baisse plusieurs hybrides de première et de deuxième génération restent assez performants par rapport à leurs meilleurs parents respectifs et à la meilleure variété comme notamment le croisement M1084 x Capeiti qui enregistre un écart significatif par rapport à son parent supérieur de l'ordre de 18,37 % en F<sub>1</sub> et de 11,39 % en F<sub>2</sub> (Tableau 20 page 79).

Concernant le rendement en grain, une légère augmentation de l'hétérosis global a été enregistré durant les deux générations, il passe en effet, de 13,76 % en F<sub>1</sub> à 16,18 % en F<sub>2</sub>. Comme pour le poids de mille grains, plusieurs hybrides F<sub>1</sub> et F<sub>2</sub> dépassent leurs meilleurs parents respectifs et les écarts enregistrés sont significatifs et assez importants dépassant dans certain cas le seuil de 20 % (Tableau 20 page 79).

La supériorité observée chez les hybrides F<sub>1</sub> et F<sub>2</sub> pour le rendement en grain pourrait être expliquée par le cumul des effets d'hétérosis des caractères associés au rendement tels que le nombre de grains par épi et le poids de mille grains.

**Tableau 20** : Meilleurs hétérosis économiques et hétérosis par rapport au meilleur parent des hybrides F<sub>1</sub> et F<sub>2</sub> : caractères agronomiques

U = %

Caractère	Hétérosis par rapport au meilleur parent		Hétérosis économique	
	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>
Nombre d'épis par plante	Bidi 17xWaha: 4,17	Bidi 17xWaha: 0,08 <sup>ns</sup>	Aucun	Aucun
Nombre de grains par épi	CapeitixBidi17: 18,57 M1084xCapeiti: 18,29 CapeitixWaha: 9,66	CapeitixBidi17: 24,99 <sup>**</sup>	CapeitixWaha: 9,66 M1084xCapeiti: 8,41	M1084xCapeiti: 11,11 <sup>ns</sup>
Poids de mille grains	M1084xCapeiti: 18,37 Bidi17xM1084: 18,18 M1084xWaha: 8,16 CapeitixWaha: 4,26	M1084xCapeiti: 11,39 <sup>**</sup> CapeitixWaha: 3,48 <sup>ns</sup> Bidi17xM1084: 0,22 <sup>ns</sup>	Bidi17xM1084: 18,18 M1084xCapeiti: 5,45	M1084xCapeiti: 1,46 <sup>ns</sup> Bidi17xM1084: 0,22 <sup>ns</sup>
Rendement en grain	Bidi 17xWaha: 35,85 CapeitixBidi17: 33,97 CapeitixWaha: 2,68 M1084xWaha: 1,94	CapeitixBidi17: 50,98 <sup>**</sup> Bidi 17xWaha: 27,72 <sup>**</sup> CapeitixWaha: 23,17 <sup>**</sup>	CapeitixBidi17: 33,97 Bidi 17xWaha: 16,41 CapeitixWaha: 2,68 M1084xWaha: 1,70	CapeitixBidi17: 6,84 <sup>ns</sup>

### 3.1.3. Caractères physiques du grain

Le taux de vitrosité des génotypes étudiés reste sensiblement le même durant les deux générations F<sub>1</sub> et F<sub>2</sub>. Il est à noter que le taux de vitrosité des variétés parentales reste supérieur à celui des hybrides de première et de deuxième génération et seul le croisement M1084 x Waha présente des valeurs équivalentes à celles de son parent supérieur (Tableau 21 page 80).

En ce qui concerne le taux de moucheture, les génotypes de deuxième génération présentent des valeurs inférieures à celles des génotypes de la première génération. Ceci pourrait être dû à la différence des conditions édapho-climatiques.

**Tableau 21** : Meilleurs hétérosis économiques et hétérosis par rapport au meilleur parent des hybrides F<sub>1</sub> et F<sub>2</sub> : caractères physiques du grain

U = %

Caractère	Hétérosis par rapport au meilleur parent		Hétérosis économique	
	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>
Taux de vitrosité	Aucun	M1084xWaha: 0,57 <sup>ns</sup>	Aucun	M1084xWaha: 0,67 <sup>ns</sup>
Taux de moucheture	-	-	-	-

### 3.1.4. Caractères technologiques

La teneur en protéines des hybrides F<sub>1</sub> dépasse de loin celle des hybrides F<sub>2</sub>, l'hétérosis global est positif dans le premier cas et s'élève à presque 6 % contrairement aux génotypes de deuxième génération qui enregistrent une valeur de -5,64 %. De plus, plusieurs croisements F<sub>1</sub> dépassent leurs parents supérieurs respectifs et la meilleure variété, tels que Capeiti x Bidi 17, Bidi 17 x M1084 et Bidi 17 x Waha (Tableau 22 page 81).

Avec un faible indice de brun, les hybrides F<sub>1</sub> présentent les meilleurs critères de la coloration de la semoule. Mais par rapport aux variétés parentales, les croisements de deuxième génération s'avère être plus performants.

Les meilleures performances par rapport au parent supérieur et à la meilleure variété ont été réalisée par le génotype M1084 x Waha de deuxième génération (Tableau 22 page 81).

**Tableau 22** : Meilleurs hétérosis économiques et hétérosis par rapport au meilleur parent des hybrides F<sub>1</sub> et F<sub>2</sub> : caractères technologiques

U = %

Caractère	Hétérosis par rapport au meilleur parent		Hétérosis économique	
	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>1</sub>
Teneur en protéines	CapeitixBidi17: 12,49 Bidi17xM1084: 9,52 Bidi 17xWaha: 8,74	Aucun	Bidi17xM1084: 9,52 CapeitixBidi17: 1,48 Bidi 17xWaha: 1,01	Aucun
Indice de brun	Bidi 17xWaha: -2,53	M1084xWaha: -3,48 <sup>ns</sup>	Bidi 17xWaha: -2,53	M1084xWaha: -2,1 <sup>ns</sup>
Indice de jaune	CapeitixBidi17: 1,62	CapeitixWaha: 3,42 <sup>ns</sup> M1084xWaha: 2,53 <sup>ns</sup>	CapeitixBidi17: 1,62	CapeitixWaha: 3,42 <sup>**</sup> M1084xWaha: 0,08 <sup>ns</sup>

En définitive les meilleurs croisements de première et de deuxième génération sont ceux qui réalisent les meilleures performances par rapport à leurs parents supérieurs respectifs et à la meilleure variété et ce, pour le plus grand nombre de caractères.

C'est ainsi qu'en F<sub>1</sub>, les géotypes Capeiti x Bidi 17 et Bidi 17 x Waha semble être les meilleures combinaisons hybrides en réalisant les meilleures hétérosis par rapport au parent supérieur pour cinq caractères (Tableau 23).

**Tableau 23** : Synthèse des résultats de l'hétérosis des hybrides F<sub>1</sub> par rapport au meilleur parent

	DE	Ht	NE	NG	PMG	RDT	TV	TM	TP	IB	IJ
Bidi17xM1084					+				+		
M1084xWaha					+						
CapeitixBidi17		+		+		+			+		+
M1084xCapeiti				+	+						
Bidi17xWaha	+		+			+			+	+	
CapeitixWaha				+							

Les meilleures valeurs de l'hétérosis économique ont été observées chez les croisements Capeiti x Bidi 17, Bidi 17 x Waha, M1084 x Capeiti et Bidi17 x M1084 pour le plus grand nombre de caractères (Tableau 24).

**Tableau 24** : Synthèse des résultats de l'hétérosis économique des hybrides F<sub>1</sub>

	DE	Ht	NE	NG	PMG	RDT	TV	TM	TP	IB	IJ
Bidi17xM1084					+				+		
M1084xWaha				+							
CapeitixBidi17						+					+
M1084xCapeiti				+	+						
Bidi17xWaha						+				+	
CapeitixWaha				+							

Concernant la F<sub>2</sub>, les croisements Bidi17 x Waha, Capeiti x Bidi17 et Capeiti x Waha se classent en tête de liste avec le plus grand nombre de caractères où les valeurs de l'hétérosis par rapport au meilleur parent sont les plus élevées (Tableau 25).

**Tableau 25** : Synthèse des résultats de l'hétérosis des hybrides F<sub>2</sub> par rapport au meilleur parent

	DE	Ht	NE	NG	PMG	RDT	TV	TM	TP	IB	IJ
Bidi17xM1084	+										
M1084xWaha							+			+	+
CapeitixBidi17		+		+		+					
M1084xCapeiti				+	+						
Bidi17xWaha			+			+					
CapeitixWaha					+	+					+

Quant aux croisements M1084 x Waha et M1084 x Capeiti, ils réalisent les meilleures performances pour l'hétérosis économique (Tableau 26).

**Tableau 26** : Synthèse des résultats de l'hétérosis économique des hybrides F<sub>2</sub>

	<b>DE</b>	<b>Ht</b>	<b>NE</b>	<b>NG</b>	<b>PMG</b>	<b>RDT</b>	<b>TV</b>	<b>TM</b>	<b>TP</b>	<b>IB</b>	<b>IJ</b>
Bidi17xM1084	+										
M1084xWaha							+			+	
CapeitixBidi17						+					
M1084xCapeiti				+	+						
Bidi17xWaha											
CapeitixWaha											+

### 3.2. Analyse génétique des caractères étudiés à la F<sub>2</sub>

L'analyse génétique des caractères étudiés réalisée sur les hybrides de deuxième génération fait ressortir ce qui suit :

- Une prédominance des effets additifs pour les caractères : hauteur des plantes, nombre d'épis par plante, poids de mille grains, taux de vitrosité, taux de moucheture et indice de jaune ;
- Le contrôle génétique des caractères précocité à l'épiaison, nombre de grains par épi, rendement en grain, teneur en protéine et indice de brun est de type non-additif.

Concernant l'héritabilité au sens étroit, elle est élevée pour les caractères hauteur des plantes, taux de vitrosité, taux de moucheture, indice de jaune et poids de mille grains indiquant encore une fois la prédominance des effets additifs pour ces caractères.

# *Conclusion générale*

## Conclusion générale

Notre étude a eu pour objectif l'évaluation de la valeur agronomique et technologique de quatre variétés de blé dur et des hybrides de première et de deuxième génération issus de leurs croisements diallèles et la détermination des meilleures combinaisons hybrides en l'occurrence celles regroupant le plus grands nombre de caractères favorables susceptibles d'améliorer la qualité de l'espèce blé dur.

A l'issue de ce travail, il a été constaté que plusieurs hybrides de première et de deuxième génération sont plus performants que leurs parents moyens et parents supérieurs respectifs et parfois même ils égalent ou dépassent la meilleure variété pour certains caractères comme notamment les hybrides : Capeiti x Waha pour le nombre de grains par épi en  $F_1$  et l'indice de jaune en  $F_2$ , M1084 x Capeiti pour le nombre de grains par épi en  $F_1$  et en  $F_2$ , le poids de mille grains pour les deux générations, Bidi17 x M1084 pour la précocité à l'épiaison et le nombre de grains par épi en  $F_2$ , le poids de mille grains pour les deux générations et la teneur en protéines en  $F_1$  ainsi que les génotypes Capeiti x Bidi 17 et Bidi 17 x Waha pour le rendement en grain en  $F_1$ .

Par conséquent, les meilleures combinaisons hybrides sont les génotypes Capeiti x Bidi 17, Bidi 17 x Waha, M1084 x Capeiti et Bidi 17 x M1084 de première génération et M1084 x Waha et M1084 x Capeiti de la seconde.

Les différentes analyses génétiques réalisées sur les parents et les croisements  $F_1$  et  $F_2$  révèlent tout d'abord que la variété Waha est un bon géniteur pour les caractères nombre de grains par épi, taux de vitrosité et indice de jaune. Pour la hauteur des plantes, le poids de mille grains, le taux de moucheture et l'indice de brun, c'est la variété Bidi 17 qui enregistre les valeurs d'aptitude générale à la combinaison les plus élevées. Et enfin, la variété Capeiti enregistre la valeur d'AGC la plus élevée pour le caractère nombre d'épis par plante.

De plus, ces analyses nous ont permis d'affirmer au niveau de ces variétés que le contrôle génétique des caractères précocité à l'épiaison, nombre de grains par épi, rendement en grain, teneur en protéine et indice de brun, est de type non-additif contrairement aux caractères hauteur des plantes, nombre d'épis par plante, poids de mille grains, taux de vitrosité, taux de moucheture et indice de jaune où l'additivité prédomine. Il est important de souligner aussi que ces résultats ont été confirmés par le biais du calcul de l'héritabilité au sens étroit.

A la lumière de ce qui précède et compte tenu des résultats obtenus nous pouvons conclure à l'intérêt d'utiliser les géotypes performants, présentant une importante vigueur hybride et une bonne aptitude spécifique à la combinaison dans les programmes d'amélioration du blé dur. En effet, l'existence d'un hétérosis élevé pour plusieurs caractères étudiés suggère la possibilité de produire des lignées transgressives à partir des hybrides de blé dur pour augmenter le rendement en grain et la qualité de cette espèce et enrichir ainsi la variabilité génétique existante. Cependant avant, il serait intéressant de tester ces hybrides dans diverses zones où les conditions environnementales sont différentes afin de vérifier la validité de ces résultats et de sélectionner des lignées adaptées aux différentes zones de production.

*Références  
Bibliographiques*

## Références bibliographiques

### Références sur support papier

1. **Abdalla O.S., Pena R.J., Autrique J.E. et Nachit M.M., (1993)** Durum wheat breeding and quality improvement at CIMMYT Mexico. In: proceeding: Seminar on “Durum Wheat Quality in the Mediterranean Region”, CIHEAM-CIMMYT-ICARDA, Zaragoza (Spain) 17-19 November 1993.
2. **Abecassis J., (1991)** Qualité du blé dur, de la semoule et des pâtes alimentaires. *Industrie des céréales*, 72: 7-11.
3. **Abecassis J., (1993)** Nouvelles possibilités d’apprécier la valeur meunière et la valeur semoulière des blés. *Industrie des céréales*, 81: 25-37.
4. **Abecassis J., Autran J.C. et Feuillet P., (1996)** Qu’est ce que la qualité en 1996 ? In: ITCF (Ed.), *Blé dur objectif qualité*, Paris, pp.24-27.
5. **Allard R.W., (1999)** Principles of plant breeding. 2<sup>nd</sup> edition. J. Wiley & Sons (Eds.), New York, 254pp.
6. **Amaya A.A., Bush R.H. et Lebsack K.L., (1972)** Estimates of genetics effects of heading date, plant height and grain yield in durum wheat. *Crop Sci.*, 12: 478-481.
7. **Autran J.C., Pogna N.E. et Kudryavtsev A.M., (1993)** Use of genetic variation in the improvement of quality in durum wheat. In: proceeding: Seminar on “Durum Wheat Quality in the Mediterranean Region”, CIHEAM-CIMMYT-ICARDA, Zaragoza (Spain) 17-19 November 1993.
8. **Barbosa-Neto J. F., Sorrells M. E. et Cisar G., (1996)** Prediction of heterosis in wheat using coefficient of parentage and RFLP-based estimates of genetic relationship. *Genome*, 39(6): 1142–1149.
9. **Barnard A.D., Labuschagne M.T. et Van Niekerk H.A., (2002)** Heritability estimates of bread wheat quality traits in the Western Cape province of South Africa. *Euphytica*, 127(1): 115-122.
10. **Baudoin J.P., Demol J., Louant B.P., Maréchal R., Mergeai G. et Otoul E., (2002)** Amélioration des plates : application aux principales espèces cultivées en régions tropicales. Les presses agronomiques de Gembloux (ed.), Paris, 581pp.
11. **Benbelkacem A. et Kellou K., (2000)** Evaluation du progrès génétique chez quelques variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *Durum*) cultivées en Algérie. In: proceeding:

- Seminar on “Durum Wheat Improvement in the Mediterranean Region: New Challenges”, CIHEAM-CIMMYT-ICARDA, Zaragoza (Spain) 12-14 April 2000.
12. **Boggini G. et Di Fonzo N., (1993)** The breeding methodology for the future of durum wheat in Italy. In: proceeding: Seminar on “Durum Wheat Quality in the Mediterranean Region”, CIHEAM-CIMMYT-ICARDA, Zaragoza (Spain) 17-19 November 1993.
  13. **Borghini B. et Perenzin M., (1994)** Diallel analysis to predict heterosis and combining ability for grain yield, yield components and bread-making quality in bread wheat (*T. aestivum*). Theor. Appl. Genet., 89: 975-981.
  14. **Borghini B., Perenzin M. et Nash R.J., (1989)** Combining ability estimates in bread wheat and performance on 100 F1 hybrids produced using a chemical hybridizing agent. J. Genet. Breed., 43: 11-16.
  15. **Boufenar-Zaghouane F. et Zaghouane O., (2006)** Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie (blé dur, blé tendre, orge et avoine). Edition l'ITGC, Alger, 154pp.
  16. **Boukecha D., (2001)** Etude agronomique et génétique de la tolérance à la sécheresse de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Thèse de Magister. INA, d'El Harrach. 132 pp.
  17. **Brites C.M., Maçãs B., Muacho C. et Coco J., (1993)** Quality of durum wheat breeding lines: Genetic and environmental effects. In: proceeding: Seminar on “Durum Wheat Quality in the Mediterranean Region”, CIHEAM-CIMMYT-ICARDA, Zaragoza (Spain) 17-19 November 1993.
  18. **Budak N., (1999)** Relationships between protein percentage, grain yield and plant height in durum wheat. Turkish J. of Field Crops, 4: 75-78.
  19. **Budak, N. et Yildirim M.B., (1996)** Heterosis in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Turkish J. Agric. Fore., 20: 345-347.
  20. **Budak N., (2001)** Heterosis and combining ability in a 8 X 8 diallel durum wheat population. Ege. Univ. Ziraat. Fak. Derg., 38(3-2): 55-62.
  21. **Chowdhry M.A., Parveen N., Khaliq I. et Kashif M., (2005)** Estimation of heterosis for yield and yield components in bread wheat. Journal of Agriculture & Social Sciences, 1(4): 304-308.
  22. **Christie, B. R. et Shattuck V. I., (1992)** The diallel cross: Design, analysis and use for plant breeders. Plant Breed. Rev., 9: 9-36.

23. **Clarke J.M., Clarke F.R., Arnes M.p., McCaig T.N. et Knox R.E., (2000)** Evaluation of predictors of quality for use in early generation selection. In: proceeding: Seminar on “Durum Wheat Improvement in the Mediterranean Region: New Challenges”, CIHEAM-CIMMYT-ICARDA, Zaragoza (Spain) 12-14 April 2000.
24. **Dagustu N., (2008)** Genetic analysis of grain yield per spike and some agronomic traits in diallel crosses of bread wheat. *Turk. J. Agric. For.*, 32(4): 249-258.
25. **Demarly Y., (1977)** Génétique et amelioration des plantes. Masson (Ed.), Paris, 287pp.
26. **Desclaux D., (2000)** Environmental conditions inducing black-point symptoms in durum wheat. In: proceeding: Seminar on “Durum Wheat Improvement in the Mediterranean Region: New Challenges”, CIHEAM-CIMMYT-ICARDA, Zaragoza (Spain) 12-14 April 2000.
27. **De Vita P., Destri Nicosia O.L., Nigro F., Platani C., Riefolo C., Di Fonzo N. et Cattivelli L., (2007)** Breeding progress in morpho-physiological, agronomical and qualitative traits of durum wheat cultivars released in Italy during the 20th Century. *Europ. J. Agronomy*, 26: 39-53.
28. **Dewey D.R. et Lu K.H., (1959)** A correlation and path coefficient analysis of components of crested wheat grass seed production. *Agron. J.*, 51: 515-518.
29. **Dexter J.E. et Marchylo B.A., (1996)** Meeting the durum wheat quality requirements of an evolving processing industry: past, present and future trends. In proceeding: the Pavan Mapimpianti 50th Anniversary Durum Wheat and Pasta Seminars, Bassano del Grappa (Italy), 23-26 October 1996.
30. **Dexter J.E. et Marchylo B.A., (2000)** Recent trends in durum wheat milling and pasta processing: Impact on durum wheat quality requirements. In proceeding: the International workshop on durum wheat, semolina and pasta quality: Recent achievements and new trends, Montpellier (France), 27 November 2000.
31. **Dexter J.E., Williams P.C., Edwards N.M. et Martin D.G., (1988)** The relationships between durum wheat vitreousness, kernel hardness, and processing quality. *J. Cereal Sci.*, 7: 169-181.
32. **D’ovidio R., Tanzarella O.A., Lafiandra D. et Porceddu E., (1993)** Identification of durum wheat cultivars with good and poor quality by PCR-based markers. In: proceeding: Seminar on “Durum Wheat Quality in the Mediterranean Region”, CIHEAM-CIMMYT-ICARDA, Zaragoza (Spain) 17-19 November 1993.
33. **DSASI-MADR., (2004)** Rapport sur la situation du secteur agricole 2004, Direction des Statistiques Agricoles et des Systèmes d'Information, MADR, 75pp.

34. **DSASI-MADR., (2006)** Rapport sur la situation du secteur agricole 2006, Direction des Statistiques Agricoles et des Systèmes d'Information, MADR, 70pp.
35. **Elfadl E., Kling C. et Melchinger A., (2006)** Evaluation of heterosis in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). In: proceeding: The annual Conference on Tropical and Subtropical Agricultural and Natural Resource Management (TROPENTAG), Bonn (Germany) 11-13 October 2006.
36. **Elias E.M., (1993)** Durum wheat products. In: proceeding: Seminar on "Durum Wheat Quality in the Mediterranean Region", CIHEAM-CIMMYT-ICARDA, Zaragoza (Spain) 17-19 November 1993.
37. **Elmogtaba-Elfadl E.Y., (2002)** Evaluation of heterosis in durum wheat hybrid (*Triticum durum* Desf.). Thèse de Master. Université de Hohenheim (Stuttgart), 57pp.
38. **Fonseca, S. et Patterson F.L., (1968)** Hybrid vigour in seven parental diallel crosses in common wheat (*Triticum aestivum* L.). *Crop Sci.*, 8: 85-88.
39. **Gallais A., (1990)** Théorie de la sélection en amélioration des plantes. Masson (Ed.), Paris, 588pp.
40. **Gallais A. et Bannerot H., (1992)** Amélioration des espèces végétales cultivées : Objectifs et critères de sélection. INRA Edition, Paris, 768pp.
41. **Gautman P.L. et Jain K.B.L., (1985)** Heterosis for various characters in durum wheat. *Ind. J. Genet. Pl. Bre.*, 45: 159-165.
42. **Griffing B., (1956a)** A generalized treatment of the use of diallel crosses in quantitative inheritance. *Heredity*, 10: 31-50.
43. **Griffing B., (1956b)** Concept of general combining and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.*, 9: 463-493.
44. **Hanifi-Mekliche L. et Gallais A., (1999)** Heterosis, genetic effects and value of F2 S and doubled-haploid lines in barley breeding. *Agronomie*, 19: 509-520.
45. **Hanifi-Mekliche L., Boukecha D. et Mekliche A., (2008)** Analyse agronomique et génétique de quelques variétés de blé dur et de leurs hybrides F1 en conditions pluviales. *Sciences & technologie C.*, 27: 9-14.
46. **Hassan E.E. et Saad A.M.M., (1996)** Combining ability, heterosis, correlation and multiple linear regression for yield and its contributing characters in some bread wheat genotypes. *Annals of Agric.*, 34(2): 487-499.

47. **Hayman, B.I., (1954a)** The analysis of variance of diallel tables. *Biometrics*, 10: 235-244.
48. **Hayman, B.I. (1954b)** The theory and analysis of diallel crosses. *Genetics*, 39: 789-809.
49. **Hill J., Becker H.C. et Tigerstedt P.M.A., (1998)** Quantitative and ecological aspects of plant breeding. Chapman & Hall (Eds.), London, 275pp.
50. **Impiglia A., Nachit M.M., Lafiandra D. et Porceddu E., (1993)** Effect of gliadin and glutenin components on gluten strength in durum wheat. In: proceeding: Seminar on "Durum Wheat Quality in the Mediterranean Region", CIHEAM-CIMMYT-ICARDA, Zaragoza (Spain) 17-19 November 1993.
51. **Inamullah H.A., Fida M., Siraj U.D., Ghulam H. et Rahmani G., (2006)** Evaluation of the heterotic and heterobeltiotic potential of wheat genotypes for improved yield. *Pak. J. Bot.*, 38(4): 1159-1167.
52. **Johnston R.A., Quick J.S. et Hammond J.J., (1983)** Inheritance of semolina color in six durum wheat crosses. *Crop.Sci.*, 23: 607-610.
53. **Josephides C.M., (2000)** Breeding durum wheat for grain yield and quality. In: proceeding: Seminar on "Durum Wheat Improvement in the Mediterranean Region: New Challenges", CIHEAM-CIMMYT-ICARDA, Zaragoza (Spain) 12-14 April 2000.
54. **Joshi S.K., Sharma S.N., Singhania D.L. et Sain R.S., (2004)** Combining ability in the F1 and F2 generations of diallel cross in hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L. em. Thell). *Hereditas*, 141: 115-121.
55. **Kaan F., Chihab B., Borriès C., Monneveux P. et Branlard G., (1993)** Prebreeding and breeding durum wheat germplasm (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) for quality products. In: proceeding: Seminar on "Durum Wheat Quality in the Mediterranean Region", CIHEAM-CIMMYT-ICARDA, Zaragoza (Spain) 17-19 November 1993.
56. **Kaan F., Souyris L., Macheix J.J., Regnier T., Andary C., Braun P., Mahaut B. et Ponchet M., (1993a)** The use of *in vitro* methods for blackpoint control and resistance in durum wheat (*T. turgidum* L. var. *durum*). In: proceeding: Seminar on "Durum Wheat Quality in the Mediterranean Region", CIHEAM-CIMMYT-ICARDA, Zaragoza (Spain) 17-19 November 1993.
57. **Khan M.A. et Khan A.S., (1996)** Heterosis studies for yield and yield components in some crosses of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Pak. J. Agri. Sci.*, 33: 65-68.
58. **Khan A.S. et Sher A., (1999)** Estimation of heterotic effects for yield and its components in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Pak. J. Bio. Sci.*, 2(3): 928-930.

59. **Knox R.E., Clarke J.M. et DePauw R.M., (2000)** Dicamba and growth condition effects on doubled haploid production in durum wheat crossed with maize. *Plant Breeding*, 119: 289-298.
  
60. **Lefort-Buson M. et Dattée Y., (1985)** Etude de l'hétérosis chez le colza oléagineux d'hiver (*Brassica napus L.*). II: Structure génétique d'une population de lignées. *Agronomie*, 5(3): 201-208.
  
61. **Le Gouis J., Beghin D., Heumez E. et Pluchard P., (2002)** Diallel analysis of winter wheat at two Nitrogen levels. *Crop Sci.*, 42: 1129-1134.
  
62. **Lerner S.E., Seghezzo M.L., Molfese E.R, Ponzio N.R., Cogliatti M. et Rogers W.J., (2006)** N- and S- fertiliser effects on grain composition, industrial quality and end-use in durum wheat. *Journal of Cereal Science*, 44: 2-11.
  
63. **Li W., Yan Z.H., Wei Y.M., Lan X.J et Zheng Y.L., (2006)** Evaluation of genotype x environment interactions in Chinese spring wheat by the AMMI model, correlation and path analysis. *J. Agron. Crop Sci.*, 192(3): 221-227.
  
64. **Ltifi A. et Daaloul A., (1994)** Analyse diallèle du rendement et ses composantes chez le blé dur (*Triticum durum* desf). *Revue de l'I.N.A.T.*, 7(1): 95-106.
  
65. **Mahaut B., (1996)** Comment évalue-t-on la qualité d'un blé dur ? In: ITCF (Ed.), Blé dur objectif qualité, Paris, pp.28-31.
  
66. **Mahmood N. et Chowdhry M.A., (1999)** Inheritance of some growth parameters in bread wheat. *Pak. J. Biol. Sci.*, 2(3): 781-790.
  
67. **Morgan C.L., Austin R.B., Ford M.A., Bingham J., Angus W.J. et Chowdhury S., (1989)** An evaluation of F1 hybrid winter wheat genotypes produced using a chemical hybridizing agent. *J. Agric. Sci.*, 112: 143-149.
  
68. **Nachit M.M., Baum M., Impiglia A. et Ketata H., (1993)** Studies on some grain quality traits in durum wheat grown in Mediterranean environments. In: proceeding: Seminar on "Durum Wheat Quality in the Mediterranean Region", CIHEAM-CIMMYT-ICARDA, Zaragoza (Spain) 17-19 November 1993.
  
69. **Nanda G.S., Hazarika G.N. et Gill K.S., (1981)** Inheritance of heading date, plant height, ear length and spikelets per spike in an intervarietal cross of wheat. *Theor. Appl. Genet.*, 60(3): 167-171.
  
70. **Nzaramba M.N., (2004)** Inheritance of antioxidant activity and its association with seed coat color in cowpea, (*Vigna unguiculata L.*). Thèse de Master. Université de Makerere, 84 pp.

71. **Oury F.X., Brabant P., Bérard P. et Pluchard P., (2000)** Predicting hybrid value in bread wheat: biometric modelling based on a "top-cross" design. *Theoretical and Applied Genetics*, 100: 96-104.
72. **Oury F.X., Koenig J., Berard P. et Rousset M., (1990)** Une comparaison entre des blés hybrides produits par voie chimique et leurs parents : niveaux d'hétérosis et élaboration du rendement. *Agronomie*, 10: 291-304.
73. **Oury F.X., Rousset M., Berard P., Pluchard P., Dousinault G., Gourdon J. et Lagoutte F., (1994)** Une étude de la qualité des blés hybrides à travers différents tests technologiques. *Agronomie*, 14: 377-385.
74. **Patwary A.K., Ghani M.U. et Rahman M.M., (1988)** Heterosis in wheat. *Ind. J. Agri. Sci.*, 56: 382-384.
75. **Perenzin M., Corbellini M., Accerbi M., Vaccino P. et Borghi B., (1998)** bread wheat F1 hybrid performance and parental diversity estimates using molecular markers. *Euphytica*, 100(1-3): 273-279.
76. **Perenzin M., Pogna N.E. et Borghi B., (1992)** Combining ability for breadmaking quality in wheat. *Can. J. Plant Sci.*, 72: 743-754.
77. **Porceddu E., (1993)** Durum wheat quality in the Mediterranean countries. In: proceeding: Seminar on "Durum Wheat Quality in the Mediterranean Region", CIHEAM-CIMMYT-ICARDA, Zaragoza (Spain) 17-19 November 1993.
78. **Raciti C.N., Doust M.A., Lombardo G.M., Boggini G. et Pecetti L., (2003)** Characterization of durum wheat mediterranean germplasm for high and low molecular weight glutenin subunits in relation with quality. *Europ. J. Agronomy*, 19: 373-382.
79. **Ragsdale P.I., (2003)** Diallel analysis of within-boll seed yield components and fiber properties in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and breeding potential for heat tolerance. Thèse de Doctorat. Université de Louisiana, 62pp.
80. **Rasul I., Khan A.S. et Ali Z., (2002)** Estimation of heterosis for yield and some yield components in bread wheat. *Int. J. Agri. Biol.*, 4(2): 214-216.
81. **Règlement CE N° 824/2000 de la Commission du 19 avril 2000**, fixant les procédures de prise en charge des céréales par les organismes d'intervention ainsi que les méthodes d'analyse pour la détermination de la qualité. *Journal officiel des communautés européennes* n° L 100 du 20 avril 2000.
82. **Rharrabti Y., Royo C., Villegas D., Aparicio N. et Garcia del Moral L.F., (2003)** Durum wheat quality in the Mediterranean environments I. Quality expression under different zones, Latitudes and water regimes across Spain. *Field Crops Research*, 80: 123-131.

83. **Rharrabti Y., Villegas D., Royo C., Martos-Núñez V. et Garcia del Moral L.F., (2003a)** Durum wheat quality in the Mediterranean environments II. Influence of climatic variables and relationships between quality parameters. *Field Crops Research*, 80: 133-140.
84. **Samson M.F. et Desclaux D., (2006)** Amélioration de la valeur technologique et commerciale du blé dur : vers une réduction des taux de moucheture et de mitadin. In: proceeding: Colloque Régional INRA-PSDR: Recherches "Pour et sur le développement régional": Agriculture et agroalimentaire dans le développement des territoires en Languedoc-Roussillon: quelles questions à la recherche ?, Campus INRA-Agro, Montpellier (France) 21 juin 2006.
85. **Samson M.F., Mabile F., Chéret R., Abécassis J. et Morel M.H., (2005)** Mechanical and physicochemical characterization of vitreous and mealy durum wheat endosperm. *Cereal Chem.*, 82(1): 81–87.
86. **Sharief, A.E., El Hinidi M.H., Sultan M.S., Abdel El Latif A.H. et El-Hawary M.N., (2006)** Heterosis in some bread wheat crosses under normal and water stress conditions. *Egypt J. Plant Breed.*, 10(2): 1-14.
87. **Shewry P., Tatham A., Barcelo P. et Lazzeri P., (1993)** Molecular and cellular techniques in wheat improvement. In: proceeding: Seminar on "Durum Wheat Quality in the Mediterranean Region", CIHEAM-CIMMYT-ICARDA, Zaragoza (Spain) 17-19 November 1993.
88. **Simon H., Codaccioni P. et Lecaer X., (1989)** Produire des céréales à pailles, TEC & DOC, 333pp.
89. **Singh G. et Nanda G.S., (1989)** Estimation of gene action through triple-test cross in bread wheat (*Triticum aestivum L.*). *Indian J. Agric. Sci.*, 59(1): 700-702.
90. **Sokol M.J. et Baker R.J., (1977)** Evaluation of the assumptions required for the genetic analysis interpretation of diallel experiments in self-pollinated crops. *Can. J. Plant Sci.*, 57: 1185-1191.
91. **Soltner D., (1990)** Les grandes productions végétales. 17<sup>ème</sup> édition, Sciences et technique agricoles, 464pp.
92. **Soriano Viana J.M., (2000a)** The parametric restrictions of the Griffing diallel analysis model: combining ability analysis. *Genet. Mol. Biol.*, 23(4): 877-881.
93. **Soriano Viana J.M., (2000b)** The parametric restrictions of the Gardner and Eberhart diallel analysis model: heterosis analysis. *Genet. Mol. Biol.* 23(4): 869-875.
94. **Soriano Viana J.M., Cruz C.D., Cardoso A.A. et Regazz A.J., (2000)** Analysis of variance of partial diallel tables. *Genet. Mol. Biol.*, 23(1): 229-234.

95. **Soriano Viana J.M. et De Pina Matta F., (2003)** Analysis of general and specific combining abilities of popcorn populations, including selfed parents *Genet. Mol. Biol.*, 26(4): 465-471.
96. **Topal A, Aydm C., Akjün N. et Babaoglu M., (2004)** Diallel cross analysis in durum wheat (*Triticum durum* Desf.): identification of best parents for some kernel physical features. *Field Crops Research*, 87: 1–12.
97. **Trentesaux E., (1993)** Evaluation de la qualité du blé dur. In: proceeding: Seminar on “Durum Wheat Quality in the Mediterranean Region”, CIHEAM-CIMMYT-ICARDA, Zaragoza (Spain) 17-19 November 1993.
98. **Trentesaux E., (1996)** Du blé dur aux pâtes. In: ITCF (Ed.), Blé dur objectif qualité, Paris, pp.19-23.
99. **Vitkare D.G. et Atale S.B., (1991)** Studies on heterosis for the yield attributes in 15 x 15 diallel in wheat (*Triticum aestivum* L.). *PKV Res. J.*, 1: 111-116.
100. **Widner J.N. et Lebsock K.L., (1973)** Combining ability in durum wheat. I: agronomic characteristics. *Crop Sci.*, 13: 164-167.
101. **Zhanga Y., Kangb M.S. et Lamkeya K.R., (2005)** DIALLEL-SAS 05: A Comprehensive Program for Griffing's and Gardner–Eberhart Analyses. *Agron J.*, 97: 1097-1106.

### **Références numériques**

102. **Abaye A. O., Brann D. E., Alley M. M. et Griffey C.A., (1997)** Winter durum wheat: do we have all the answers? Virginia Cooperative Extension, 424-802.  
<URL: <http://pubs.ext.vt.edu/424/424-802/424-802.html>>.
103. **Berland S. et Roussel P., (2005)** Qualité technologique.  
<URL: <http://ensmic.scola.ac-paris.fr/920.htm>>.
104. <URL: <http://www.inspection.gc.ca/francais/plaveg/bio/dir/dir0607f.shtml>>.
105. <URL: <http://www.gnis-pedagogie.org/pages/paille/chap2/5.htm>>.
106. <URL: [http://www.unep.fr/scp/rpanel/pdf/Assessing\\_Biofuels\\_Summary\\_French.pdf](http://www.unep.fr/scp/rpanel/pdf/Assessing_Biofuels_Summary_French.pdf)>.

# *Annexes*

## **ANNEXE I**

# **DONNEES SUR L'IMPORTANCE DES BLES DURS EN ALGERIE**

- **Tableau 1 : Evolution des superficies récoltées, des productions et des rendements réalisés, du blé dur par rapport aux autres espèces céréalières (2000-2006).**
  
- **Tableau 2 : Evolution des importations du blé dur et du blé tendre (2000-2004).**
  
- **Tableau 3 : Composition chimique du blé dur par rapport au blé tendre (pour 100 g de grains entiers).**
  
- **Figure 1 : Répartition des superficies récoltées et des productions du blé dur par rapport aux autres espèces céréalières (moyenne 2000-2006).**

**Tableau 1** : Evolution des superficies récoltées, des productions et des rendements réalisés du blé dur par rapport aux autres espèces céréalières (2000-2006) (DSASI-MADR, 2007).

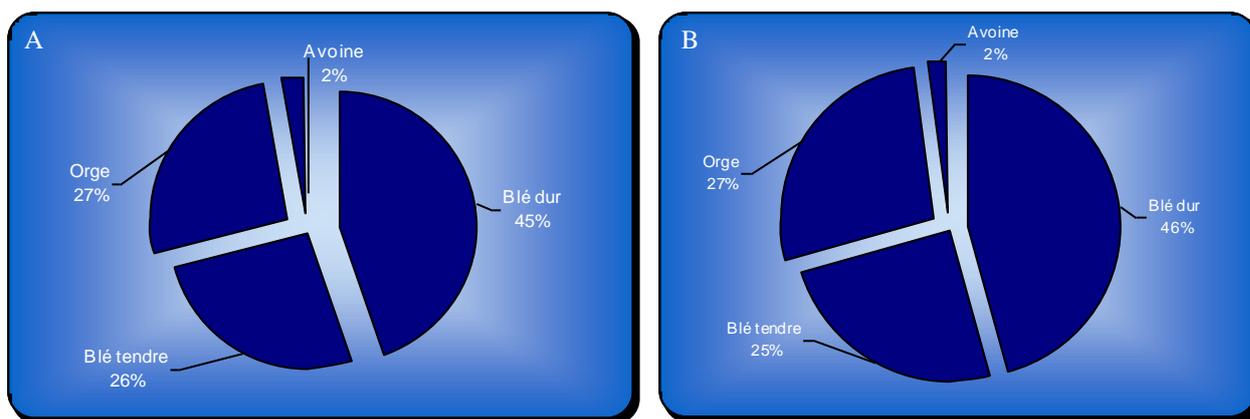
Année	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Moy
Répartition des superficies récoltées par espèce (U =ha)								
Blé dur	544470	1112180	813890	1265370	1307590	1042894	1162880	1035610,57
Blé tendre	282100	724230	584570	782200	703010	560850	620945	608272,14
Orge	215630	515690	401400	782380	915440	684648	812280	618209,71
Avoine	14660	49700	44600	70870	73960	61227	75035	55721,71
Triticale	10	10	0	0	0	0	0	2,86
<b>Total</b>	<b>1056870</b>	<b>2401810</b>	<b>1844460</b>	<b>2900820</b>	<b>3000000</b>	<b>2349619</b>	<b>2671140</b>	<b>2317817</b>
Répartition de la production réalisée par espèce (U = qx)								
Blé dur	4863340	12388650	9509670	18022930	20017000	15687090	17728000	14030954,29
Blé tendre	2740270	8003480	5508360	11625590	7290000	8460185	9151300	7539883,57
Orge	1632870	5746540	4161120	12219760	12116000	10328190	12358800	8366182,86
Avoine	81700	436610	334950	775460	890000	775000	890000	597674,29
Triticale	110	60	0	0	0	0	0	24,29
<b>Total</b>	<b>9318290</b>	<b>26575340</b>	<b>19514100</b>	<b>42643740</b>	<b>40313000</b>	<b>35250465</b>	<b>40128100</b>	<b>30534719,29</b>
Répartition du rendement par espèce (U = qx/ha)								
Blé dur	8,93	11,14	11,68	14,24	15,31	15,04	15,24	13,55
Blé tendre	9,71	11,05	9,42	14,86	10,37	15,08	14,74	12,40
Orge	7,57	11,14	10,37	15,62	13,24	15,09	15,21	13,53
Avoine	5,57	8,78	7,51	10,94	12,03	12,66	11,86	10,73
Triticale	11	6	-	-	-	-	-	8,50
<b>Total</b>	<b>8,82</b>	<b>11,06</b>	<b>10,58</b>	<b>14,7</b>	<b>13,44</b>	<b>15</b>	<b>15,02</b>	<b>13,17</b>

Moy : Moyenne des sept années.

**Tableau 2** : Evolution des importations du blé dur et du blé tendre (2000-2004) (DSASI-MADR, 2004).

Année	2000		2001		2002	
	Valeur (1000\$)	Quantité (Tonne)	Valeur (1000\$)	Quantité (Tonne)	Valeur (1000\$)	Quantité (Tonne)
Blé dur	647088	4148000	484575	2769000	634036	3562000
Blé tendre	157767	1223000	238815	1769000	314244	2436000
Année	2003		2004		Moy (2003-2004)	
	Valeur (1000\$)	Quantité (Tonne)	Valeur (1000\$)	Quantité (Tonne)	Valeur (1000\$)	Quantité (Tonne)
Blé dur	586666	2978000	703474	3334000	<b>611167,8</b>	<b>3358200</b>
Blé tendre	293265	2205000	318276	1684000	<b>264473,4</b>	<b>1863400</b>

Moy : Moyenne des cinq années.



**Figure 1** : Répartition des superficies récoltées et des productions du blé dur par rapport aux autres espèces céréalières (moyenne 2000-2006) (DSASI- MADR, 2007).  
 A : Superficies récoltées (%) ;  
 B : Production réalisée (%).

**Tableau 3** : Composition chimique du blé dur par rapport au blé tendre (pour 100 g de grains entiers) (Trentesaux, 1991)

Composant	Blé tendre	Blé dur
Eau (g)	13,5	13
Energie (K joules)	1398	1383
Energie (K cal)	334	331
Glucides (g)	67,3	63
Lipides (g)	2	2,5
Protides (g) (N x 6,25)	11,7	14
Fibres alimentaires (g)	9,6	9,5
Calcium (mg)	30	35
Magnésium (mg)	173	100
Phosphore (mg)	340	390
Sodium (mg)	5	5
Potassium (mg)	370	-
Fer (mg)	3,4	4,5
Vitamine B1 (Thiamine) (mg)	0,45	0,5
Vitamine B2 (Riboflavine) (mg)	0,1	0,09
Vitamine PP (Niacine) (mg)	5	6
Vitamine E (Tocophérols) (mg)	2,5	3
Biotine (mg)	0,005	0,01
Acide pholique (mg)	0,05	0,04
Vitamine B6 (Pyridoxine) (mg)	0,45	0,5

## **ANNEXE II**

# **RESULTATS DE L'ANALYSE STATISTIQUE**

- **Tableau 1 : Valeurs moyennes des géotypes et résultats de l'analyse de variance des caractères étudiés en F<sub>1</sub>.**
- **Tableau 2 : Analyse de la variance des caractères étudiés en F<sub>1</sub>.**
- **Tableau 3 : Test de Newman et Keuls : valeurs des PPAS des caractères étudiés en F<sub>1</sub> (seuil  $\alpha = 5 \%$ ).**
- **Tableau 4 : Matrice de corrélation des caractères étudiés en F<sub>1</sub>.**
- **Tableau 5 : Valeurs moyennes des hybrides F<sub>2</sub> et des variétés parentales des caractères étudiés en F<sub>2</sub>.**
- **Tableau 6 : Analyse de la variance des caractères étudiés en F<sub>2</sub>.**
- **Tableau 7 : Test de Newman et Keuls : valeurs des PPAS des caractères étudiés en F<sub>2</sub> (seuil  $\alpha = 5 \%$ ).**
- **Tableau 8 : Matrice de corrélation des caractères étudiés en F<sub>2</sub>.**

**Tableau 1** : Valeurs moyennes des géotypes et résultats de l'analyse de variance des caractères étudiés

Caractère	DE	Ht	NE	NG	PMG	Rdt	TV	TM	TP	IB	IJ
<b>Géotype</b>											
Waha	111	98,4	4,40	49,7	45	9,87	100	0	13,85	9,87	23,18
M1084	102	91,4	5,60	45,55	49	12,55	100	0	14,91	8,74	23,42
Capeiti	97	116,4	6,80	39,22	47	12,58	90	13,02	12,98	9,05	23,44
Bidi 17	119	139	4,80	40,65	55	10,78	97	7,99	13,45	10,37	19,91
<b>Moyenne des parents</b>	<b>107,25</b>	<b>111,30</b>	<b>5,40</b>	<b>43,78</b>	<b>49,00</b>	<b>11,45</b>	<b>96,75</b>	<b>5,25</b>	<b>13,80</b>	<b>9,51</b>	<b>22,49</b>
WahaxM1084	111	96,6	3,8	51,55	53	12,79	99	0	14,88	9,31	22,41
Wahax Capeiti	104	107,8	4,6	54,5	49	12,92	99	0	12,84	9,47	22,28
Wahax Bidi 17	106	105,4	5	50,33	52	14,65	98	0	15,06	9,62	21,58
M1084x Capeiti	108	107,6	4,8	53,88	58	10,67	96	6,02	13,47	8,93	23,07
M1084xBidi17	116	119,4	5,2	40,33	65	10,25	92	5,05	16,33	9,47	20,64
CapeitixBidi17	103	108	6,6	48,2	41	16,85	95	4,88	15,13	9,83	23,82
<b>Moyenne des hybrides</b>	<b>108</b>	<b>107,47</b>	<b>5,00</b>	<b>49,80</b>	<b>53,00</b>	<b>13,02</b>	<b>96,50</b>	<b>2,66</b>	<b>14,62</b>	<b>9,44</b>	<b>22,30</b>

**Tableau 2** : Analyse de la variance des caractères étudiés en F<sub>1</sub>.

Caractères	Carré moyen			CV (%)
	Géotype (ddl = 9)	Répétition (ddl = 4)	Interaction (ddl = 36)	
Hauteurs des plantes	920,09***	88,75	11,78	3,15
Nombre d'épis par plante	4,44***	1,18	0,50	13,73
Nombre de grains par épi	161,12***	10,11	10,21	6,74
Rendement en grain	23,32***	8,77	4,31	16,8
	Géotype (ddl = 9)	Répétition (ddl = 2)	Interaction (ddl = 18)	
Teneur en protéines	3,86***	0,09	0,38	4,33

**Tableau 3 :** Test de Newman et Keuls : valeurs des PPAS des caractères étudiés en F<sub>1</sub>  
(seuil  $\alpha = 5\%$ ).

Nombre de groupe de moyenne	Caractères				
	<i>Ht</i>	<i>NE</i>	<i>NG</i>	<i>Rdt</i>	<i>TP</i>
2	4,40	0,91	4,10	2,66	1,06
3	5,31	1,10	4,94	3,21	1,29
4	5,85	1,21	5,44	3,54	1,43
5	6,23	1,29	5,80	3,77	1,53
6	6,53	1,35	6,08	3,95	1,61
7	6,78	1,40	6,31	4,10	1,67
8	6,98	1,44	6,50	4,22	1,72
9	7,16	1,48	6,66	4,33	1,77
10	7,31	1,51	6,81	4,43	1,81

**Tableau 4 :** Matrice de corrélation des caractères étudiés en F<sub>1</sub>

	<i>Ht</i>	<i>NE</i>	<i>NG</i>	<i>Rdt</i>	<i>TP</i>
<b>Ht</b>	1				
<b>NE</b>	0,159	1			
<b>NG</b>	-0,564	-0,287	1		
<b>Rdt</b>	-0,151	0,636	0,328	1	
<b>TP</b>	-0,181	0,024	-0,159	0,136	1

**Tableau 5 :** Valeurs moyennes des hybrides F<sub>2</sub> et des variétés parentales des caractères étudiés.

Caractère	DE	Ht	NE	NG	PMG	Rdt	TV	TM	TP	IB	IJ
<b>Génotype</b>											
Waha	116,33	99	4,00	56,00	39,03	8,70	98,22	0,06	9,32	13,23	23,34
M1084	121,67	87,67	5,00	57,00	43,63	12,45	98,11	0,00	12,83	12,85	22,39
Capeiti	111,33	113,67	5,67	31,67	42,40	7,58	87,78	0,00	11,89	12,67	23,91
Bidi 17	116,67	136,33	4,33	42,67	47,90	8,81	99,44	0,32	12,49	13,72	20,39
<b>Moyenne des parents</b>	<b>116,5</b>	<b>109,17</b>	<b>4,75</b>	<b>46,83</b>	<b>43,24</b>	<b>9,38</b>	<b>95,89</b>	<b>0,09</b>	<b>11,64</b>	<b>13,12</b>	<b>22,51</b>
WahaxM1084	122,67	92,67	3,67	52	43,37	8,31	98,78	0,07	11,75	12,40	23,93
Wahax Capeiti	120,67	105,33	4,33	57	43,88	10,72	97,67	0,00	11,89	12,76	24,73
Wahax Bidi 17	119,33	102,67	4,33	57,67	45,28	11,25	98,22	0,15	10,40	13,93	22,66
M1084x Capeiti	116,67	105	4	63,33	48,6	12,33	91	0,00	10,45	13,03	22,57
M1084xBidi17	110,33	112,67	4,67	42,67	48	9,50	97,45	0,00	11,25	13,52	21,41
CapeitixBidi17	129,33	106,33	5,33	53,33	46,58	13,30	95,67	0,16	10,15	12,68	21,64
<b>Moyenne des hybrides</b>	<b>119,83</b>	<b>104,11</b>	<b>4,39</b>	<b>54,33</b>	<b>45,95</b>	<b>10,90</b>	<b>96,46</b>	<b>0,06</b>	<b>10,98</b>	<b>13,06</b>	<b>22,82</b>

**Tableau 6 :** Analyse de la variance des caractères étudiés en F<sub>2</sub>.

Caractères	Carré moyen			CV (%)
	Génotype (ddl = 9)	Répétition (ddl = 2)	Interaction (ddl = 18)	
Date à l'épiaison	93,2 <sup>***</sup>	1,2	1,79	1,13
Hauteur des plantes	532,9 <sup>***</sup>	54,23	18,49	4,05
Nombre d'épis par plante	1,2 <sup>*</sup>	0,63	0,41	14,14
Nombre de grains par épi	270,52 <sup>***</sup>	61,63	16,82	7,99
Poids de mille grains	26,98 <sup>**</sup>	2,75	6,72	5,78
Rendement en grain	11,89 <sup>**</sup>	2,06	2,60	15,67
Taux de vitrosité	43,64 <sup>***</sup>	1,68	6,35	2,62
Taux de moucheture	0,03 <sup>**</sup>	0,01	0,01	120,4
Teneur en protéines	3,80 <sup>*</sup>	0,91	1,33	10,27
Indice de brun	0,76 <sup>**</sup>	0,03	0,15	2,96
Indice de jaune	5,25 <sup>***</sup>	0,11	0,45	2,97

**Tableau 7 :** Test de Newman et Keuls : valeurs des PPAS des caractères étudiés en F<sub>2</sub>  
(seuil  $\alpha = 5\%$ ).

Nombre de groupe de moyenne	<i>Caractères</i>										
	<i>DE</i>	<i>Ht</i>	<i>NE</i>	<i>NG</i>	<i>PMG</i>	<i>Rdt</i>	<i>TV</i>	<i>TM</i>	<i>TP</i>	<i>IB</i>	<i>IJ</i>
2	2,30	7,38	1,10	7,04	4,45	2,77	4,32	0,16	1,98	0,66	1,16
3	2,79	8,95	1,34	8,54	5,40	3,36	5,25	0,19	2,41	0,81	1,40
4	3,09	9,92	1,48	9,46	5,98	3,72	5,81	0,21	2,66	0,89	1,55
5	3,30	10,62	1,58	10,12	6,40	3,98	6,22	0,22	2,85	0,96	1,66
6	3,47	11,16	1,66	10,64	6,73	4,19	6,54	0,24	3,00	1,00	1,75
7	3,61	11,60	1,73	11,07	6,99	4,35	6,80	0,25	3,12	1,04	1,82
8	3,73	11,98	1,79	11,42	7,22	4,49	7,02	0,25	3,22	1,08	1,88
9	3,83	12,30	1,83	11,73	7,42	4,62	7,21	0,26	3,30	1,11	1,93
10	3,92	12,59	1,88	12,01	7,59	4,72	7,38	0,27	3,38	1,13	1,97

**Tableau 8** : Matrice de corrélation des caractères étudiés en F<sub>2</sub>

	<i>DE</i>	<i>HT</i>	<i>NE</i>	<i>NG</i>	<i>PMG</i>	<i>RDT</i>	<i>TV</i>	<i>TM</i>	<i>TP</i>	<i>IB</i>	<i>IJ</i>
<b>DE</b>	1,000										
<b>HT</b>	-0,392	1,000									
<b>NE</b>	-0,027	0,155	1,000								
<b>NG</b>	0,536	-0,573	-0,545	1,000							
<b>PMG</b>	-0,007	0,483	0,019	0,020	1,000						
<b>RDT</b>	0,614	-0,325	0,151	0,679	0,411	1,000					
<b>TV</b>	0,341	-0,097	-0,499	0,326	-0,043	0,047	1,000				
<b>TM</b>	0,269	0,613	-0,100	-0,130	0,297	-0,045	0,421	1,000			
<b>TP</b>	-0,095	0,172	0,219	-0,381	0,161	-0,177	0,078	0,017	1,000		
<b>IB</b>	-0,392	0,474	-0,186	-0,004	0,334	-0,022	0,341	0,478	-0,178	1,000	
<b>IJ</b>	0,030	-0,542	-0,141	0,151	-0,660	-0,236	-0,248	-0,624	-0,045	-0,576	1,000

## **Résumé :**

Quatre variétés de blé dur et les hybrides  $F_1$  et  $F_2$  issus de leurs croisements diallèles ont été étudiés sur le plan agronomique, technologique et génétique durant les campagnes 2003-2004 pour la  $F_1$  au niveau de la station expérimentale de l'institut technique de grandes cultures (ITGC) d'El-Khroub (Constantine) et 2004-2005 pour la  $F_2$  au niveau de la station de l'ITGC de Oued Smar (Alger). Les résultats de cette étude indiquent que l'hétérosis global est positif pour le nombre de grains par épi (13,7 % en  $F_1$  et 16 % en  $F_2$ ), le poids de mille grains (8,2 % en  $F_1$  et 6,2 % en  $F_2$ ), le rendement en grain (13,7 % en  $F_1$  et 16,1 % en  $F_2$ ), la teneur en protéines en  $F_1$  (5,9 %) et l'indice de jaune en  $F_2$  (1,4 %) contrairement aux caractères hauteur des plantes (-3,4 % en  $F_1$  et -4,6 % en  $F_2$ ) et nombre d'épis par plantes (-7 % en  $F_1$  et en  $F_2$ ) où les valeurs sont négatives. Concernant le rendement en grain, plusieurs hybrides  $F_1$  et  $F_2$  dépassent leurs parents supérieurs respectifs et seuls les croisements M1084 x Capeiti de la  $F_1$  (11,3 %) et Capeiti x Bidi 17 de la  $F_2$  (6,8 %) enregistrent des valeurs positives de l'hétérosis économique.

L'analyse de Griffing (1956) réalisée sur la  $F_2$  indique la prédominance des effets additifs pour les caractères : hauteur des plantes, nombre d'épis par plantes, poids de mille grains, taux de vitrosité, taux de moucheture et indice de jaune. Quant aux caractères précocité à l'épiaison, nombre de grains par épi, rendement en grain, teneur en protéine et indice de brun, leur contrôle génétique est de type non-additif.

**Mots clés :** Blé dur, qualité, hétérosis, croisement diallèle.

## **Abstract:**

Four varieties of durum wheat and the  $F_1$  and  $F_2$  hybrids resulting from their crossings were studied in order to determine the inheritance of some agronomic and technological traits during two seasons: 2003-2004 for the  $F_1$  hybrids (in the experimental station of the Technical Institute of Field Crops (TIFC) of Khroub, located at Constantine) and 2004-2005 for the  $F_2$  hybrids (in the experimental station of TIFC of Oued Smar, located at Algiers). Results indicated a positive heterosis for the grain number per ear (13,7 % for the  $F_1$  and 16 % for the  $F_2$ ), thousand grain weight (8,2 % for the  $F_1$  and 6,2 % for the  $F_2$ ), grain yield (13,7 % for the  $F_1$  and 16,1 % for the  $F_2$ ), protein content for the  $F_1$  (5,9 %) and the yellow index for the  $F_2$  (1,4 %). For the other traits plant height (-3,4 % for the  $F_1$  and -4,6 % en  $F_2$ ) and ear number per plant (-7 % for the  $F_1$  and the  $F_2$ ), a negative heterosis values were observed. Concerning a grain yield, a positive heterobeltiosis were obtained for several  $F_1$  and  $F_2$  hybrids and only the  $F_1$  M1084 x Capeiti (11,3 %) and the  $F_2$  Capeiti x Bidi 17 (6,8 %) have recorded a positive values of heterosis over better variety.

The Griffing's analysis (1956) realized for the  $F_2$  hybrides indicates the prevalence of the additive effects for: plant height, ear number per plant, thousand grain weight, rate of vitreousness, rate of black point and yellow index. For the traits: days to heading, grain number per ear, grain yield, protein content and the brown index, the non-additive gene action was more important than the additive one.

**Key words:** Durum wheat, quality, heterosis, diallel cross.

## الملخص:

أربعة أصناف من القمح الصلب وكذا الهجن من الجيل الأول (ج<sub>1</sub>) و الثاني (ج<sub>2</sub>) المتحصل عليها عن طريق التهجين التبادلي الجزئي، تمت دراستها من الناحية الزراعية، التكنولوجية و الجينية و هذا خلال الموسمين 2003-2004 في محطة التجارب للمعهد التقني للمحاصيل الحقلية بالخروب (قسنطينة) بالنسبة لـ ج<sub>1</sub> و ج<sub>2</sub> و 2004-2005 في محطة التجارب لواد السمار (الجزائر) بالنسبة لـ ج<sub>2</sub>. بينت نتائج هذه الدراسة أن قوة الهجين كانت موجبة بالنسبة للصفات: تعداد حبات السنبل (13.7% لـ ج<sub>1</sub> و 16% لـ ج<sub>2</sub>)، وزن ألف حبة (8.2% لـ ج<sub>1</sub> و 6.2% لـ ج<sub>2</sub>)، المردود (13.7% لـ ج<sub>1</sub> و 16.1% لـ ج<sub>2</sub>)، نسبة البروتينات في ج<sub>1</sub> (5.9%) و مؤشر اللون الأصفر في ج<sub>2</sub> (1.4%) على عكس الصفات طول النبتة (-3.4% لـ ج<sub>1</sub> و -4.6% لـ ج<sub>2</sub>) و عدد السنابل في كل نبتة (-7% لـ ج<sub>1</sub> و ج<sub>2</sub>) حيث أن قوة الهجين كانت سالبة. في ما يخص المردود، تفوقت عدة هجن من الجيل الأول و الثاني على أفضل الأباء بينما تجاوز مردود الهجينين Capeiti x M 1084 من ج<sub>1</sub> (11.3%) و Capeiti x idiB17 من ج<sub>2</sub> (6.8%) مردود أحسن الأصناف.

أبرز تحليل firGgnif (1956) المجرى على الهجن من الجيل الثاني سيادة التأثيرات المجمع للصفات التالية: طول النبتة، عدد السنابل في كل نبتة، وزن ألف حبة، نسبة الحبات ذات المظهر الزجاجي، نسبة النقاط السوداء و مؤشر اللون الأصفر. بينما كان التحكم الجيني للصفات: فترة التسنبل، تعداد حبات السنبل، المردود، نسبة البروتينات و مؤشر اللون البني من النوع الغير مجمع.

الكلمات المفتاحية: قمح صلب، الجودة، قوة الهجين، التهجين التبادلي الجزئي.